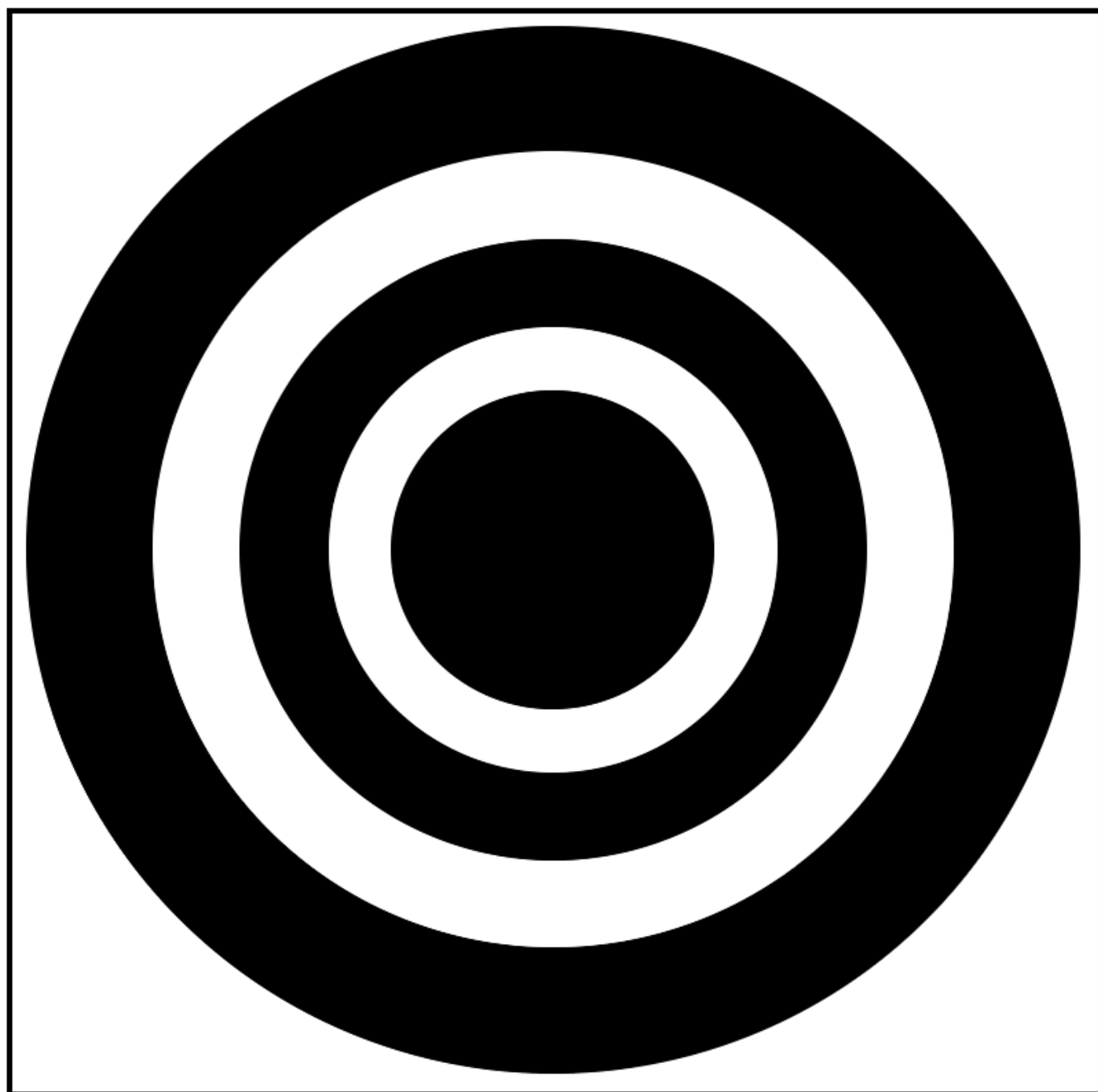


PHILIPS



Technische Erläuterungen



© Deutsche Philips GmbH, Abt. Technische Spielwaren, Hamburg – 1971

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck und fotomechanische Wiedergabe – auch auszugsweise – nicht gestattet.

Wir übernehmen keine Gewähr, daß die in diesem Buch enthaltenen Angaben frei von Schutzrechten sind.

Technische Änderungen vorbehalten.

Technische Erläuterungen

**Einführung
in die elektronische Technik**

Herausgegeben von der Deutschen Philips GmbH
Abt. Technische Spielwaren, 2 Hamburg 1, Mönckebergstraße 7

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Vorwort	4
Hinweise für die Durchführung der Versuche	
Kapitel 1 Einfache Grundlagen	
1.1. Spannung. Gespeicherte Energie – Elektrischer Druck – Gleichspannung – Plus und Minus – Meßgröße „Volt“	6
1.2. Strom. Kein Strom ohne Spannung – Elektronen auf Wanderschaft – Fließender Strom – Meßgröße „Ampere“	8
1.3. Leiter, Halbleiter, Nichtleiter. Metalle – Elektrische Leitfähigkeit – Kristallstruktur – Isolatoren	10
1.4. Widerstände. Dicke und dünne Leitungen – Wirkwiderstand oder ohmscher Widerstand – Widerstände als Bauelemente – Spezialausführungen – Meßgröße „Ohm“	11
1.5. Das Ohmsche Gesetz. Feste Beziehung zwischen Spannung, Strom und Widerstand – Leistung = P	12
1.6. Versuche mit Widerständen. Kleiner und großer Widerstandswert – Reihenschaltung – Parallelschaltung – Spannungsteiler – Spannungsabfall	14
Kapitel 2 Von der Wechselspannung zum Kondensator	
2.1. Wechselspannung und Wechselstrom. Elektronen pendeln hin und her – Bewegung trotz Stillstand – Von Elektron zu Elektron – Mit Lichtgeschwindigkeit wird übermittelt	17
2.2. Amplitude, Periode, Frequenz. Es entsteht eine Wechselspannungskurve – Positive und negative Anteile – Nulllinie – Häufigkeit der Wiederholung	18
2.3. Hertz, Kilohertz, Megahertz. Langsame und schnelle Schwingungen – Trägerwellen – Auch Bilder und Töne schwingen	20
2.4. Sinusschwingungen. Die „weiche“ Kurve – Wie sie entsteht – Pendeln zwischen Plus und Minus	20
2.5. Magnetische Wirkungen. Woran man sie erkennt – Nordpol und Südpol – Magnetisches Feld – Kraftlinien – Stromfluß erzeugt ein magnetisches Feld	21
2.6. Vom Draht zur Spule. Es bilden sich Kraftlinienfelder – Nordpol und Südpol einer Spule – Eisenkern und Elektromagnet – Wechselnde magnetische Felder – Wechselstrom wird erzeugt – Induktion	23
2.7. Transformatoren. Zwei Spulen wirken aufeinander ein – Kraftlinien schneiden – Mit Wechselstrom geht's eleganter – Magnetische Kopplung – Übertrager mit Eisenkern – Induktivitäten – Blindwiderstand oder induktiver Widerstand X_L – Parallel- und Reihenschaltung – Meßgröße „Henry“	26
2.8. Versuche mit Spulen. Ein Magnetfeld baut sich auf – Gleichnamige Pole stoßen sich ab – Ungleichnamige Pole ziehen sich an – Spannung wird induziert	29
2.9. Kondensatoren. Elektrisches Feld – Kraftlinien – Elektronen haben eine negative Ladung – Elektronenmangel und Elektronenüberschuß – Ladestrom – Kapazität – Entladestrom – Wechselspannung am Kondensator – Blindwiderstand oder kapazitiver Widerstand X_C – Impedanz Z – Parallel- und Reihenschaltung – Meßgröße „Farad“	30
2.10. Versuche mit Kondensatoren. Ladestrom – Entladestrom – Wechselstrom fließt „durch“ den Kondensator – Kapazitiver Widerstand ist frequenzabhängig	35

Kapitel 3 Dioden und Transistoren	Seite
3.1. Elektronenstrom im Vakuum. Die Röhrendiode – Elektronen fliegen von Minus nach Plus – Dioden leiten und sperren – Gleichrichtung	37
3.2. Halbleiter-Material. Bei Kälte ein Isolator – Eigenleitung bei Wärme – Kristallgitter – Bindungselektronen – Elektronenspender ergeben N-Leitfähigkeit – Elektronenfänger ergeben P-Leitfähigkeit – Elektronen nach Plus – Löcher nach Minus	39
3.3. Es entsteht eine Diode. Der PN-Übergang – Veränderlicher Widerstand – Sperren und Leiten hängt von der richtigen Polung ab – Hin und Her durch die Sperrschicht – Gleichrichtung auch hier	42
3.4. Versuche mit Dioden. Es fließt Strom – Es fließt kein Strom – Pulsierende Gleichspannung durch Gleichrichtung – Glättung mit einem Kondensator	43
3.5. Drei Schichten im Transistor. Emitter – Basis – Kollektor – Zwei PN-Übergänge – Anschlüsse und Symbole – Kühlung ist wichtig	44
3.6. Der NPN-Transistor. Es fließt ein Elektronenstrom – Abzweigung zur Basis – Der Elektronenstrom läßt sich beeinflussen – Arbeitspunkt – Der Transistor wird durch den Basisstrom gesteuert	46
3.7. Versuche mit dem NPN-Transistor. Wahl des Arbeitspunktes – Ein mittlerer Strom fließt – Wir ändern den Basis-Steuerstrom	48
3.8. Der PNP-Transistor. Andere Spannungspolarität – Es fließt ein Löcherstrom – Abzweigung zur Basis – Auch hier Rekombinationen – Der Basisstrom steuert den Transistor	49
3.9. Versuche mit dem PNP-Transistor. Arbeitspunkt und Spannungsanschluß – Veränderliche Steuerströme an der Basis	52
3.10. Der Transistor als Schalter. Elektronische Ein-Aus-Funktionen – Leitend und gesperrt – Versuch mit einem Transistor	53
3.11. Der Transistor als Verstärker. Wo liegt sein Arbeitspunkt – Es fließen Ströme und wir verändern sie – Lineare Verstärkung – Eingang und Ausgang – Versuch mit einem Transistor	54
3.12. Drei Transistor-Grundschaltungen. Basisschaltung – Emitterschaltung – Kollektorschaltung – Unterschiedliche Eingangswiderstände – Phasendrehung – Impedanzwandler	55
3.13. Versuche mit Kollektor- und Emitterschaltung. Kleine und große Spannungsverstärkung – Was ist Stromverstärkung – Übersteuerung – Linearer Arbeitsbereich – Kontrolle der Eingangswiderstände	56
 Kapitel 4 Von A–Z: Elektronische Technik kurz gefaßt.	

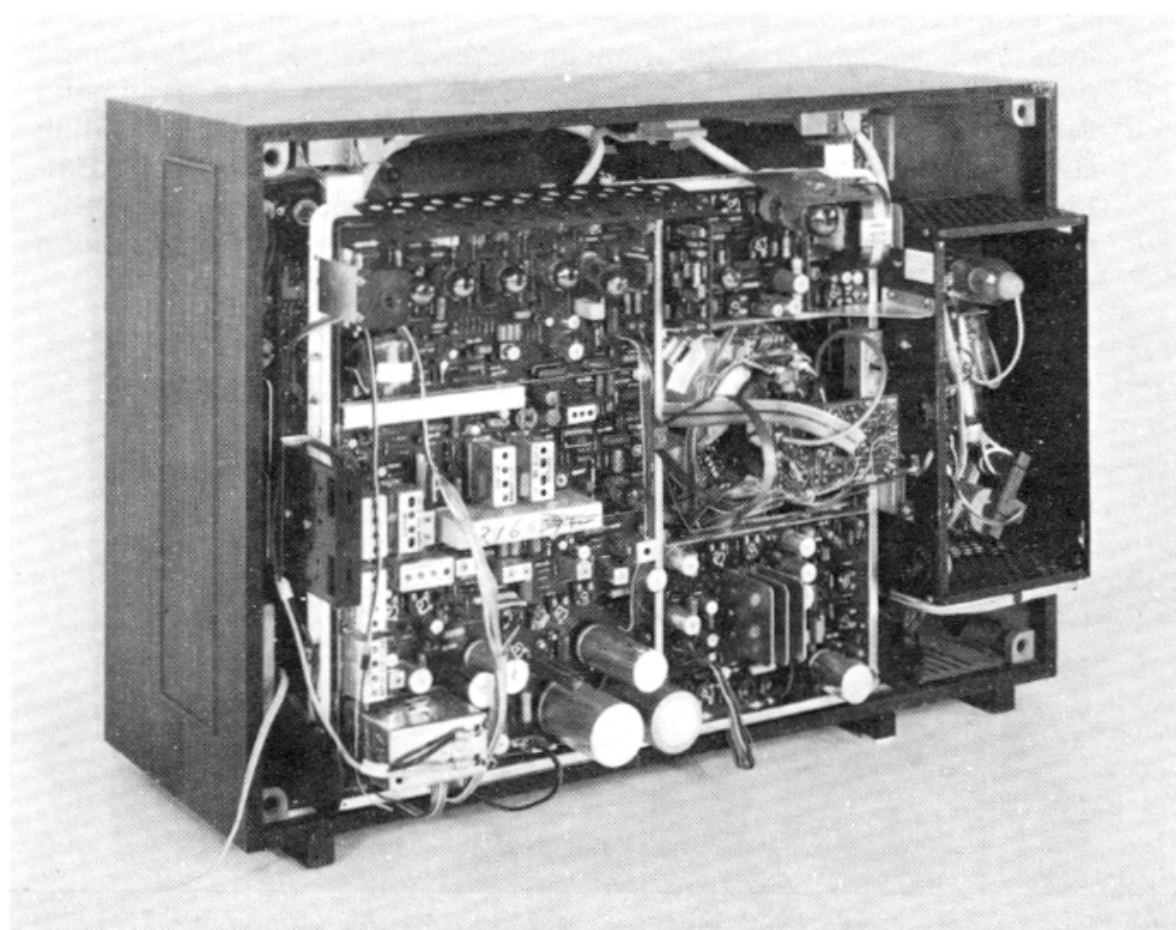
Vorwort

Die Geräte der Unterhaltungselektronik begegnen uns heute auf Schritt und Tritt. Plattenspieler mit Verstärker, Cassetten-Recorder und Kofferradio gehören ebenso dazu wie Stereo-Anlagen und Fernsehempfänger. In Millionen Haushaltungen sorgen sie für Entspannung und Unterhaltung, für Information und Wissen. Weil sie wie selbstverständlich funktionieren und einfach zu bedienen sind, vergißt man nur allzu leicht das technische Innenleben, dessen präzises Arbeiten schlichtweg vorausgesetzt wird.

Wir wollen nun gemeinsam versuchen, dieser großartigen Technik etwas näherzukommen und in ihre Geheimnisse einzudringen. Uns hilft dabei der Philips Experimentierkasten, der mit den gleichen Einzelteilen ausgestattet ist, aus denen auch die „richtigen“ Geräte und Anlagen der Elektronik und Elektrotechnik bestehen (Abb. 1). Man kann zwar die Experimente an Hand der Anleitungen ganz einfach nachbauen und sich am fertigen Gerät freuen und damit spielen; aber mancher möchte es doch ganz genau wissen und dahinterkommen, wie und warum es denn nun eigentlich so und nicht anders funktioniert. Dazu muß er sich allerdings zunächst mit den Grundlagen dieser modernen Technik beschäftigen. Die Erläuterungen in diesem Buch sollen dem wißbegierigen jungen Leser helfen, diese Grundlagen zu erfassen. Es werden dabei keine Kenntnisse vorausgesetzt. Manches ist bewußt vereinfacht dargestellt, um auch Zehn- bis Zwölfjährigen das Begreifen der technischen Zusammenhänge zu erleichtern.

Das vorliegende Buch ist als Ergänzung zu den Bauanleitungen der Philips Experimentierkästen gedacht. Hier werden theoretische Erläuterungen zu den technischen Vorgängen gegeben, hier findet der junge Bastler Antworten auf seine ersten einfachen Fragen. Zahlreiche Versuche festigen das erworbene Verständnis. Sollten in dem vorliegenden Experimentierkasten nicht alle Einzelteile, die für diese Versuche erforderlich sind, vorhanden sein, findet man sie evtl. im Zusatzkasten oder erhält sie als Ersatzteil bei der auf Seite 69 angegebenen Adresse.

Mit der Einführung in die theoretischen Zusammenhänge ersteigt der junge Bastler die ersten Stufen einer langen Leiter in das ungemein interessante Reich der elektronischen Technik. Und nun viel Spaß und Erfolg beim Lesen und Lernen!



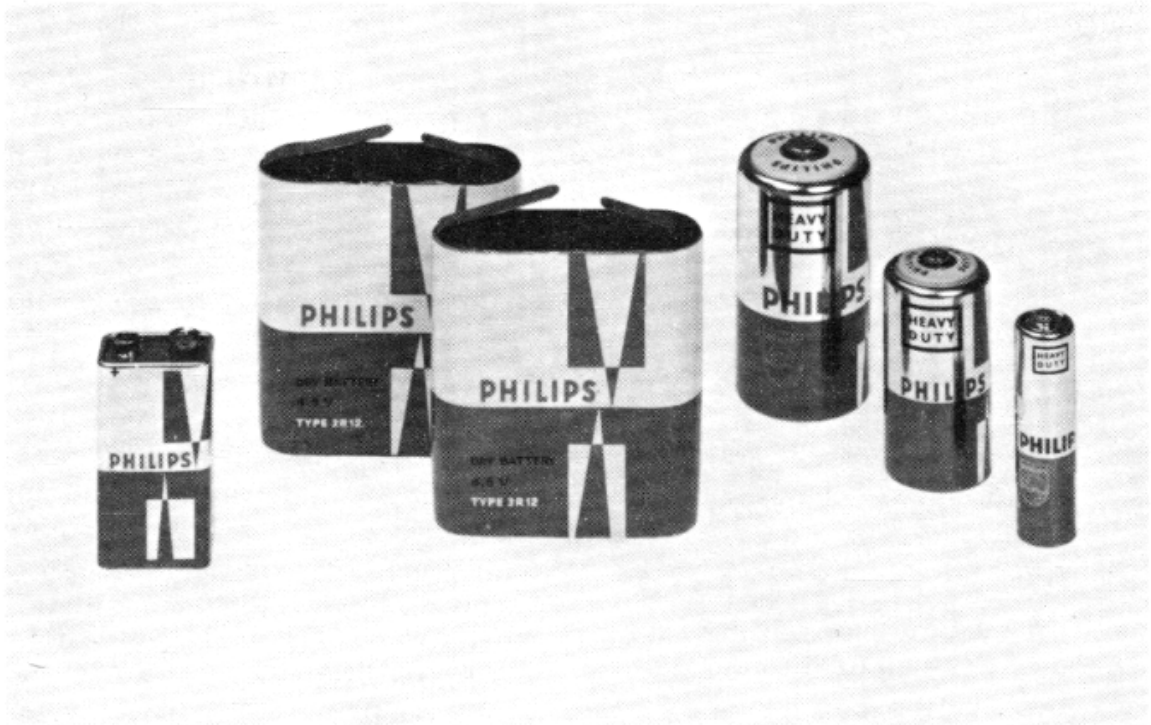
Kapitel 1

Einfache Grundlagen

1.1. Spannung

Wir lesen gern eine spannende Geschichte, verfolgen gespannt den Fernsehkrimi und warten mit Spannung auf ein sehr wichtiges Ereignis. Die Spannung versetzt uns in einen ganz bestimmten Zustand der Erregung oder Erwartung, und wir tun hierin manches, um „des Rätsels Lösung“ zu erfahren. In vielen Situationen wirkt daher die Spannung auf uns wie eine Antriebskraft.

Im elektronischen Bereich finden wir den Begriff Spannung ebenfalls. Wohl jeder hat schon einmal Batterien für die Taschenlampe oder fürs Kofferradio gekauft und weiß, daß sie eine bestimmte **Spannung** haben, z. B. 1,5 oder 4,5 oder auch 9 Volt (Abb. 2). Ohne Batterien spielen das Radio und der Cassetten-Recorder nicht. Batterien sind also eine Energiequelle und liefern die nötige „Betriebsspannung“. Sind die Batterien leer, müssen sie ersetzt werden, denn sie haben keine Spannung mehr, und ihre Energie ist aufgezehrt.



Das führt uns zur nächsten Frage. Wie kann die in einer Batterie gespeicherte Energie wirksam werden? Bevor wir darauf eingehen, soll uns ein Vergleich mit der Wasserleitung das Verständnis für diese Vorgänge etwas erleichtern. Jeder Vergleich hinkt zwar, aber es ist sehr oft möglich, von bekannten Dingen leichter einen Weg zu neuen Erkenntnissen zu finden als ohne diese helfenden Vergleiche.

Wasser kann nur dann durch Leitungen fließen, wenn es mit einer Pumpe oder auf Grund eines natürlichen Gefälles hineingedrückt wird. Es muß also ein Druck vorhanden sein, der das Wasser durch die Leitungen preßt. Verbindet man Anfang und Ende einer solchen Leitung miteinander, so erhält man einen geschlossenen Wasserkreislauf, wie er beispielsweise auch im Automotor zu finden ist. Die Wasserpumpe treibt das vom Motor erhitzte Wasser durch den Kühler, und von dort gelangt es wieder in den Motorblock. Fällt die Wasserpumpe aus, ist der Kreislauf unterbrochen. Wir sehen aus der Abbildung 3, daß das Wasser immer in einer Richtung durch die Leitung fließt, daß es also von der Pumpe stets in die gleiche Richtung gedrückt wird. Je größer diese Kraft ist, um so höher ist der Wasserdruck.

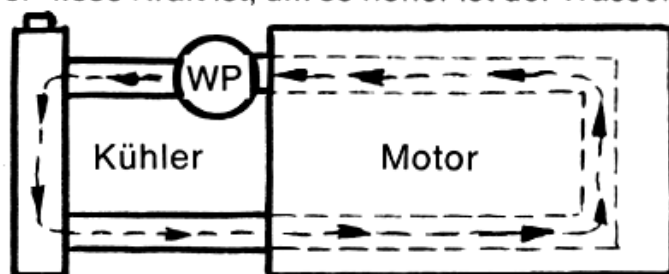
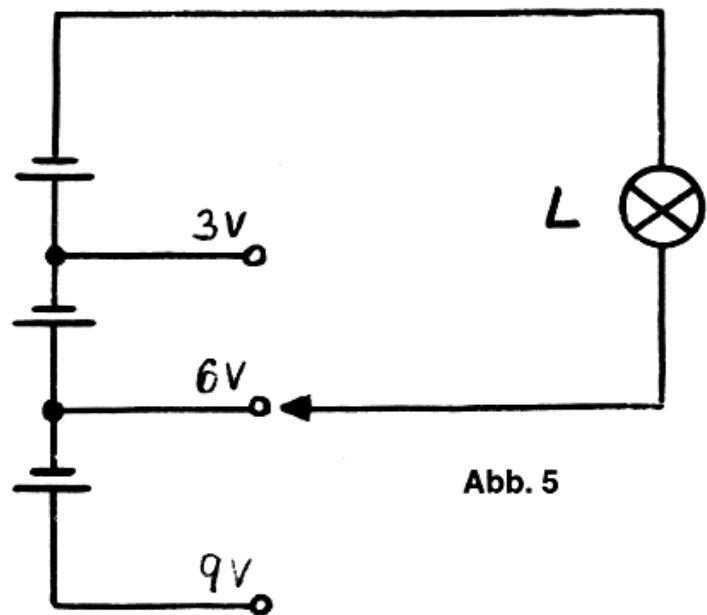
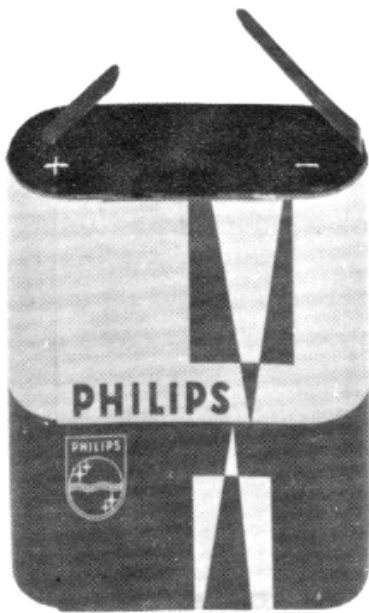


Abb. 3

Übertragen wir diese Verhältnisse auf den elektrischen Bereich, so ergeben sich große Ähnlichkeiten. Wir wissen beispielsweise aus Erfahrung, daß bei neuen Batterien die Taschenlampe besonders hell leuchtet, weil dann die Spannung hoch ist. Wenn sie absinkt, verringert sich auch die Helligkeit der Lampe. Die Spannung der Batterien muß also eine Art Energie sein, die einen „elektrischen Druck“ ausübt, der in Volt* gemessen und mit dem Buchstaben V bezeichnet wird.

So wie eine Wasserpumpe das Wasser in nur einer Richtung durch die Leitung drückt, ist auch bei einer Batterie der elektrische Druck, also die Spannung, immer nur in stets der gleichen Richtung wirksam. Batterien liefern daher eine „Gleichspannung“. Sie haben zwei Anschlußstellen, die man Pluspol und Minuspol nennt. Um es ganz deutlich zu machen, sind die Pole meistens noch mit den Zeichen + und – versehen (Abb. 4). Die Batterien für unsere Elektronik-Experimente haben eine Spannung von je 1,5 Volt, und wenn sechs Stück im Batteriehalter hintereinandergeschaltet sind, ergibt sich eine Spannung von insgesamt 9 V (V wird immer „Volt“ ausgesprochen). Der Versuch 1 nach Abbildung 5 führt uns den Begriff „elektrischer Druck“ einleuchtend vor Augen. Wenn wir am Batteriehalter verschiedene Spannungen abgreifen und an die Lampe legen, so leuchtet sie unterschiedlich hell auf. Bei der kleinen Spannung (3 V) herrscht nur ein geringer elektrischer Druck, und die Lampe glüht schwach. Umgekehrt ist es bei 9 V, hier brennt sie hell.

* nach dem italienischen Physiker Alessandro Volta, 1745–1827.



Es gibt aber auch Spannungen, die einen „wechselnden elektrischen Druck“ hervorrufen. Diesen nennt man Wechselspannung. Uns allen ist z. B. die 220-V-Wechselspannung des Lichtnetzes bekannt. Im Kapitel 2 werden wir uns ausführlicher mit der Wechselspannung beschäftigen.

In der elektronischen Technik treten Spannungen auf, die viel größer, aber auch viel kleiner als 1 V sind. So arbeitet die Bildröhre eines Fernsehgerätes mit Spannungen von ungefähr 20 000 V. Man kann dies in abgekürzter Form als 20 kV schreiben, weil der Buchstabe k soviel wie Kilo und damit eine Abkürzung für Tausend bedeutet (1000 V = 1 Kilovolt). Der tausendste Teil eines Volts heißt ein Millivolt, abgekürzt mV, und der millionste Teil eines Volts ist ein Mikrovolt; er wird abgekürzt als μV geschrieben. Diese Bezeichnungen gelten für Gleich- und Wechselspannungen.

$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}$
$1 \text{ V} = 1000 \text{ mV}$
$1 \text{ mV} = 1000 \mu\text{V}$

1.2. Strom

Nachdem wir im ersten Abschnitt einige allgemeine Dinge über die Spannung erfahren haben, wenden wir uns jetzt dem Strom zu. Dieser Begriff steht mit der Spannung in einem festen Zusammenhang, denn es gibt zwar eine Spannung, ohne daß ein Strom fließen muß (z. B. in einer Batterie), aber es kann niemals ein Strom fließen, wenn keine Spannung da ist.

Im vorigen Abschnitt wurde das gleichmäßig in einer Richtung strömende Wasser in einem geschlossenen Kreislauf erwähnt (Wasser-Gleichstrom). Es ist aber auch möglich, ein hin- und herfließendes Wasser zu erzeugen. Am einfachsten machen wir das in einer Schüssel oder Badewanne, indem wir das Wasser in eine hin- und herströmende Bewegung bringen, oder technisch mit einer Kolbenpumpe nach Abbildung 6. Wir können bei diesen Beispielen dann von einem Wasser-Wechselstrom sprechen.

Beide Begriffe finden sich in der Elektrotechnik wieder. Hier treibt die Spannung (als elektrischer Druck) einen „Strom“ durch die Leitungen. Bei einer Batterie ist es ein **Gleichstrom** und beim Lichtnetz ein **Wechselstrom**. Was der Strom eigentlich ist, lernen wir jetzt kennen.

Ein Wasserstrahl besteht aus Tropfen, aus Tausenden, ja sogar Millionen von Wassertropfen. In ähnlicher Weise besteht auch der elektrische Strom aus unsichtbaren Teilchen, die man als winzig kleine „Elektrizitätströpfchen“ bezeichnen könnte. Diese kleinen Teilchen nennt man Elektronen, und sie strömen in riesiger Anzahl durch eine elektrische Leitung. Um hierüber ein Bild zu bekommen, müssen wir uns ein wenig mit den Bausteinen der Materie, mit den Atomen, beschäftigen.

Alles auf der Erde und im Weltall ist aus Atomen zusammengesetzt. Die Atome haben einen Kern, um den sich Elektronen auf verschiedenen Bahnen bewegen. Man kann das winzige Atom gut mit unserem Sonnensystem vergleichen. Die Sonne ist der Kern, und ihre Planeten sind die Elektronen.

In der Natur unterscheiden sich alle Stoffe voneinander durch die Zusammensetzung ihrer Atomkerne und die zu ihnen gehörenden Elektronen. So hat Wasserstoff beispielsweise den einfachsten Atomaufbau, denn nur ein einziges Elektron umkreist den Kern. Das Heliumatom hat zwei Elektronen, während z. B. das Kupferatom schon 29 kreisende Elektronen hat (Abb. 7).

Kolbenbewegung

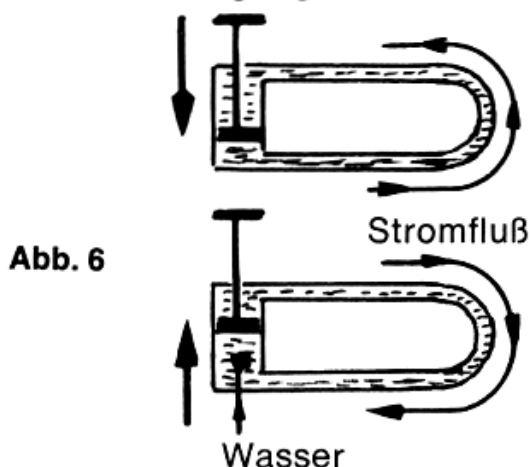


Abb. 6

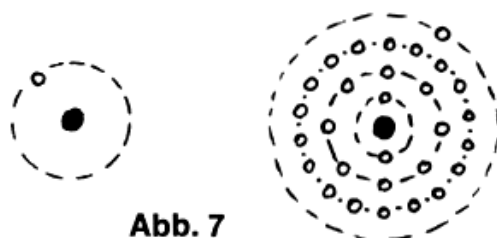


Abb. 7

Es ist nun die Eigenart des Kupferatoms, daß eines seiner 29 Elektronen bei bestimmten Voraussetzungen sozusagen auf Wanderschaft geht. Es löst sich aus seinem Atomsystem und bewegt sich dann ungebunden durch das Kupfer fort. Man bezeichnet diesen winzigen Wanderer als „freies Elektron“. Da ein kleines Stück Kupfer aus Milliarden von Atomen besteht, hat es auch Milliarden von freien Elektronen, die sich leicht durch den Kupferdraht bewegen können, wenn eine Spannung angeschlossen ist.

Wir merken uns: Die Fortbewegung der freien Elektronen bezeichnet man als fließenden elektrischen Strom. Elektronen sind die eigentlichen Träger der Elektrizität.

Interessant ist im Zusammenhang mit dem Elektronenfluß auch noch die Elektrizitätsmenge. Wenn man beispielsweise eine starke Glühlampe von etwa 200 Watt einschaltet, dann bewegen sich in jeder Sekunde $6,3 \text{ Millionen} \times 1 \text{ Millionen} \times 1 \text{ Millionen}$ Elektronen durch die elektrische Leitung. Der hier fließende Strom hat dann die Stärke von einem Ampere* (abgekürzt A und „Ampeer“ ausgesprochen).

In der Elektronik ist man im allgemeinen mit Elektronen sparsamer als im Stromnetz der Elektrizitätswerke. In Transistorschaltungen fließen zumeist Ströme von viel weniger als einem Ampere, tausendmal weniger oder sogar millionmal weniger. Um einfacher über diese schwachen Ströme sprechen zu können, nennt man den tausendsten Teil eines Amperes ein Milliampere, abgekürzt 1 mA, und den millionsten Teil eines Amperes nennt man ein Mikroampere, abgekürzt $1 \mu\text{A}$ geschrieben. μ ist der griechische Buchstabe My und wird in Verbindung mit Bezeichnungen als Mikro ausgesprochen. Er kennzeichnet stets den millionsten Teil eines Ganzen.

$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$
$1 \text{ mA} = 1000 \mu\text{A}$

1.3. Leiter, Halbleiter und Nichtleiter

Wir wissen jetzt, daß der fließende Strom in elektrischen Leitungen aus Elektronen besteht. Wir haben außerdem erfahren, daß Kupferleitungen hierfür besonders geeignet sind, weil die Atomstruktur des Materials den Elektronenfluß leicht macht. Kupfer und andere Metalle leiten den elektrischen Strom also recht gut, und sie werden daher als „Leiter“ bezeichnet.

Eine andere Gruppe von Materialien setzt dem elektrischen Strom jedoch einen praktisch unüberwindlichen Widerstand entgegen: Es fließt kein Strom, wenn man sie an eine Spannungsquelle anschließt. Sie sind Nichtleiter und haben deshalb den treffenden Namen „Isolatoren“ erhalten: Porzellan, Glas, Gummi, Kunststoffe gehören dazu.

* nach dem französischen Physiker André Maria Ampère, 1775–1836.

Mit der dritten Gruppe, den „Halbleitern“, lernen wir eine ganz besondere Art kennen. Sie liegen hinsichtlich ihrer elektrischen Leitfähigkeit zwischen guten Leitern und Nichtleitern. Natürliche Halbleiter sind z. B. alle Stoffe mit Kristallstruktur, von denen uns das Germanium und das Silizium besonders interessieren. Aus ihnen stellt man Dioden und Transistoren her. Bevor jedoch diese Bauelemente aus Germanium und Silizium gefertigt werden können, muß das Material in einem recht komplizierten Verfahren dafür aufbereitet werden. Man kann nämlich durch geringe Zusätze gewisser Stoffe ganz bestimmte, erwünschte Eigenschaften züchten, die für das Funktionieren von Dioden und Transistoren von entscheidender Bedeutung sind. Im Kapitel 3 gehen wir ausführlich auf diese Dinge ein.

1.4. **Widerstände**

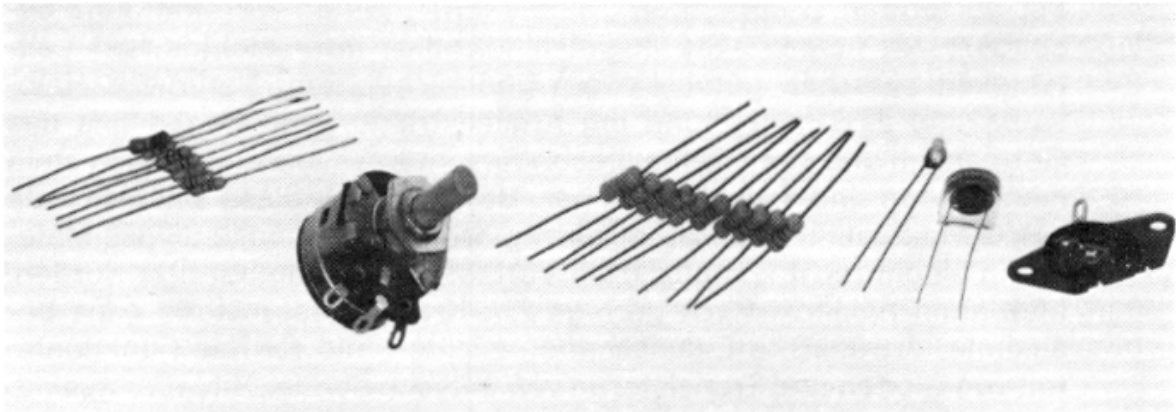
Im vorigen Abschnitt tauchte das Wort „Widerstand“ im Zusammenhang mit dem elektrischen Strom auf. Als Widerstand bezeichnet man die Eigenschaft eines Materials, den Elektronenfluß mehr oder weniger zu hemmen. Kommen wir zum Vergleich noch einmal auf die Wasserleitung zurück. Auch sie setzt dem Durchfluß des Wassers einen bestimmten Widerstand entgegen, der vom Durchmesser und der Länge der Leitung abhängt. Ein enges Rohr hat für den Wasserstrom einen großen Widerstand, während durch ein weites Rohr große Wassermassen ohne nennenswerten Widerstand hindurchfließen können.

Bei einem elektrischen Leitungsnetz ist es ähnlich. Je dicker die Kupferleitung, desto geringer ist ihr Widerstand und um so leichter fließt der elektrische Strom hindurch. Natürlich spielt neben dem Leitungsdurchmesser auch hier die Leitungslänge eine Rolle, der Widerstand nimmt zu, je länger die Leitung ist. Widerstandswerte werden in Ohm* angegeben und mit dem griechischen Buchstaben Ω (Omega) bezeichnet (z. B. $100 \Omega =$ gesprochen 100 Ohm). Große Widerstände werden in Kilo-Ohm (tausend Ohm, abgekürzt $k\Omega$) oder Mega-Ohm (Million Ohm, abgekürzt $M\Omega$, gesprochen Megohm) angegeben.

$1 M\Omega = 1000 k\Omega$ $1 k\Omega = 1000 \Omega$

Nicht nur elektrische Leitungen haben Widerstände. In sehr großem Umfang werden sie auch als Bauteile mit bestimmten Widerstandswerten in den Schaltungen aller elektronischen Geräte verwendet. Man benutzt sie, um z. B. Spannungen und Ströme in den einzelnen Stufen auf bestimmte Werte einzustellen, damit die Transistoren oder Dioden

* nach dem deutschen Physiker Georg Simon Ohm, 1789–1854.



richtig arbeiten können. Es gibt Festwiderstände, einstellbare und veränderliche Widerstände, und es gibt sie auch für verschiedene Stromstärken. In der Abbildung 8 sehen wir einige Ausführungen. Beim Durchfluß von größeren Strömen entwickelt sich in einem Widerstand der hier erwähnten Art stets Wärme. Man bezeichnet ihn daher auch als **Wirkwiderstand**. Die Wärmewirkung entsteht durch die Reibung der Elektronen im Leitermaterial.

1.5. **Das Ohmsche Gesetz**

Bevor wir uns im nächsten Kapitel näher mit der Wechselspannung sowie dem Wechselstrom beschäftigen, wollen wir hier einen wichtigen Zusammenhang zwischen Spannung, Strom und Widerstand kennenlernen: das Ohmsche Gesetz.

Nach diesem Gesetz besteht zwischen den genannten drei Größen eine Beziehung, die aussagt, daß

1. die Stromstärke größer wird, wenn die Spannung wächst oder der Widerstand abnimmt und
2. die Stromstärke kleiner wird, wenn die Spannung abnimmt oder der Widerstand wächst.

In eine Formel gebracht, heißt die Beziehung:

$$\text{Strom} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}} \quad (\text{Strom gleich Spannung geteilt durch Widerstand})$$

Da in der Kurzform die Stromstärke mit I , die Spannung mit U und der Widerstand mit R bezeichnet werden, erhalten wir also als Formel des Ohmschen Gesetzes:

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

Durch Umstellen der Formel ergibt sich für die Spannung:

$$U = I \cdot R$$

und für den Widerstand der Ausdruck:

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

Wenn wir diese Formeln verwenden, so ist darauf zu achten, daß die Werte für U in Volt, I in Ampere und R in Ohm eingesetzt werden. Man darf nicht unterschiedliche Größen verwenden, z. B. Widerstände in Ohm, Spannung in Millivolt und Stromstärke in Mikroampere. Eine kleine Rechnung macht dies deutlich: Bei einem Bügeleisen fließt z. B. ein Strom von 4,5 A durch die Widerstandsspirale in seiner Sohle, wenn das Eisen an die 220-V-Steckdose angeschlossen ist. Wie hoch ist der Widerstandswert der Heizspirale? Wir rechnen nach der Formel $R = U : I$ und setzen 220 V geteilt durch 4,5 A ein. Das ergibt rund 49 Ohm. Hätten wir die Spannung aber in Millivolt eingesetzt, müßte $220\,000 : 4,5$ gerechnet werden, und das (falsche) Ergebnis würde rund 49 000 Ohm heißen!

Das Ohmsche Gesetz ist praktisch die Basis für viele weitere Erkenntnisse in der elektronischen Technik. Wir sollten es uns daher einprägen und über die Zusammenhänge zwischen Strom, Spannung und Widerstand gut Bescheid wissen. Zwar werden bei den Experimenten der Philips Baukästen keine Formeln benutzt, und deshalb ist die Erwähnung des Ohmschen Gesetzes und einiger anderer einfacher Formeln hier eigentlich eine Ausnahme. Weil sie aber wichtig und relativ leicht zu erfassen sind, sollten sich die jungen Experimentatoren diese Dinge gut merken. Im Verlaufe dieses Buches kommen wir noch mehrfach darauf zurück. Hier noch abschließend die Formel für die elektrische Leistung. Sie wird in Watt* (W) gemessen und hat das Formelzeichen P. Je größer Strom und Spannung werden, um so größer wird auch die Leistung. Die Formel lautet:

$$P = U \cdot I$$

* nach dem englischen Ingenieur James Watt, 1736–1819.

Man kann auch den Widerstand als dritte Größe heranziehen und erhält dann:

$$P = I^2 \cdot R \quad \text{oder} \quad P = \frac{U^2}{R}$$

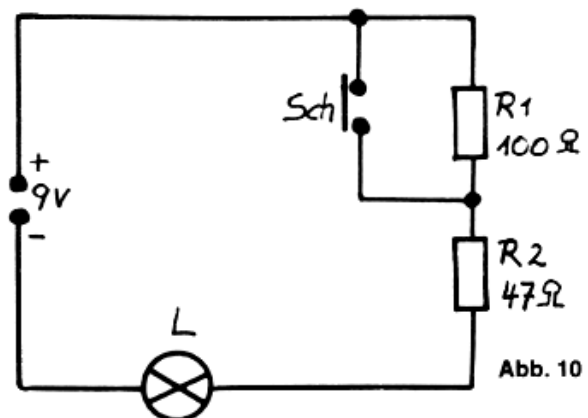
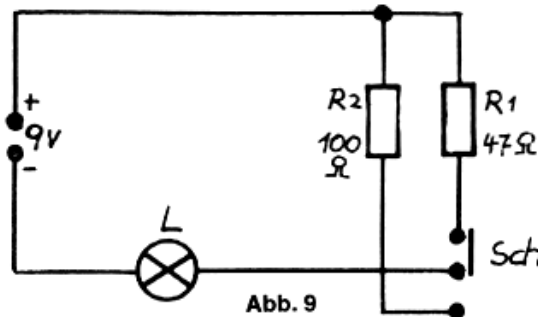
Auch hier lassen sich die Formeln umstellen, so daß man z. B. den Widerstandswert aus der angegebenen Leistung und der fließenden Stromstärke ermitteln kann.

1.6. Versuche mit Widerständen

Mit einfachen Versuchen wollen wir das, was wir bisher über Spannung, Strom und Widerstand erfahren haben, auf praktische Weise ergänzen.

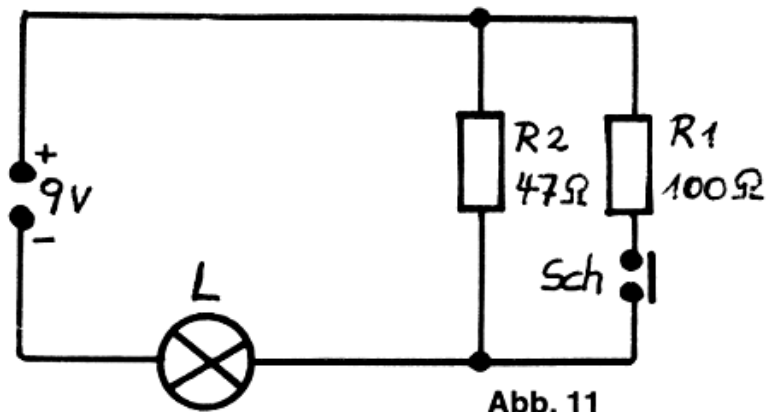
Versuch 2:

Wir sehen in der Abbildung 9 eine kleine Glühlampe, zwei Widerstände und eine Batterie von 9 V. Der Schalter S verbindet den Widerstand R1 (47 Ω) mit der Lampe, so daß ein Strom fließen kann, wenn die Batterie angeschlossen wird. Der Strom ist in diesem Fall recht kräftig, denn die Glühlampe leuchtet hell. Schalten wir jetzt mit dem Schalter auf den Widerstand R2 (100 Ω), so leuchtet die Lampe schwächer. Wir schließen daraus: Bei gleicher Spannung hängt der fließende Strom vom Widerstandswert ab. Großer Widerstand = kleiner Strom; kleiner Widerstand = großer Strom!



Versuch 3:

In der Abbildung 10 sind die Widerstände R1 und R2 anders angeordnet; sie liegen in Reihe, d. h., sie sind hintereinander geschaltet. Der Gesamtwiderstand wird größer, die Formel heißt: $R_{\text{gesamt}} = R1 + R2$ ($100 \Omega + 47 \Omega = 147 \Omega$). Der jetzt durch diese Widerstandskette fließende Strom ist geringer als vorher bei Versuch 1, und die Lampe leuchtet nur noch schwach. Bei überbrücktem Widerstand R1 (Schalter S geschlossen) ist dagegen lediglich R2 im Stromkreis vorhanden, und die Lampe leuchtet wieder hell. Wir erkennen: größer werdender Widerstand = sinkender Strom; kleiner werdender Widerstand = steigender Strom.



Versuch 4

Hier sind die Widerstände auf den ersten Blick ähnlich angeordnet wie im Versuch 1. Wir sehen aber in der Abbildung 11, daß R2 direkt mit der Lampe und der Batterie verbunden ist und R1 über den Schalter S ebenfalls angeschlossen werden kann. Es handelt sich daher um eine Parallelschaltung, d. h. um nebeneinander angeordnete und miteinander verbundene Widerstände. Der Gesamtwiderstand ist dabei immer kleiner als der kleinste Einzelwiderstand. Auch hierfür gibt es eine Formel:

$$R_{\text{gesamt}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \cdot 47}{100 + 47} = 31,9 \Omega \text{ (also rd. } 32 \Omega \text{).}$$

Wenn wir daher den Widerstand R1 mit dem Schalter parallel zum Widerstand R2 legen, sinkt der Gesamtwiderstand, und die Lampe brennt heller als vorher allein mit R2. Wir merken uns auch hier: Kleiner werdender Widerstand = steigender Strom oder umgekehrt. In diesem Versuch gilt wie bei den anderen, daß die Spannung konstant bleibt.

Für den Fall, daß mehr als zwei Widerstände parallel liegen und der Gesamtwiderstand ermittelt werden muß, gibt es noch eine andere

Formel. Sie lautet: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ usw., z. B. bei $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 50 \Omega$ und $R_3 = 30 \Omega$ heißt es:

$$\frac{1}{R_{\text{gesamt}}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{50} + \frac{1}{30} = \frac{3}{300} + \frac{6}{300} + \frac{10}{300} = \frac{19}{300}$$

Kehrt man die Formel um, ergibt sich ein Gesamtwiderstand, der kleiner ist als der kleinste Einzelwiderstand:

$$R_{\text{gesamt}} = 300 : 19 = 15,7 \Omega, \text{ also rund } 16 \Omega.$$

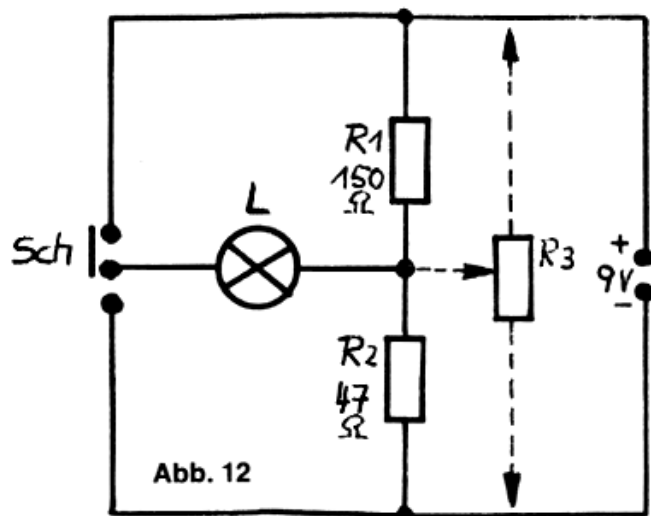
Versuch 5

Vergleichen wir die Abbildung 12 mit den drei vorhergehenden, so fällt auf, daß die Lampe diesmal an einen Punkt geführt ist, der zwischen den Widerständen R_1 und R_2 liegt. In dieser Reihenschaltung verhalten sich die Widerstände 150Ω und 47Ω wie 3:1. Das führt zu der Überlegung, ob nicht auch die Batteriespannung von 9 V im Verhältnis 3:1 aufgeteilt wird, wenn wir sie an die Widerstände anschließen.

Um das herauszufinden, wollen wir das Ohmsche Gesetz anwenden. Wir runden die Zahl 47 auf 50 auf (das erleichtert uns den Rechengang) und bekommen damit einen Gesamtwiderstand von 200Ω . Die Batteriespannung beträgt 9 V . Zunächst ermitteln wir den durch die Widerstände fließenden Strom I nach der Formel: $I = \frac{U}{R} = \frac{9}{200} =$

$0,045 \text{ A}$. Danach können wir für beide Widerstände nach der Formel $U = I \cdot R$ die an ihnen „abfallenden“ Spannungen errechnen. Es sind dies (für R_1) $0,045 \cdot 150 = 6,75 \text{ V}$ und (für R_2) $0,045 \cdot 50 = 2,25 \text{ V}$. Beide Teilspannungen verhalten sich also tatsächlich wie 3:1.

Wir haben daraus gelernt, daß sich die Spannungen an den einzelnen Widerständen einer Reihenschaltung so zueinander verhalten wie die entsprechenden Widerstandswerte. Man nennt diese Anordnung deshalb auch „Spannungsteiler“ und benutzt sie, um für bestimmte Zwecke verschieden hohe Spannungen abzugreifen. Wenn z. B. in unserem Versuch der Widerstand R_1 mit dem Schalter parallel zur Lampe gelegt wird, so brennt die Lampe hell, weil (wie wir errechnet haben) am Widerstand R_1 die größere Teilspannung, oder, wie man auch sagt, der größere „Spannungsabfall“ auftritt. Schalten wir die Lampe parallel zum Widerstand R_2 , leuchtet sie infolge der kleineren Teilspannung auch nur ganz schwach. Wir könnten die beiden Einzelwiderstände auch durch einen Einstellwiderstand (Potentiometer) ersetzen, wie es in Abbildung 12 angedeutet ist.



Kapitel 2

Von der Wechselspannung bis zum Kondensator

2.1. Wechselspannung und Wechselstrom

Bei der Erläuterung des Begriffes „Spannung“ hatten wir schon kurz einmal das wechselseitig hin- und herfließende Wasser erwähnt, und es wurde außerdem dargestellt, daß eine Wechselspannung gewissermaßen mit einem „wechselnden elektrischen Druck“ einen Wechselstrom durch eine angeschlossene Leitung treibt. Während jedoch beim Gleichstrom ein ständiger Elektronenfluß in einer Richtung stattfindet, pendeln die Elektronen beim Wechselstrom praktisch ständig in der Leitung hin und her, je nachdem, von welcher Seite der „elektrische Spannungsdruck“ sie beeinflusst.

Nun könnten wir annehmen, daß dann die Elektronen (weil sie sich ja immer nur hin- und herbewegen) gar keinen richtigen Strom durch die Leitung fließen lassen. An einem Vergleich sehen wir aber, wie trotzdem ein Stromfluß zustande kommt. In Abbildung 13 liegen einige Kugeln eng hintereinander in einer geraden Reihe. Wenn die rechte Kugel in Bewegung gesetzt wird und gegen die anderen prallt, kommt sie sofort zum Stillstand. Die linke Kugel aber löst sich im gleichen Augenblick von der Reihe und bewegt sich allein weiter. Wenn sie umkehrt und nun ihrerseits auf die Kugelreihe prallt, spielt sich der gleiche Vorgang in der anderen Richtung ab und die rechte Kugel entfernt sich allein von der Reihe (Abb. 14).

Wir stellen uns einen ähnlichen Vorgang auch bei den Elektronen in einer Leitung vor. Werden sie in Bewegung gesetzt, weil eine elektrische Spannung sie treibt, stoßen sie sich gegenseitig an und übermitteln so (von Elektron zu Elektron) einen Strom mit Lichtgeschwindigkeit (300 000 km in der Sekunde). Der „Stromtransport“ durch die Leitung erfolgt also nicht etwa durch Elektronen, die aus einer Spannungsquelle in die „leere“ Leitung fließen und dann z. B. schließlich eine Lampe aufleuchten lassen, sondern weil die Elektronen aus der Spannungsquelle auf die Leitungselektronen treffen und dadurch den elektrischen Strom auslösen. Natürlich bewegen sich auch die Elektronen in der Leitung, aber ihre Eigenbewegungen sind sehr viel langsamer als der eben beschriebene Vorgang.

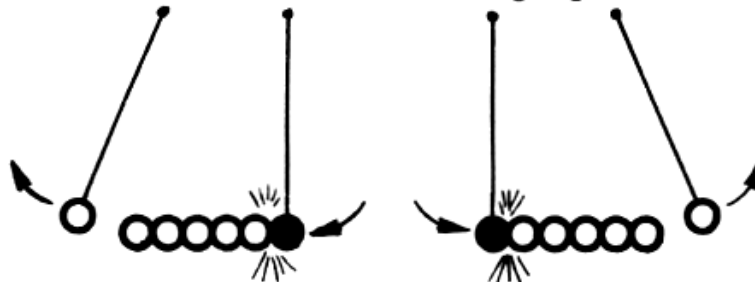


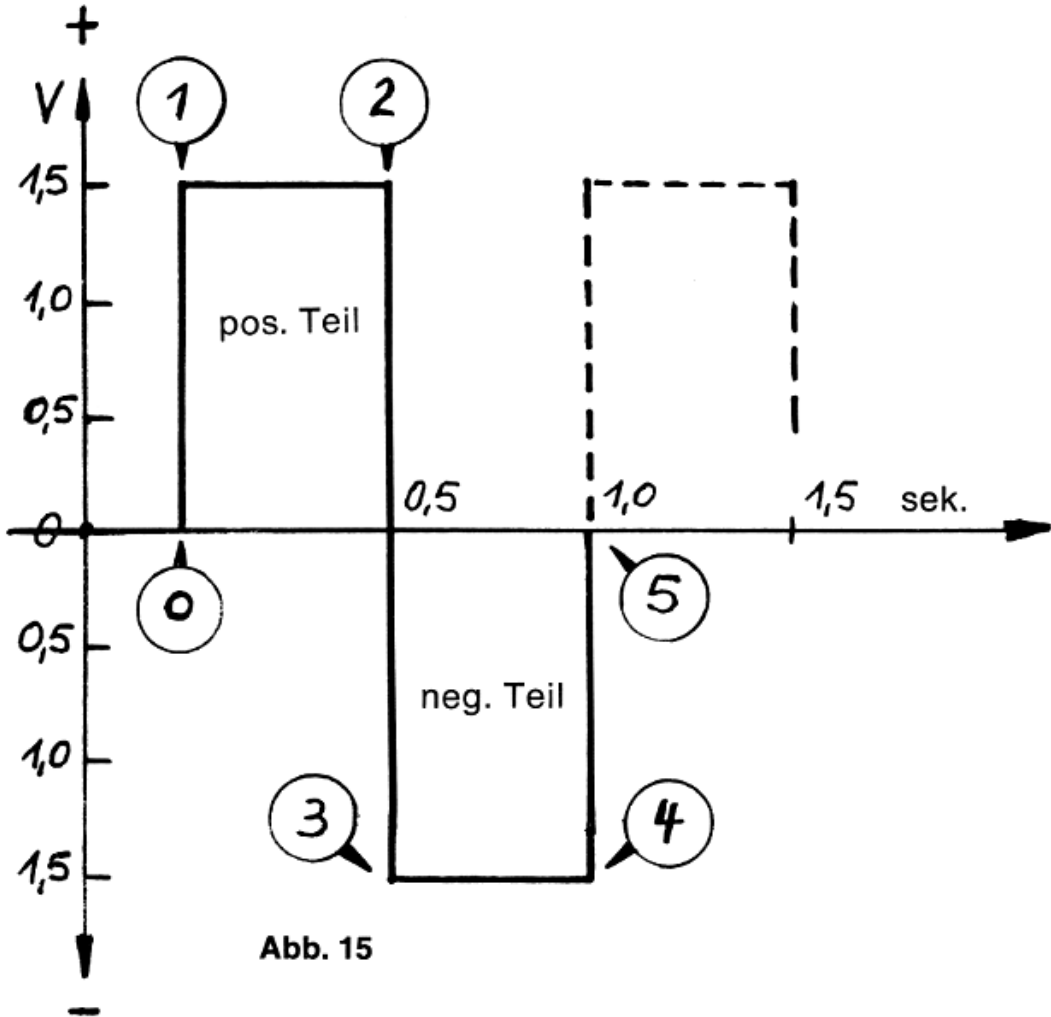
Abb. 13

Abb. 14

Das Kurzzeichen für Gleichspannung und Gleichstrom besteht aus zwei parallelen Strichen =, während für Wechselspannungen und Wechselstrom eine Wellenlinie ~ gebraucht wird.

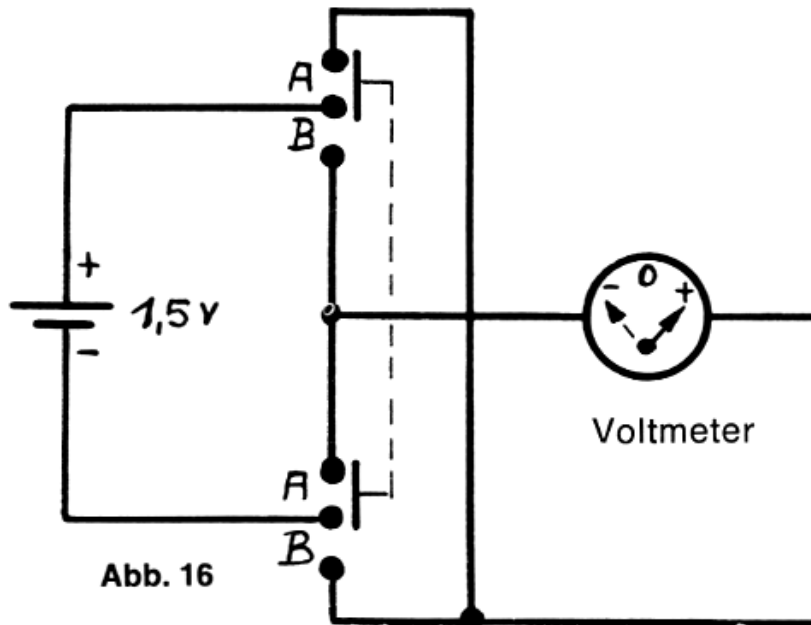
2.2. **Amplitude, Periode, Frequenz**

Wir haben gehört, daß die Wechselspannung und der Wechselstrom ständig ihre Richtung ändern. Es ist nun wichtig zu wissen, mit welcher Geschwindigkeit dieses Hin- und Herfließen passiert und welchen Weg dabei der Strom und die Spannung zurücklegen. Man kann das gut in einer Zeichnung darstellen, die in Abbildung 15 zu sehen ist. Von links nach rechts ist auf der Nulllinie die Zeit eingetragen, während das Hin- und Herfließen in senkrechter Richtung aufgezeichnet wird.



Beginnen wir also mit Hilfe der in Abbildung 16 angegebenen Schaltung auf dem Papier eine Wechselspannung zu konstruieren. Die Batterie liefert uns zwar nur eine Gleichspannung, aber da wir die Batterie mit einem Schalter von Fall zu Fall umpolen, also ihre Anschlüsse „wechseln“ können, ergibt sich somit die notwendige Richtungsände-

rung. Wir schalten im Punkt Null die Spannung ein (Schalterstellung A) und stellen am Meßinstrument sofort einen Zeigerausschlag von $+1,5\text{ V}$ fest. Dieser Betrag wird in das Diagramm eingetragen (Punkt 1) und eine Linie von 0 nach 1 gezogen. Während einer bestimmten Zeit ändert sich jetzt an der Schaltung nichts, die Spannung von $+1,5\text{ V}$ bleibt also auf gleicher Höhe stehen (waagerechte Linie). Erst in Punkt 2 erhalten wir eine andere Situation. Hier werden die Batterieanschlüsse umgepolt, und die Spannung ändert ihre Richtung. Der Zeiger des Meßinstrumentes wandert beim Umschalten durch den Nullpunkt in den negativen Anzeigebereich und bleibt bei $-1,5\text{ V}$ stehen. Dieser Wert ist mit Punkt 3 im Diagramm bezeichnet. Verbinden wir 2 mit 3, so schneidet die Linie (genau wie vorher der Zeiger



des Instrumentes) ebenfalls die Nulllinie. Anschließend bleibt für eine gewisse Zeit der Schalter wieder geschlossen, so daß sich die Spannung von $-1,5\text{ V}$ nicht ändert. Erst im Punkt 4 wird auf Stellung A zurückgeschaltet, und die Spannung kehrt erneut ihre Richtung um. Beim Erreichen der Nulllinie ist der erste Schwingungszug vollendet. Die Gesamthöhe der Schwingung von Punkt 2 bis Punkt 3 wird als **Amplitude** bezeichnet. Sie hat in unserem Beispiel eine Größe von 3 V , zusammengesetzt aus dem positiven und dem negativen Teil der Schwingung.

Um unseren eckigen Spannungskurvenzug schreiben zu können, mußten wir den Schalter für eine gewisse Zeit in Stellung A bzw. B stehenlassen, und zwar jeweils für eine halbe Sekunde. Dies können wir aus der Zeiteinteilung auf der waagerechten Linie ablesen. Die gesamte Schwingung dauert also eine Sekunde, und man bezeichnet einen derartigen Schwingungszug als **Periode** des Wechselstroms

oder der Wechselspannung. Die Anzahl der Perioden oder Schwingungen in einer Sekunde nennt man **Frequenz** (Kurzform f). In unserem Zeichenbeispiel haben wir also eine sehr niedrige Frequenz, denn nur einmal in der Sekunde beschreibt die Wechselspannung eine Periode.

2.3. **Hertz, Kilohertz, Megahertz**

Um unterschiedliche Frequenzen zu kennzeichnen, verwendet man den Ausdruck **Hertz**. Er gibt an, wieviel mal in einer Sekunde eine Periode bzw. eine Schwingung ausgeführt wird. Unser Kurvenzug hat demnach eine Frequenz von 1 Hertz. Der Wechselstrom des Lichtnetzes hat 50 Hertz, abgekürzt geschrieben 50 Hz.

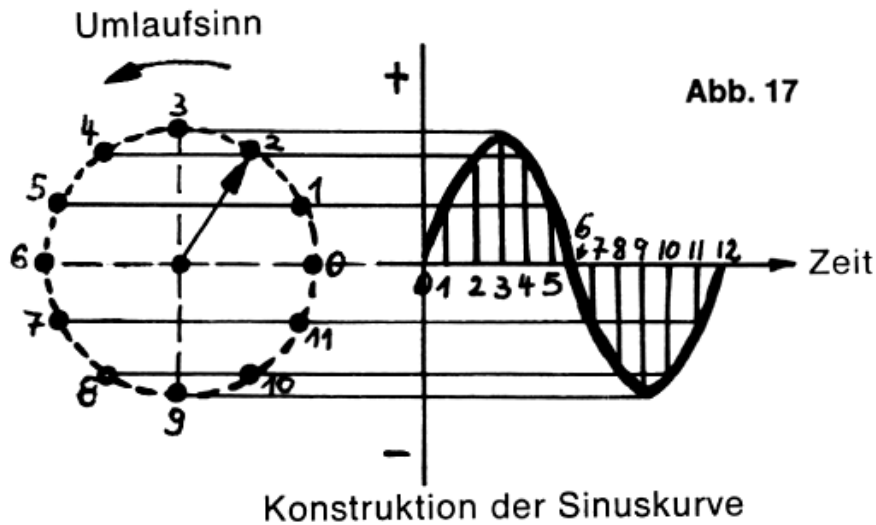
In der Radiotechnik werden jedoch sehr viel höhere Frequenzen verwendet. Mittelwellensender arbeiten mit Frequenzen von 550 000 bis 1 620 000 Hz = 550 kHz bis 1620 kHz (Kilohertz) oder 0,55 bis 1,62 MHz (Megahertz). UKW-Stationen senden auf noch höheren Frequenzen, und zwar von 87,5 bis 104 MHz, während die Fernsehsender des 1. Programms mit ihren Kanälen 5–12 in einem Bereich liegen, der von 174 bis 230 MHz reicht. Im darauffolgenden Frequenzgebiet finden wir die UHF-Fernsehsender der 2. und 3. Programme, die zwischen 470 und 790 MHz arbeiten. Diese Frequenzen sind die „Trägerwellen“, auf denen Sprache, Musik und Bilder von den Sendern zu den Empfängern transportiert werden.

Was wir als Sprache, Musik und Geräusche mit unseren Ohren hören, sind Schallwellen. Sie nehmen ebenfalls einen bestimmten Frequenzumfang ein. Der tiefste noch hörbare Ton liegt bei etwa 16 Hz (also 16 Schwingungen in der Sekunde), und die obere Grenze schwankt zwischen 16 000 und 20 000 Hz. So gut hört man übrigens nur in jungen Jahren, mit zunehmendem Alter kann man vor allem hohe Töne immer schlechter wahrnehmen. Diese Tonfrequenzen kann man natürlich auch als elektrische Schwingungen erzeugen.

Um den Ausflug in die Frequenzen abzurunden, werfen wir noch einen Blick auf den Fernsehschirm. Alles, was wir dort sehen, wird ebenfalls von elektrischen Schwingungen hervorgerufen. Die hellen, grauen oder dunklen Bildstellen beim Schwarzweißfernsehen und die bunten Bilder des Farbfernsehens werden elektronisch von Frequenzen gesteuert, die vom Gleichstrom (also Null Hertz) bis zu 5 MHz hinaufreichen. Je feiner eine Bildeinheit ist, um so höher ist die zu ihr gehörende Frequenz. Doch nun zurück zu unserer Kurve in Abbildung 15.

2.4. **Sinusschwingungen**

Die dort gezeichnete Schwingung ist eine sogenannte Rechteckkurve. Wir werden sie später bei den Impulsgeneratoren in Kapitel 4 wiederfinden. Der normale Wechselstrom bzw. die Wechselspannung fließt in einer viel weicheren Kurve, die man **Sinuskurve** oder Sinusschwin-



gung nennt. Sie ist in Abbildung 17 dargestellt. Eine solche Form haben z. B. die 220-V-Wechselspannung des Lichtnetzes und die Trägerwellen der Sender.

Bei einer Sinuskurve nimmt der Strom oder die Spannung zunächst langsam zu, der Startpunkt liegt wie in Abbildung 15 bei Null. Nach dem Erreichen des oberen Höchstwertes (Punkt 1) kehrt sich die Richtung um, es wird die Nulllinie überschritten (Punkt 2) und dann der untere Höchstwert erreicht (Punkt 3). Dort ändert sich die Richtung wieder, und bei Punkt 4 endet die Sinuskurve auf der Nulllinie. Die Höhe der Schwingung, also ihr Abstand von Punkt 1 bis 3, nennt man auch hier Amplitude. Man bezeichnet die obere Hälfte der Kurve als positive Halbwelle und die untere Hälfte als negative Halbwelle. Die Plus- und Minuszeichen in der Abbildung 15 weisen auch darauf hin.

Wir erkennen daraus: Wechselstrom und Wechselspannung haben zwei Bewegungsrichtungen. Die wechselnde Polarität beruht auf dem Pendeln zwischen Plus und Minus.

Eine Wechselspannung können wir leider nicht in einer Batterie speichern und nach Wunsch einschalten wie die Gleichspannung. Wechselspannungen erzeugt man in sogenannten Generatoren, und sie müssen nach dem Erzeugen auch sofort verwendet werden. Das Elektrizitätswerk liefert uns fortwährend die 50-Hz-Wechselspannung ins Haus, fallen die Generatoren aus, ist alles dunkel! (Da hilft dann nur noch die Taschenlampe mit ihrer gespeicherten Gleichspannung in der Batterie.) Wie man mit Dynamomaschinen Strom erzeugt, erfahren wir unter anderem im nächsten Abschnitt.

2.5. **Magnetische Wirkungen**

Zu den interessantesten elektronischen Bauelementen gehören die Spulen. Während bei den Widerständen nur ein Spannungsabfall auf-

tritt und – wenn der durch den Widerstand fließende Strom sehr stark ist – eine Erwärmung stattfindet, können wir bei den Spulen außerdem noch eine ganz andere Eigenschaft feststellen. Bei ihnen gibt es nämlich auch eine magnetische Wirkung, die von enormer Wichtigkeit in der Elektrotechnik ist.

Die magnetische Wirkung läßt sich bereits an einem einzelnen Draht nachweisen, durch den ein Strom hindurchfließt. Leider sind wir nicht in der Lage, die magnetischen Wirkungen mit unseren Sinnesorganen zu erfassen, sondern müssen dazu andere Hilfsmittel benutzen. Das können Meßinstrumente sein, aber auch Kompaßnadeln oder feine Eisenspänen kann man verwenden. In den folgenden Abbildungen werden wir sie bei verschiedenen Nachweisen gebrauchen.

Magnetische Wirkungen kennen wir alle von einem Stabmagneten her. Eisenteile werden angezogen, und man kann sie auch magnetisieren, so daß sie selber wie ein Magnet wirken. Der Wirkungsbereich eines Magneten mit seinem Nord- und Südpol wird durch ein sogenanntes „magnetisches Feld“ dargestellt. Weil es normalerweise unsichtbar ist, wollen wir in Versuch 6 mit einem kleinen Trick nachhelfen, es dennoch sichtbar zu machen.

Versuch 6

Wir beschaffen uns Eisenspänen, ein Stück Papier und einen Stabmagneten. Das Papier legen wir auf den Magneten und streuen die Eisenspänen darauf. Sie werden sich ziemlich unregelmäßig an beiden Magnetpolen anhäufen. Wenn wir aber vorsichtig an das Papier klopfen, ordnen sich die Eisenspänen nach einem ganz bestimmten Muster aus, das dem der Kraftlinien des magnetischen Feldes entspricht. In Abbildung 18 ist dies gezeigt. Die Kraftlinien verlaufen innerhalb des Magneten vom Süd- zum Nordpol und treten am Nordpol in den freien Raum aus. Außerhalb des Magneten bewegen sich die Kraftlinien vom Nord- zum Südpol. Unsere Eisenspänen deuten den Linienvorlauf an.

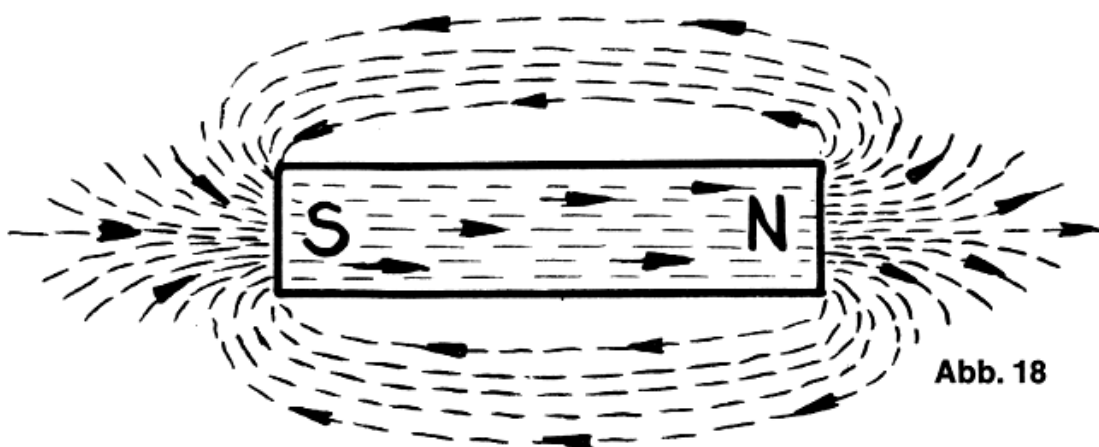


Abb. 18

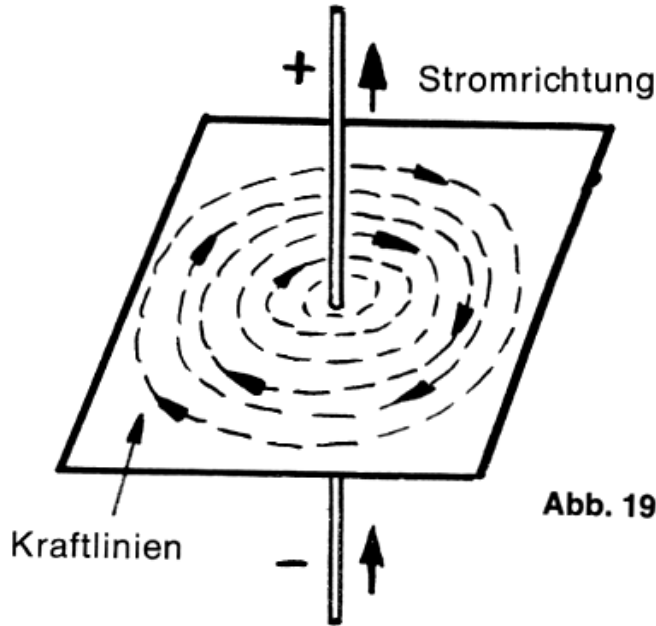


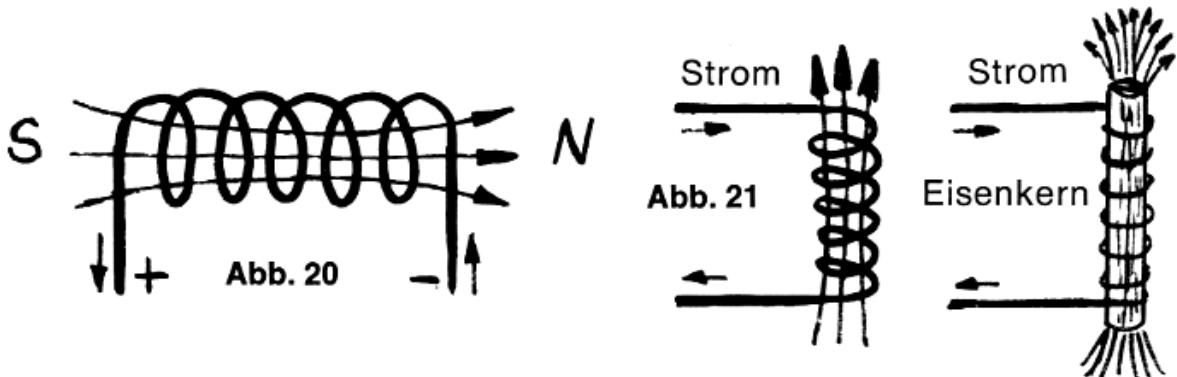
Abb. 19

Wollten wir jetzt diese magnetischen Kraftlinien bei einem stromdurchflossenen Draht nachweisen, müßten wir eine Anordnung nach Abbildung 19 haben. Kleine Eisenspänchen sind auf dem Papier verteilt, durch dessen Mitte der Draht führt. Schließen wir diesen an eine Batterie an, so fließt ein Gleichstrom durch den Draht. Dabei ordnen sich (ähnlich wie in Abbildung 18) die Eisenspänchen nach einem bestimmten Muster. Vom stromdurchflossenen Draht geht also eine unsichtbare Kraft aus, die einen Einfluß auf kleine Eisenteilchen hat. Diese Kraft muß magnetischen Ursprungs sein.

Wir schließen daraus: Wenn ein elektrischer Strom durch einen Draht fließt, baut sich um den Draht ein **magnetisches Feld** auf, dessen Kraftlinien oder Feldlinien kreisförmig verlaufen.

2.6. Vom Draht zur Spule

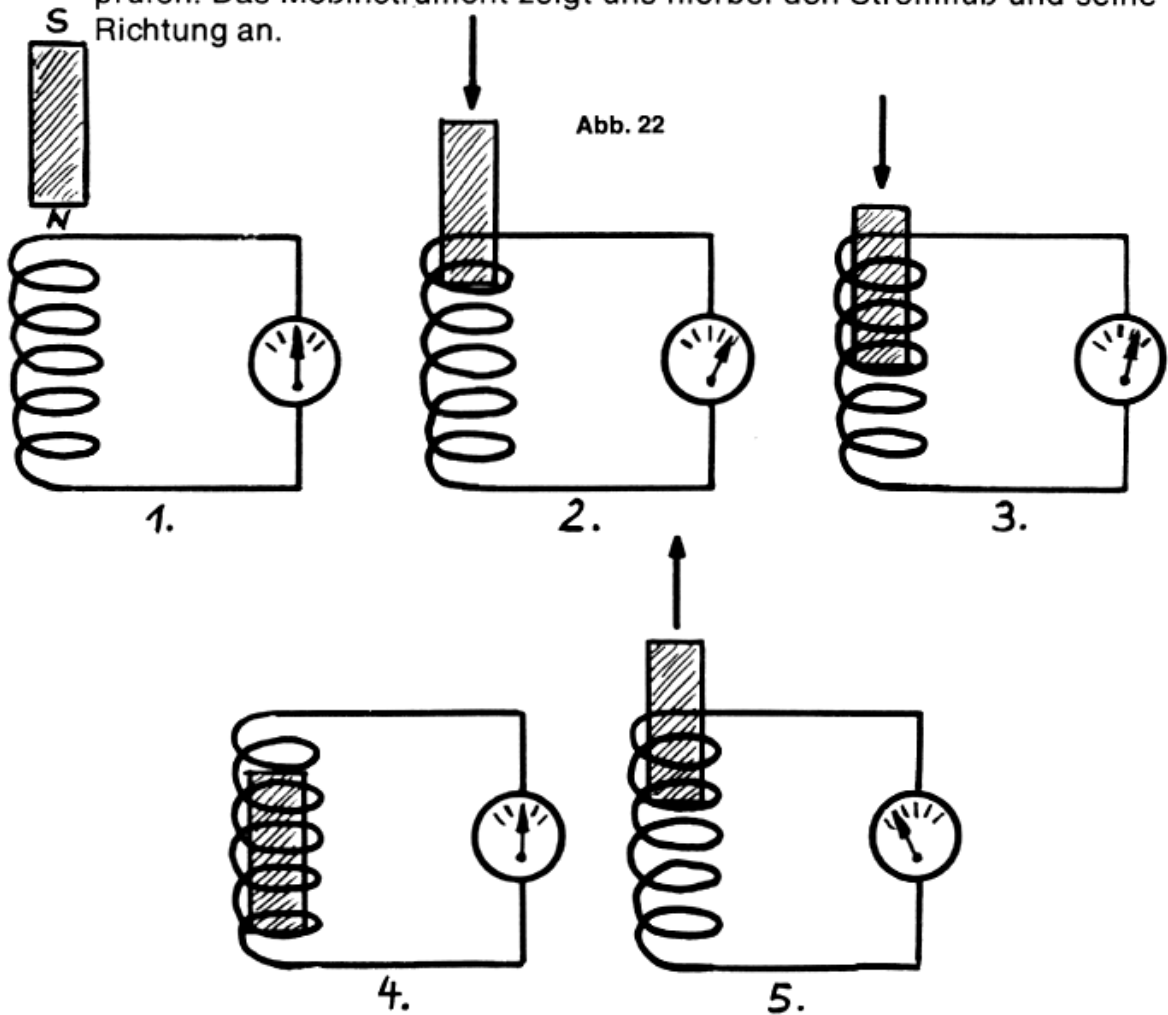
Wenn man einen Draht zu einer Spule formt und durch diese dann einen Strom schickt, bilden sich natürlich ebenfalls magnetische Kraftlinien aus. Weil die einzelnen Drahtwindungen verhältnismäßig eng nebeneinander liegen, summieren sich die auftretenden Kraftlinien-



felder. Dadurch entsteht im Inneren der Spule ein starkes magnetisches Feld, das an den Enden der Spule einen Nordpol und einen Südpol hat. In Abbildung 20 ist dies zeichnerisch dargestellt.

Wir können das Magnetfeld in der Spule weiter verstärken, wenn wir nach Abbildung 21 einen Eisenkern verwenden. Eisen leitet die Kraftlinien noch besser als Luft, und das magnetische Feld wird dadurch kräftiger. Der Eisenkern in der Spule wird dabei selber magnetisch, solange ein Strom durch die Spule fließt. Er zieht also Eisenteilchen an, und eine Kompaßnadel spricht auf die Pole dieses „Elektromagneten“ an.

Bei den bisherigen Versuchen war die Spule mit einer Gleichspannungsquelle verbunden. Sie liefert den erforderlichen Strom, der die magnetischen Wirkungen hervorruft. Wir können uns nun fragen, ob sich dieses Verfahren nicht auch umkehren läßt. Wenn man also einen magnetischen Einfluß auf die Spule ausübt, müßte eigentlich in ihr ein Strom fließen und eine Spannung an den Enden der Spule auftreten. Wir wollen mit einer Anordnung nach Abbildung 22 diese Frage prüfen. Das Meßinstrument zeigt uns hierbei den Stromfluß und seine Richtung an.



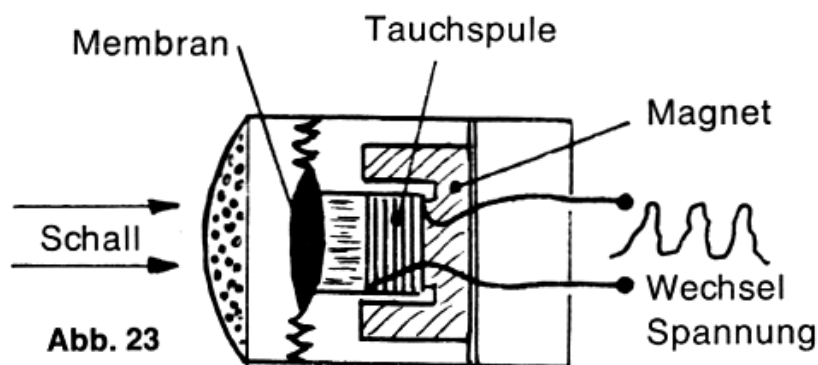
Im ersten Bild befindet sich der Stabmagnet außerhalb der Spule im Ruhezustand; seine Wirkung auf die Spule ist gleich Null, und das Instrument zeigt keinen Ausschlag an. In den beiden nächsten Bildern **bewegt** sich der Magnet in die Spule hinein, und wir sehen einen deutlichen Zeigerausschlag nach rechts. Es fließt also ein Strom durch die Spule! Wenn jedoch der Magnet innerhalb der Spule stillsteht wie im vierten Bild, zeigt auch der Zeiger des Instrumentes auf Null. Jetzt fließt also kein Strom! Bewegt sich der Magnet aber (in entgegengesetzter Richtung) aus der Spule heraus, so beginnt das Instrument wieder einen Stromfluß anzuzeigen; diesmal schlägt der Zeiger zur linken Seite aus.

Was bedeutet dieser Vorgang? Wir stellen fest, daß ein Strom fließt, wenn sich der Magnet bewegt. Und wenn wir Abbildung 18 ansehen, wissen wir natürlich, daß sich mit ihm dann auch die unsichtbaren Kraftlinien seines magnetischen Feldes bewegen! Damit haben wir zugleich die Antwort auf unsere obige Frage gefunden: Ein Stromfluß kann nur dann stattfinden, wenn die sich bewegenden Kraftlinien den Draht einer Spule „schneiden“ oder (wenn die Spule bewegt wird) der Draht die Kraftlinien des Magneten schneidet.

Je schneller sich dieser Bewegungsablauf abspielt, um so kräftiger wird der Spulenstrom sein. Tauchen wir den Magneten in einer gleichmäßigen Folge in die Spule hinein, dann erhalten wir in der Spule einen fließenden Wechselstrom. Seine Frequenz ist abhängig von der Häufigkeit des Eintauchens.

Wo ein Strom fließt, muß auch eine Spannung sein. Würden wir ein geeignetes Meßinstrument mit den Enden der Spule verbinden, so könnten wir feststellen, daß tatsächlich in der Spule eine Spannung entsteht. Sie erscheint während der Zeit des Stromflusses, d. h., wenn der Magnet mit seinen Kraftlinien in die Spule eintaucht oder aus ihr herauskommt. Diese Spannung nennt man **Induktionsspannung**. Sie wird auch als EMK (elektromotorische Kraft) bezeichnet.

Nach diesem Prinzip arbeiten beispielsweise die riesigen Generatoren in den Elektrizitätswerken, die den 50-Hz-Wechselstrom unseres Lichtnetzes liefern, und ebenfalls die kleinen Dynamos an den Fahr-



rädern. Ein Beispiel aus der Elektronik zeigt Abbildung 23 mit dem Schema eines Tauchspulenmikrofons. Wir sehen hier einen Magneten, in dessen Magnetfeld sich eine Spule bewegt, wenn Schall auf die Membrane trifft. Bei den Bewegungen der Spule wird in ihr eine Wechselspannung „induziert“, die dann z. B. über einen angeschlossenen Verstärker von einem Lautsprecher wiedergegeben werden kann.

2.7. Transformatoren

Wir haben im letzten Abschnitt erfahren, daß ein gleichstromdurchflossener Draht eine magnetische Wirkung hat. Können wir daher mit einem solchen Draht in einem anderen Draht einen Stromfluß hervorrufen? Die Frage kann klar mit Ja beantwortet werden, wenn eine Voraussetzung erfüllt ist: Das magnetische Feld des ersten Drahtes muß mit seinen Kraftlinien den zweiten Draht schneiden. Oder anders gesagt: der zweite Draht muß sich im Bereich der Kraftlinien des ersten Drahtes befinden und muß sich in dessen magnetischen Feld bewegen.

Ein wesentlich eleganterer Weg ist der, den Strom für den ersten Draht aus einer Wechselspannungsquelle zu beziehen. Dadurch ändert ja bereits der fließende Strom periodisch seine Richtung, und das Magnetfeld mit seinen Kraftlinien wird ebenfalls im gleichen Rhythmus umgepolt. Beide Drähte brauchen nun in ihrer Lage zueinander nicht mehr verändert zu werden. Der Wechselstrom des ersten Drahtes induziert jetzt im zweiten Draht einen Wechselstrom, denn beide Drähte sind magnetisch miteinander gekoppelt. Dabei wird eine sich ändernde Stromform auf benachbarte Drähte „übertragen“, wenn diese sich im Bereich des magnetischen Kraftfeldes befinden.

Bilden wir aus beiden Drähten zwei Spulen und bringen sie nahe genug zueinander (Abbildung 24), so überträgt auch hier die erste Spule (die Primärspule) den Wechselstrom auf die zweite Spule (die Sekundärspule). Es ist uns außerdem klar, daß sich mit einem Eisenkern die Wirkung verstärken läßt. Ein solcher Aufbau ist in Abbildung 25 angegeben. Benutzen wir eine andere Form des Eisenkerns, erhal-

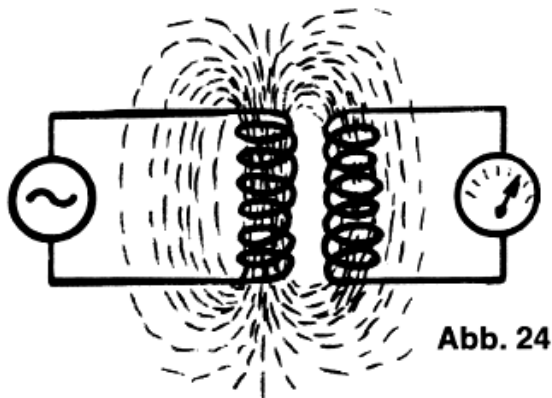


Abb. 24

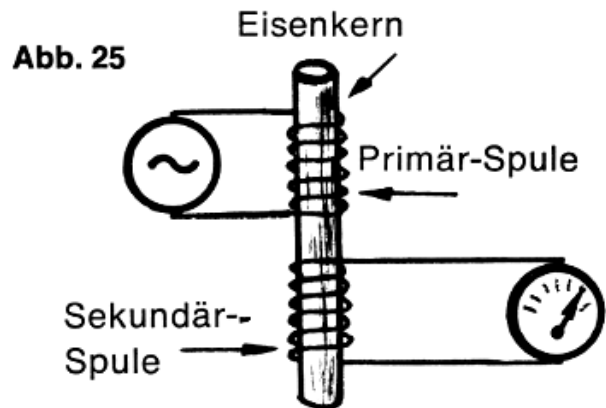
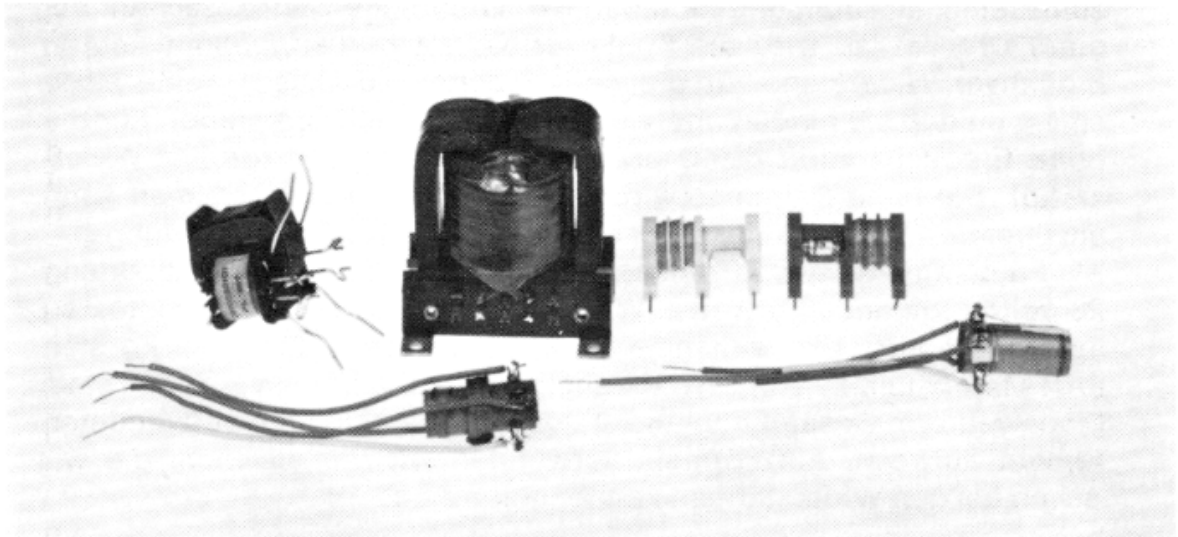


Abb. 25

ten wir einen Übertrager, wie er in zahlreichen elektronischen Geräten anzutreffen ist.

Nach dem eben Gesagten funktioniert der Übertrager, den man auch Transformator nennt, nur bei Wechselströmen und Wechselspannungen. Es gibt ihn für niedrige Frequenzen als Netztransformator (50 Hz) oder als Ausgangstransformator in Lautsprecherstufen (ca. 50 bis 15 000 Hz), aber auch für hohe Frequenzen als sogenannte Zwischenfrequenz- und Hochfrequenzübertrager. Sie alle unterscheiden sich je nach Anwendungsart in der Ausführungsform und im verwendeten Material. (Einige Beispiele sind in Abbildung 26 zu sehen.)



Nun wollen wir uns mit den Bezeichnungen bei Spulen bekanntmachen. Spulen nennt man auch **Induktivitäten**, und das Formelzeichen ist L. Bestimmend für die Größe einer Induktivität ist die Windungszahl, die Spulenform und das Kernmaterial. Als Maßeinheit verwendet man das Henry*, abgekürzt H. Ein Henry ist eine recht große Einheit, und deshalb benutzen wir die Unterteilungen in Millihenry (mH = ein Tausendstel Henry) und Mikrohenry (μH = ein Millionstel Henry).

$$\begin{array}{l} 1 \text{ H} = 1000 \text{ mH} \\ 1 \text{ mH} = 1000 \mu\text{H} \end{array}$$

Eine wichtige Sache müssen wir uns abschließend noch merken: Eine Spule hat zwei Arten von Widerständen. Bekannt ist uns der rein Ohmsche Widerstand des Spulendrahtes, der von der Länge und dem Durchmesser abhängt und den wir als den Gleichstromwiderstand bezeichnen. Darüber hinaus gibt es aber noch den Wechselstromwiderstand, auch als Blindwiderstand oder induktiver Widerstand bekannt.

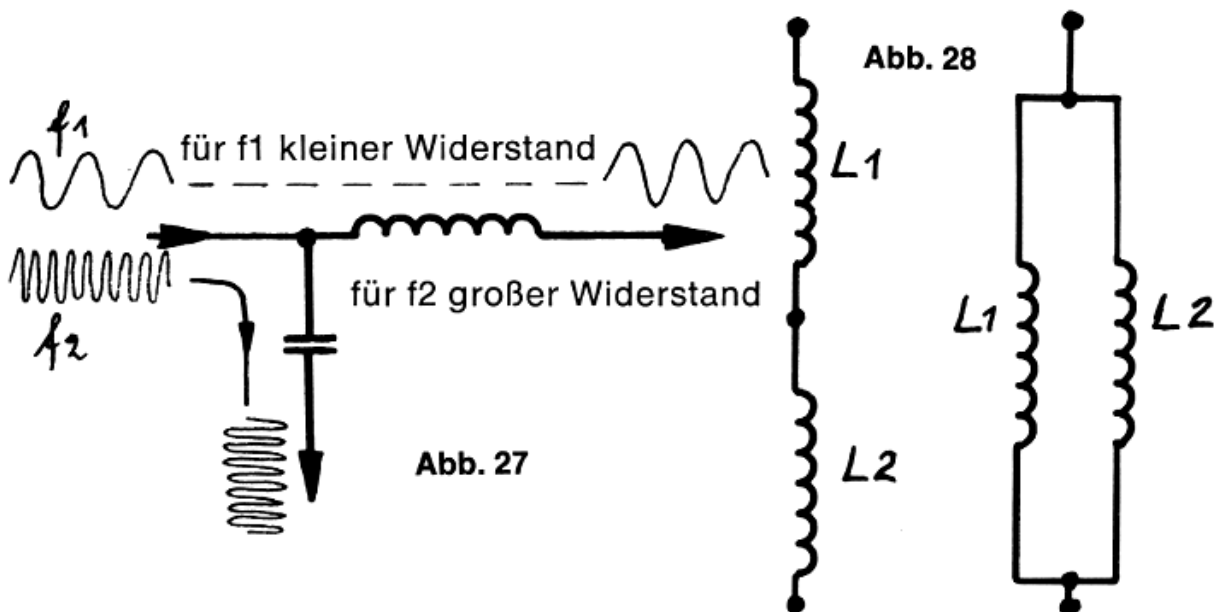
* nach dem amerikanischen Physiker Joseph Henry, 1797–1878.

Wir wissen, daß der Wechselstrom von sehr unterschiedlicher Frequenz sein kann. Dies macht sich bei einer Spule auch unterschiedlich bemerkbar, und zwar beim Ändern des Magnetfeldes. Die Spule setzt nämlich diesem Vorgang ihren „induktiven“ Widerstand entgegen, der um so größer wird, je schneller die Änderungen des Magnetfeldes erfolgen. Der Wechselstromwiderstand einer Spule – also ihr induktiver Widerstand – wird in Ohm gemessen und mit den Buchstaben X_L bezeichnet. Er wird größer bei höher werdender Frequenz bzw. steigender Spulen-Induktivität, ist also frequenzabhängig!

Diese Tatsache nutzt man beispielsweise aus, um zwei Frequenzen zu trennen. In Abbildung 27 sehen wir einen Schaltungsausschnitt mit einer Drossel (so wird die Spule für diesen Zweck genannt), deren induktiver Widerstand für die tiefe Frequenz praktisch keine Rolle spielt, so daß sie hindurchgelassen wird (kleiner Widerstand). Für die hohe Frequenz wirkt die Drossel jedoch als Sperre (großer Widerstand). Die hohe Frequenz wird nicht durchgelassen, und man kann sie über den Kondensator einer anderen Stufe des Gerätes zuführen.

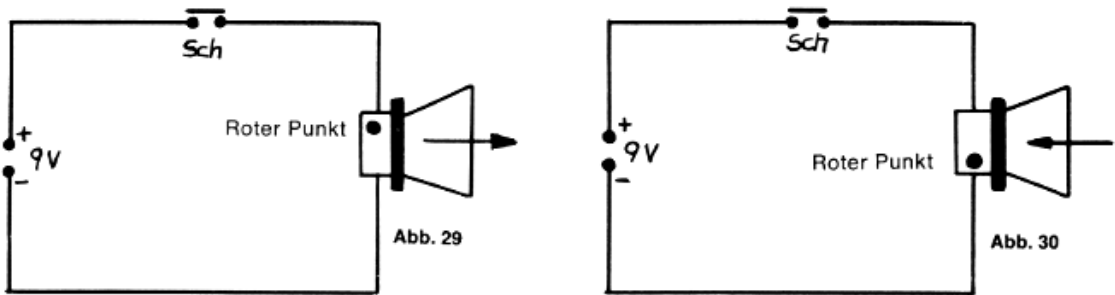
Als Faustregel für das Zusammenschalten von Spulen nach Abbildung 28 gelten folgende Hinweise. Werden Spulen in Reihe geschaltet, so vergrößert sich die wirksame Induktivität etwa nach der Formel: $L_{gesamt} = L_1 + L_2 + L_3$ usw. Parallelgeschaltete Spulen ergeben stets eine kleinere Gesamtinduktivität als die kleinste der verwendeten Spulen aufweist. Als Formeln verwenden wir die gleichen, die wir schon bei den Widerständen kennengelernt haben:

$$L_{gesamt} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \text{ oder } \frac{1}{L_{gesamt}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \text{ usw.}$$

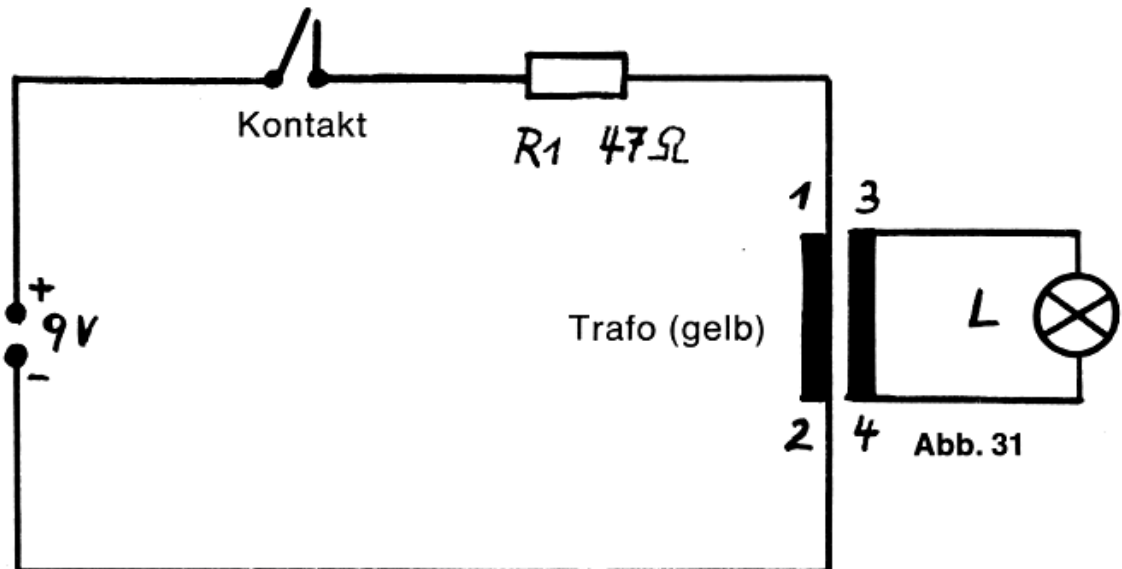


2.8. Versuche mit Spulen

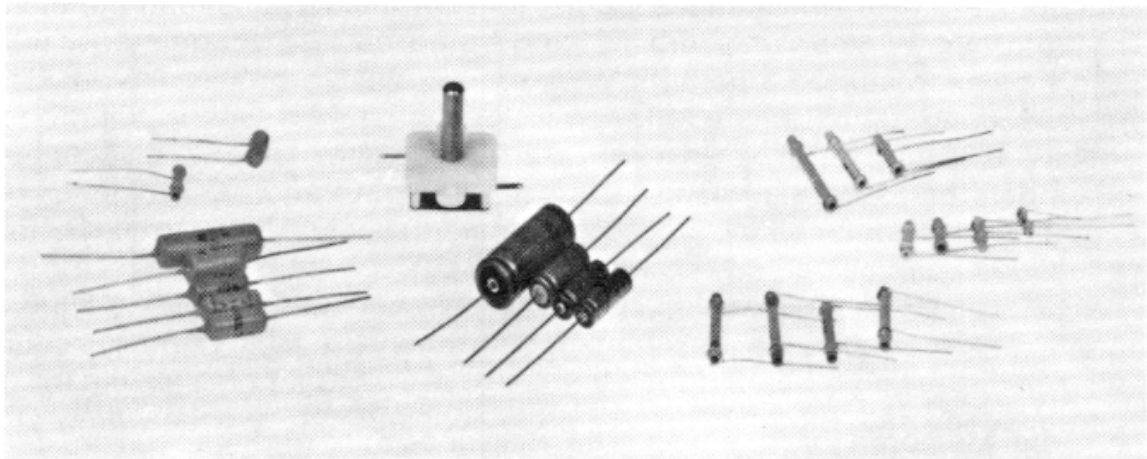
Wir können in den folgenden Versuchen magnetische Wirkungen beobachten. Dazu benötigen wir als „Anzeigegerät“ einen Lautsprecher, der einen Dauermagneten hat, in dessen Feld sich eine Schwingspule befindet. Wenn der Schalter in den Abbildungen 29 und 30 geschlossen wird, fließt ein Gleichstrom durch die Schwingspule und baut um sie ein magnetisches Feld mit Nord- und Südpol auf. Die Magnetpole der Spule und die Pole des Lautsprechermagneten wirken dabei aufeinander ein. Das wird an der Bewegung der mit der Spule verbundenen Membran als Abstoßung und Anziehung sichtbar.



Bei dem in Abbildung 29 angegebenen Anschluß des Lautsprechers (Versuch 7, roter Punkt an die Plusseite der Batterie) bewegt sich die Membran nach außen. Die Schwingspule wird dabei von den magnetischen Kräften nach vorn gedrückt. In Abbildung 30 sind die Lautsprecheranschlüsse vertauscht. Daraufhin müßte sich die Membran beim Schließen des Schalters nach innen bewegen, weil Nord- und Südpol des Spulenmagnetfeldes ihre Lage ebenfalls vertauscht haben. Der Versuch 8 bestätigt diese Vermutung. Die Schwingspule wird nach hinten gezogen (siehe Pfeilrichtung).



In Versuch 9 können wir die Induktionswirkung demonstrieren. Wenn der Kontakt K geschlossen wird, fließt ein Gleichstrom durch die Spule und baut ein Magnetfeld auf. Dabei entsteht eine Spannung, die durch ein kurzes Aufleuchten der Lampe L angezeigt wird. Beim Öffnen des Kontaktes bricht das Magnetfeld zusammen. Auch hierbei entsteht eine Spannung in der Spule, die die Lampe erneut zum Aufleuchten bringt. Die Induktionsspannung wird natürlich nur beim Entstehen und Verschwinden des Magnetfeldes erzeugt, und je schneller wir daher den Kontakt öffnen und schließen, um so heller leuchtet die Lampe auf (Abb. 31).



2.9. Kondensatoren

Ein ebenso interessantes Bauteil wie die Spule ist der Kondensator. Er besteht im Prinzip aus zwei Metallplatten oder -folien, die sich in einem bestimmten Abstand gegenüberstehen. Sie berühren sich nicht und sind durch einen Isolator voneinander getrennt. Im einfachsten Fall ist dies Luft, es lassen sich auch Glimmer, Glas oder verschiedene Kunststoffe und keramische Materialien verwenden. In den Philips Baukästen finden wir mehrere Kondensatortypen. Wie die Abbildung 32 zeigt, gibt es dort Polyesterkondensatoren, Elektrolytkondensatoren, keramische Kondensatoren und Drehkondensatoren.

Wenn wir eine Spannung an die Platten des Kondensators legen, kann trotzdem kein Elektronenstrom fließen, weil beide Platten voneinander isoliert sind. Für den Stromweg stellt der Kondensator demnach eine Sperre dar, weil Elektronen sich nicht durch Luft oder ein isolierendes Material hindurchbewegen können. Die an den Platten liegende **Spannung** zeigt hier jedoch eine uns bisher unbekannte Wirkung, durch die der Kondensator zu einem wichtigen Bauelement in der Elektronik wird. Es bildet sich nämlich zwischen den Platten ein sogenanntes „**elektrisches Feld**“ aus, das in Abbildung 33 schematisch dargestellt ist.

Genau wie das magnetische Feld ist auch das elektrische Feld unsichtbar. Nur an gewissen Anzeichen bemerken wir das Vorhandensein eines elektrischen Feldes. Es zieht beispielsweise Staubteilchen an und ist überall dort vorhanden, wo auch eine hohe Spannung wirksam ist. Wir können dies an der Bildröhre eines Fernsehempfängers gut feststellen, weil sich an dem Frontglas der Röhre immer wieder Staub ansammelt. Kein Wunder, denn die Bildröhre arbeitet ja mit einer Hochspannung von rund 20 000 Volt!

In Abbildung 33 ist das elektrische Feld zwischen zwei Platten durch Kraft- oder Feldlinien angedeutet. Im Gegensatz zum Magnetfeld gibt es hier keine Nord- und Südpole, und wir merken uns, daß die elektrischen Wirkungen überhaupt nichts mit den im vorigen Abschnitt beschriebenen magnetischen Wirkungen zu tun haben. Die elektrischen Feldlinien treten auf der an Plus liegenden Platte in den freien Raum aus und werden von der an Minus liegenden Platte aufgenommen. Leider können wir die Feldlinien nicht in einem einfachen Versuch sichtbar machen und müssen uns mit der zeichnerischen Darstellung zufrieden geben.

Bevor wir uns nun genauer mit der Wirkungsweise eines Kondensators befassen, haben wir noch einiges über die Elektronen zu lernen. Im ersten Kapitel erfuhren wir, daß Elektronen die eigentlichen Träger der Elektrizität sind, und der fließende elektrische Strom aus „freien“ Elektronen besteht. Um diese Elektronen geht es jetzt. Sie tragen nämlich eine elektrische Ladung, durch die sie ganz bestimmte Eigenschaften entwickeln und Wirkungen ausüben können.

1. Elektronen sind immer **negativ** geladen.
2. Elektronenüberschuß ist stets am Minuspol einer Spannungsquelle vorhanden, während am Pluspol Elektronenmangel besteht.
3. Elektronen fließen im Stromkreis immer von Minus nach Plus.
4. Elektronen üben eine Kraft aus: Sie stoßen negativ geladene Teilchen ab und ziehen positiv geladene Teilchen an.

In Abbildung 34 ist eine Batterie mit den beiden Platten des Kondensators verbunden, und zwar liegt die linke Seite am Pluspol und die rechte Seite am Minuspol der Spannungsquelle. Was passiert, wenn die Platten zum erstenmal an die Gleichspannung der Batterie angeschlossen werden? Die Antwort können wir aus den Punkten 1–4 zusammenstellen. Zunächst schieben sich die Elektronen aus dem Minuspol zur angeschlossenen Platte. Dort müssen sie haltmachen, da sie den freien Raum zwischen den Platten nicht überwinden können. Sie sammeln sich in großer Zahl an und wirken als elektrisches Feld auf die gegenüberliegende Platte ein (gestrichelt dargestellt). Ein großer Teil der dort vorhandenen freien Leitungselektronen wird vom Pluspol der Batterie angezogen und zusätzlich durch das elek-

trische Feld von der Platte zum Pluspol „geschoben“. Je höher die angelegte Spannung und je kleiner der Plattenabstand ist, um so kräftiger wirkt sich diese „Elektronenverschiebung“ aus.

Wir erkennen daraus, daß zwischen den Platten eines Kondensators eine Kraft wirksam ist. Auf der negativen Seite entstand ein Elektronenüberschuß und auf der positiven Seite ein Elektronenmangel. Es hat also eine Elektronenbewegung stattgefunden, obwohl kein geschlossener Stromkreis vorhanden ist! Dieser sehr kurzzeitig erfolgende Stromfluß wird als „**Ladestrom**“ des Kondensators bezeichnet. In Abbildung 35 sind die Vorgänge schematisch dargestellt. Klemmen wir die Batterie ab, bleibt der Elektronenunterschied zwischen beiden Kondensatorplatten erhalten. Das bedeutet aber nichts anderes, als daß der Kondensator auf eine Gleichspannung aufgeladen worden ist. Er kann also Elektronen und damit Spannungen speichern. Sein Fassungsvermögen hängt von der Größe der Platten oder Metallfolien ab und wird Kapazität genannt. Die verschiedenen Maßeinheiten stehen am Schluß dieses Abschnitts.

Wenn wir nach Abbildung 36 beide Platten mit einem Widerstand oder einem Draht verbinden, so wird sich der bestehende Spannungsunterschied ausgleichen. Die Elektronen fließen vom Überschuß- in das Mangelgebiet. Den dabei auftretenden Stromfluß nennt man „**Entladestrom**“. Nach dem Ausgleich des Elektronenunterschieds ist natürlich keine Spannung mehr im Kondensator vorhanden, und das elektrische Feld ist ebenfalls verschwunden. Es baut sich erst dann wieder auf, wenn erneut eine Spannung an die Kondensatorplatten angeschlossen wird.

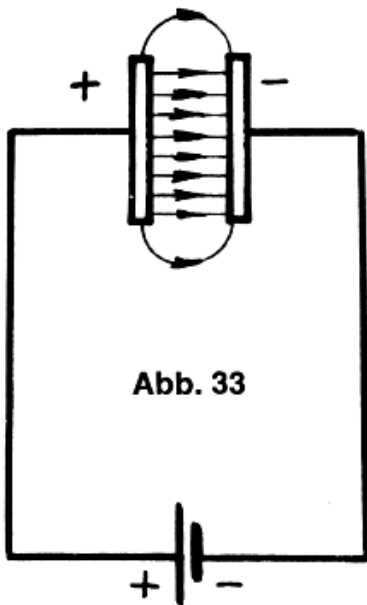


Abb. 33

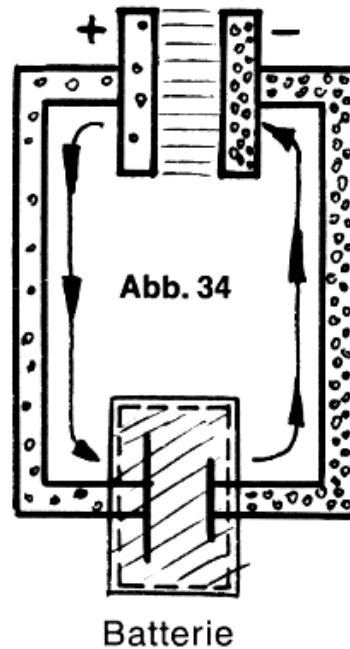
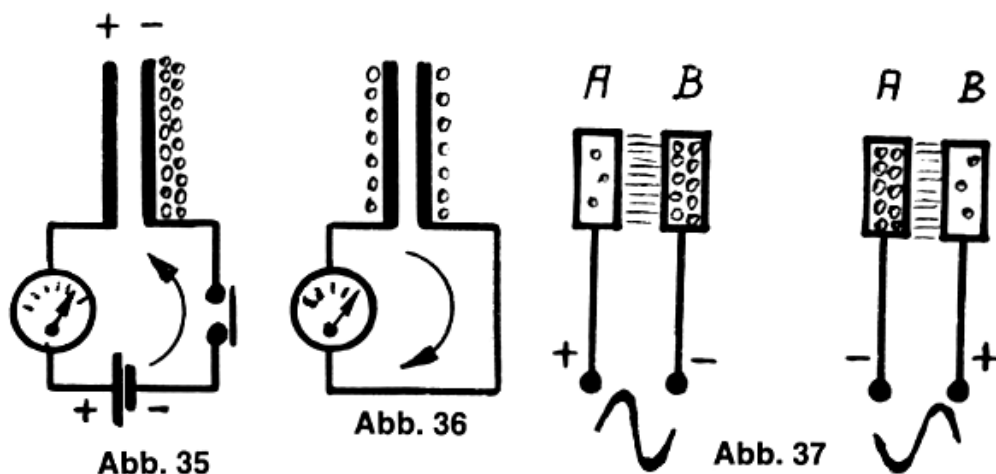


Abb. 34

Batterie



Wir wollen uns jetzt einmal überlegen, was geschieht, wenn statt der Gleichspannung eine Wechselspannung an den Kondensator gelegt wird. Der Unterschied besteht doch darin, daß bei der Wechselspannung eine fortwährende Polaritätsänderung der an den Kondensatorplatten liegenden Spannung stattfindet, während dies bei der Gleichspannung nicht der Fall ist. Werden aber die Spannungspole dauernd umgekehrt, so muß auch der Strom dauernd hin- und herfließen. Die Wechselspannung läßt deshalb den Elektronenüberschuß abwechselnd auf der linken oder rechten Kondensatorplatte entstehen und polt auch die Richtung des elektrischen Feldes dementsprechend um. In Abbildung 37 ist dies angedeutet.

Da auch die Ladeströme wegen der Umladungen des Kondensators ihre Richtung immer wechseln und dabei die Elektronen in beiden Anschlußleitungen des Kondensators hin- und herfließen, können wir aus diesen Erscheinungen folgenden Schluß ziehen: Wechselspannungen werden von einem Kondensator (scheinbar) hindurchgelassen, obwohl keine Elektronen hindurchfließen! Der auftretende Wechselstrom von und zur Stromquelle beruht auf der Wirkung des wechselnden elektrischen Feldes und der dadurch hervorgerufenen wechselnden Elektronenverschiebung auf den Platten.

Als wichtige Tatsache müssen wir uns noch merken, daß auch der Kondensator einen arteigenen Widerstand hat. Er heißt – genau wie bei den Spulen – Wechselstrom- oder Blindwiderstand. Außerdem wird er als „kapazitiver“ Widerstand bezeichnet, mit den Buchstaben X_C versehen und in Ohm angegeben. Weil er bei Wechselströmen auftritt, ist seine Größe natürlich frequenzabhängig: Der kapazitive Widerstand nimmt zu, wenn die Frequenz niedriger bzw. die Kapazität des Kondensators kleiner wird.

Ein einfaches Beispiel für die Anwendung sehen wir in Abbildung 38. Am Eingang der kleinen Schaltung liegen zwei Frequenzen, und zwar eine hohe und eine tiefe, die getrennt werden sollen. Man teilt den

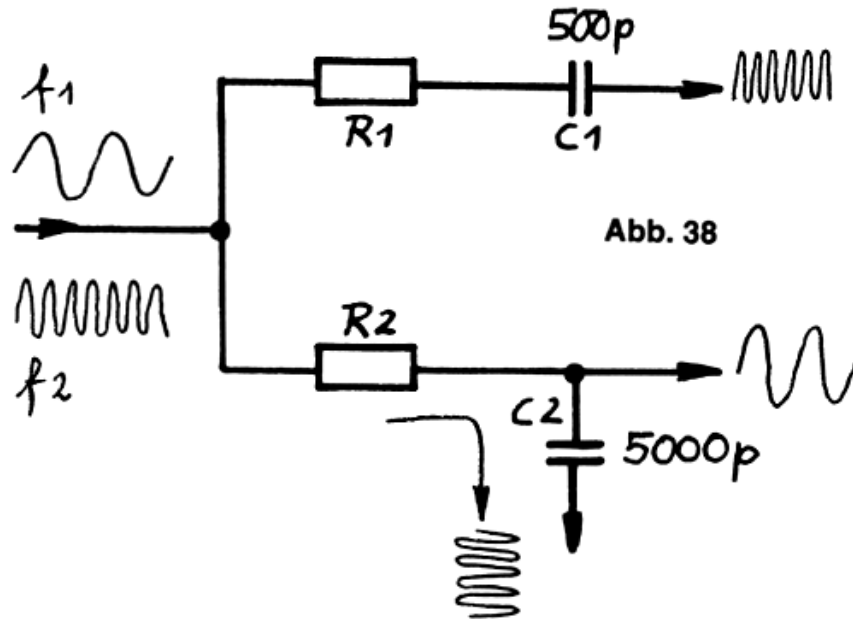


Abb. 38

Weg auf durch R_1 und R_2 und fügt danach die Kondensatoren C_1 und C_2 ein. Ihre Kapazitätswerte stellen für die zu trennenden Frequenzen unterschiedliche Widerstände dar. C_1 läßt deshalb die hohe Frequenz ungehindert durch (kleiner Widerstand) und sperrt die tiefe (großer Widerstand), während C_2 durch seine andere Anordnung in der Schaltung anders wirkt. Sein kleiner Widerstand für hohe Frequenzen bedeutet für diese jetzt praktisch einen Kurzschluß gegen Masse. Sie werden somit herausgefiltert und abgeleitet. Für die tiefen Frequenzen hat C_2 einen großen Widerstand, so daß diese ungehindert weiter fließen können.

Als Maßeinheit für die Kapazität (Formelzeichen C) verwendet man das Farad*, sein Kurzzeichen ist F . Weil es aber eine sehr große Einheit ist, hat man auch hier eine Unterteilung vorgenommen. Gängige Werte sind das Mikrofarad (μF) als millionster Teil, das Nanofarad (nF) als milliardster Teil und das Pikofarad (pF) als billionster Teil eines Farads.

In jüngster Zeit werden auch schon Kondensatoren verwendet, die einige tausend Mikrofarad Kapazität besitzen. Um hier ebenfalls wieder relativ kleine Werte zu bekommen, benutzt man die Einheit Millifarad (mF).

1 F	=	1000 mF
1 mF	=	1000 μF
1 μF	=	1000 nF
1 nF	=	1000 pF

* nach dem englischen Physiker Michael Faraday, 1791–1867.

Abschließend ein Hinweis für die Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren. Wie aus Abbildung 39 ersichtlich, vergrößert sich naturgemäß die Plattenfläche und damit die Kapazität bei der Parallelschaltung. Die Formel lautet: $C_{\text{gesamt}} = C_1 + C_2 + C_3$ usw. Werden mehrere Kondensatoren in Reihe geschaltet, so ergibt sich eine Gesamtkapazität, die kleiner ist als die Kapazität des kleinsten Kondensators. Hierfür gilt die Formel

$$\frac{1}{C_{\text{gesamt}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

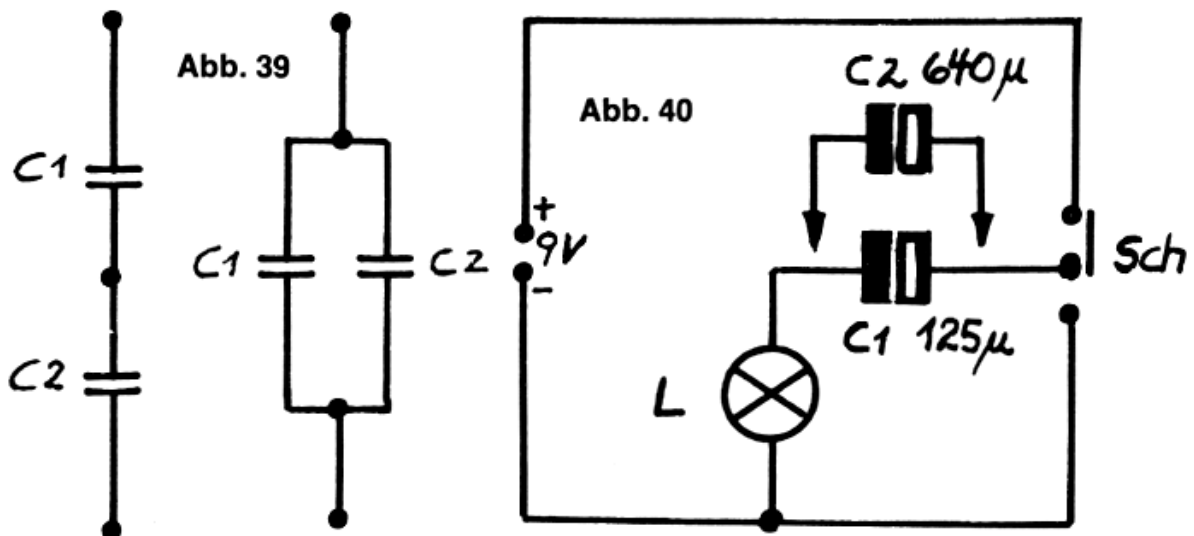
usw. Das Ausrechnen erfolgt wie bei den Widerständen auf Seite 15 angegeben. Sind nur zwei Kondensatoren in Reihe geschaltet, rechnen wir nach der Angabe: $C_{\text{gesamt}} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2}$

2.10. Versuche mit Kondensatoren

In zwei Versuchen wollen wir die in diesem Abschnitt kennengelernten Grundlagen über Kondensatoren praktisch darstellen.

Versuch 9

Er demonstriert das Verhalten eines Kondensators im Gleichstromkreis. Wir haben erfahren, daß beim erstmaligen Anlegen der Gleichspannung solange ein Ladestrom fließt, bis die Elektronenverschiebung auf den Platten beendet ist. Zum Nachweis dient uns in Abbildung 40 eine kleine Glühlampe. Legen wir den Schalter S von Stellung „Entladen“ nach „Aufladen“, so leuchtet die Lampe kurz hell auf, wird dunkler und verlöscht anschließend. Diese Erscheinung weist auf das Fließen eines kurzzeitigen, abklingenden Ladestroms hin. Danach ist der Kondensator auf die Spannung der Batterie aufgeladen.



Wir können den Kondensator jetzt entladen. Die in ihm gespeicherte Spannung läßt dabei einen Entladestrom fließen, der wieder von der Lampe angezeigt wird. Den Entladevorgang lösen wir durch Umliegen des Schalters auf „Entladen“ aus. Die Lampe wird kurz aufleuchten und dann wieder dunkel werden. Wenn wir die Kapazität des Kondensators vergrößern, z. B. durch Parallelschalten eines weiteren, leuchtet die Lampe entsprechend länger und heller.

Versuch 10

Legen wir eine Wechselspannung an den Kondensator, so fließt dauernd ein (Wechsel-) Strom, dessen Größe nur von der Frequenz abhängt, wenn die Spannung und die Kapazität gleichbleiben. Der kapazitive Widerstand X_C wird kleiner, wenn die Frequenz erhöht oder die Kapazität vergrößert wird. Beide Aussagen wollen wir mit der Schaltung nach Abbildung 41 nachprüfen.

Die Wechselspannung erzeugen wir durch Umschalten der Gleichspannung aus der 9-V-Batterie mit dem Schalter S. Betätigen wir den Schalter langsam, d. h. mit niedriger Frequenz, leuchtet die Lampe jeweils nur kurzzeitig auf. Der Strom fließt dabei stoßweise durch die Schaltung. Schalten wir schnell hin und her, wird der fließende Strom immer gleichmäßiger, und die Lampe leuchtet heller und erlischt nicht mehr.

Die letzte Beobachtung untermauert bereits die Behauptung, daß der kapazitive Widerstand kleiner wird bei steigender Frequenz, denn wenn der Strom größer wird (heller leuchtende Lampe), muß der Widerstand abnehmen, weil die Spannung ja gleich bleibt (dies wird auch aus dem Ohmschen Gesetz deutlich).

Wir können diesen Fall aber auch beweisen, indem wir den Kondensator C3 parallel zu C1 schalten. Die Kapazität wird größer, und wir beobachten bei gleicher Umschalhäufigkeit ein Hellerwerden der Lampe. Dies läßt eindeutig auf einen größer gewordenen Strom schließen, der durch den verkleinerten kapazitiven Widerstand entstanden ist.

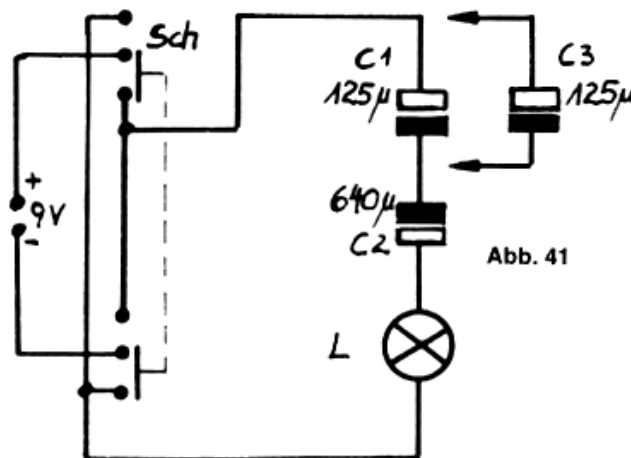


Abb. 41

Kapitel 3

Dioden und Transistoren

3.1. Elektronenstrom im Vakuum

Wir haben im Kapitel 1 erfahren, daß die Fortbewegung von freien Elektronen im Metall den fließenden elektrischen Strom darstellt. Wenn eine Spannungsquelle an einen metallischen Leiter angeschlossen wird, bewegen sich die negativen Elektronen immer zum positiven Spannungspol. Dies ist in Abbildung 42 schematisch gezeigt.

Wie verhält es sich nun bei Halbleitermaterial, z. B. Germanium oder Silizium, aus denen Dioden und Transistoren hergestellt werden? (Es wurde schon gesagt, daß das Material durch den Zusatz gewisser Stoffe bestimmte Eigenschaften erhält, die für die Funktion der Dioden und Transistoren sehr wichtig sind.) Spielen die Elektronen auch hierbei die Rolle der „Stromtransporteure“? Bevor wir diese Frage klären, wollen wir aber noch den Stromfluß in der Elektronenröhre kennenlernen.

Obwohl in den Philips Baukästen keine Röhren vorhanden sind und wir deshalb hier auch keine Versuche beschreiben, darf die Erläuterung nicht fehlen. Seit rund 50 Jahren ist die Elektronenröhre bekannt und war bis zum Auftauchen der Transistoren das einzige Verstärkerelement in der elektronischen Technik. Auch heute kann sie in sehr vielen Bereichen noch nicht ersetzt werden.

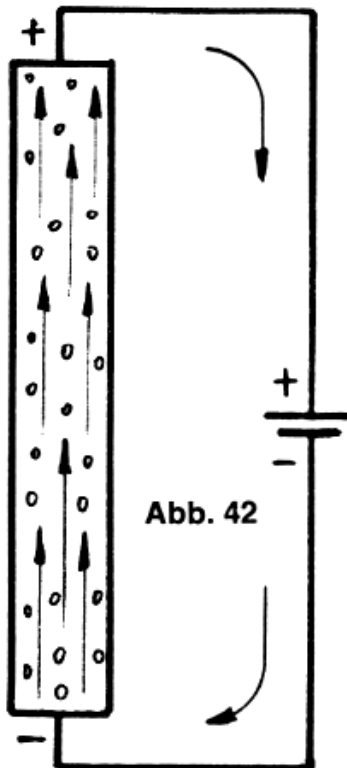


Abb. 42

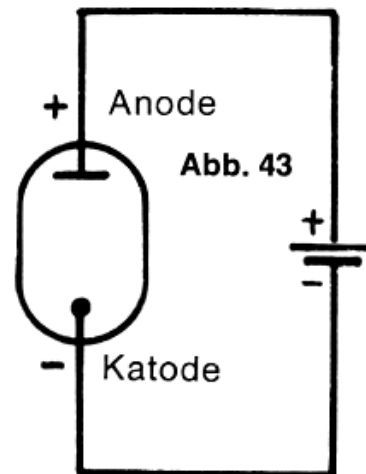
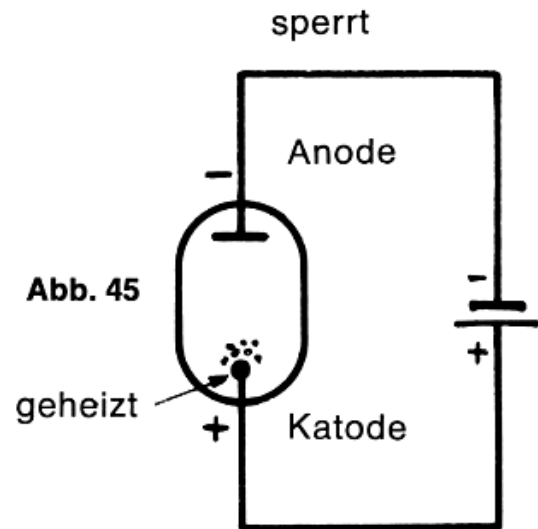
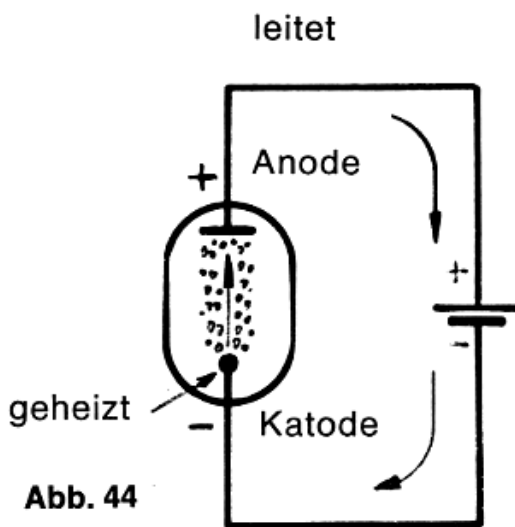


Abb. 43

In Abbildung 43 ist die einfachste Form einer Röhre am Beispiel der Diode dargestellt. Die Spannungsquelle ist mit dem Pluspol an der Anode und mit dem Minuspol an der Katode angeschlossen. In diesem Zustand kann jedoch noch kein Strom durch die Röhre fließen, weil sich in ihrem luftleer gepumpten Inneren – dem Vakuum – keine Elektronen befinden. Sie müssen erst durch den nachfolgend beschriebenen Vorgang hineingebracht werden.

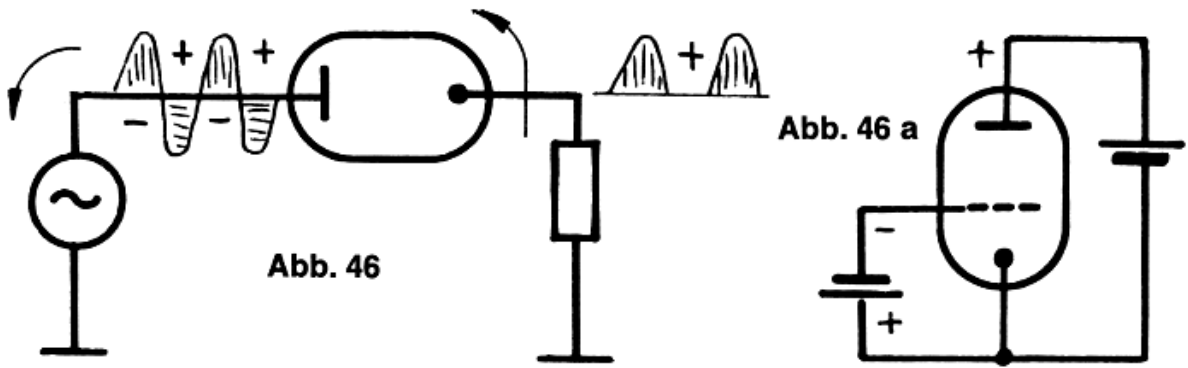
Die Katode der Röhre besteht aus Metall, in dem Elektronen in großer Anzahl vorhanden sind. Wird das Metall erhitzt (dazu dient die Heizung der Röhre), treten die Elektronen bei einer bestimmten Temperatur aus dem Metall in den freien Raum aus. Wie wir wissen, werden sie von positiver Spannung angezogen, und sie fliegen daher durch die Röhre zur Anode. Der Stromkreis ist damit geschlossen, die Röhre leitet. Der Vorgang wurde in Abbildung 44 skizziert.

Was passiert nun, wenn die Batterie umgepolt wird, fließt auch dann ein Elektronenstrom? Laut Abbildung 45 liegt an der Anode jetzt der negative Pol, und es tritt deshalb eine Abstoßung der aus der Katode austretenden Elektronen auf. Sie bilden eine Wolke um die Katode und können diesen Bezirk nicht verlassen. Der Elektronenstrom ist unterbrochen, die Röhrendiode ist gesperrt.



Wir merken uns: Elektronen fließen nur in einer Richtung durch die Röhre, und zwar von der Katode zur Anode. Die Spannung an der Anode muß dabei positiv gegenüber der Katode sein.

Wenn wir die Batterie durch eine Wechselspannung ersetzen, werden die Elektroden abwechselnd positiv oder negativ. In Abbildung 46 ist dieser Vorgang zu sehen. Da jedoch nur bei positiver Anode ein Elektronenstrom durch die Diode fließen kann, bleibt die Röhre bei den negativen Halbwellen der Anodenwechselspannung gesperrt. Die schematische Darstellung zeigt den sich hieraus ergebenden



Effekt: Aus der Wechselspannung wird eine Gleichspannung. Dieser Vorgang wird in der Elektronik als „Gleichrichtung“ bezeichnet, und die Diode ist in dieser Funktion ein Gleichrichter.

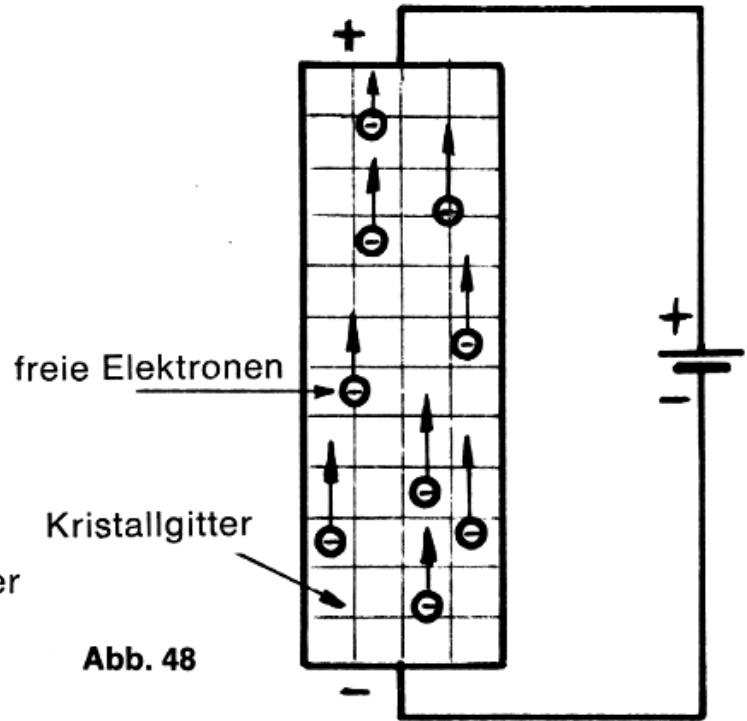
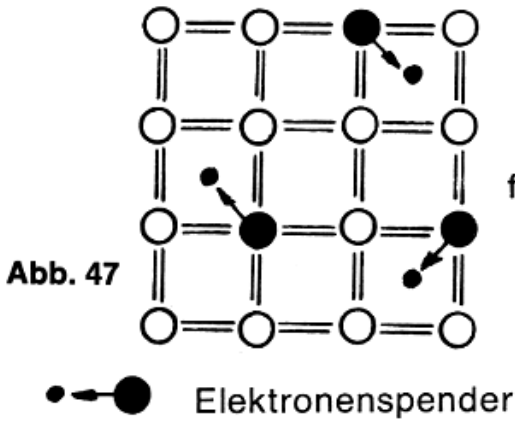
Bringt man zwischen Katode und Anode eine dritte Elektrode in der Röhre an, und zwar in Form eines durchlässigen Gitters, so ergibt sich dadurch die Möglichkeit, den Elektronenstrom zu steuern. In Abbildung 46 a ist dies angedeutet. Legen wir nämlich eine große negative Spannung an das Gitter, dann werden die Elektronen abgestoßen und können nicht zur Anode gelangen. Der Elektronenstrom ist unterbrochen.

Verringern wir die negative Spannung, können wir ein langsames Zunehmen des Elektronenstroms beobachten. Er ist am größten, wenn die Gitterspannung 0 V beträgt. Wir merken uns daher: Der Elektronenstrom in einer Röhre kann mit einer negativen Spannung am Gitter in seiner Stärke verändert werden. Man spricht daher auch von einer „Steuerung“ des Stroms und nennt die dritte Elektrode deshalb „Steuerplatte“.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß es darüber hinaus natürlich auch noch Röhren mit mehr als drei Elektroden gibt. Die grundsätzliche Wirkungsweise der Stromsteuerung ist aber bei allen Teilen gleich.

3.2. Halbleiter-Material

Wir haben erfahren, daß Elektronen sowohl in metallischen Leitern als auch in Vakuumröhren für das Fließen des elektrischen Stroms „zuständig“ sind. In halbleitenden Stoffen treffen sie die Voraussetzungen dafür nicht ganz so günstig an. Ein chemisch reines Stück Germanium oder Silizium ist beispielsweise ein hundertprozentiger Isolator, wenn die Umgebungstemperatur -273° Celsius beträgt, also beim absoluten Nullpunkt liegt! Bei Zimmertemperatur dagegen ist es elektrisch schwach leitend, weil einzelne Elektronen durch das Material wandern. Allerdings ist diese „Eigenleitung“ für technische Zwecke nicht ausreichend, und deshalb müssen dem Material fremde „Elektronenspende“ zugesetzt werden.



In Abbildung 47 ist diese stark vereinfacht angedeutet. Halbleiterstoffe haben einen dreidimensionalen Kristallaufbau, wobei jedes Atom mit seinen Nachbaratomen in bestimmter Weise verbunden ist. Sie bilden dabei eine Art Gitterformation, wie sie in Abbildung 47 in flächenhafter Darstellung zu sehen ist. Wir erkennen die zusätzlichen Elektronenspender an ihrem fünften (Valenz)-Elektron, das nicht zur festen Bindung an die vier Nachbaratome benötigt wird. Es ist frei und kann sich leicht durch das Kristallgitter bewegen, wenn Wärme oder eine elektrische Spannung auf den Halbleiterkristall einwirken.

Wir wollen das mit einer Anordnung nach Abbildung 48 untersuchen. Die Batterie ist an den gezielt verunreinigten (gedopt oder dotiert, wie der Fachmann sagt) Halbleiterkristall angeschlossen, und es wirkt jetzt ein elektrisches Feld auf ihn ein. Die freien negativen Elektronen wandern deshalb zum Pluspol. Vertauscht man die Batterieanschlüsse, so kehren die Elektronen um und fließen in der entgegengesetzten Richtung zum Pluspol. Der Kristall verhält sich also wie ein normaler Leiter, und es kann Strom in beiden Richtungen fließen. Der mit zusätzlichen negativen Elektronen „dotierte“ Halbleiterkristall hat einen **Elektronenüberschuß**, der als **N-Leitfähigkeit** bezeichnet wird.

Werden jedoch statt Atome mit fünf Bindungselektronen solche mit nur drei Bindungselektronen in das Kristallgitter eingebaut, ergibt sich

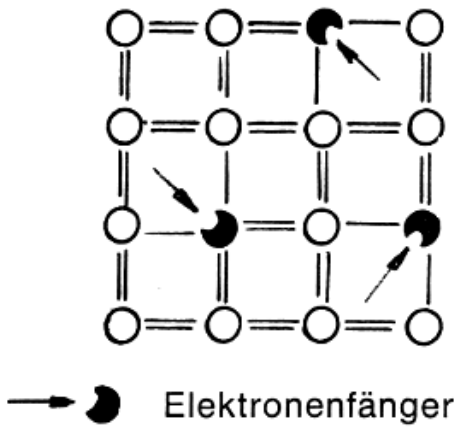


Abb. 49

Defektelektronen
oder Löcher

Kristallgitter

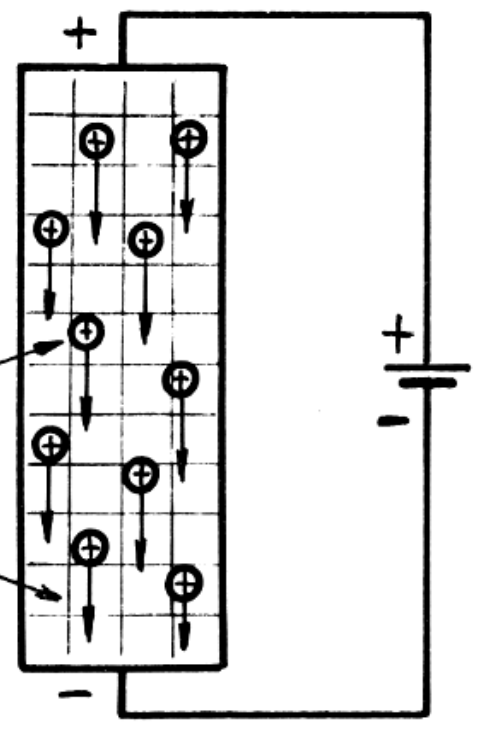


Abb. 50

P-leitend

ein Gittermuster nach Abbildung 49. Es ist bei diesen Zusatz-Atomen also ein Elektron zu wenig vorhanden, um eine feste Bindung an die Nachbaratome zu erreichen. Sie haben eine Lücke oder ein Loch, so daß man hier auch von einem „Defektelektron“ sprechen kann. Was wird nun passieren, wenn wir an diesen Halbleiterkristall mit **Elektronenmangel** eine Batterie anschließen? Die Abbildung 50 macht das deutlich. Es bewegen sich wiederum Elektronen durch das Material, aber sie legen jetzt nur relativ kurze Strecken zurück, nämlich zumeist nur von einem Atom mit vier Bindungselektronen zu einem Atom, das nur drei hat. Dessen Lücke wird durch das neue Elektron ausgefüllt, aber – dort wo das Elektron herkam, entstand ein neues Loch! In unserem Halbleiterkristall herrscht ja Elektronenmangel, und so „klauen“ sich die Atome gegenseitig Elektronen. Wir stellen also auch hier eine Elektronenbewegung fest, wenn eine Spannung an den Kristall gelegt wird, aber diese Bewegung hat zur Folge, daß jedesmal neue Löcher oder Defektelektronen entstehen. Während die Bewegungsrichtung der in die Löcher springenden Elektronen wie gewohnt zum Pluspol verläuft, wandern die dabei entstehenden Löcher nach rückwärts in der entgegengesetzten Richtung zum Minuspol. Wir können daraus schließen, daß die Defektelektronen oder Löcher sich so verhalten, als ob sie eine positive Ladung haben und deshalb vom Minuspol angezogen werden.

Daß dies so sein muß, zeigt uns folgende Überlegung: Ein Atom ist normalerweise elektrisch neutral, weil sich die Ladungen des positiven Kerns und die negativen Ladungen der zu ihm gehörenden Elektronen gegenseitig aufheben. Fehlt jedoch den Kristallatomen eines ihrer vier Bindungselektronen, so ist das elektrische Gleichgewicht dieser Atome gestört. Es überwiegt dann die positive Ladung der Kerne, und zwar um genau den Betrag, den das fehlende Elektron sonst neutralisierte. Der mit zusätzlichen „Elektronenfängern“ dotierte Halbleiterkristall hat einen **Löcherüberschuß**, dessen positive Ladungen die sogenannte **P-Leitfähigkeit** des Kristalls bewirken.

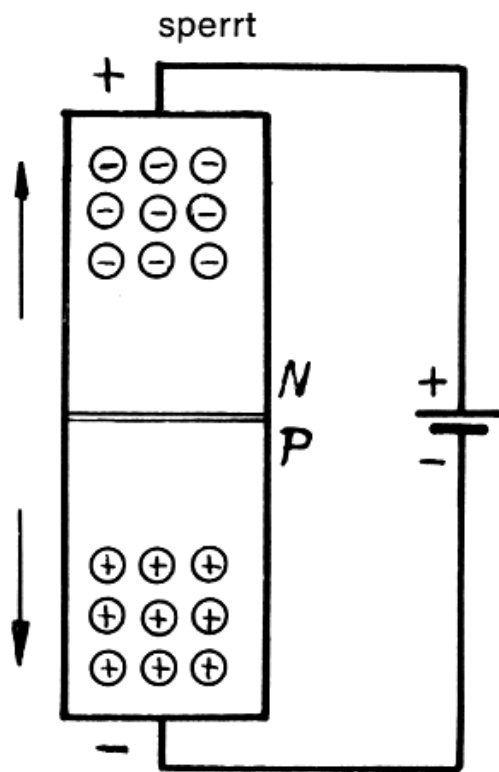
3.3. **Es entsteht eine Diode**

Wenn wir einen Halbleiterkristall herstellen, der auf der einen Seite einen Löcherüberschuß (P) und auf der anderen Seite einen Elektronenüberschuß (N) hat, so bildet sich in der Kristallmitte eine Zone, wo beide Bereiche ineinander übergehen. Man bezeichnet diese Stelle als **PN-Übergang**. Er hat normalerweise einen hohen Widerstand, so daß keine positiven oder negativen Ladungsträger von einer Seite zur anderen wandern können. Was in dem sehr schmalen Bereich des PN-Übergangs (er ist nur etwa ein Zehntausendstel Millimeter dünn) passiert, wenn eine Spannungsquelle angeschlossen wird, zeigt die Abbildung 51 schematisch. Die beweglichen, durch + oder – ange deuteten positiven oder negativen Ladungsträger (Defektelektronen und Elektronen) werden vom negativen bzw. positiven Spannungspol angezogen. Dadurch verbreitert sich naturgemäß der PN-Übergang, und sein Widerstand wird größer. Ein Stromfluß durch den Halbleiter findet nicht statt: Der Halbleiter sperrt.

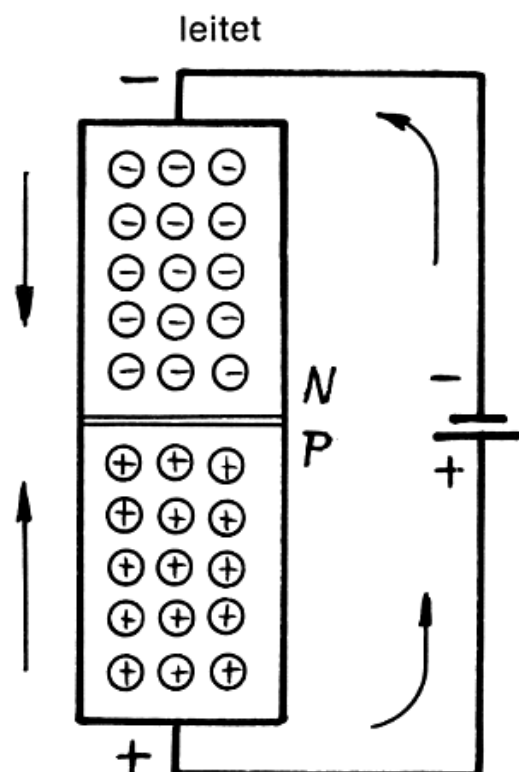
Vertauschen wir die Batterieanschlüsse nach Abbildung 52, ergibt sich das entgegengesetzte Bild. Jetzt bewegen sich Defektelektronen und Elektronen zur Mitte des Halbleiters hin und treten in den PN-Übergang ein. Dessen Widerstand wird dabei so klein, daß ein Strom hindurchfließen kann. Der Halbleiter leitet.

Die wichtigsten Vorgänge spielen sich hierbei im PN-Übergang ab, den man auch Sperrschicht nennt. Hier werden bei leitendem Kristall negative Elektronen in die P-Seite und positive Defektelektronen in die N-Seite transportiert oder „injiziert“, wie der Fachausdruck heißt. Auf diesem Prozeß in der Sperrschicht des Halbleiterkristalls beruht praktisch die gesamte Transistortechnik.

Wenn wir die beiden Abbildungen 51 und 52 mit den Abbildungen 44 und 45 vergleichen, stellen wir fest, daß zwischen den Funktionen einer Röhrendiode und einer Halbleiterdiode (die wir durch das Zusammenfügen von P- und N-Schichten erhalten haben) kein Unterschied besteht. Auch die Halbleiterdiode ist ein Gleichrichter, sie sperrt und leitet je nach Polarität der angelegten Spannung.



⊖ Elektronen
⊕ Löcher **Abb. 51**



⊖ Elektronen
⊕ Löcher **Abb. 52**

3.4. Versuche mit Dioden

Wir wollen die gewonnenen Erkenntnisse über die Halbleiterdiode mit dem praktischen Versuch 11 vertiefen. Die dazu nötige Schaltung ist in Abbildung 53 zu sehen. Als erstes soll die Sperrwirkung der Diode untersucht werden. Hierzu legen wir den Minuspol der Batterie über den Schalter S an die Anode der Diode und den Pluspol über die Lampe L2 und den Widerstand R1 an die Katode. Während die Kontrolllampe L1 brennt, bleibt die Lampe L2 dunkel. Der Stromweg Diode–Widerstand–Lampe muß also gesperrt sein. Die Diode hat wegen der negativen Anoden- und positiven Katodenspannung einen hohen Widerstand und entspricht in diesem Zustand dem Schema in Abbildung 51.

Polen wir die Batterie um, d. h., betätigen wir den Schalter S, so leuchtet auch die Lampe L2. Es liegt an der Anode eine Plusspannung, während die Katode mit dem negativen Pol der Batterie verbunden ist. Die Diode hat jetzt einen sehr kleinen inneren Widerstand. Ihre Sperrschicht ist durchlässig geworden, so daß die Diode leitet und ein Strom fließen kann.

Daher ist das Schemabild in Abbildung 52 für diesen Betriebszustand gültig.

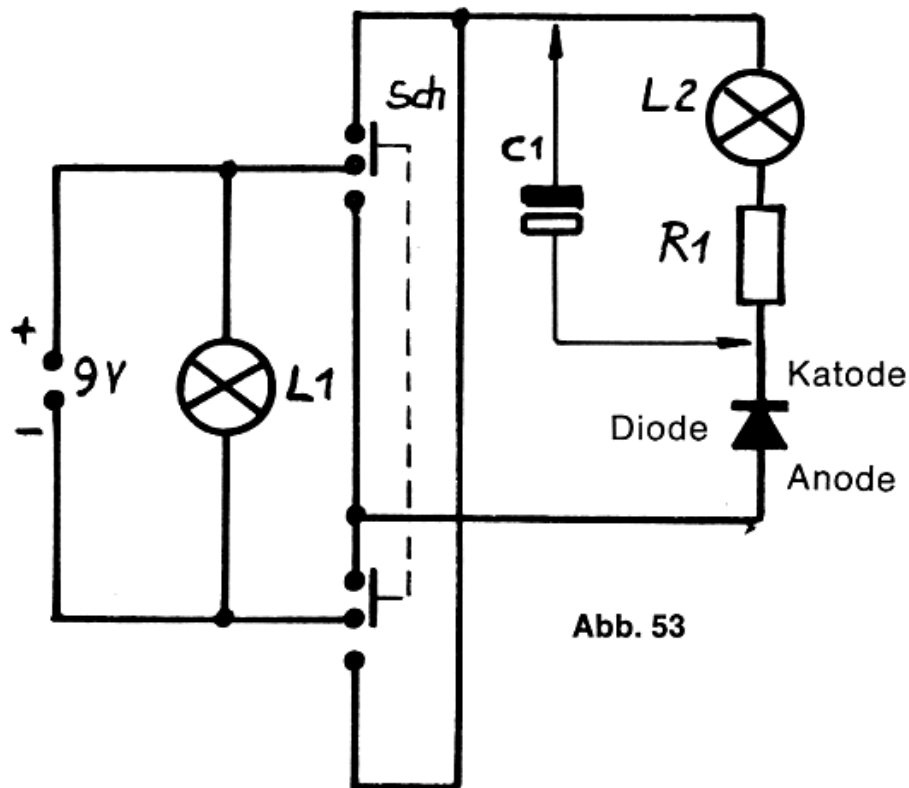


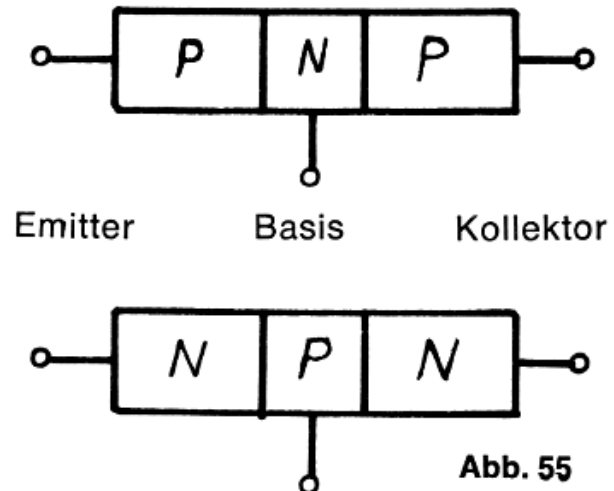
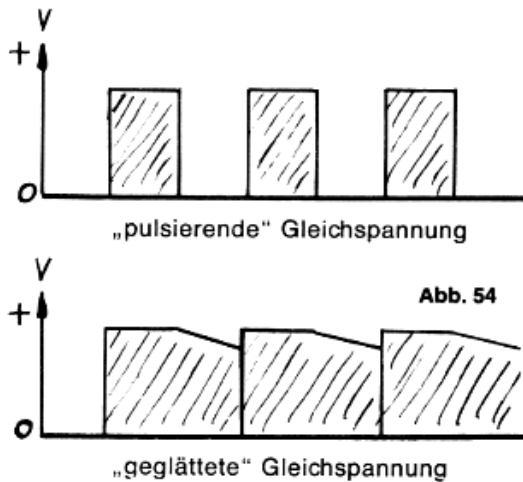
Abb. 53

Wenn wir versuchen, durch ein schnelles Umschalten der Batterie eine Wechselfspannung an die Diode zu legen, so können wir den Gleichrichtereffekt beobachten. Wir sehen die Lampe L2 stark flackern, während L1 gleichmäßig brennt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Diode nur bei positiver Anodenspannung leitet und im anderen Fall sperrt. Die auftretende „pulsierende“ Gleichspannung läßt daher die Lampe L2 periodisch aufleuchten.

Mit einem Kondensator ist es möglich, die pulsierende Gleichspannung zu glätten. Hierzu schalten wir C1 parallel zu R1 und L2. Jetzt brennt die Lampe L2 beim schnellen Umschalten immer. Das hat seinen Grund in der Eigenschaft des Kondensators, elektrische Energie zu speichern. Wir haben das im Kapitel 2 kennengelernt. In unserem Versuch wird der Kondensator C1 aufgeladen, wenn die Diode leitend ist, so daß ein Strom durch die Diode in den Kondensator fließen kann. Wenn die Diode gesperrt ist, gibt der Kondensator die gespeicherte Ladung wieder ab. Sein Entladestrom fließt über R1 und L2 und läßt dabei die Lampe aufleuchten. Sie brennt also beim schnellen Umschalten in jeder Stellung des Schalters. In Abbildung 54 ist der Spannungsverlauf an R1 ohne und mit Kondensator C1 angegeben.

3.5. Drei Schichten im Transistor

Nachdem wir im bisherigen Teil dieses Kapitels mit den Grundlagen der Halbleiter bekannt wurden, können wir uns dem interessantesten



Bauteil des Philips Experimentierkastens zuwenden – dem Transistor. Er ist ein sogenanntes aktives Bauelement, weil er Signale verstärkt und als elektronischer Schalter in zahlreichen Geräten eingesetzt wird.

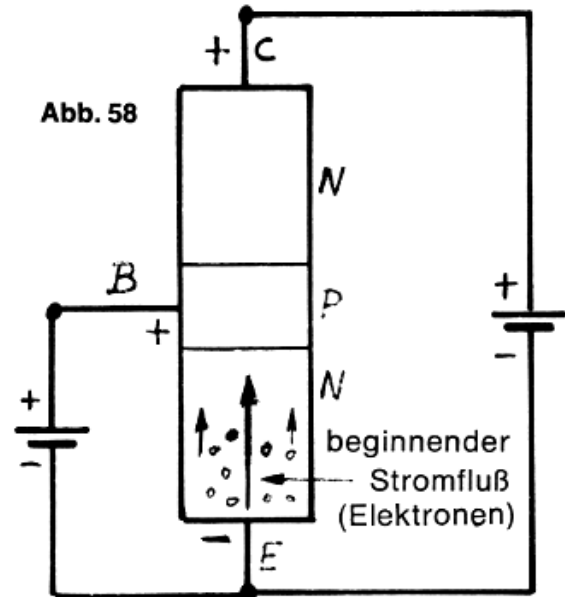
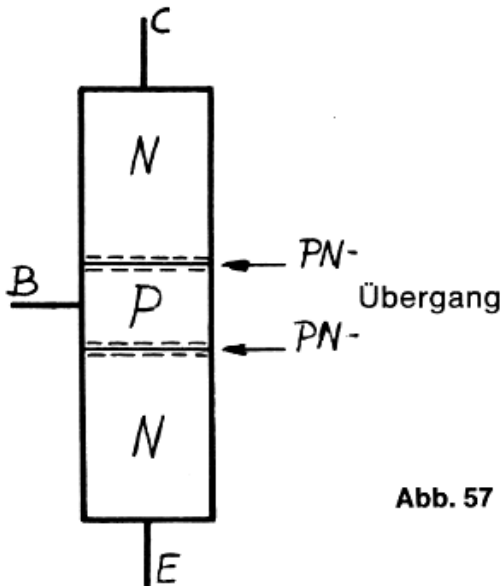
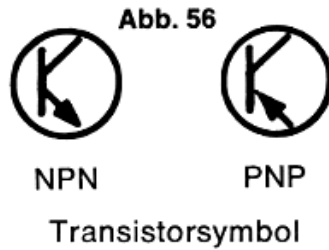
Der normale Transistor besteht aus drei Halbleiter-Schichten, die entweder P- oder N-dotiert sind. In Abbildung 55 sind die Ausführungen angegeben: Es handelt sich um einen NPN-Typ und einen PNP-Typ. Die Reihenfolge der Buchstaben kennzeichnet die Dotierung der drei Schichten, die als Emitter, Basis und Kollektor bezeichnet werden.

Emitter: Das Wort ist lateinischen Ursprungs und bedeutet soviel wie „aussenden“. Es werden beim **N-Emitter negative** Elektronen und beim **P-Emitter positive** Defektelektronen oder Löcher „emittiert“, weil ein N-Emitter Elektronenüberschuß und ein P-Emitter Löcherüberschuß aufweist. Das Kurzzeichen für den Emitter ist ein E.

Basis: Hiermit ist die schmale Schicht zwischen Emitter und Kollektorgemeint. Sie kann ebenfalls N- oder P-dotiert sein. Das Kurzzeichen für die Basis ist ein B.

Kollektor: Ebenfalls aus dem Lateinischen stammend, bedeutet dieses Wort soviel wie „Sammler“. Beim Transistor kann man den Kollektor als eine Auffangelektrode für die vom Emitter kommenden negativen oder positiven Ladungsträger ansehen. Das Kurzzeichen für den P- oder N-Kollektor ist ein C (herrührend von der englischen Schreibweise collector).

Um die drei Schichten des Transistors mit anderen Schaltelementen eines Gerätes verbinden zu können, versieht man sie mit dünnen Anschlußdrähten. Wir finden diese an der Unterseite des Transistorgehäuses. Im Schaltbild werden die beiden Transistortypen durch Symbole dargestellt, die anhand der Pfeilrichtung als NPN- oder PNP-Ausführungen zu unterscheiden sind (Abbildung 56). Da in einem Transistor bei größeren Strömen auch Wärme entsteht, muß diese

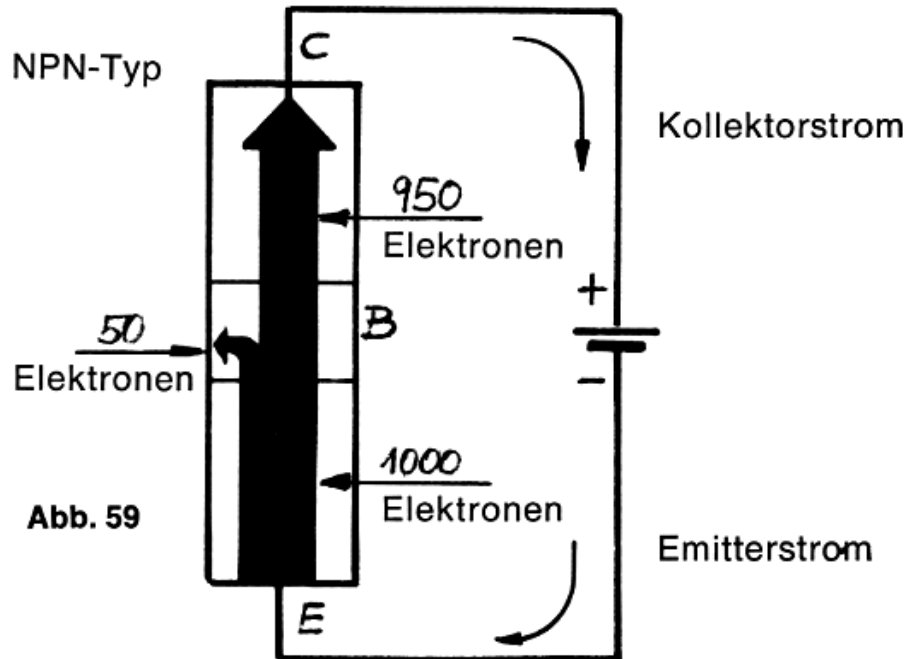


abgeführt werden. Sie würde den Transistor sonst zerstören. Deshalb verwendet man Kühlbleche zur Wärmeabstrahlung, wir finden sie auch in unseren Philips Experimentierkästen.

3.6. Der NPN-Transistor

In Abbildung 57 ist zu erkennen, daß zwischen Emitter und Basis wie auch zwischen Basis und Kollektor jeweils ein PN-Übergang vorhanden ist, der als Sperrschicht wirkt. Es fließt dann kein Strom durch den NPN-Transistor. Dies ändert sich erst, wenn wir eine Batterie anschließen, wie es in Abbildung 58 gezeigt ist (Plus an Kollektor, Minus an Emitter). Jetzt beginnen im NPN-Transistor Elektronen vom Emitter zum Kollektor zu fließen. Dies ist schematisch in Abbildung 59 dargestellt.

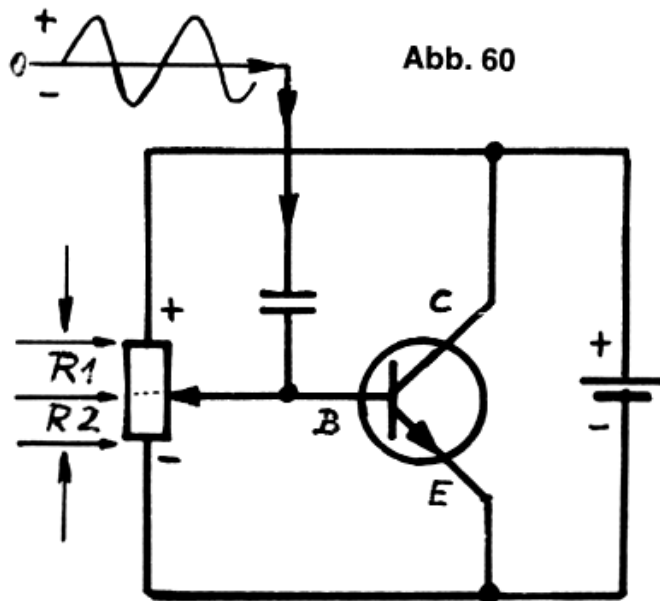
Wir haben also einen Elektronenstrom, der auf seinem Weg zum Kollektor durch die Basisschicht hindurchfließt. Hier in der P-Schicht treffen die Elektronen auf positive Löcher, die bestrebt sind, sich die ihnen fehlenden Elektronen einzufangen. Dies gelingt auch einigen Löchern, aber da die Basiszone extrem dünn ist, erreicht die Mehrzahl aller Elektronen den Kollektor. Sie bilden den Kollektorstrom. An dem in Abbildung 59 gegebenen Zahlenbeispiel läßt sich dieser Vorgang vereinfacht zeigen: 1000 Elektronen fließen vom Emitter in Richtung Basis. Während 950 am Kollektor eintreffen, zeigt uns der



kleine abbiegende Pfeil an der Basis, daß dort 50 Elektronen abzweigen. Ein Teil von ihnen vereinigt sich mit den Löchern, sie „rekombinieren“ und füllen so die Lücken bei den betreffenden Atomen in der Basisschicht auf. Die übrigen fließen als Basisstrom aus dem Transistor heraus.

Die Vorgänge an der Basis sind von sehr großer Bedeutung. Sie beeinflussen nämlich die wirksame Spannung an der Basis und damit den Stromfluß im Transistor! (Es ergeben sich hier vergleichbare Steuerungsvorgänge mit dem Gitter der Röhre.) Als Folge der Rekombination von Elektronen mit Löchern vermindert sich die positive Basisspannung des NPN-Transistors, weil ja aus der P-Schicht **positive** Ladungsträger (Löcher) durch das Auffüllen mit negativen Elektronen verschwunden und praktisch nicht mehr wirksam sind! Wird die Basisspannung aber negativer, sinkt auch der vom Emitter ausgehende Elektronenstrom.

Wir müssen deshalb den „abgezweigten“ Basis-Elektronenstrom so beeinflussen, daß seine Elektronen möglichst wenig mit den Löchern rekombinieren. Sie sollen statt dessen aus der Basis herausfließen. Dies ist der Fall, wenn wir nach Abbildung 59 die Basisspannung erhöhen, indem der Schleifer des Potentiometers weiter zum Plusanschluß gedreht wird. Die erhöhte positive Basisspannung hat einen höheren Basis-Elektronenstrom zur Folge, so daß dem vorher erwähnten Effekt des absinkenden Transistorstroms entgegengewirkt wird. Durch Verändern der Basisspannung ändert sich also der Basisstrom, und man kann dadurch den Stromfluß im Transistor (vom Emitter zum Kollektor) größer oder kleiner machen.



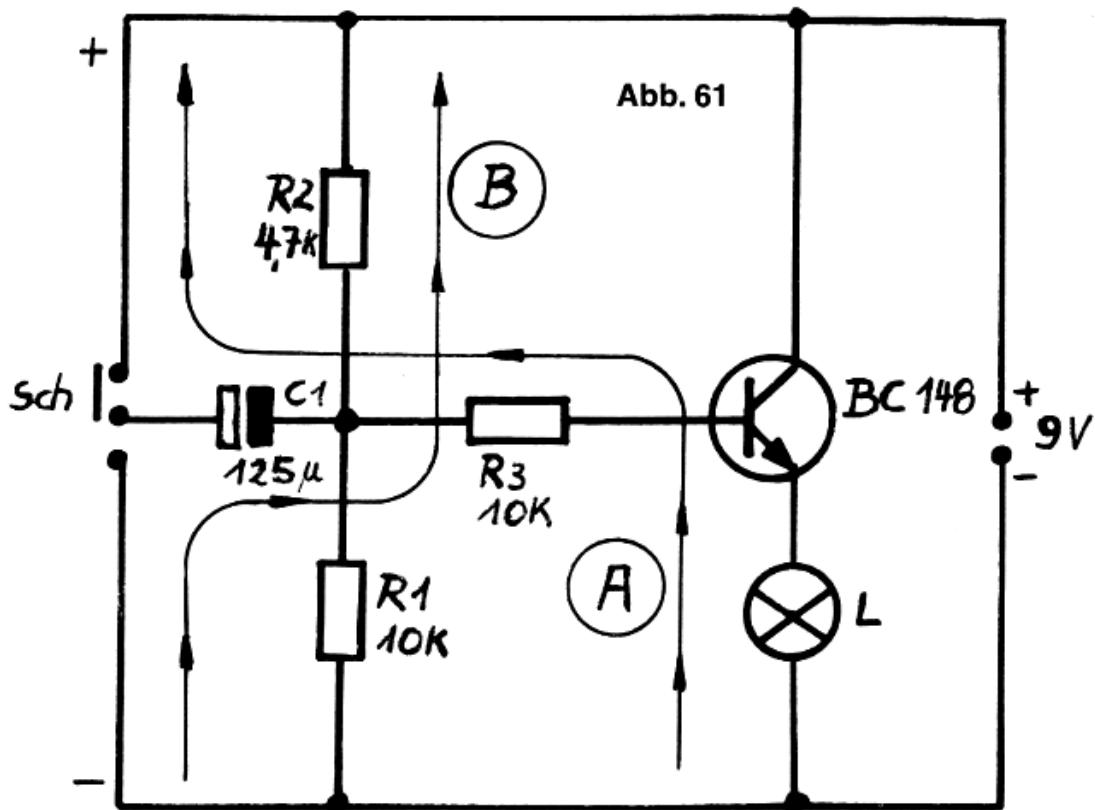
Der Elektronenfluß im NPN-Transistor läßt sich im erwähnten Sinn auch mit einer Wechselspannung steuern. Diese Möglichkeit ist in Abbildung 60 angedeutet. Die positiven und negativen Halbwellen beeinflussen den Basisstrom sinngemäß wie eben beim Potentiometer erläutert. Der Widerstandsteiler R_1/R_2 stellt hier den mittleren „Arbeitspunkt“ des Transistors ein, um den die über den Kondensator zugeführte steuernde Wechselspannung pendelt.

Wir merken uns: An der Basis des Transistors (das gilt für NPN- wie PNP-Typen) wird durch Verändern des **Basisstroms** der Stromfluß im Transistor gesteuert! Kleine Stromänderungen im Eingang (Basis) ergeben dabei große Änderungen im Ausgang (Kollektor). Der Transistor ist also ein Verstärker!

3.7. Versuche mit dem NPN-Transistor

Wir wollen uns im Versuch 12 von der erwähnten Stromsteuerung überzeugen. Das Schaltbild in Abbildung 61 zeigt einen NPN-Transistor, in dessen Emitterleitung die Lampe L liegt. Der Arbeitspunkt des Transistors ist durch den Widerstandsteiler R_1/R_2 so festgelegt, daß ein mittlerer Strom vom Emitter zum Kollektor fließt. Die Lampe L leuchtet deshalb nur mit einer geringen (mittleren) Helligkeit.

Schalten wir jedoch den über R_3 an der Basis liegenden Kondensator C1 an den Pluspol der Batterie, so fließt im ersten Augenblick ein sehr großer Basisstrom. Er verläuft vom Minuspol der Batterie über die Lampe, die Emitter-Basisstrecke, den Widerstand R_3 und den Kondensator C1 zum Pluspol der Batterie (Pfeil A in Abbildung 61). Es ist dies der Ladestrom des Kondensators. Er macht den Transistor ganz leitend und läßt einen maximalen Strom vom Emitter zum Kollektor fließen. Die Lampe L leuchtet deshalb hell auf. Da aber der Kondensator



sator C1 über den angegebenen Strompfad A aufgeladen wird (wobei der aus der Basis fließende Strom abnimmt), beginnt die Lampe L dunkler zu werden. Sie erreicht bald wieder ihren ursprünglichen Helligkeitswert.

Schalten wir nun den Kondensator C1 mit dem Schalter gegen den Minuspol der Batterie, so erlischt die Lampe L schlagartig. Jetzt fließen nämlich keine Elektronen mehr aus der Basis heraus, weil sich die Stromrichtung geändert hat und der Kondensator umgeladen wird. Im ersten Moment fließen nun alle Elektronen in Richtung des Strompfades B, der vom Minuspol der Batterie über den Kondensator C1 und den Widerstand R2 zum Pluspol führt. Der Transistor ist ganz gesperrt und der Stromfluß vom Emitter zum Kollektor unterbrochen.

Die Lampe L beginnt dann aber wieder zu leuchten, und zwar hat sie ihre alte Heligkeit erreicht, wenn der Kondensator ganz aufgeladen ist. Der Basis-Elektronenstrom verlagert sich in diesem Zeitraum zunehmend wieder auf den alten Weg vom Minuspol über die Basis-Emitterstrecke und die Widerstände R3 und R2 nach Plus.

Wir haben in diesem Versuch gesehen, daß der durch einen Transistor fließende Strom durch Ändern des **Basisstroms** gesteuert werden kann.

3.8. Der PNP-Transistor

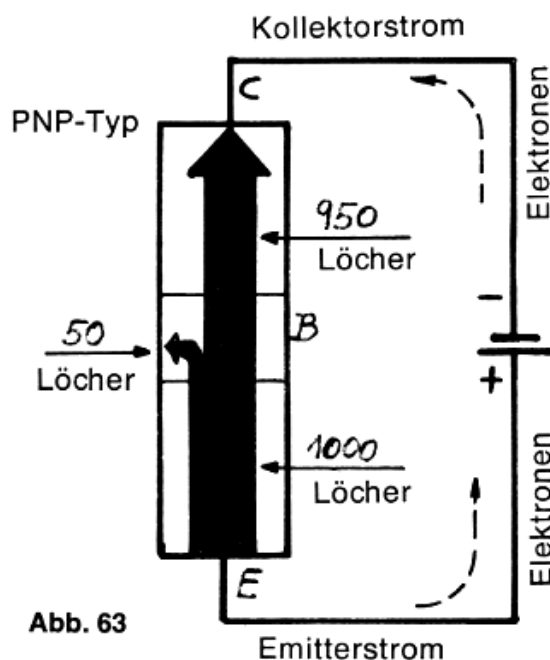
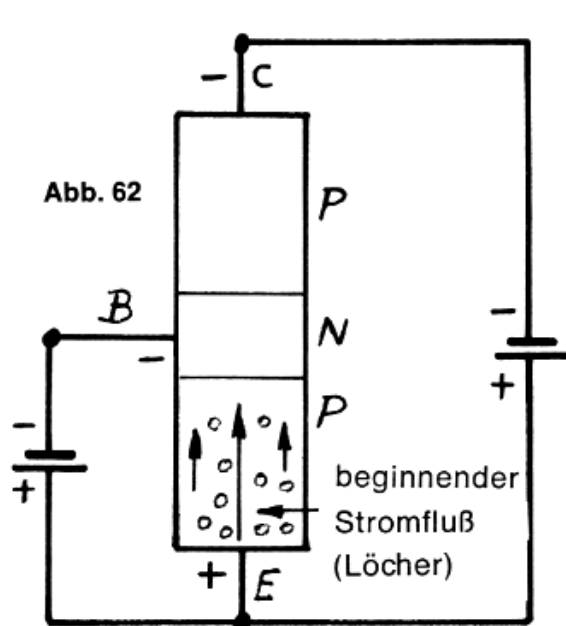
Die drei Schichten dieses Transistors sind in der Reihenfolge P-leitend, N-leitend, P-leitend zusammengesetzt. Da der Emitter aus einem

Halbleitermaterial mit „Löcherüberschuß“ besteht, fließt bei Anlegen einer Spannung ein Löcherstrom in Richtung des Kollektors. Dies ist in Abbildung 62 dargestellt.

Wir müssen jetzt beachten, daß die Polarität der angelegten Spannung beim PNP-Transistor entgegengesetzt zu der beim NPN-Transistor ist. Der Minuspol liegt also am Kollektor und der Pluspol am Emitter. Die Basisspannung ist gegenüber dem Emitter negativ. Der positive Löcherstrom (Defektelektronen) fließt durch die N-leitende Basisschicht zum Kollektor. Wie beim NPN-Typ „rekombinieren“ auch beim PNP-Transistor in der Basisschicht Löcher mit Elektronen. Die weitaus meisten der vom Emitter kommenden Löcher erreichen jedoch den Kollektor und bilden den Kollektorstrom, wie es auch am schematischen Zahlenbeispiel in Abbildung 63 zu sehen ist.

In der Basisschicht eines PNP-Transistors sind die negativen Elektronen in der Überzahl. Wenn einige von ihnen durch die Vereinigung mit positiven Löchern nicht mehr als freie Elektronen vorhanden sind, verändert sich die Basisspannung. Sie wird positiver, und der Löcherstrom vom Emitter vermindert sich daraufhin. (Gleichnamige Ladungen stoßen einander ab.)

Dem „abgezweigten“ Basis-Löcherstrom muß deshalb von außen ein Elektronenstrom entgegengeschickt werden, um die durch Rekombination verlorengegangenen Elektronen der N-leitenden Basisschicht zu ersetzen. Wir können das tun, indem wir eine höhere negative Basisspannung einstellen, so daß der in die Basis hineinfließende nega-



tive Elektronenstrom ansteigt. Als Folge davon erreicht der vorher abgesunkene Löcherstrom vom Emitter zum Kollektor wieder seinen alten Wert.

Auch den PNP-Transistor kann man mit einer Wechselspannung steuern, wie es in Abbildung 60 gezeigt wurde. Kleine Eingangsspannungen rufen entsprechende Basis-Stromänderungen hervor, die den Transistorstrom so steuern, daß er größer oder kleiner wird.

Abschließend noch einige Sätze zu den „Löchern“. Mit ihnen haben wir Ladungsträger kennengelernt, die wie Elektronen als „Strom“ fließen können. Sie treten allerdings nur in Halbleitern auf, weil deren Kristallmaterial dafür die Voraussetzungen bietet. Sie sind in den P-dotierten Schichten von Dioden oder Transistoren durch den Zusatz von Fremdatomen in der Überzahl gegenüber anderen Ladungsträgern. Die Frage ist jetzt, was passiert mit ihnen, wenn sie aus dem Halbleiter „herausfließen“ bzw. wie werden die „verbrauchten“ Löcher eigentlich ersetzt?

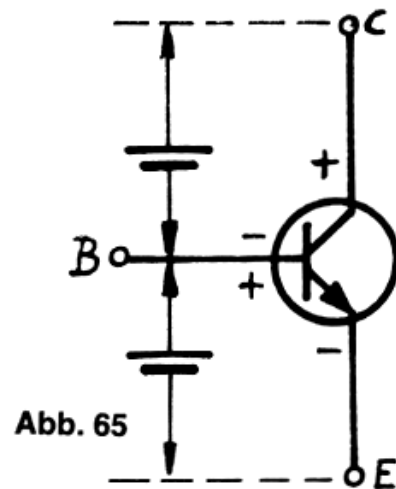
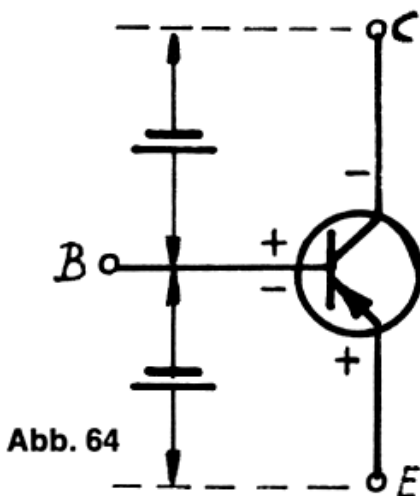
Dies kann man in vereinfachter Form an Hand der Abbildung 63 beantworten. Die am Kollektor eintreffenden Löcher rekombinieren mit den Elektronen, die vom negativen Pol der Spannungsquelle zum Transistor fließen. Am Emitter passiert das Gegenteil. Dort entstehen am positiven Spannungsanschluß in den Kristallatomen neue Löcher. Sie wandern durch den Transistor, während die freigesetzten Elektronen zur positiven Seite der Spannungsquelle fließen.

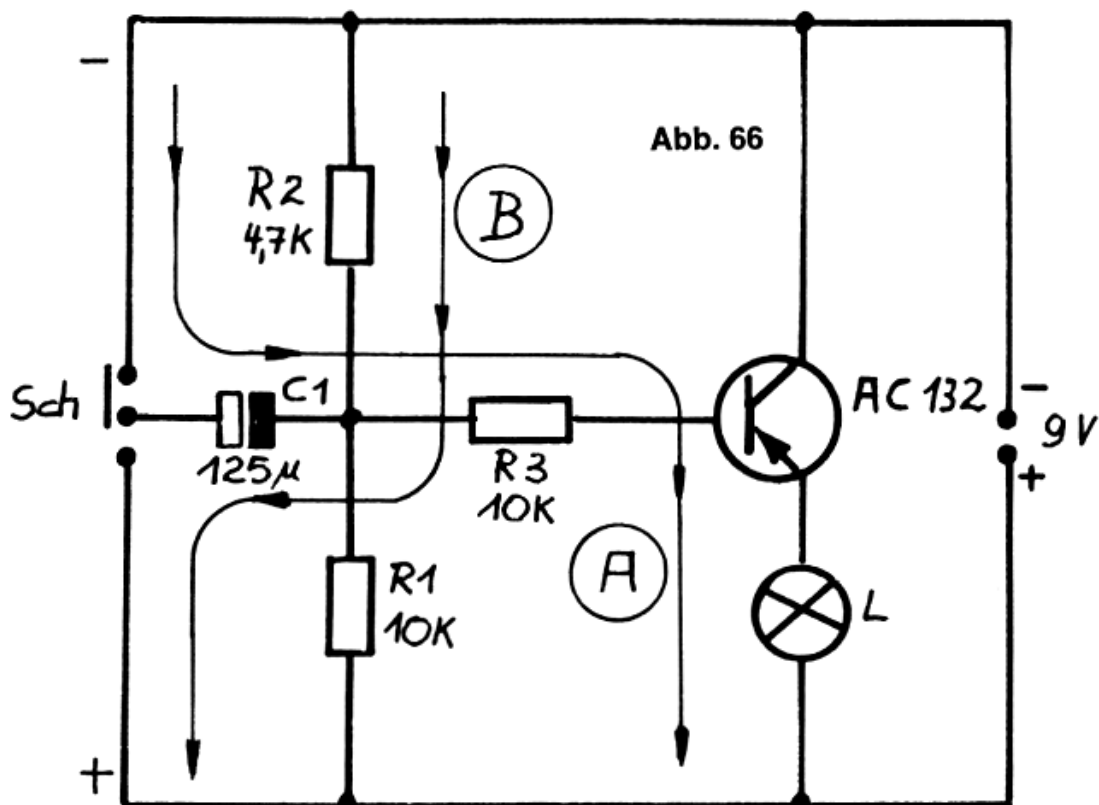
Zusammenfassend wollen wir uns merken:

Ein PNP-Transistor ist leitend, wenn sein Kollektor negativ zur Basis, und seine Basis negativ zum Emitter ist.

Ein NPN-Transistor ist leitend, wenn sein Kollektor positiv zur Basis, und seine Basis positiv zum Emitter ist.

In Abbildung 64 und 65 sind die beiden Prinzipschaltungen zu sehen.

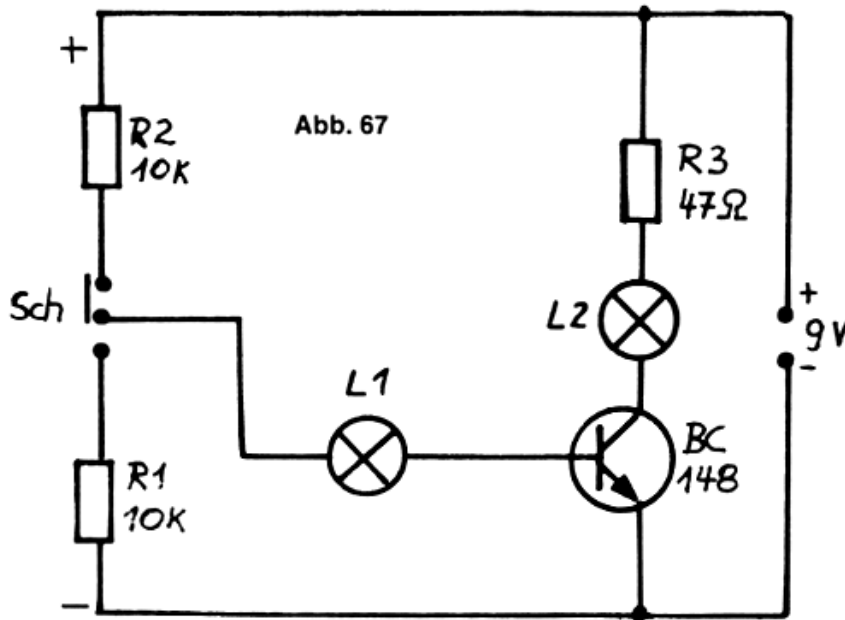




3.9. Versuche mit dem PNP-Transistor

Im Versuch 13 (Abbildung 66) überzeugen wir uns von der Stromsteuerung beim PNP-Transistor. Beim Vergleich mit dem Schaltbild in Abbildung 61 fällt die gleiche Anordnung der Bauelemente auf, lediglich das Transistorsymbol weist auf den PNP-Typ hin (Pfeil nach innen zeigend). Außerdem muß selbstverständlich die Batterie mit dem Minuspol am Emitter und dem Pluspol am Kollektor angeschlossen sein. Der Arbeitspunkt des Transistors ist wie beim Versuch 12 so gewählt, daß die Lampe mit einer relativ geringen Helligkeit brennt.

Wenn wir jetzt den Kondensator C1 mit dem Schalter an den Minuspol der Batterie legen, leuchtet die Lampe hell auf. Die Ursache ist wieder im Ladestrom des Kondensators zu suchen (Stromfad A). Wenn der Aufladevorgang abgeschlossen ist, brennt die Lampe mit der ursprünglich eingestellten mittleren Helligkeit. Schalten wir den Kondensator dann an den Pluspol, so erlischt die Lampe sofort. Der durch den Umladevorgang auftretende, zunächst sehr kräftige Strom läßt alle Elektronen über den Widerstand R2 in den Kondensatoren fließen (Stromfad B). Da der Ladestrom anschließend abnimmt, beginnt im gleichen Zuge der Strom wieder in die Basis zu fließen. Nach kurzer Zeit leuchtet die Lampe wieder normal. Wir können also auch hier eine Steuerung des Transistorstroms durch Ändern des Basisstroms registrieren.



3.10. Der Transistor als Schalter

Transistoren werden in vielen Schaltungen der elektronischen Technik als steuerbare Schalter eingesetzt. Ein imposantes Beispiel sind elektronische Rechanlagen, in denen unzählige „Ein-Aus-Funktionen“ von Transistoren übernommen werden. Sie haben in diesen Schaltungen zwei Betriebszustände und sind entweder leitend oder gesperrt, d. h., es fließt Strom oder es fließt kein Strom. Wenn ein Strom durch den Transistor fließt, liegt praktisch keine Spannung über dem Halbleiter und er bildet nahezu einen Kurzschluß. Ist der Stromfluß unterbrochen, der Transistor also gesperrt, dann kann über ihm die Betriebsspannung gemessen werden.

In dem Versuch 14 werden wir die Schalter-Eigenschaften eines Transistors beobachten können. Laut Abbildung 67 liegt die Basis des NPN-Transistors bei der gezeichneten Schalterstellung über L1 und R2 an der Plusspannung. Es fließt ein so hoher Basisstrom, daß der Transistor voll leitet. Die Emitter-Kollektor-Strecke bildet deshalb fast einen Kurzschluß (maximaler Strom), durch den die Lampe L2 praktisch direkt am Minuspol der Batterie liegt. Sie leuchtet daher ganz hell.

Der Basisstrom ist dagegen wesentlich geringer. Die zum Nachweis eingesetzte Lampe L1 wird zwar vom Basisstrom durchflossen, aber sie glimmt dabei nicht einmal, so klein ist die von der Basis benötigte „Steuerleistung“. Wenn der Schalter die Basis über den Widerstand R1 an Minus legt, erlischt die Lampe L2. Der Transistor ist gesperrt, da kein Basisstrom mehr fließt. Würden wir jetzt die Spannung zwischen Kollektor und Emitter messen, erhielten wir als Ergebnis etwa 9 Volt, was der Batteriespannung entspricht.

3.11. Der Transistor als Verstärker

Wenn der Transistor als Verstärker arbeiten soll, muß er einen bestimmten **Arbeitspunkt** haben. Dieser muß zwischen den im Versuch 14 erwähnten Betriebszuständen „Ein“ und „Aus“ liegen. Der im Transistor fließende Strom ist dann natürlich von mittlerer Größe und wird auf einen Punkt zwischen maximalem und minimalem Wert eingestellt. Man macht das mit Hilfe des Basisstroms, der – wie wir wissen – den Transistorstrom steuert.

In unserem Versuch 15 (Abbildung 68) verwenden wir einen relativ großen Widerstand von $100\text{ K}\Omega$, der über den Schalter und die Lampe L1 der Basis die benötigte positive Spannung zuführt. Der auftretende Basisstrom ist so gering, daß L1 dunkel bleibt. Die Lampe L2 in der Kollektorleitung leuchtet jedoch schwach, was auf einen verhältnismäßig kleinen Strom durch den Transistor schließen läßt.

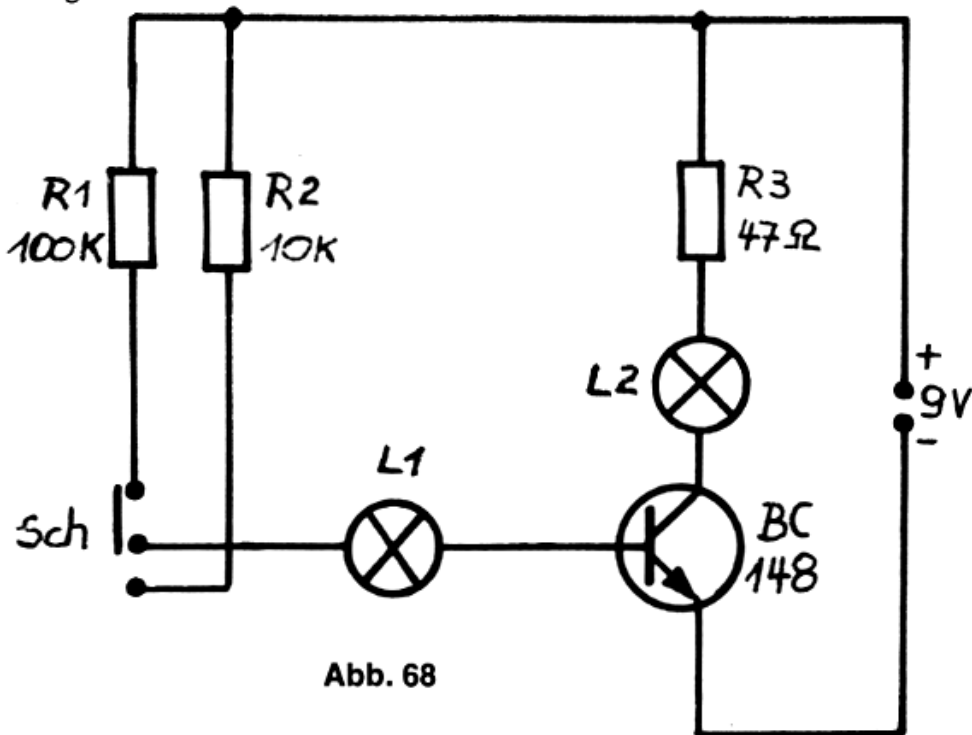


Abb. 68

Schalten wir nun den Widerstand R2 ($10\text{ K}\Omega$) anstelle des $100\text{-K}\Omega$ -Widerstandes in die Basisleitung, so vergrößern wir den Basisstrom um etwa das Zehnfache. Er ist damit zwar immer noch zu klein, um die Lampe L1 aufleuchten zu lassen, hat aber den Transistorstrom vom Emitter zum Kollektor um ebenfalls das Zehnfache erhöht. Die Lampe L2 leuchtet deshalb sehr hell.

Die Änderungen des Kollektorstroms sind im Verhältnis genau so groß wie beim steuernden Strom an der Basis, und man spricht deshalb von „linearen“ Verstärkern. Wir finden diesen Verstärkertyp beispielsweise in den Hochfrequenz-, Zwischenfrequenz- und Niederfrequenzstufen von Fernsehgeräten und Rundfunkempfängern.

Liegt statt der Lampe L2 ein größerer ohmscher Widerstand (Außen- oder Arbeitswiderstand) in der Kollektorleitung, so fällt an ihm eine Spannung ab, wenn Strom durch den Transistor fließt. Dieser „Spannungsabfall“ ist bei kleinen Kollektorströmen sehr gering und wird mit steigenden Strömen natürlich größer (s. Ohmsches Gesetz $U = I \cdot R$). Auch hier ist die lineare Beziehung zwischen der Eingangsspannung an der Basis und der verstärkten Ausgangsspannung am Kollektor wirksam. In Abbildung 70 ist dies mit einer Wechselspannung illustriert, die einen Transistorverstärker durchläuft. Warum sich hier im Ausgang eine der Eingangsspannung entgegengesetzte Lage der Kurvenform einstellt, erfahren wir im nächsten Abschnitt.

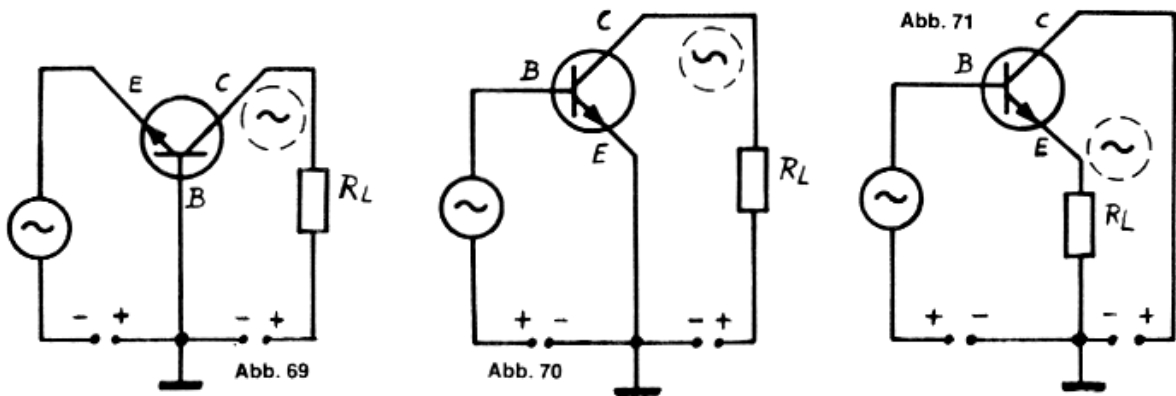
3.12. **Drei Transistor-Grundsaltungen**

Transistoren können auf verschiedene Weise innerhalb einer Geräteschaltung arbeiten. Man unterscheidet dabei (neben dem Verwendungszweck, z. B. als Schalter oder Verstärker) drei sogenannte Grundsaltungen. Sie heißen **Basisschaltung**, **Emitterschaltung** und **Kollektorschaltung**. Die Bezeichnungen gehen darauf zurück, daß die betreffende Schaltung nach dem Namen der Elektrode genannt wird, die den gemeinsamen Bezugspunkt für den Eingangs- und den Ausgangskreis bildet.

Das wird in den Abbildungen 69 bis 71 deutlich. Wir sehen uns zunächst die Basisschaltung an. Sie wird vorwiegend so gezeichnet wie in Abbildung 69 und unterscheidet sich dadurch bereits von den anderen Darstellungen. Der gemeinsame Bezugspunkt ist die Basis. Sie liegt an „Masse“, d. h. auf dem Nullpotential der Geräteschaltung. In unseren drei Beispielen ist dieser Punkt deutlich mit dem Schaltsymbol für Masse – eine kurze, kräftige waagerechte Linie – gekennzeichnet. Sie ist nicht zu verwechseln mit den Minuszeichen für die Spannungspolarität, das ja aussagt: „Negativ in bezug auf Null bzw. Masse“, während das Pluszeichen bedeutet: „Positiv in bezug auf Masse“.

Im Eingangskreis der **Basisschaltung** liegt eine Signalquelle, die andeutet, daß hier die Einspeisung erfolgt. Das verstärkte Signal wird im Ausgangskreis am Außenwiderstand R_L abgenommen. Die Elektrodenspannungen sind in der Abbildung durch Plus- und Minuszeichen kenntlich gemacht. Typisch für die Basisschaltung ist u. a. der sehr kleine Eingangswiderstand (bis 200 Ohm). Wir finden Transistoren in Basisschaltung beispielsweise in UKW-Hochfrequenzstufen von Rundfunkgeräten.

Die am häufigsten benutzte Transistorschaltung hat den Emitter als gemeinsamen Bezugspunkt. Sie ist in Abbildung 70 gezeichnet. Die **Emitterschaltung** besitzt gute Verstärkungseigenschaften und einen mittleren Eingangswiderstand (bis 10 kOhm). Die Signalquelle liegt hier an der Basis, der Außenwiderstand in der Kollektorleitung.



In der Abbildung 70 sind an der Basis und am Kollektor zwei Wechselspannungszeichen angegeben, und zwar entgegengesetzt gezeichnet. Das führt uns zu einer Erscheinung, die in der elektronischen Technik als „Phasendrehung“ bekannt ist. Beim Transistor gibt es diese 180° -Drehung der Wechselspannung nur in der Emitterschaltung, während bei der Basis- und der noch folgenden Kollektorschaltung keine Phasendrehung stattfindet.

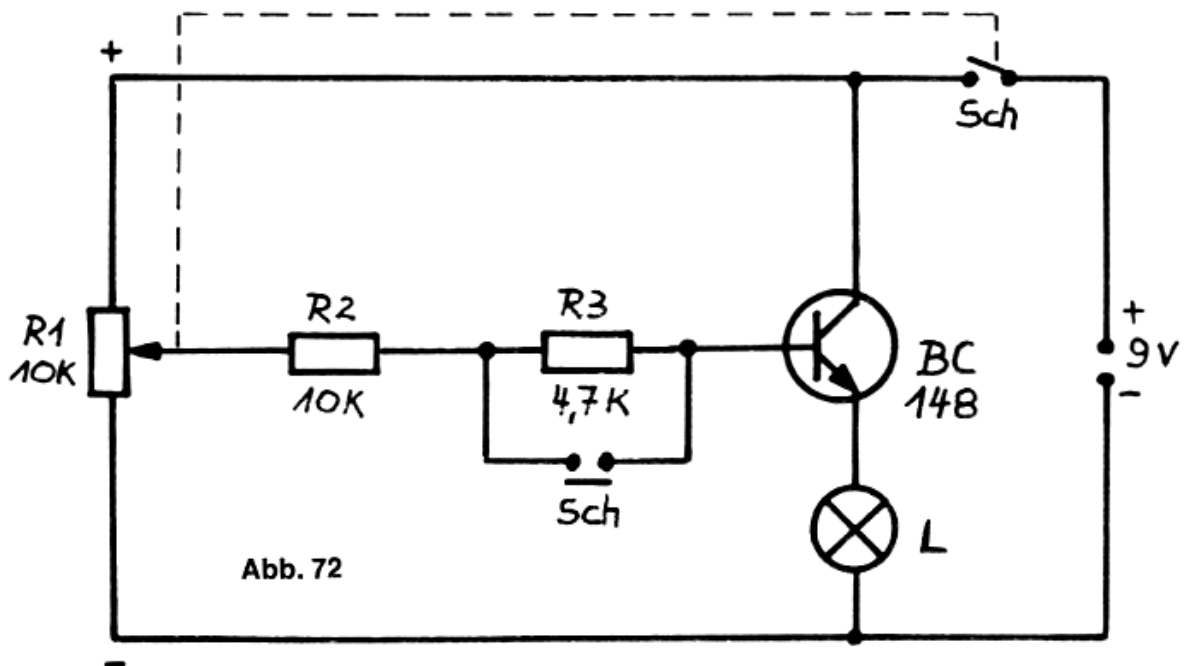
Eine Phasendrehung entsteht bei der Steuerung des Kollektorstroms durch den Basisstrom. Führen wir der Basis z. B. eine positive Halbwelle zu, dann steigt bei einem NPN-Transistor der Kollektorstrom an. Dadurch wird die Spannung am Kollektor kleiner, und es entsteht dort eine negative Halbwelle. Wird die Basis anschließend mit der negativen Halbwelle angesteuert, dann sinkt der Kollektorstrom, und die Spannung am Kollektor steigt an. Folglich erhalten wir im Ausgangskreis eine positiv verlaufende Halbwelle.

Bei der dritten Grundschaltung dient der Kollektor als gemeinsamer Bezugspunkt. Die **Kollektorschaltung** hat einen sehr hohen Eingangswiderstand (bis 500 kOhm) und einen kleinen Ausgangswiderstand (50–500 Ohm). Sie wird nur selten verwendet und hat lediglich als sogenannter „Impedanzwandler“ Bedeutung. Man nennt die Kollektorschaltung auch „Emitterfolger“. Der Außenwiderstand liegt in der Emittierleitung, das Eingangssignal wird der Basis zugeführt.

3.13. Versuche mit Kollektor- und Emitterschaltung

Das in Abschnitt 3.12. Gesagte wollen wir in zwei Versuchen praktisch erproben. Die Schaltung in Abbildung 72 stellt eine **Kollektorschaltung** dar. Im Emittierkreis liegt die Lampe L1, die als Außenwiderstand des NPN-Transistors arbeitet. Wir stellen zunächst am Potentiometer R1 eine positive Basisspannung ein, und zwar so, daß die Lampe schwach leuchtet. Der Basisstrom fließt also über R1, R2 und R3.

Würden wir im Versuch 16 mit einem Meßinstrument die Basis- und Emitterspannung messen, so erhielten wir für diesen Betriebszustand



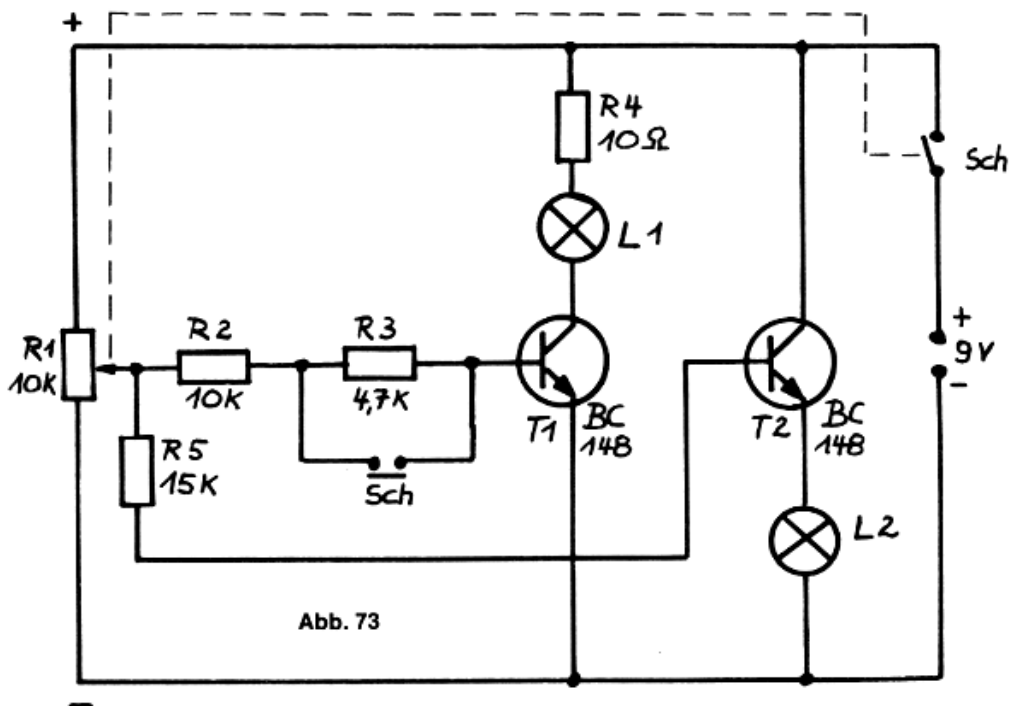
an beiden Elektroden etwa gleiche Werte. Wenn die Spannungen am Eingang und Ausgang der Kollektorschaltung aber gleich groß sind, liegt keine Spannungsverstärkung vor. Sie ist bei der Kollektorschaltung bzw. beim Emitterfolger stets kleiner als 1!

Wenn wir bei mittlerer Helligkeit der Lampe den Widerstand R3 mit dem Schalter überbrücken, vergrößert sich der Basisstrom um einen bestimmten Betrag ($I = U : R$). Die Lampe in der Emitterleitung brennt aber nur unwesentlich heller. Der Strom im Transistor scheint also nur geringfügig zugenommen zu haben. Das läßt darauf schließen, daß die Basisstromzunahme ebenfalls nur minimal war. Da der Basisstrom auch über die als Eingangswiderstand wirkende Basis-Emitter-Strecke des Transistors fließt, läßt sich aus dieser Erscheinung ableiten, daß die Widerstandsänderung von 4,7 kOhm durch R3 sich auf den Transistoreingangswiderstand relativ wenig auswirkt. Dies unterstreicht das Vorhandensein eines verhältnismäßig großen Eingangswiderstandes bei der Kollektorschaltung. Mit ihr können also hohe Widerstandswerte in niedrige umgewandelt werden. Man kann es auch anders sagen: Mit einem zwischengeschalteten Emitterfolger lassen sich Schaltungsstufen mit einem hohen Ausgangswiderstand an Schaltungsstufen mit einem niedrigen Eingangswiderstand „anpassen“.

An einem vereinfachten Beispiel wollen wir uns den Begriff der Stromverstärkung verständlich machen. Stromverstärkung gibt es nur bei der Emitter- und Kollektorschaltung, während sie bei der Basisschaltung stets kleiner als 1 ist. Nehmen wir an, in der Kollektorschaltung nach Abbildung 72 sei ein Eingangswiderstand von 100 kOhm wirk-

sam und die Basisspannung betrüge 2 V. Das ergäbe nach dem Ohmschen Gesetz einen Basisstrom von $2 : 100\,000 = 0,00002\text{ A} = 0,02\text{ mA}$. Die mit mittlerer Helligkeit brennende Lampe hätte einen Widerstand von 500 Ohm, und sie würde von einer Emitterspannung gespeist, die ebenfalls 2 V betrüge. Durch die Lampe würde dann ein Strom von $2 : 500 = 0,004\text{ A} = 4\text{ mA}$ fließen.

Vergleichen wir beide Ströme miteinander, so ergibt sich ein 200mal größerer Emitterstrom, was einer 200fachen Stromverstärkung entspricht. Die betreffenden Spannungen ändern sich nicht, wohl aber die Widerstandswerte. Dies muß nach dem vorher Gesagten auch sein, denn die Kollektorschaltung ist ja ein Impedanzwandler.



Im Versuch 17 lernen wir die Verstärkerwirkung der **Emitterschaltung** kennen. Das Schaltbild (Abb. 73) enthält zwei Transistoren, von denen T1 in Emitterschaltung betrieben wird. Der Transistor T2 wird hier in Kollektorschaltung zum Vergleich herangezogen. Beide Transistoren erhalten vom Potentiometer R1 dieselbe Basisspannung. Die Anzeigelampen L1 und L2 liegen als Außenwiderstände im Kollektor- bzw. Emittterkreis der Transistoren.

Wenn wir den Schleifer des Potentiometers von der Minusseite zum positiven Anschluß drehen, stellen wir fest, daß die Lampe L1 schon bei einer kleinen positiven Basisspannung zu glühen beginnt. Die Lampe L2 ist dagegen noch dunkel. Es liegt deshalb bei der Emitterschaltung eine Spannungsverstärkung vor, weil bereits kleine Eingangsspannungen (oder kleine Basisströme) große Spannungsänderungen im Ausgangskreis hervorrufen.

Drehen wir das Potentiometer ganz bis zum Plusanschluß auf, so stellt sich bei beiden Lampen eine gleich große Helligkeit ein. Die Zunahme der Helligkeit erfolgte jedoch nicht gleichmäßig. Wir können diese unterschiedliche Helligkeitsänderung auch beobachten, wenn das Potentiometer wieder zurückgeregelt wird. Die Lampe L2 wird von Beginn an dunkler, während L1 zunächst noch mit gleicher Helligkeit leuchtet. Erst wenn die Basisspannung unter einen bestimmten Wert abgesunken ist, nimmt auch L1 in der Helligkeit ab.

Wir ziehen daraus folgenden Schluß: Wenn auf Spannungs- bzw. Stromänderungen an der Basis keine entsprechenden Änderungen im Ausgangskreis (Lampe L1) mehr erfolgen, so ist der Transistor „übersteuert“. Er arbeitet dann nicht mehr in seinem normalen Bereich, und das Ausgangssignal ist stark verzerrt. Die „linearen“ Verstärkungseigenschaften der Emitterschaltung sind in diesem Fall nicht mehr vorhanden. Erst wenn der richtige Arbeitsbereich gewählt wird (in unserem Versuch mit R1), stellen sie sich wieder ein. Beim Verändern des Potentiometers muß dann die Helligkeit der Lampe L1 gleichmäßig zu- oder abnehmen.

Abschließend machen wir auch bei der Emitterschaltung einen Test mit dem Eingangswiderstand (Abb. 73). Nachdem die Lampe L1 auf eine mittlere Helligkeit eingestellt wurde, überbrücken wir mit dem Schalter den Widerstand R3 (4,7 kOhm). Daraufhin ergibt sich eine wesentliche Helligkeitszunahme bei L1. Der Basisstrom von T1 muß sich also durch das Kurzschließen von R3 sehr vergrößert haben, denn die Widerstandsänderung von 4,7 kOhm hatte ja eine relativ große Kollektorstromänderung zur Folge (ausgelöst durch den Basisstrom). Es ergibt sich daraus die Bestätigung, daß der wirksame Eingangswiderstand der Emitterschaltung kleiner ist als bei der Kollektorschaltung. Dort hatte die gleiche Widerstandsänderung eine nur unwesentliche Stromänderung im Transistor zur Folge. Wie schon im Abschnitt 3.12 erwähnt, beträgt der Eingangswiderstand einer Emitterschaltung einige Kilo-Ohm, während er bei der Kollektorschaltung ein Vielfaches davon ist.

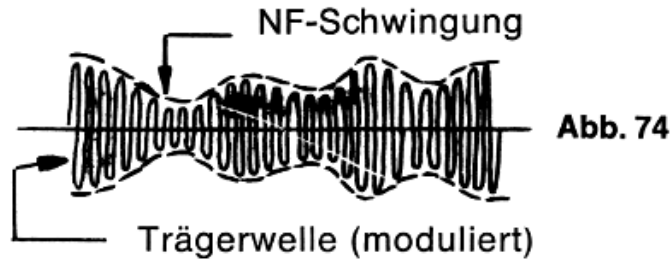
Kapitel 4

Von A bis Z: Elektronische Technik kurz gefaßt

In diesem abschließenden Kapitel sind Erläuterungen einiger wichtiger technischer Ausdrücke und Begriffe zu finden. Sie werden teilweise durch Zeichnungen oder Schaltbilder ergänzt und stellen naturgemäß nur eine kleine Auswahl aus dem umfangreichen Gebiet der elektronischen Technik dar. Wer mehr hierüber wissen möchte, findet in den Philips Lehrbriefen Band I und II ein umfassendes Unterrichts- und Nachschlagewerk, das über praktisch alle interessierenden Bereiche der elektronischen Technik informiert. Der in leicht verständlicher Form gehaltene Inhalt wurde völlig überarbeitet und dem neuesten Stand der Technik angepaßt. Zu erhalten ab Herbst 1971 über den Buchhandel.



Amplitudenmodulation (AM). Lang-, Mittel- und Kurzwellensender „transportieren“ ihre Sprach- und Musiksendungen auf Trägerwellen durch den Äther zu den Rundfunkempfängern. Die hochfrequenten Trägerwellen werden im Sender im Takte der zu übertragenden Niederfrequenz „moduliert“, d. h. sie werden so beeinflusst, daß ihre Amplituden den aufgeprägten Tonschwingungen entsprechen (Abbildung 74).



Bandbreite. Rundfunkgeräte enthalten im Hoch- und Zwischenfrequenzteil Schwingkreise. Die Resonanzkurve eines Einzelkreises ist in Abbildung 75, die eines Bandfilters in Abbildung 76 zu sehen. Ihre Bandbreite wird bei einem Wert gemessen, der das 0,7fache des Scheitelwertes beträgt. Aber auch im Niederfrequenzbereich wird die Bandbreite zur Beurteilung der Geräteeigenschaften herangezogen. Man sagt, daß ein NF-Verstärker eine Übertragungs-Bandbreite oder einen Frequenzbereich von z. B. 40 bis 18 000 Hertz besitzt (Abbildung 77).

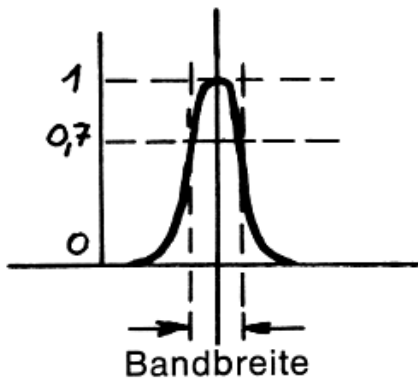


Abb. 75
(Einzelkreis)

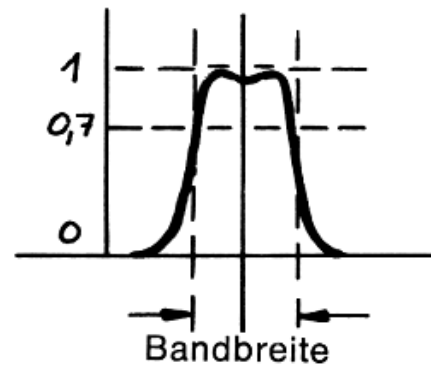
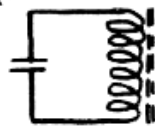
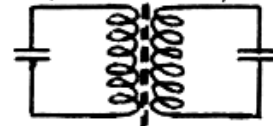
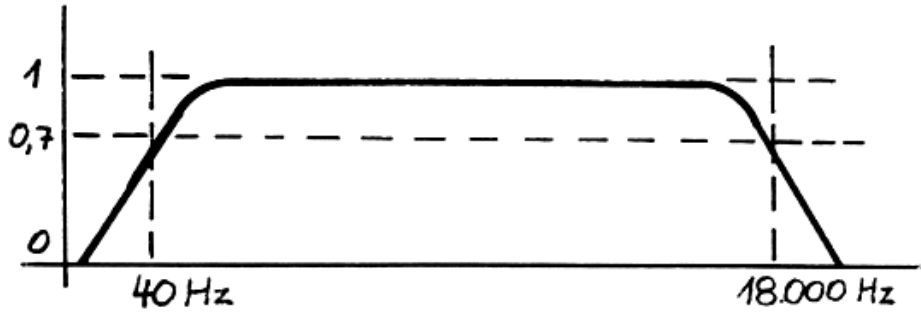


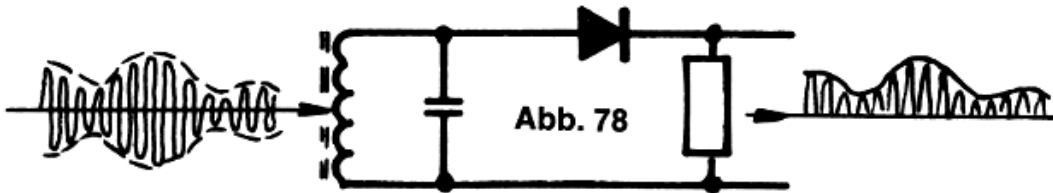
Abb. 76
(Bandfilter)



Diodengleichrichter. Amplitudenmodulierte Hochfrequenz wird mit einer Diode gleichgerichtet oder „demoduliert“. Man nutzt hierbei die Ventilwirkung der Diode aus und gewinnt nach dem in Abbildung 78 dargestellten Schema die Niederfrequenz.

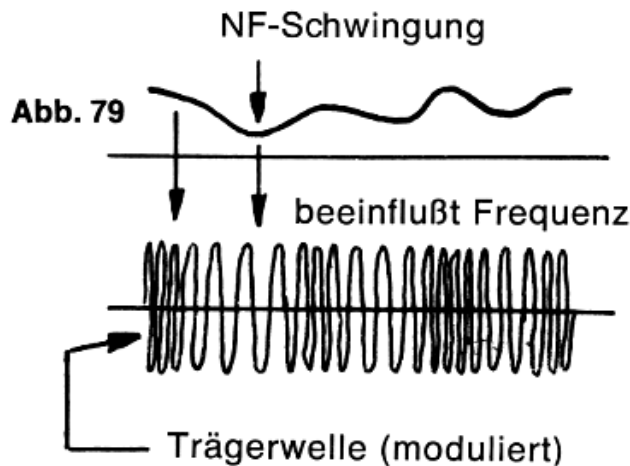


NF-Bandbreite **Abb. 77**



Einkreiser. Bezeichnung für einen Rundfunkempfänger, der mit nur einem Abstimmkreis ausgestattet ist und Ortsempfang ermöglicht. Nachteil: geringe Trennschärfe und Empfindlichkeit. Eine Verbesserung ergibt sich beim Zweikreiser. Da jedoch gleichzeitiges Abstimmen mehrerer hinteregeschalteter Einzelkreise schwierig ist (Geradeausempfänger), ging man zum Überlagerungsempfänger über (siehe unter Super).

Frequenzmodulation (FM). UKW-Sender arbeiten nach einem anderen Sendeverfahren als bei Lang-, Mittel- und Kurzwelle gebräuchlich. Bei ihnen wird nicht die Amplitude, sondern die Frequenz der Senderwelle im Takte der zu übertragenden Niederfrequenz verändert. Das Prinzip der „Frequenzmodulation“ ist in Abbildung 79 angegeben.



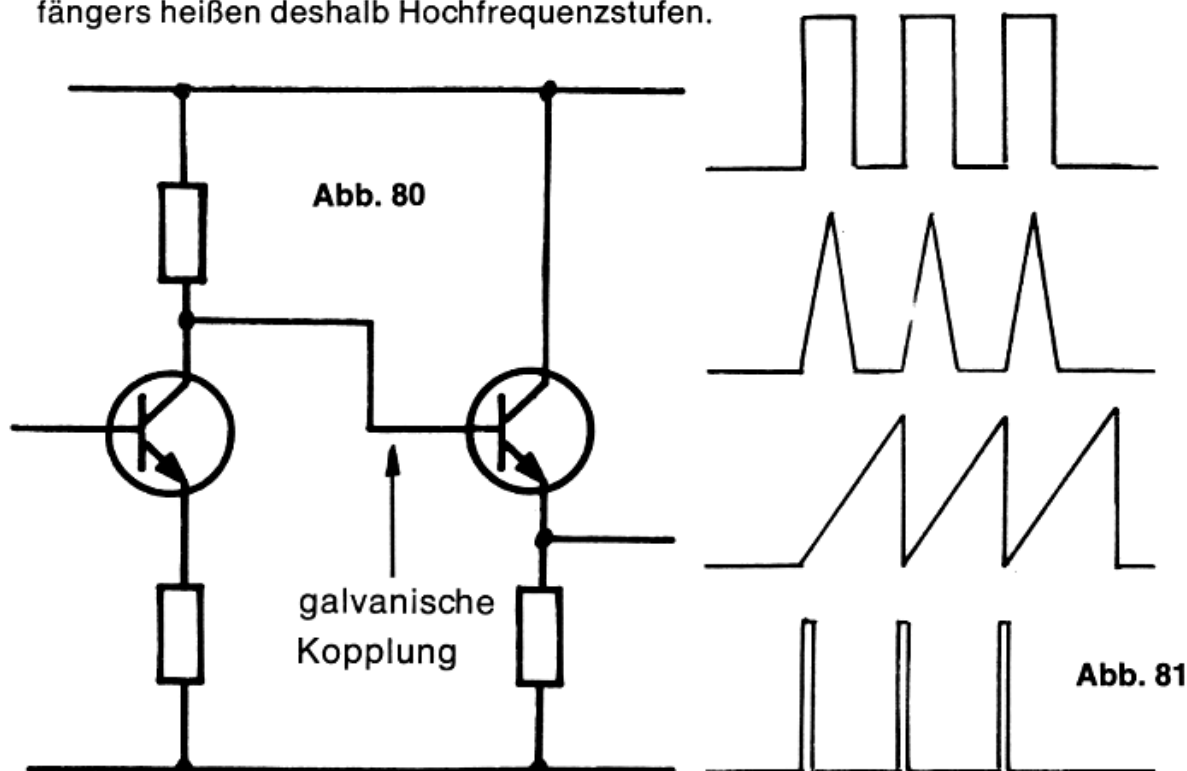
Flip-Flop (siehe unter Multivibrator).

Gegenkopplung. Hierunter versteht man das Zurückführen eines Teiles der Ausgangsspannung auf den Eingang einer Verstärkerstufe. Die zurückgeführte Spannung muß **gegenphasig** zur Eingangsspannung sein, damit die Verstärkung herabgesetzt wird. Durch die Gegenkopplung werden die

Übertragungseigenschaften eines Verstärkers verbessert, weil auftretende Verzerrungen entscheidend verringert werden.

Galvanische Kopplung. Wenn zwei Transistorstufen nach Abbildung 80 ohne Zwischenschalten eines Kondensators oder Transformators verbunden sind, so spricht man von einer galvanischen oder direkten Kopplung. Vorteil: In bestimmten Schaltungen ist es wichtig, auch die Gleichstrom- bzw. Gleichspannungsänderungen voll zu übertragen. Eine Kondensator- kopplung würde dies unmöglich machen.

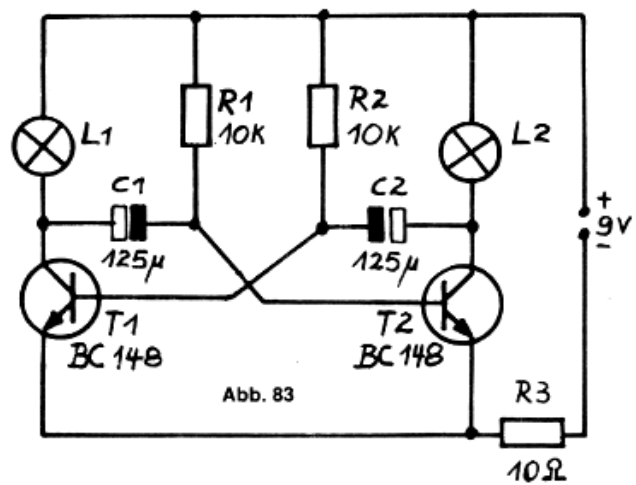
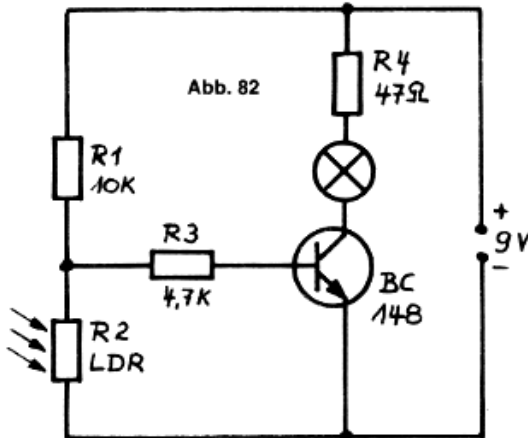
Hochfrequenz. Allgemein bezeichnet man die elektromagnetischen Schwin- gungen ab etwa 150 kHz (hier beginnt der Langwellenbereich) als Hoch- frequenz. Die unmittelbar auf die Antenne folgenden Stufen eines Emp- fängers heißen deshalb Hochfrequenzstufen.



Impulse. Außer den Sinusschwingungen gibt es sogenannte Impulsschwin- gungen, die von speziellen Oszillatoren erzeugt werden. In Abbildung 81 sind einige typische Formen zu sehen: Rechteck-, Dreieck-, Sägezahn- und Nadelimpulse.

Klirrfaktor. Die Verzerrungen innerhalb eines Niederfrequenzverstärkers werden als Klirrfaktor oder Klirrgrad in Prozenten gemessen. Hifi-Geräte z. B. haben bei voller Leistung einen Klirrfaktor von unter 1 Prozent.

Lichtempfindlicher Widerstand (LDR). Ein LDR (light dependent resistor) ändert seinen Widerstand in Abhängigkeit vom auftretenden Licht. Bei hoher Beleuchtungsstärke ist sein Widerstand klein, z. B. ca. 10 Ohm bei 10 000 Lux, bei Dunkelheit kann er dagegen einige MegOhm betragen. Im Versuch 18 lernen wir den LDR als Glied eines Spannungsteilers im Basis-



kreis einer Transistorschaltung kennen (Abbildung 82).

Fällt viel Licht auf den LDR, ist sein Widerstand gering und die an der Basis auftretende positive Spannung ebenfalls klein. Der Transistor bleibt gesperrt, und die Lampe im Kollektorkreis leuchtet nicht. Wird die Lichtquelle dunkel oder gar ganz ausgeschaltet, so ändert der Spannungsteiler seinen Wert, weil der LDR jetzt hochohmig geworden ist. Es fließt daher ein ausreichend hoher positiver Basisstrom, um den Transistor leitend zu machen. Die Lampe leuchtet also hell.

Multivibrator. Ein „Multi-Vibrator“ ist ein Vielfachschwinger und erzeugt Frequenzen mit impulsförmigem Spannungsverlauf. Er besteht aus zwei Transistoren, die als elektronische Schalter arbeiten und sich wechselseitig ein- und ausschalten. Ihre Schaltgeschwindigkeit wird durch Widerstände und Kondensatoren bestimmt, die in Abbildung 83 mit R1, R2 und C1, C2 angegeben sind. Da die Kondensatoren recht große Kapazitäten haben, ist die erzeugte Blinkfrequenz relativ niedrig. Die Lampen L1 und L2 glühen auf, wenn der betreffende Transistor Strom führt, d. h., wenn seine Basis positiv ist.

Im Grunde ist ein Multivibrator nichts anderes als ein stark rückgekoppelter zweistufiger Verstärker. Der Rückkopplungsweg führt in Abbildung 83 vom Kollektor T2 über C2 zurück auf die Basis des ersten Transistors. Die erzeugten Schwingungen sind Impulse mit steilen Flanken. Sie schalten an der Basis den Transistorstrom schlagartig ein oder aus.

Im Versuch 19 können wir die Wirkungsweise des astabilen Multivibrators gut beobachten. Beide Lampen blinken im Rhythmus der Schaltfrequenz auf. Je größer wir C1/C2 und R1/R2 machen, um so länger werden die Perioden.

Der **monostabile Multivibrator** hat nur einen stabilen Arbeitszustand. Baut man nach Abbildung 84 die Versuchsschaltung 20 auf, so brennt im stabilen Zustand die Lampe L2. Der Transistor T2 ist also leitend und T1 gesperrt. Wird der Schalter jedoch geschlossen, so erhält die Basis T1 eine

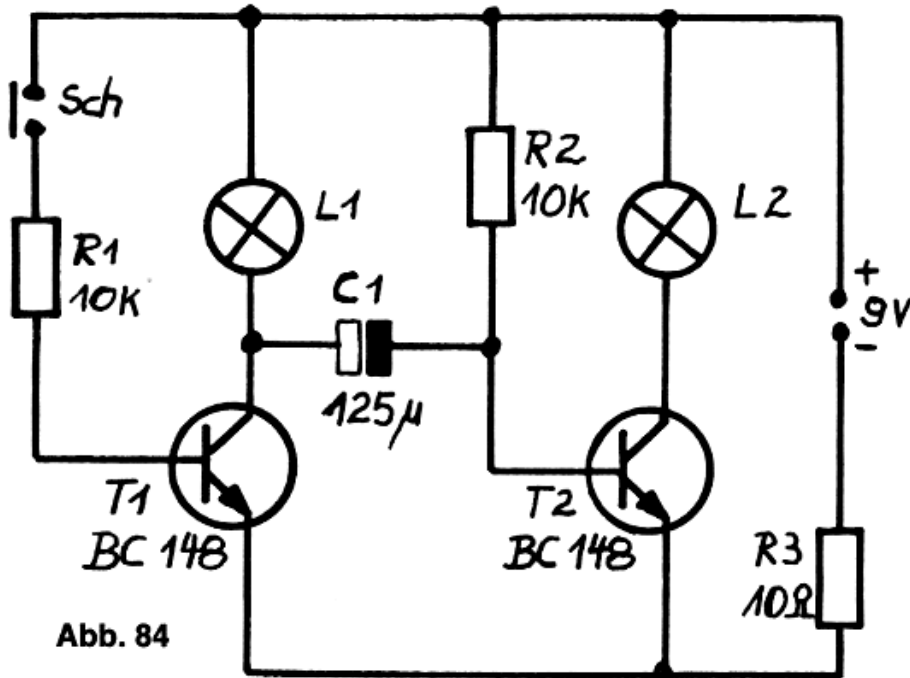


Abb. 84

positive Spannung, und der Transistor T1 leitet. Die Lampe L1 im Kollektorkreis leuchtet auf, während L2 verlischt und der Transistor T2 gesperrt wird.

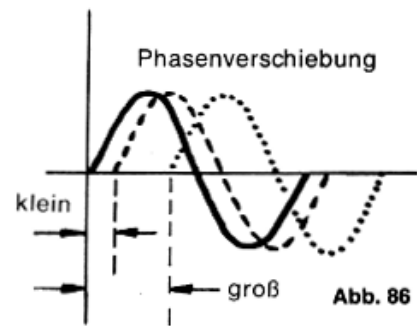
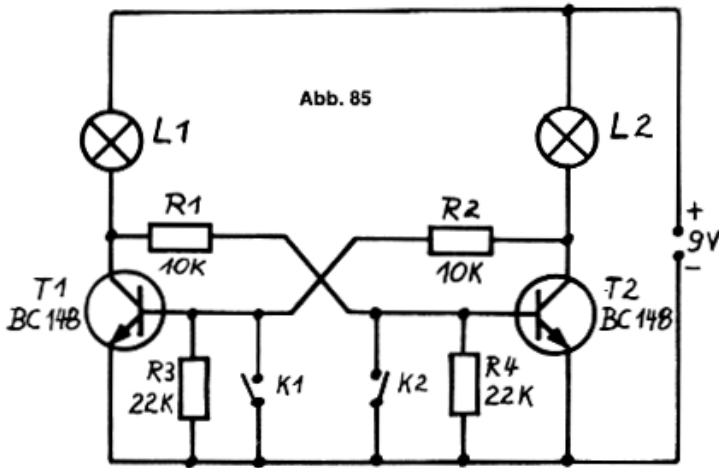
Im stabilen Arbeitszustand des Multivibrators hatte sich der Kondensator C1 über die Lampe L1 und die Basis-Emitterstrecke des Transistors T2 aufgeladen. In dem Moment, in dem nun T1 leitend wird, liegt der Kondensator einseitig gegen Masse, weil T1 praktisch einen Kurzschluß darstellt. Die Basis von T2 bekommt dadurch einen negativen Spannungsimpuls, der den Transistor sperrt. (Lampe L2 brennt nicht mehr.)

Da aber der Widerstand R2 vom Pluspol der Batterie gegen die Basis T2 liegt, wird der Kondensator C1 langsam umgeladen. Als Folge wird die Basis positiver, der Transistor T2 wieder leitend, und die Lampe L2 leuchtet auf. Dagegen sperrt jetzt der Transistor T1.

Nun kann der Schalter wieder ausgeschaltet werden; erst mit einem erneuten Schaltvorgang ändert sich der stabile Zustand wieder.

Die Zeit vom Verlöschen der Lampe L2 bis zum neuen Aufleuchten kann durch den Kondensator C1 und den Widerstand R1 beeinflusst werden; je größer die Werte, desto länger die Zeitdauer des unstillen Zustands.

Ein **bistabiler Multivibrator**, auch **Flip-Flop** genannt (Abbildung 85), hat zwei stabile Arbeitszustände. Wenn z. B. im Einschaltmoment der Transistor T1 leitend ist, dann leuchtet die Lampe L1 auf, und die Schaltung bleibt in diesem stabilen Zustand. Wird dann durch einen Impuls dieser Transistor zwangsweise gesperrt (das geschieht in unserem Versuch 21 durch Kurzschließen der Basis gegen Masse mit dem Kontakt K1), dann verlischt die Lampe L1. Nun kann eine positive Spannung über den Wider-



stand R1 auf die Basis von T2 gelangen, so daß dieser Transistor leitend wird und die Lampe L2 aufleuchtet.

Um diesen Vorgang auszulösen, braucht der Kontakt K1 nur kurzzeitig geschlossen werden, denn nach dem Umkippen wird der Transistor T1 automatisch gesperrt. Die Emitter-Kollektorstrecke von T2 bildet nämlich einen Kurzschluß, R2 liegt somit gegen Masse, und wegen der fehlenden positiven Basisspannung wird T1 gesperrt.

Schließen wir nun den Kontakt K2, so wird der Transistor T2 gesperrt. Die Basis des Transistors T1 bekommt dagegen über R2 eine positive Spannung, und die Schaltung ist wieder in ihrem Ausgangszustand.

Niederfrequenz. So heißen die den Verstärkern zugeführten Wechselspannungen von Tonabnehmern, Mikrofonen oder Gleichrichterschaltungen. Sie umfassen den Bereich von ca. 20–20 000 Hertz und werden deshalb auch Tonfrequenzen genannt. Mit ihnen moduliert man auch die Trägerwellen der Rundfunksender. Die Niederfrequenz wird von Lautsprechern als Schallwellen abgestrahlt.

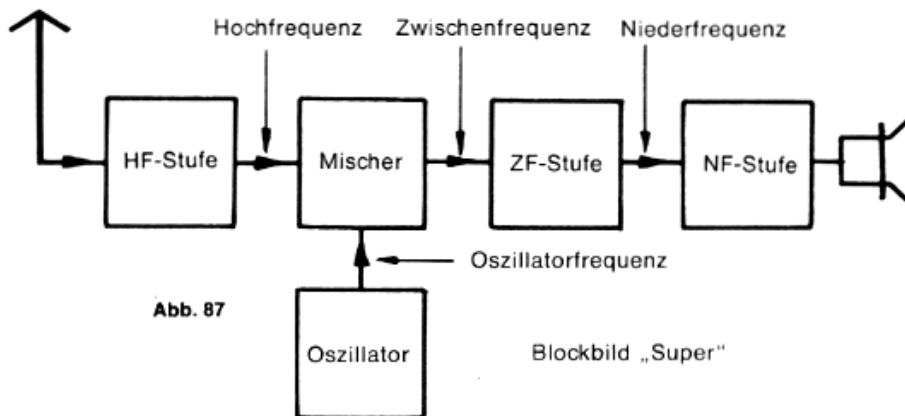
Oszillatoren sind Schwingungserzeuger, d. h. rückgekoppelte Wechselspannungsgeneratoren. Man unterscheidet LC-Oszillatoren und RC-Oszillatoren. Bei einem LC-Oszillator bestehen die frequenzbestimmenden Glieder aus Spulen und Kondensatoren; er erzeugt Sinusschwingungen. Die frequenzbestimmenden Glieder des RC-Oszillators sind Widerstand und Kondensator; er erzeugt neben Sinuswellen auch Rechteckwellen.

Phase. Wenn zwei Wechselspannungen zeitlich gegeneinander verschoben sind, so sagt man, daß sie in der „Phase“ unterschiedlich sind. Wir finden dies beim Kondensator, der an eine Batterie angeschlossen wird. Hier eilt der Strom der Spannung voraus, d. h. es fließt zuerst ein Ladestrom, und danach baut sich die Spannung auf. In der Spule eilt der Strom dagegen nach, hier ist zuerst die Spannung da. Diese Phasenverschiebung wird in Abbildung 86 dargestellt. Sie wird in Grad gemessen.

Rückkopplung. Wird ein Teil der Ausgangsspannung eines Verstärkers auf den Eingang so zurückgeführt, daß eine **Gleichphasigkeit** vorliegt, dann

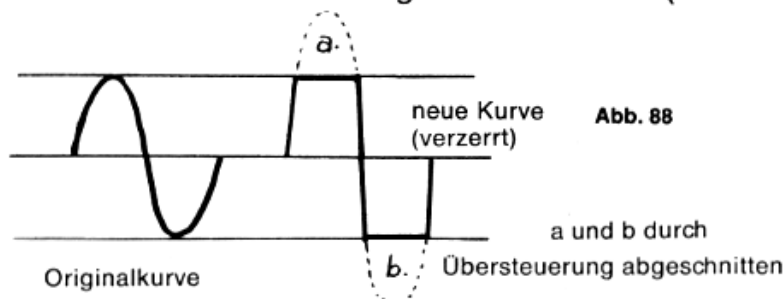
entsteht eine Rückkopplung. Die Verstärkung wird dadurch immer größer, und die Schaltung kommt schließlich ins Schwingen. Es tritt eine Selbsterregung ein. Der Rückkopplungseffekt ist die Grundlage aller Oszillatoren und Schwingungserzeuger.

Superhet. Sollen Rundfunkgeräte eine bessere Empfindlichkeit und größere Trennschärfe haben, so macht man vom Überlagerungsprinzip Gebrauch. Hierbei wird nach Abbildung 87 das Signal des Senders mit einer im Empfänger erzeugten Welle gemischt oder „überlagert“. Aus diesem Prozeß entsteht eine neue Frequenz, die beim Abstimmvorgang immer konstant bleibt, ganz gleich, welcher Sender und welcher Bereich eingestellt ist. Man nennt sie „Zwischenfrequenz“. Die Bezeichnung Superhet oder Super ist eine Abkürzung des Wortes Superheterodynempfänger, was soviel wie Überlagerungsempfänger heißt.



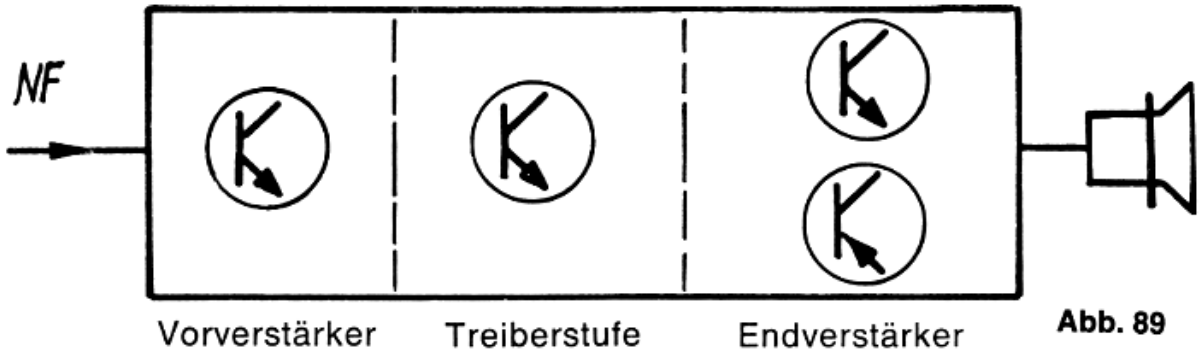
Treiberstufe. In Lautsprecher-Endverstärkern mit Transistoren findet man vor der eigentlichen Endstufe eine mit Treiberstufe bezeichnete Transistor-schaltung. Sie liefert die zur Aussteuerung der Endstufe erforderliche Leistung, sie „treibt“ gewissermaßen die Endstufe an.

Übersteuerung. Eine Übersteuerung liegt immer dann vor, wenn einer Röhre oder einem Transistor zuviel Spannung zur Verstärkung angeboten wird. Der normale Arbeitsbereich wird dann weit überschritten oder „übersteuert“. Als Folge treten Verzerrungen auf, durch die das ursprüngliche Signal stark verändert wird. Es gibt jedoch auch Schaltungen, besonders in der Impulstechnik, wo man eine Übersteuerung absichtlich herbeiführt, um neue Formen der verarbeiteten Signale zu erhalten (Abbildung 88).

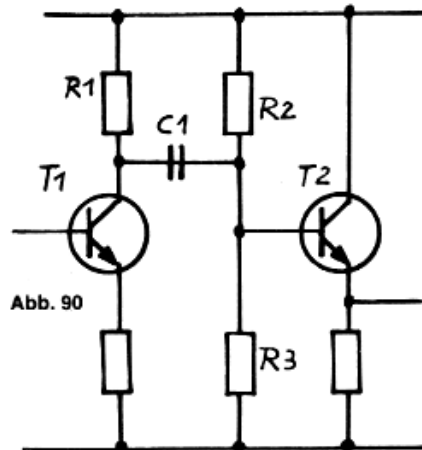


Vorverstärker. Der Niederfrequenzteil eines Gerätes besteht aus mehreren Schaltungsstufen (Abbildung 89). Da die vom Dioden-Gleichrichter oder Tonabnehmer stammenden Tonfrequenzsignale zu klein sind, um die Endstufe voll auszusteuern, müssen sie zunächst vom Vorverstärker verstärkt werden. Außerdem wird er gebraucht, um Verstärkungsverluste bei Anwendung einer Gegenkopplung oder eines Klangregelnetzwerkes auszugleichen.

Blockbild „Niederfrequenzverstärker“



Widerstandskopplung. Im Gegensatz zur galvanischen Kopplung sperrt eine Widerstands- oder RC-Kopplung die Gleichspannung. In Abbildung 90 ist eine Prinzipschaltung angegeben. Die Kollektorgleichspannung von T1 kann nicht über C1 an die Basis von T2 gelangen und die vom Spannungsteiler R2/R3 gelieferte Basisspannung verändern. Die an R1 stehende Wechselspannung wird dagegen von Kondensator C1 durchgelassen und kann in T2 weiterverstärkt werden.



Zwischenfrequenz. Die in der Mischstufe des Überlagerungsempfängers entstehende Zwischenfrequenz ändert sich nicht beim Abstimmvorgang. Sie kann daher mühelos mit festabgestimmten Schwingkreisen im Zwischenfrequenzverstärker so weit verstärkt werden, bis ihre Amplitude groß genug ist, um den Gleichrichter oder Demodulator auszusteuern.

Unsere Anschrift lautet:

in Deutschland

DEUTSCHE PHILIPS GMBH
Abteilung Technische Spielwaren
2000 Hamburg 1
Postfach 1093

in Österreich

PHILIPS G.m.b.H.
Abt. H.I.G. – R.G.T.
Triester Straße 64
Wien X

in der Schweiz

PHILIPS A.G.
Philips Haus
Edenstraße 20
Zürich 3/45

