DASD-FIBEL

Wie werde ich Kurzwellen-Amateur?

Herausgegeben im Einvernehmen
mit dem Rundfunkamt der Reichsjugendführung
vom Deutschen Amateur-Sende- und
Empfangsdienst e. V.

Verfasser:
Rolf Wigand
DE 0065 D 4 cxf

Weidmannsche Buchhandlung Berlin SW 68

DASD-FIBEL

Wie werde ich Kurzwellen-Amateur?

Herausgegeben im Einvernehmen
mit dem Rundfunkamt der Reichsjugendführung
vom Deutschen Amateur-Sende- und
Empfangsdienst e. V.

Verfasser:

Rolf Wigand

DE 0065 D 4 cxf

1936

Weidmannsche Buchhandlung Berlin SW 68

Zum Geleit

Die vorliegende DASD-Fibel ist aus dem Bedürfnis entstanden, all' denen, die sich für den edeln Funksport begeistern, und insbesondere unseren Jungamateuren aus der HJ, ein Lehrbuch in die Hand zu geben, das in leicht faßlicher Weise die Grundlagen des technischen Wissens und Könnens vermitteln soll, die der Amateur braucht, um auf den verschiedenen Gebieten der sportlichen Funkerei etwas Tüchtiges zu leisten.

Darüber hinaus versteht es sich von selber, daß die Gestaltung des Lehrstoffes vornehmlich auf die Bedürfnisse der Mitglieder des Deutschen Amateur-Sende- u. Empfangsdienstes e. V. zugeschnitten ist. — Damit dient das kleine Werk aus der berufenen Hand von Rolf Wigand aber auch Zwecken, die der deutschen Industrie und Wissenschaft und nicht zuletzt der deutschen Wehrmacht zu Wasser, zu Lande und in der Luft zugute kommen werden.

Heil Hitler!

Gebhardt

Konteradmiral a. D.
Präsident des DASD e. V.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

Bei dem starken Anwachsen der Amateurbewegung der ganzen Welt war sicher zuerst das sportliche Moment ausschlaggebend, und der Ausdauer und großen Begeisterung, mit der sich die ersten Funkamateure ihrer Liebhaberei widmeten, ist ein Teil des Aufschwungs der drahtlosen Nachrichtentechnik zu verdanken. Der Forschung sind ebenfalls durch die Mitarbeit der Kurzwellenamateure schon große Dienste geleistet worden.

Der Deutsche Amateur-Sende- und Empfangsdienst (DASD) e. V., der bei Erscheinen dieses Büchleins schon mehr als zehn Jahre besteht, wurde durch die im Jahre 1935 erschienene „Bekanntmachung über Versuchssender" vom Reichspostminister als einzige nichtstaatliche Organisation anerkannt, die für ihre Mitglieder die Erlaubnis erhalten kann, selbst einen Sender zu betreiben (sogen. Sendeerlaubnis). Für alle diejenigen also, die sich auch mit der Sendetechnik aktiv beschäftigen wollen, ist innerhalb des DASD die einzige Möglichkeit hierfür geboten.

Im DASD kann sich jeder mit der gesamten Kurzwellentechnik vertraut machen und sich mit dem Teilgebiet beschäftigen, das ihm am meisten liegt. Eines der Ziele des DASD ist es, seinen Mitgliedern die für diese Beschäftigung notwendige technische Ausbildung zu geben und sie in die Kenntnisse der Morsetelegraphie und den praktischen Verkehrsbetrieb einzuweihen. Eine technische Abteilung dient in Zusammenarbeit mit erfahrenen Amateuren der Förderung der Technik, ein über das ganze Reich verteiltes Netz von Stationen, die in regelmäßigen Abständen betriebsmäßigen Telegramm-Uebungsbetrieb machen — sogen. Betriebsdienst-Stationen — ermöglichen die Vervollständigung der Kenntnisse in betrieblicher Hinsicht. Die Zeitschrift „CQ" des DASD berichtet laufend über den technischen Stand und die Fortschritte.

Um die Aufgabe erfüllen zu können, jedem Amateur die erforderliche Ausbildung zu gewähren, ist eine Unterteilung in Landes-, Bezirks- und Ortsgruppen vorgenommen worden.

Da bereits kleine Stationen auf der ganzen Welt gehört werden können, ist eine besonders gute Ausbildung im Morsen und in betrieblichen Dingen sehr wichtig, um das gute Ansehen der deutschen Amateure in der Welt zu erhalten und zu stärken. Das ist auch der Grund, weshalb von jedem Amateur vor Erteilung der Sendeerlaubnis erst zwei Prüfungen abgelegt werden müssen, die sich nicht nur auf technische Dinge, sondern ebenso auf die Kenntnis der Morsezeichen und die mit dem Betriebe zusammenhängenden Fragen erstrecken. Wie wichtig die Ausbildung eines gut geschulten technischen Nachwuchses ist, läßt sich leicht ermessen, wenn man beachtet, daß Industrie, Wehrmacht und Wissenschaft gleichermaßen ein Interesse daran haben. In immer steigendem Maße findet man Kurzwellenamateure an verantwortlichen Stellen, und nur die gute technische und funkerische Ausbildung, die ihnen der DASD mit auf den Weg gab, legte den Grund zu ihren weiteren Erfolgen.

Ein weiterer Anreiz für die Beschäftigung mit den kurzen Wellen liegt im rein Sportlichen. Wettbewerbe gestatten, die technischen und betrieblichen Fertigkeiten des einzelnen voll einzusetzen, und wie in sportlichen Wettbewerben die höchste Leistung gewertet wird, so auch hier.

Wie überall, so wird auch im DASD der Nachwuchs in Zukunft mehr und mehr aus der Hitler-Jugend kommen. Ein freundschaftliches Zusammenarbeiten zwischen HJ und DASD — durch Abkommen vom März und November 1935 verankert — und besondere Jugendgruppen im DASD sollen den Nachwuchs sicherstellen. In diesem Zusammenhange sei erwähnt, daß für die dem DASD angehörenden Hitler-Jungen der Dienst im DASD gleichzusetzen ist dem Dienst in der HJ.

Der Werdegang eines deutschen Kurzwellenamateurs ist folgender. Nach Eintritt in den DASD muß er innerhalb einer bestimmten Zeit den Nachweis erbringen, daß er sich hinreichend mit der Kurzwellen-Empfangstechnik vertraut gemacht hat, um einen Empfänger und die dazugehörigen Nebenapparate, wie Frequenzmesser usw., selbst bauen und erfolgreich bedienen zu können. Ferner ist der Nachweis einer

Empfangsanlage (Empfänger, Frequenzmesser) erforderlich. Eine Prüfung (sogen. „DE"-Prüfung) im Morsen, den betrieblichen Dingen und den gesetzlichen Vorschriften gestattet einen Ueberblick über die sonstigen Fähigkeiten. Nach Bestehen dieser Prüfung, deren Wissensgebiet in erster Linie das vorliegende Büchlein gewidmet ist, erhält der Prüfling eine „DE-Nummer" (DE = Deutscher Empfänger) und kann dann an dem deutschen Hördienst teilnehmen, selbst durch Einsenden ausgefüllter Logblätter über die Beobachtungstätigkeit, Versenden von Beobachtungskarten an gehörte Stationen, daran mitarbeiten, der Forschung zu dienen, und sich selbst weiterzubilden und das Ansehen des DASD zu stärken. Nach Bewährung als DE kann dann die Vorbereitung auf die zweite (sogen. „D"-Prüfung) folgen, die erhöhte technische Anforderungen stellt und erweiterte Morsekenntnisse sowie erweiterte Kenntnis der Betriebsabkürzungen und der Vorschriften verlangt. Nach Bestehen dieser zweiten Prüfung kann der Bewerber eine Sendeerlaubnis erhalten und sein Senderufzeichen (D . . .) bekommen.

Von den behördlichen Vorschriften (Fernmelde-Anlage-Gesetz, Weltnachrichtenvertrag) seien folgende besonders hervorgehoben: Die Errichtung einer Sendeanlage ohne den Besitz der Versuchserlaubnis ist strafbar (Bestrafung deswegen zieht gegebenenfalls sofortigen Ausschluß aus dem DASD sowie Einziehung sämtlicher Geräte nach sich und nimmt dem Bestraften somit die Möglichkeit, je in den Besitz der Sendeerlaubnis zu gelangen).

Außerhalb des Amateurfunkbetriebes ist die Aufnahme anderer Telegramme als der durch die Voransetzung der Bezeichnung „CQ" als „An Alle" gekennzeichneten und die Weitergabe des Inhalts derartiger Telegramme an Dritte nicht zulässig.

I. Die Grundlagen

Strom

Die Bezeichnung „Strom" ist dem allgemeinen Sprachgebrauch entnommen, so sprechen wir beispielsweise vom Strömen des Wassers und nennen einen sehr großen Fluß einen „Strom". Wir wollen uns nun im folgenden klar zu machen suchen, was wir unter einem „elektrischen Strom" zu verstehen haben.

Wir stellen uns ein Rohr vor, das ganz mit Getreidekörnern angefüllt ist und das auf einer ebenen Unterlage liegt (Abb. 1). Aus dem

Abb. 1

Rohr werden — abgesehen von ein paar Körnern an den offenen Enden des Rohres — keine weiteren Körner herausfließen können. Wir stellen fest, daß das Rohr mit Körnern gefüllt ist, aber daß sich die Körner nicht bewegen. Wollen wir die Körner in Bewegung setzen, so müssen wir das eine Ende des Rohres anheben. Die Getreidekörner werden sich um so schneller fortbewegen, je höher wir das eine Rohrende anheben, je größer wir also das „Gefälle" der Rohrwandung machen.

Nun könnten wir die Wirkung des Gefälles auch etwas genauer bestimmen und sagen: bei einer bestimmten Neigung strömt das gesamte Getreide in der Zeit von einer Minute heraus, bei einer größeren Neigung (größerem Gefälle) dagegen in einer Zeit von 15 Sekunden. Außerdem könnten wir beispielsweise feststellen, daß in dem Rohr zu Beginn unseres Versuches 60000 einzelne Getreidekörner vorhanden waren. Beim ersten Gefälle strömen also in einer Minute (oder 60 Sekunden) 60000 Körner durch das Rohr, während bei der größeren Neigung (Gefälle) die 60000 Körner in 15 Sekunden, also dem vierten Teil der vorher festgestellten Zeit durch das Rohr „fließen". Rechnen wir jetzt die Sache auf eine Sekunde um, so stellen wir im ersten Fall fest: „In einer Sekunde fließen 1000 Körner aus dem Rohr heraus"; im zweiten Fall: „In einer Sekunde fließen 4000 Körner heraus." Die Größe des Körner-„Stroms" — wir können auch „Stromstärke" sagen — ist also im zweiten Falle viermal so groß wie im ersten.

Haben wir Längen zu messen, beispielsweise die Länge eines Holzstabs, so messen wir diese in Metern, Zentimetern oder Millimetern. Ein Meter entspricht 100 Zentimetern oder 1000 Millimetern. Abgekürzt ist ein Meter „m". Wir möchten nun unseren „Getreidestrom" auch abgekürzt schreiben. Dann könnten wir doch beispielsweise sagen: „Wir setzen fest, daß ein „Strom" von 1000 Körnern pro Sekunde mit „A" bezeichnet wird." Wir könnten also unsere obigen Feststellungen auch schreiben: „Im ersten Fall (geringes Gefälle) fließt ein Getreidestrom von 1 A, während im zweiten Fall (großes Gefälle) ein Strom von 4 A fließt". Wir haben ein Maß (oder „Maßeinheit") für den Strom, d. h. für die Zahl der Getreidekörner, die pro Sekunde fließen, festgesetzt.

Ein großer Getreidehaufen besteht aus einzelnen Getreidekörnern, die wir mit bloßem Auge erkennen können. Sie sehen einander alle ähnlich und alle Getreidehaufen gleicher Getreidesorte, die wir irgendwo auf der Welt finden können, sehen in ihren kleinsten Bestandteilen, eben den Körnern, einander ähnlich, mögen die Getreidehaufen auch in ihrer äußeren Form einander völlig unähnlich sein!

Nehmen wir statt Getreide jetzt Grieß, so werden wir eine gleiche Feststellung auch für diesen machen können, nur mit dem Unterschied, daß die kleinsten Teilchen eines Grießhaufens viel kleiner sind. Haben wir Wasser vor uns, so sind wir zunächst ratlos, denn hier könnten wir uns zwar einen großen See aus lauter kleinen Wassertröpfchen zusammengesetzt denken, das ist aber willkürlich, denn ein Wassertropfen ist ja nur ein angenommener, kleinster Teil. Wir könnten ihn wieder beliebig in zehn, hundert oder tausend Teile teilen und würden doch immer noch nicht erkannt haben, wie eigentlich das kleinste Teilchen des Wassers aussieht, etwa wie vorher bei den Getreide- oder Grieß-Körnern! Verfügten wir über Vergrößerungsapparate, die noch viel besser wären als unsere besten Mikroskope, so könnten wir aber schließlich doch feststellen, daß sich auch das Wasser aus kleinsten Teilchen zusammensetzt, die wir ohne weiteres nicht mehr in noch kleinere Teile zerlegen können, ebenso wie wir mit der Hand aus einem Getreidehaufen eben als kleinste Teile nur Getreidekörner herausholen und sie mit der bloßen Hand nicht mehr weiterzerkleinern können. Diese „Wasserkörnchen", die wir allerdings auch mit den besten verfügbaren

Vergrößerungsmitteln nicht mehr sehen können, nennen wir die „Moleküle" (kleinste Masse-Teilchen) des Wassers.

Füllen wir unser Rohr von den vorhergehenden Versuchen also mit Wasser an, so könnten wir entweder sagen, daß eine bestimmte Menge von Litern dieses Wassers bei Neigung des Rohres in einer Sekunde aus diesem herausfließt, wir könnten aber auch die Zahl der in einem Liter Wasser enthaltenen Wasser-„Moleküle" feststellen und diese an Stelle des Liters setzen.

Wir sagten vorher, daß wir beispielsweise Getreidekörner mit der bloßen Hand nicht weiter zerkleinern können. Sie sind für uns also die „Moleküle" des Getreidehaufens. Nehmen wir aber Hilfsmittel zur Hand, etwa eine Mühle, so können wir die Getreidekörner zu Grieß zermahlen und die Grießkörner wieder zu Mehl, das so fein ist, daß wir seine kleinsten Teilchen nicht mehr mit bloßem Auge erkennen können, sondern nur unter dem Vergrößerungsglas. Die Chemiker und Physiker haben nun auch für unsere „Wasserkörnchen", die „Moleküle", solche „Zerkleinerungsmethoden" gefunden und mit diesen ist es ihnen gelungen, die Moleküle in noch kleinere Teile zu zerlegen. Das Wassermolekül erweist sich dann als aus drei einzelnen Teilen zusammengesetzt, von denen zwei einander ähnlich sind, während das dritte anders aussieht. Diese Teilchen, die also noch kleiner sind als die Moleküle, sind die „Atome" (das Unzerteilbare). Im allgemeinen Sprachgebrauch sagen wir ja wohl auch „ein Atom", wenn wir etwas sehr Kleines, eine sehr geringe Menge benennen wollen. Wir wissen, daß alle Materie auf der Welt aus so unvorstellbar kleinen Teilen, Atomen, besteht, gleichgültig, ob es sich um den Arbeitstisch handelt, an dem wir sitzen, oder ob es ein Tier, eine Pflanze ist, ob es der Sauerstoff ist, den wir aus der Luft atmen oder der Wasserstoff, mit dem unsere Zeppeline gefüllt werden. Die Zahl der verschiedenartigen Atome — die Stoffe, aus denen sie stammen, nennt man (chemische) „Elemente" — ist groß, aber begrenzt.

Wir mußten hier einen kleinen Abstecher in das Grenzgebiet zwischen Physik und Chemie machen, um uns über die Wesensart der kleinsten Teilchen klar zu werden. Noch etwas weiter aber müssen wir unsere Vorstellungskraft anstrengen, denn es gibt nämlich Möglichkeiten, auch die Atome, die man viele Jahrzehnte für unteilbar gehalten hatte, noch weiterzuzerkleinern. Wie man das macht, wollen wir hier nicht besprechen, jedenfalls konnte man feststellen, daß jedes Atom, gleichgültig zu welchem „Element" es auch immer gehört, sich aus einem größeren Teil, einem „Kern" — dem sogenannten „Atomkern" oder „Jon" —

und einer mehr oder weniger großen Zahl von sehr kleinen Teilchen, den sogenannten „Elektronen", zusammensetzt. Nach unserer heutigen Kenntnis sind die Elektronen die allerkleinsten Teile, die feststellbar und nicht weiter teilbar sind. Außer den Elektronen, die mit den Atomkernen zusammen die Atome der Elemente bilden (Elemente sind z. B. Kupfer, Eisen, Nickel, Sauerstoff, Wasserstoff, Schwefel, Aluminium, Quecksilber, Blei usw.), gibt es auch noch sogenannte „freie Elektronen", die nicht gebunden sind. Einen Kupferdraht beispielsweise können wir uns vorstellen als ein Rohr, das mit ungeheuer vielen Kupferatomen und dazwischen — in kleinen Zwischenräumen — liegenden, freien Elektronen angefüllt ist. Diese Elektronen werden sich normalerweise in Ruhe befinden, wir können sie aber auch in Bewegung setzen, so daß sie durch den Kupferdraht strömen.

Wir hatten vorher für den Getreidestrom ein bestimmtes Maß angenommen und gesagt: wenn 1000 Körner in der Sekunde (beispielsweise durch ein Rohr) fließen, so nennen wir das 1 A. Es liegt nahe, nun auch für die Strömung der Elektronen (beispielsweise in einem Draht) ein Maß anzunehmen. Infolge der Kleinheit der Elektronen, von denen ja viele, viele Milliarden auf ein Getreidekorn gehen, werden wir schon eine sehr große Zahl Elektronen pro Sekunde annehmen müssen, um zu einem vernünftigen Maß zu kommen. Die Wissenschaftler haben hier eine Zahl von rund 6.10^{18} (10^{18} bedeutet 10 achtzehnmal mit sich selbst multipliziert!) oder 6000000000000000000 Elektronen in einer Sekunde zugrunde gelegt und nennen diesen „Elektronenstrom" 1 Ampere. Es gibt, gottlob, Meßinstrumente, die uns den Strom anzeigen, denn das Abzählen der unvorstellbar großen Elektronenmenge würde uns einige Schwierigkeiten bereiten, wenn wir ausrechnen, daß wir 20 Milliarden Jahre zum Abzählen dieser Elektronenmenge brauchten.

Spannung

Wir kommen jetzt wieder auf unser mit Getreidekörnern gefülltes Rohr zurück und betrachten die Verteilung der Körner darin. Sind genug Körner vorhanden, so werden sie zweifellos bemüht sein, den ganzen vorhandenen Raum gleichmäßig auszufüllen, wenn wir davon absehen, daß sie sich infolge der Anziehung der Erde natürlich unten mehr zusammendrängen werden als oben. Wir könnten nun das Rohr in der Mitte zerteilen und wüßten dann, daß in jeder Rohrhälfte genau die Hälfte der vorher im ganzen Rohr vorhandenen Getreidekörner liegt. Wenn wir das Rohr mit Wasser füllen, so ändert sich nichts daran, es wäre dann eben in jeder Hälfte halb soviel Wasser wie in dem ganzen Rohr. Jetzt stellen wir die beiden Rohrhälften, die mit Wasser gefüllt sind, nebeneinander (Abb. 2), und zwar seien sie unten verschlossen, außerdem haben wir noch Abflußstutzen angebracht und an einem einen Wasserhahn, der es uns erlaubt, das Ausfließen des Wassers aus dem Rohr zu verhindern. Beide „Rohre", die jetzt zu richtigen Gefäßen geworden sind, stellen wir nebeneinander und verbinden sie mit einem Stück Gummischlauchleitung. Dann wird das

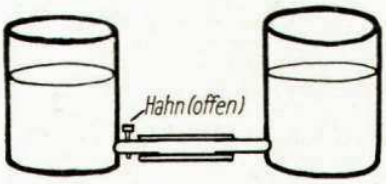


Abb. 2

Abb. 3

Wasser in beiden Gefäßen gleichhoch stehen, und sich nicht bewegen, gleichgültig, ob wir den Wasserhahn schließen oder nicht. Nun schließen wir den Wasserhahn und schöpfen aus dem einen Gefäß Wasser in das andere hinüber, so daß dessen Wasserspiegel steigt, der im zweiten Gefäß aber sinkt (Abb. 3). Halten wir ein leeres Trinkglas auf der flachen Hand, so „wiegt es", es drückt mit einem bestimmten Gewicht auf die Handfläche. Füllen wir es mit wenig Wasser, so wird dieser Druck etwas stärker, füllen wir es bis zum Rand, so spüren wir schon eine beträchtliche Zunahme des Gewichtes bzw. des Drucks auf die Handfläche. In unserem Beispiele mit den beiden Gefäßen wird also sicher auch die größere Wassermenge einen größeren Druck auf den Boden des Gefäßes und — seitlich — auch auf den geschlossenen Wasserhahn ausüben als die geringere Wassermenge in dem zweiten Gefäß. Oeffnen wir jetzt den Hahn, so wird der Ueberdruck im linken Gefäß der Abb. 3 sich auszugleichen suchen und es wird Wasser durch die verbindende (Gummischlauch-) Leitung strömen. Erst wenn der Höhenunterschied ausgeglichen ist und das Wasser wieder in beiden Gefäßen gleichhoch steht, kommt der Wasserstrom zur Ruhe.

Denken wir an einen Bogen: die Sehne des Bogens, die vor dem Abschuß des Pfeils gespannt war, „unter Spannung stand", kehrt beim Abschuß des Pfeils wieder in ihre Ruhestellung zurück. Hier sprechen wir von Spannung, beim Wasser vom Druck, im Grunde haben wir aber hier wie dort ähnliche Vorgänge: nach Aufhören des Druckes bzw. der Spannung stellt sich eine Ruhelage wieder ein.

Wir hatten weiter oben, als wir von den freien Elektronen sprachen, festgestellt, daß sie überall, wenn auch in verschiedenen Stoffen in verschiedener Zahl, vorhanden seien. Sie sind aber nicht nur überall da, sondern sie sind — ähnlich den Wasserteilchen — bestrebt, sich gleichmäßig auszubreiten. Haben wir also z. B. einen 1 m langen Eisenstab, so birgt er eine zwar ungeheuer große, aber doch feststellbare Zahl von Elektronen in gleichmäßiger Verteilung. Brechen wir ihn daher in der Mitte durch, so sind in jeder der Hälften je die Hälfte Elektronen noch vorhanden. Könnten wir nun durch irgendein Mittel — entsprechend unserem Beispiel mit den beiden Wassergefäßen — aus der einen Stabhälfte Elektronen „in die andere schöpfen", so hätten wir dort einen Elektronenüberschuß, wie wir in Abb. 3 im linken Gefäß einen Wasserüberschuß haben, während in der anderen Hälfte eben zu wenig Elektronen wären. Es wäre also ein „Druckunterschied" vorhanden oder — wenn wir statt Druck hier wieder „Spannung" sagen — ein „Spannungsunterschied", der genau so bestrebt ist, sich bei gegebener Möglichkeit auszugleichen, wie das der Wasserdruck tut, wenn wir ihm die Möglichkeit bieten (indem wir den Wasserhahn öffnen). Allgemein können wir sagen: ein Elektronenüberfluß an einer Stelle hat das Bestreben, sich gegen den Mangel an Elektronen an einer zweiten Stelle auszugleichen (auf das Wasser übertragen, ein Wasserüberfluß in einem Gefäß der Abb. 3 hat das Bestreben, sich gegen den Mangel an Wasser in einem zweiten Gefäß auszugleichen).

Das Bestreben bezeichnen wir kurz mit Spannung und wissen, daß sich diese Spannung nur ausgleichen kann, indem ein Strom fließt (im einen Fall ein Elektronenstrom, im anderen ein Wasserstrom), wenn eine „leitende Verbindung" zwischen den beiden Stellen mit einem Zuviel und einem Zuwenig (an Elektronen bzw. Wasser) hergestellt wird, d. h. wenn wir im Beispiel der Abb. 3 den Wasserhahn aufdrehen und dadurch die Schlauchleitung freigeben. Zur Schaffung eines Ausgleichs für die „elektrische Spannung", d. h. zwischen dem Zuviel und dem Zuwenig an Elektronen, brauchen wir einen Stoff, durch den sich Elektronen bewegen können, und mittels dessen wir eine „leitende Verbindung" zwischen den beiden Punkten herstellen, die elektrische Spannung gegeneinander haben.

In unserem Beispiel von Abb. 3 kommt es zweifellos nicht darauf an, wieviel Wasser insgesamt vorhanden ist, sondern darauf, wieviel Wasser der linke Behälter mehr enthält als der andere! Da der Wasserstrom durch den Druck-Unterschied verursacht wird, wenn wir den Wasserhahn öffnen, so ist es offenbar belanglos, ob in dem einen Gefäß 1 Liter Wasser (1 Kilogramm) und im zweiten 2 Liter (2 Kilogramm) vorhanden sind, oder ob das eine Gefäß 10 Liter Wasser (10 Kilogramm) und das andere 11 Liter (11 Kilogramm) enthält; in beiden Fällen ist ein Druckunterschied von einem Kilogramm (Liter) vorhanden. Wir könnten also den Druckunterschied direkt in Kilogramm messen! Für den elektrischen Spannungsunterschied, also für den Unterschied in der auf zwei Körpern vorhandenen Elektronenmenge, brauchen wir nun auch ein Maß, wenn wir damit umgehen wollen. Hierfür hat man die Bezeichnung „Volt" gewählt. Das Volt ist also, das wollen wir nochmals feststellen, ein Maß für den Unterschied der Elektronenmenge, den wir zwischen zwei Körpern (Punkten) feststellen können, für die „elektrische Spannung".

Widerstand

Zweifellos ist es bei dem Versuch nach Abb. 3 ein Unterschied, ob wir die beiden Wassergefäße durch einen sehr engen Gummischlauch verbinden, oder ob wir einen sehr weiten Schlauch nehmen. Im letzten Fall wird bei gleichem Druckunterschied (Spannung) das Wasser schneller hindurchströmen und daher den Druckausgleich zwischen den beiden Gefäßen schneller bewirken als im ersten Falle. Bei einem bestimmten Wasserdruck können wir also durch einen dickeren (Wasser-) Leiter (Leitung) mehr Wasser (Strom) in einer Sekunde fließen lassen als durch einen dünneren. Eine dickere Leitung setzt also, wie wir auch sagen, „dem Wasserstrom einen geringeren Widerstand entgegen" als eine dünnere. Ebenso fließt das Wasser durch einen längeren Schlauch langsamer hindurch als durch einen kurzen.

Auf einer vereisten Rodelbahn werden wir schneller zu Tal kommen als auf einer normal verschneiten oder gar einer solchen, die stellenweise mit Sand bestreut ist. Wir haben in jedem Fall ein bestimmtes „Gefälle" zu durchfahren, doch wird unsere Geschwindigkeit von der Reibung, dem Reibungswiderstand des Rodelschlittens auf der Bahn, abhängen. Stellen wir uns für Bild 3 einen Gummischlauch vor, der im Innern viele, mehr oder weniger große Vorsprünge hat, so wird er das Wasser langsamer durchlassen, ihm mehr Widerstand entgegensetzen, als wenn wir einen ganz glatten Schlauch nehmen, der den gleichen Innendurchmesser hat. Wir erkennen also, daß der Widerstand, den eine Leitung beispielsweise dem Strömen des Wassers entgegensetzt, um so größer wird, je größer die innerhalb des Leiters liegenden Hindernisse werden, je länger die Leitung ist und je geringer der Querschnitt der Leitung. Nennen wir den Widerstand R, wählen als Maß für die in einem Leiter vorhandenen Hindernisse den griechischen Buchstaben ρ (Rho gesprochen), nennen ferner die Leitungslänge l und bezeichnen den Querschnitt mit q, so könnten wir aus dem obigen Satz auch eine Formel machen. Sie sieht so aus: $R = \frac{\rho \times l}{q}$. Es ist nicht schwierig, einzusehen, daß R mit größer werdendem ρ und l größer wird, dagegen mit größer werdendem q kleiner.

An Hand zweier Beispiele sei die Formel erläutert. Nehmen wir an, wir hätten einen Schlauch, der zehnmal so viel Hindernisse aufweist wie ein glatter. Nehmen wir den glatten als Maß und bezeichnen sein ρ mit 1, so werden wir also für unseren Schlauch $\rho = 10$ setzen, wobei es ja gleichgültig ist, ob wir zwei 1 m lange oder zwei 100 m lange Schlauchstücke vergleichen, denn immer wird der eine zehnmal soviel Hindernisse enthalten wie der andere! Die Länge des Schlauches sei 10 m und sein Querschnitt 2,5 Quadratzentimeter. Setzen wir diese Zahlen in unsere Formel ein, so erhalten wir für $R = \frac{10 \times 10}{2{,}5}$ oder 40. Verkleinern wir den Querschnitt des Schlauches bei sonst unveränderten Werten auf 1 qcm, so wird $R = 100$; $\left(\frac{10 \times 10}{1}\right)$. Lassen wir den Querschnitt unverändert, ebenso ρ, nehmen aber einen Schlauch von nur 5 m Länge, so erhalten wir $R = \frac{10 \times 5}{2{,}5} = 20$. Diese Beispiele mögen genügen, der Leser mag sich selbst noch weitere derartige Aufgaben stellen, immer wird er die Richtigkeit der Angaben durch die Rechnung bestätigt finden. Nehmen wir nun ein beliebiges ρ an und einen Schlauch vom Querschnitt 1 und der Länge 1, so erhalten wir

$$R = \frac{\rho \times 1}{1} = \rho.$$

Wir hatten weiter oben schon erfahren, daß wir uns einen Draht ähnlich wie ein Rohr vorstellen können, in dem die Atome des Materials (Elements), aus dem er besteht, liegen und daß in Zwischenräumen die freien Elektronen vorhanden sind. Die Zwischenräume sind bei verschiedenen Materialien ganz verschieden groß, so daß also auch die Elektronen verschieden viel Widerstand durch die im Wege liegenden Atome entgegengesetzt erhalten. Legen wir nun unseren Draht zwischen zwei Punkte, die elektrische Spannung gegeneinander haben, auf deren einem also mehr Elektronen vorhanden sind als auf dem anderen, so wird diese Spannung einen Elektronenstrom durch den Draht treiben, der ähnlichen Gesetzen folgt wie der Wasserstrom in unserem Beispiel. Je länger der Draht ist (l) und je größere Hindernisse (ρ) in ihm vorhanden sind, desto kleiner wird der Strom bei einer bestimmten Spannung, während er bei großem Drahtquerschnitt (q) größer als bei kleinem Drahtquerschnitt sein wird. Wir kommen so auf den „elektrischen Widerstand", den wir auch mit R abkürzen. Für ihn brauchen wir noch ein Maß, um damit rechnen zu können. Füllen wir Quecksilber in eine Glasröhre, die innen genau 1 Quadratmillimeter Querschnitt hat, und machen diesen „Quecksilberfaden" 1 m 6 cm und 3 mm lang, so sagen wir, daß dieser Quecksilberfaden bei 0° Celsius einen (elektrischen) Widerstand von 1 „Ohm" habe.

Wir hatten weiter oben die Formel für R angegeben. Setzen wir dort R = 1 (Ohm) und l = 1,063 (m), ferner q = 1 (qmm), so können wir ρ ausrechnen und erhalten es zu etwa 0,94. Ein Quecksilberfaden von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt würde also — anders ausgedrückt — einen Widerstand von $R = \frac{0{,}94 \times 1}{1} = 0{,}94$ Ohm haben. Da sich diese Zahl ρ auf 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bezieht, können wir sie sehr gut als Maßzahl verwenden. Sie ist dem Material eigentümlich und ergibt sich beispielsweise bei Kupfer zu 0,0175, bei Eisen zu 0,1 bis 0,15 (je nach Eisensorte), um bei Gaskohle bis auf etwa 50 anzusteigen. Der durch 0 angedeutete, dem Material eigentümliche (mit einem Fremdwort: spezifische) Widerstandswert wird als „spezifischer Widerstand" bezeichnet und ist also ein Maß dafür, wie groß der Widerstand eines 1m langen, 1 qmm starken Drahtes aus einem bestimmten Material im Vergleich zu einem gleichlangen, gleichstarken Draht aus anderem Material ist. Die nachstehende Tabelle gibt die spezifischen Widerstände für einige wichtige Materialien an.

Tabelle 1

	Spezifischer Widerstand ρ
Aluminium	0,03 . . . 0,04
Blei	0,2
Eisen	0,1 . . . 0,15
Gold	0,023
Kupfer	0,0175
Nickel	0,08 . . . 0,13
Platin	0,09 . . . 0,14
Quecksilber	0,94

	Spezifischer Widerstand ρ
Silber	0,016
Wolfram	0,055
Zink	0,06
Zinn	0,1 . . . 0,15
Graphit	13
Gaskohle	ca. 50
Manganin	0,41 . . . 0,46
Konstantan	0,47 . . . 0,49
Kruppin	0,8
Bronze	0,018 . . 0,056
Messing	0,07 . . . 0,09

Sollten wir für Stoffe, wie etwa Porzellan, Glas, Bernstein, Hartgummi, Bakelite und ähnliche, den spezifischen Widerstand angeben, so kämen wir auf Zahlen, die in die Millionen und Milliarden reichten. Das sagt uns, daß in diesen Materialien die Fortbewegung von Elektronen außerordentlich erschwert, ja praktisch fast ganz unterbunden ist. Im Gegensatz zu Stoffen, die die Elektronen relativ leicht durchlassen (beispielsweise Metallen) und die wir als „Leiter" bezeichnen, heißen diese Stoffe „Nichtleiter" oder auch Isolatoren. Flüssigkeiten nehmen eine Mittelstellung ein.

Wir wollen uns jetzt einigen praktischen Aufgaben zuwenden, um in der Anwendung der obengegebenen Formel einige Uebung zu bekommen. Nehmen wir an, es sei uns eine Rolle isolierter Kupferdraht in die Hand gedrückt worden, der $q = 0,5$ qmm Querschnitt hat. Wir werden gefragt, wie lang der Draht sei. Anfang und Ende des Drahtes ist zugänglich, also machen wir sie blank und stellen den Widerstand R des ganzen Drahtes fest (es gibt Methoden, den Widerstand zu messen, ebenso wie wir weiter oben schon vom Strommesser gesprochen haben). Wir stellen R zu 6 Ohm fest und wissen, daß Kupfer ein ρ von 0,0175 oder 1/57 hat. Unsere Formel $R = \frac{\rho \times l}{q}$ heißt dann also $6 = \frac{1/57 \times l}{0,5}$ und wir können daraus $l = 171$ m ausrechnen, d. h. der Draht auf unserer Rolle ist 171 m lang.

Als nächste Aufgabe wird uns ein Draht aus Kupfer von 0,1 qmm Querschnitt und 100 m Länge gegeben, wir sollen sagen, welchen Widerstand der Draht hat. Die Tabelle gibt uns wieder $\rho = 0,0175$ und wir rechnen: $R = \frac{0,0175 \times 100}{0,1}$, also $R = 17,5$ Ohm.

Nehmen wir für die nächste Aufgabe an, wir brauchten einen bestimmten Widerstand von 40 Ohm für irgendeinen Zweck. Welchen Querschnitt müßte dann ein 5 m langer Draht aus **Kruppin**, einer **Speziallegierung** ($\rho = 0{,}8$), haben? Die obige Formel sagt uns

$$40 = \frac{0{,}8 \times 5}{q} \text{ oder } q = {}^1/_{10} = 0{,}1 \text{ qmm.}$$

Damit wollen wir es bewenden lassen und uns nun der Frage zuwenden, welche elektrische Spannung wir an einen Draht von **1 Ohm** Widerstand anlegen müssen, um einen Elektronenstrom von etwa 6000000000000000000 Elektronen in der Sekunde oder **1 Ampere** hindurchzutreiben. Wir nennen diese Spannung **1 Volt** und haben nun auch die genauere Erklärung für die oben ohne Wertangaben gemachte Feststellung, daß wir die Spannung nach Volt messen. Denken wir an unsere Wasserbeispiele, so können wir leicht einsehen, daß durch einen Schlauch, der dem Wasser einen bestimmten Widerstand entgegensetzt, bei gegebenem Wasserdruck ein bestimmter Wasserstrom fließt. Wir könnten ihn bei gleichem Schlauchquerschnitt zweifellos vergrößern, beschleunigen, wenn wir den Wasserdruck vergrößern. Uebertragen wir das auf die elektrischen Vorgänge, so könnten wir sagen, daß eine Vergrößerung des Elektronenüberschusses, der an einem Punkt gegenüber einem zweiten herrscht (der Spannung), in einen verbindenden Leiter auch ein schnelleres Strömen der Elektronen hervorruft, also die Stromstärke vergrößert.

Nehmen wir einen Draht von 1 Ohm Widerstand und legen an ihm eine Spannung von 1 Volt, so strömen 1 Ampere. Verdoppeln wir beim gleichen Widerstand (1 Ohm) jetzt die Spannung auf 2 Volt, so finden wir, daß jetzt doppelt soviel Elektronen durch den Draht fließen, also 2 Ampere, bei 3 Volt wären es 3 Ampere usf. Verdoppeln bzw. verdreifachen wir auch den Widerstand, so bleibt der Strom immer der gleiche. Nennen wir den Strom I, die Spannung U und den Widerstand R, so können wir diesen Zusammenhang auch wieder als Formel hinschreiben: $I = U/R$. Setzen wir hier $U = 1$ (Volt) und $R = 1$ (Ohm), so erhalten wir $I = 1$ (A), bei $U = 2$ V, $R = 1$ Ohm (abgekürzt durch den griechischen Buchstaben Ω, Omega) ist $I =$ A, bei $U = 2$ V, $R = 2\,\Omega$ ist $I = 1$ A.

Mit dieser Formel können wir also aus zwei Größen die dritte bequem ausrechnen. Wir wollen einige Beispiele nehmen. Angenommen, wir hätten in einem Draht einen Strom von 5 A gemessen. Wir wissen, daß der Draht einen Widerstand von 20 Ohm hat. Aus unserer obigen Formel haben wir also I und R und suchen U, so daß wir sie besser schreiben: $U = I \times R$. Wir rechnen mithin eine Spannung von $U = 100$ Volt aus, „die an den Enden des Widerstandes liegen". In Wirklichkeit ist es aber doch so, daß an einem Ende des Drahtes eine bestimmte Elektronenmenge vorhanden ist, während am anderen Ende sehr viel mehr angehäuft sind, wir sprechen von einem Unterschied und können durch Vergleich mit unseren früheren Wasser- und Getreidebeispielen auch von einem Gefälle sprechen. Wir sagen auch: an dem Widerstand von 20 Ohm besteht ein Spannungsgefälle, auch Spannungsabfall genannt, von 100 Volt, wenn ein Strom von 5 A durch ihn fließt.

Wollen wir nun ausrechnen, welchen Widerstand beispielsweise der Heizfaden einer Empfangsröhre hat, die bei 2 Volt Heizspannung einen Strom von 0,065 A verbraucht, so ist mit den beiden vorherigen Formeln wenig anzufangen, wir müssen sie für unseren Zweck so schreiben: $R = U/I$ und erhalten 2/0,065 oder rund 30,8 Ohm.

Jetzt haben wir die Beziehungen zwischen Spannung, Strom und Widerstand also in diesen drei Formeln:

$$\underline{I = U/R, \quad U = I \times R \quad \text{und} \quad R = U/I.}$$

Wir nennen sie „**Das Ohmsche Gesetz**", das wir uns merken müssen, weil wir es immer wieder brauchen.

Ehe wir auf andere Anwendungsgebiete des Gesetzes eingehen, müssen wir erst noch andere Maßeinheiten kennenlernen. So wie wir einen Meter je nach Bedarf in 100 cm oder in 1000 mm unterteilen, weil vielleicht das Meter zu groß ist, um bequeme Angaben machen zu können, unterteilen wir auch die elektrischen Maßeinheiten Ampere, Volt und Ohm in Tausendstel und nennen $^1/_{1000}$ Ampere 1 Milliampere (abgekürzt 1 mA), $^1/_{1000}$ Volt 1 Millivolt (1 mV), während beim Ohm diese Unterteilung zwar hin und wieder verwendet wird, aber für uns weniger Bedeutung hat. Teilen wir 1 mA in tausend Teile, so bekommen wir also $^1/_{1000}$ mA oder $^1/_{1000000}$ A und nennen es Mikroampere (abgekürzt μA mit dem griechischen Buchstaben μ, My), ähnlich erhalten wir 1 μV (Mikrovolt) als $^1/_{1000000}$ Volt.

Wie wir tausend Gramm auch 1 Kilogramm nennen, können wir 1000 A auch „ein Kiloampere" (KA), 1000 V 1 KV und 1000 Ohm 1 KΩ nennen. Für den millionenfachen Betrag kommt die Vorsatzbezeichnung Meg(a) in Betracht, 1000000 Ohm sind also 1 Megohm (MΩ). In der nachstehenden Tabelle 2 haben wir das Ohmsche Gesetz erweitert für mA, μA, KΩ und MΩ, so daß ohne langes Nachdenken die Rechnungen durchgeführt werden können.

Tabelle 2

Widerstand

$\Omega = \frac{V}{A}$	$K\Omega = \frac{V}{A} \cdot \frac{1}{1000}$	$M\Omega = \frac{V}{A} \cdot \frac{1}{1000000}$
$\Omega = \frac{V}{mA} \cdot 1000$	$K\Omega = \frac{V}{mA}$	$M\Omega = \frac{V}{mA} \cdot \frac{1}{1000}$
$\Omega = \frac{V}{\mu A} \cdot 1000000$	$K\Omega = \frac{V}{\mu A} \cdot 1000$	$M\Omega = \frac{V}{\mu A}$

Spannung

$V = A \cdot \Omega$	$V = A \cdot K\Omega \cdot 1000$	$V = A \cdot M\Omega \cdot 1000000$
$V = mA \cdot \Omega \cdot \frac{1}{1000}$	$V = mA \cdot K\Omega$	$V = mA \cdot M\Omega \cdot 1000$
$V = \mu A \cdot \Omega \cdot \frac{1}{1000000}$	$V = \mu A \cdot K\Omega \cdot \frac{1}{1000}$	$V = \mu A \cdot M\Omega$

Strom

$A = \frac{V}{\Omega}$	$mA = \frac{V}{\Omega} \cdot 1000$	$\mu A = \frac{V}{\Omega} \cdot 1000000$
$A = \frac{V}{K\Omega} \cdot \frac{1}{1000}$	$mA = \frac{V}{K\Omega}$	$\mu A = \frac{V}{K\Omega} \cdot 1000$
$A = \frac{V}{M\Omega} \cdot \frac{1}{1000000}$	$mA = \frac{V}{M\Omega} \cdot \frac{1}{1000}$	$\mu A = \frac{V}{M\Omega}$

Wir werden später diese Tabelle öfters gebrauchen, wenn wir mit dem Ohmschen Gesetz rechnen wollen.

Um in Zeichnungen einen unveränderbaren Widerstand darzustellen, bedienen wir uns eines der „Schaltsymbole", die in Abb. 4 wiedergegeben sind, während ein Pfeil schräg durch den Widerstand gezeichnet

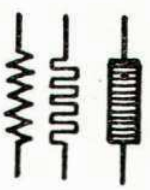


Abb. 4

Abb. 5

Abb. 6

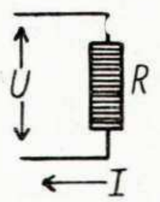


Abb. 7

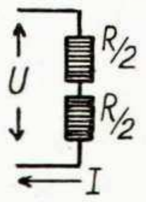


Abb. 8

(Abb. 5) ebenso einen regelbaren Widerstand andeutet, wie der in Abb. 6 gezeigte mit Schleifkontakt.

In der Abb. 7 haben wir einen Widerstand R, an dem eine Spannung U liegt, es fließt dann ein Strom I durch den Widerstand. Nehmen wir eine Spannung von 10 Volt und einen Widerstand von 100 Ohm an, so fließt 0,1 A oder 100 mA. An der Stromstärke wird sich natürlich nichts ändern, wenn wir beispielsweise den Widerstandsdraht statt auf eine große Spule je zur Hälfte auf zwei kleine Spulen aufwickeln, so daß wir demnach statt eines Widerstandes von 100 Ohm zwei von je 50 Ohm haben (Abb. 8 $R/2 = 50\,\Omega$), durch die der Strom nacheinander, hintereinander hindurchfließt, die also „hintereinandergeschaltet" sind (wir sagen auch „in Reihe, oder in Serie geschaltet"). Teilen wir den Widerstand R in hundert einzelne, in Serie geschaltete Widerstände von je 1 Ω auf, so wird der Gesamtwiderstand immer noch 100 Ω betragen. Allgemein können wir also sagen: „Schalten wir einen Widerstand R_1 mit einem anderen Widerstand R_2 hintereinander (in Serie, in Reihe), so ergibt sich der Gesamtwiderstand, indem wir die Widerstandswerte addieren." In einer Formel sieht das dann so aus:

$$R_1 + R_2 = R_{gesamt}$$

oder für beliebig viele Widerstände

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \ldots\ldots = R_{gesamt}.$$

An jedem der Widerstände wird der sie alle gleichstark durchfließende Strom „Spannungsabfälle" hervorrufen, die wir nach dem Ohmschen Gesetz ausrechnen können. Schalten wir drei Widerstände $R_1 = 20\,\Omega$, $R_2 = 50\,\Omega$ und $R_3 = 30\,\Omega$ hintereinander, so ergeben sich nach unserer Formel insgesamt 100 Ω und sie werden bei einer Spannung von $U = 10\,V$ (Abb. 9) von einem Strom von $I = 0{,}1\,A$ durchflossen werden. An den Enden von R_1 liegen daher 2 Volt, an R_2 5 V und an R_3 3 V,

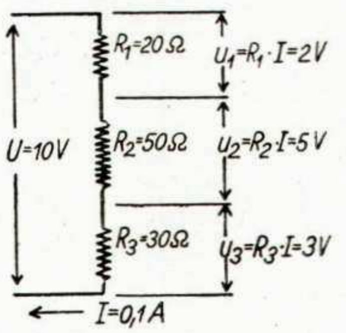


Abb. 9

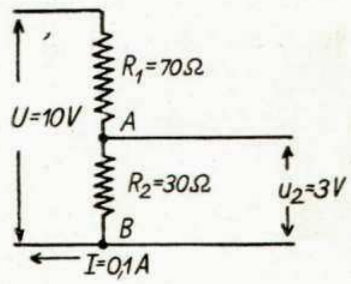


Abb. 10

so daß die Summe dieser sogenannten „Teilspannungen" u_1, u_2 und u_3 wieder 10 Volt ergibt, wie das ja zu erwarten war.

Wir wollen jetzt ein weiteres Beispiel nehmen (Abb. 10) und zwei Widerstände von $R_1 = 70\,\Omega$ und $R_2 = 30\,\Omega$ in Serie an eine Spannung von 10 V legen. Sie werden wieder von $I = 0{,}1$ A durchflossen und daher bildet sich an R_1 eine Spannung u_1 von $R_1 \cdot I = 70 \cdot 0{,}1 = 7$ V und an R_2 eine Spannung u_2 von $R_2 \cdot I = 30 \cdot 0{,}1 = 3$ V aus. Die Gesamtspannung $U = 10$ Volt ist also wieder gleich der Summe der Einzelspannungen, also $U = u_1 + u_2 = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I = (R_1 + R_2) \cdot I$. Es kann nun in der Praxis vorkommen, daß uns die Teilspannung u_1 nicht, wohl aber die Teilspannung u_2 interessiert, etwa wenn wir eine Spannungsquelle von $U = 10$ Volt zur Verfügung haben und eine Spannung von nur $u_2 = 3$ Volt brauchen. Es sei zunächst angenommen, daß wir den gesamten Widerstand — eine mit blankem Widerstandsdraht auf einen zylindrischen Körper gewickelte Spule — $R_1 + R_2 = 100$ Ohm haben und nun wissen möchten, wo wir einen Abgriff A anbringen müssen, um zwischen diesem und dem Punkt B eine Spannung von 3 Volt zu bekommen. Wir nennen den Teilwiderstand R_2 und die Spannung u_2. Es ist $R_1 + R_2 = 100\,\Omega$, sowie $U = 10$ V und demzufolge der durch die beiden Widerstände fließende Strom $I = 0{,}1$ A. Wir nennen diesen Strom auch „Querstrom". Wir wissen, daß $U = I \cdot (R_1 + R_2)$ ist und daß $u_2 = I \cdot R_2$. Das Spannungsverhältnis u_2/U ist also gleich $\dfrac{I \cdot R_2}{I \cdot (R_1 + R_2)}$ oder $3/10 = R_2/R_1 + R_2$. Daraus können wir R_2 ausrechnen, er ergibt sich zu $3/10 \cdot (R_1 + R_2)$. Da wir $R_1 + R_2 = 100$ Ohm kennen, ist also $R_2 = 30$ Ohm. Umgekehrt könnten wir aus den beiden Teilwiderständen auch die Teilspannungen ausrechnen. Sind uns zwei Widerstände von 50 und 100 Ohm gegeben, die in Serie an einer Spannung von 30 Volt liegen, so werden wir leicht finden können, daß die an 50 Ohm liegende Teilspannung $u = 10$ Volt (nämlich $u/U = 50/50 + 100 = u/30 = 50/150 \cdot u = 1/3 \cdot 30$) ist. Wir haben auf diese Weise den „Spannungsteiler" kennengelernt. Denken wir uns den Punkt A in Abb. 10 verschiebbar auf dem Widerstand (Abb. 11), so können wir durch Verstellen des Schleifers zwischen A und B jede beliebige Teilspannung u zwischen Null und U abgreifen. Derartige „Regler" verwenden wir beispielsweise in den Empfängern als Lautstärkeregler.

Wir hatten vorher, bei dem Uebergang zu in Serie an eine Spannung gelegten Widerständen, einen Widerstand (Abb. 7) an eine Spannung gelegt und ihn dann gewissermaßen in der Mitte quer durchgeschnitten, ihn also so in zwei gleichgroße Widerstände von je dem halben Widerstand zerlegt (Abb. 8). Nun könnten wir uns einen Widerstand vorstellen, der beispielsweise aus einem langen Draht von 1 qmm Querschnitt besteht und der — sagen wir 10 Ohm Widerstand hat. Wir erinnern uns, daß eine Verringerung des Querschnitts auf die Hälfte ein Ansteigen des Widerstandes auf den doppelten Wert zur Folge hat. Wenn wir unseren Widerstand R (Abb. 12), durch den die Spannung U (10 Volt angenommen) einen Strom von I (= 1 A) hindurchfließen läßt, nicht quer, sondern der Länge nach halbieren (Abb. 13), so bekommen wir zwei Drähte von je $1/2$ qmm Querschnitt,

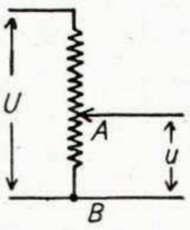


Abb. 11

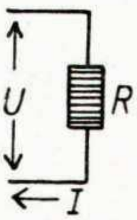


Abb. 12

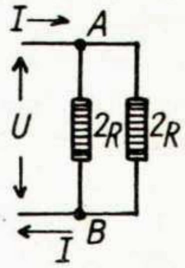


Abb. 13

die nach dem oben Gesagten demnach jeder 20 Ohm Widerstand (also 2 R) haben! Da sich an unserer Spannung U nichts geändert hat und es dem Strom I doch zweifellos gleichgültig ist, ob er durch 2mal $1/2$ qmm Draht oder durch 1mal 1 qmm fließt, bleibt auch der Strom I konstant = 1 A wie vor dem Aufschneiden des Drahtes. Das heißt aber, daß der Widerstand der gleiche geblieben ist wie vorher, nämlich 10 Ohm. Wir haben in Wirklichkeit zwei Widerstände von je 20 Ohm, die mit ihren Enden zusammen- — wie wir auch sagen „parallel"- — geschaltet sind und die zusammen wie ein Widerstand von 10 Ohm wirken. Während also bei Hintereinanderschaltung zweier gleichgroßer Widerstände sich der doppelte Widerstandswert als Gesamtwiderstand ergibt, finden wir hier, daß durch Parallelschaltung zweier gleichgroßer Widerstände der sich ergebende Gesamtwiderstand gleich der Hälfte des Widerstandswertes jedes einzelnen ist. Für die Parallelschaltung von Widerständen gibt es eine Formel:

$$1/R_{\text{gesamt}} = 1/R_1 + 1/R_2 = 1/R_3 + \ldots\ldots$$

In unserem Falle wäre also $R_1 = 20$ Ohm und $R_2 = 20$ Ohm, mithin $1/R_{\text{gesamt}} = 1/20 + 1/20 = 2/20 = 1/10$, also $R_{\text{gesamt}} = 10\,\Omega$.

Bei der Serienschaltung von Widerständen (z. B. Abb. 9) hatten wir festgestellt, daß zwar der Strom durch alle Widerstände der gleiche sei, daß aber an den einzelnen Widerständen verschiedene Spannungen auftraten, die von dem Widerstandsverhältnis der einzelnen Widerstände zueinander abhingen. In der Abb. 13 können an den beiden Widerständen 2 · R sicher keine verschiedenen Spannungen auftreten, denn sie liegen ja beide mit ihren Enden an der Spannungsquelle U. Aber der Strom I wird ja nicht nur durch den einen, sondern durch beide Widerstände fließen, er wird sich also bei A „verzweigen" und bei B wieder zusammenfließen. In unserem Beispiel fließt der Strom I von der Spannungsquelle U nach A hin und der gleiche Strom I kommt von B wieder zurück. Es ist — wie wir ohne weiteres einsehen werden — dabei völlig gleichgültig, ob wir unseren Widerstand R (Abb. 12) nur in zwei Teile oder in zehn Teile der Länge nach aufgespalten haben, ob also zwischen A und B zwei Widerstände von je dem doppelten Ohmwert von R oder zehn Widerstände von je dem zehnfachen Widerstandswert (entprechend $1/_{10}$ Querschnitt!) „parallel" liegen. Da die „Teilströme", wie wir die durch die einzelnen Widerstände fließenden Teile von I nennen, sich bei B wieder zu I vereinigen, muß also **die Summe der von A in die einzelnen Widerstände der „Verzweigung" hineinfließenden Teilströme gleich dem ankommenden Gesamtstrom I** sein. Das ist das sogenannte **„Kirchhoffsche Gesetz"**.

Nach dem Ohmschen Gesetz können wir uns ausrechnen, wie groß die Teilströme in jedem der parallelgeschalteten Widerstände sind. Die Spannung ist in jedem Falle U. Im Beispiel von Abb. 13 wird durch jeden der 2 · R großen Teilwiderstände mithin ein Strom von U/2 R fließen, bei U = 10 V und R = 10 Ω also 0,5 A. Liegen zehn Widerstände von je 100 Ω parallel an 10 V, so ist der Gesamtwiderstand also 10 Ω und der Gesamtstrom 1 A, die Teilströme mithin je 0,1 A. Wir gehen jetzt wieder zu einem allgemeineren Fall über (Abb. 14). An eine Span-

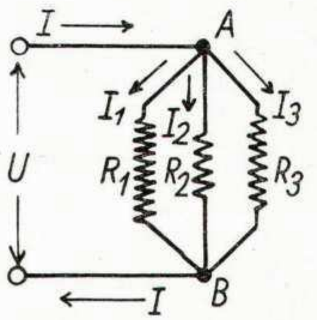


Abb. 14

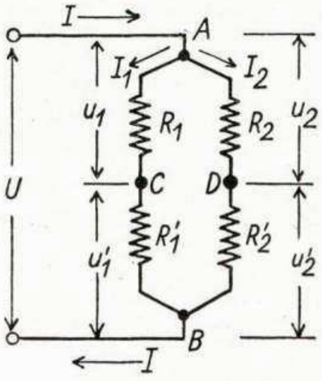


Abb. 15

nung U von 10 V legen wir parallel drei Widerstände $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 1\,\Omega$ und $R_3 = 10\,\Omega$. Wir können die drei Teilströme I_1, I_2 und

I_3 berechnen aus U/R_1, U/R_2 und U/R_3 zu 0,1, 10 und 1 Ampere, so daß $I = I_1 + I_2 + I_3 = 11{,}1$ A wird, wie das aus dem Kirchhoffschen Gesetz hervorgeht. Nach dem Ohmschen Gesetz können wir jetzt $U/I = 0{,}9$ Ohm (abgerundet) errechnen, ein Wert, den wir aus $1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$ ebenfalls feststellen würden!

Wir merken uns noch zwei Leitsätze: „Bei Hintereinanderschaltung von Widerständen ist der Gesamtwiderstand stets **höher** als der jedes einzelnen Teilwiderstandes" und: „Bei **Nebeneinanderschaltung** (Parallelschaltung) von Widerständen ist der Gesamtwiderstand stets **niedriger** als der Widerstand irgendeines Teilwiderstandes".

Nachstehende Aufgaben mögen die Kenntnis der bisherigen Ausführungen erhärten.

Aufgabe 1. Ein Widerstand von $R_1 = 100$ Ohm wird in Serie mit einem solchen von $R_2 = 2{,}9\,K\Omega$ an eine Spannung von 15 Volt gelegt. Wie groß ist der „Querstrom" und welche Teilspannung liegt an R_1?

5 mA
0,5 V

Aufgabe 2. Welche Widerstandswerte kann man aus den folgenden Widerständen durch Serienschaltung zusammenstellen: 1 Ω, 2 Ω, 2 Ω, 5 Ω, 10 Ω?

1 – 20 Ω
1, 2, 3 usw.

Aufgabe 3. Wieviel Ω muß man einem Widerstand von 5 Ω parallelschalten, um 3,75 Ω zu erhalten?

15 Ω

Aufgabe 4. Eine Spannung von $u = 10$ Volt soll an einem Spannungsteiler von 1000 Ω Gesamtwiderstand, an dessen Enden 100 Volt liegen, abgegriffen werden. Wie groß ist der Teilwiderstand (A bis B in Abb. 11!)?

100 Ω

Aufgabe 5. Wieviel Ω muß man einem Widerstand von 100 Ω, an dessen Enden 10 Volt liegen, parallelschalten, um auf einen gesamten Strom (I in Abb. 14) von 10,1 A zu kommen?

1 Ω

Aufgabe 6. Wieviel Widerstandswerte kann man aus drei Widerständen von 5, 10 und 15 KΩ zusammenstellen und welche?

Nach genauer Durcharbeitung des Bisherigen sind wir mit dem Rechnen mit Widerständen, Strömen und Spannungen schon so vertraut, daß wir uns auch einmal einer etwas komplizierteren Aufgabe zuwenden können. In Abb. 15 steht sie. Wir haben hier zwei parallelgeschaltete Widerstandszweige, die aber wieder je aus zwei in Serie geschalteten Teilwiderständen R_1 und R_1' bzw. R_2, R_2' bestehen. Die Spannung ist U und sei in unserem Beispiel wieder 10 Volt. Jeder der beiden Widerstandszweige habe 100 Ohm, so daß also der Gesamtwiderstand 50 Ω und der Strom $I = 0{,}2$ A beträgt. Die Teilströme I_1 und I_2 sind je 0,1 A, wie das aus $U/(R_1 + R_1')$ und $U/(R_2 + R_2')$ hervorgeht.

Ist jetzt R_1 und R_2 je 70 Ω und R_1' und R_2' je 30 Ω, so wird die Teilspannung u_1' an R_1' $I_1 \cdot R_1'$ oder $0{,}1 \cdot 30 = 3$ V werden, ebenso die an R_2' (u_2'), da ja $I_1 = I_2$ und $R_1' = R_2'$. Die Teilspannungen u_1 und u_2 an R_1 und R_2 wären demnach je 7 V ($R_1 \cdot I_1$ und $R_2 \cdot I_2$). Die Punkte C und D haben demnach gegenüber B (und A) gleiche Spannung, wenn wir sie also durch einen Draht verbinden, „überbrücken" würden, so könnte in diesem kein Strom fließen. Wir lesen aus der Abbildung 15 ab, daß $u_1/u_1' = u_2/u_2'$ und daher auch $R_1 \cdot I_1/R_1'/I_1 = R_2 \cdot I_2/R_2' \cdot I_2$ bzw.

$$R_1/R_1' = R_2/R_2'$$

ist. Diese letzte Formel merken wir uns, denn sie ist allgemein gültig. Haben wir beispielsweise die Widerstände $R_1' = 50$ Ω, $R_2 = 1000$ Ω und $R_2' = 10$ Ω gegeben, so können wir uns danach den Widerstand R_1 ausrechnen, für den die Formel wieder stimmt, er ist hier 5000 Ω, denn $5000/50 = 1000/10$! Auch in diesem Falle ist die Spannung zwischen A (bzw. B) und C und D gleich, so daß in dem „Brückenzweig", der Verbindung zwischen C und D, kein Strom fließen könnte. In der Praxis werden die beiden Widerstände R_2 und R_2' durch einen einfachen Widerstandsdraht ersetzt, da das Längenverhältnis zweier gleichstarker Drähte (a/b) auch dem Widerstandsverhältnis R_2/R_2' entspricht. Auf diesem Draht kann ein Schleifer bewegt werden (entsprechend dem Punkt D in Abb. 15 und 16) und das Längenverhältnis kann an einer Skala (beispielsweise Metermaßstab!) abgelesen werden zu a/b (Abb. 16). Schalten

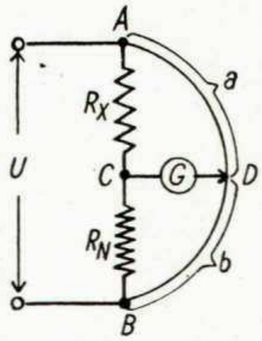


Abb. 16

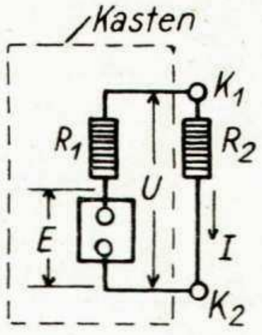


Abb. 17

wir bei R_x einen uns unbekannten Widerstand an, haben wir ferner einen bekannten Widerstand R_N, so können wir durch Verstellen des Schleifers D erreichen, daß zwischen C und D kein Spannungsunterschied besteht, so daß also der empfindliche Stromzeiger G in dieser Leitung keinen Strom anzeigt. Dann gilt wieder unsere obige Formel, die wir jetzt etwas anders schreiben, und zwar:

$$R_x = R_N \cdot a/b.$$

Wir haben hier eine Methode kennengelernt, die uns die Messung der verschiedensten Widerstände gestattet, wenn wir nur einen einzigen, dem Ohmwert nach bekannten Widerstand R_N haben. Die ganze Anordnung nennt man „**Wheatstonesche Brücke**". Sie wird nicht nur für die Messung Ohmscher Widerstände gebraucht, sondern sie findet sich in der gesamten Meß- und Schaltungstechnik immer wieder in den mannigfachsten Variationen.

Stromquellen

Wir hatten bisher immer angenommen, daß uns zwei Punkte zur Verfügung stünden, die „verschieden stark mit Elektronen angefüllt" seien, so daß also zwischen ihnen eine „Spannung" vorhanden war, die Elektronen in Bewegung versetzen kann. Wir würden besser sagen „eine bewegende (Fremdwort: motorische) Kraft" und — mit Bezug auf die Elektrizität: „elektromotorische Kraft" (abgekürzt EMK). Haben wir eine Quelle, die uns die „elektromotorische Kraft" E von 4 Volt liefert (Abb. 17), und schalten mit ihr die beiden Widerstände R_1 und R_2 in Serie, die 1 und 9 Ohm haben mögen, so wird der Strom I, der sie durchfließt, $E/(R_1 + R_2) = 0{,}4$ A werden. Denken wir uns die Quelle der EMK zusammen mit R_1 in einen Kasten eingeschlossen (in Abb. 17 gestrichelt gezeichnet), so werden wir bei Anschaltung eines Widerstandes $R_2 = 9$ Ohm einen Strom $I = 0{,}4$ A und an den beiden gezeichneten Klemmen K_1 und K_2 eine Spannung U von 3,6 V haben. Nehmen wir $R_2 = 1\,\Omega$, so fließt durch R_1 und R_2 ein Strom von 2 A und an den Klemmen K_1, K_2 liegt nur noch eine „Klemmenspannung" von 2 Volt.

Nehmen wir die Quelle der EMK und den Widerstand R_1 als untrennbare Einheit an, so können wir sagen, „die Klemmenspannung hängt von dem entnommenen Strom, also von der „Belastung" ab. Lassen wir die Klemmen K_1, K_2 ganz offen, so fließt kein Strom zwischen ihnen, also auch nicht durch den sogenannten „inneren Widerstand" R_1, mithin wird die Klemmenspannung hier gleich E, gleich der elektromotorischen Kraft. (Wir nennen diesen Fall auch „Leerlauf".) Haben wir eine Batterie, die sich aus elektrischen Elementen zusammensetzt, beispielsweise eine Taschenlampenbatterie, so können wir an ihr ähnliche Versuche machen und werden feststellen, daß sie beispielsweise bei offenen Klemmen K_1, K_2 eine (Klemmen-)Spannung von 4,5 V liefert, daß diese Spannung aber sinkt, wenn wir der Batterie Strom entnehmen, indem wir einen mehr oder weniger großen Widerstand zwischen ihre Klemmen schalten. Da die EMK der Batterie nach wie vor 4,5 V (1,5 V pro Einzelelement) beträgt, muß also in der Batterie noch ein „innerer Widerstand" sitzen, der den Spannungsverlust hervorruft, den wir allerdings von außen nicht sehen können. Das ist in der Tat so und es ist einleuchtend, daß die Batterie um so besser ist, je geringer dieser „Innenwiderstand" (R_i), wie man ihn auch nennt. Sagen wir noch, daß mit dem Alter der Batterie ihr R_i zunimmt, so wissen wir schon, warum die Klemmenspannung der Batterie mit der Zeit abnimmt.

Mit der inneren Beschaffenheit einer Batterie wollen wir uns nicht weiter aufhalten, die Kenntnis ihrer wesentlichsten Eigenschaften mag hier genügen. In der Batterie ist eine chemische Kraft wirksam, die stets an ihrem einen Anschluß (Pol) einen Ueberschuß an Elektronen ansammelt, bis die chemischen Bestandteile der Batterie verbraucht sind, dann hört auch diese Aktion auf und die Spannung sinkt auf Null. Wir könnten die Batterie mit einem sehr großen Teich vergleichen, der durch ein dünnes Rohr langsam abgelassen wird und durch Regen immer wieder nachgefüllt wird. Kommt eine Trockenzeit, so läuft der Teich schließlich leer („entlädt sich").

Wie wir aus einem Teich mittels eines Eimers Wasser schöpfen, um es in eine Rohrleitung zu leiten, so können wir auch aus einer Stromquelle, einer elektrischen Batterie bzw. einem Element, Strom entnehmen und ihn gesondert verbrauchen. Wir speichern den Strom auf, und zwar in sogenannten „Sammlern" oder „Akkumulatoren". Leiten wir in einen solchen Sammler aus einer Batterie, beispielsweise aus einer Taschenlampenbatterie, einen elektrischen Strom, so gehen in dem Sammler chemische Veränderungen vor, die einen Elektronenüberschuß an der einen und einen Elektronenmangel an seiner zweiten Klemme verursachen. Je nach Größe des Akkumulators dauert es mehr oder weniger lange Zeit, bis dieser „Stromspeicher" mit Strom voll „geladen" ist. Hören wir mit der Stromzufuhr auf, so sind die chemischen Kräfte in ihm bestrebt, wieder den vorigen Zustand herzustellen, es entsteht eine EMK und — bei Anlegen eines (Strom-) „Verbrauchers" (beispielsweise eines Widerstandes) zwischen die Klemmen des Akkumulators (kurz Akku genannt) fließt ein Strom. Bei Anlegen verschiedener Widerstände an einen Akku können wir feststellen, daß sich die Klemmenspannung sehr viel weniger stark ändert als bei einer Trockenbatterie, woraus wir auf einen geringeren inneren Widerstand schließen können. „Schließen" wir in Abb. 17 die Klemmen K_1 und K_2 „kurz", indem wir sie beispielsweise mittels eines sehr dicken Kupferstabes von praktisch vernachlässigbarem Widerstand verbinden, so wird der Strom um so größer sein, je kleiner der innere Widerstand R_1 ist, die Klemmenspannung U wird hierbei zu Null („Kurzschluß", vergleiche hierzu weiter oben: „Leerlauf"!). Bei den Trockenbatterien mit ihrem relativ großen Widerstand ist ein momentaner Kurzschluß zwar auch nach Möglichkeit zu vermeiden, aber doch nicht so schädlich wie bei einem Akku mit seinem sehr geringen R_i.

Ein Akkumulator ist nach obenstehenden Ausführungen also von einem elektrischen Element streng zu unterscheiden. Während dieses aus sich heraus eine EMK erzeugt und Strom durch einen Widerstand treiben kann, ist der Akku hierzu nur in der Lage, wenn ihm vorher ein Strom zugeführt wurde. Sobald die in ihm „aufgespeicherte Strommenge verbraucht" ist, sinkt die EMK des Akkus auf Null ab.

Die üblichen Trockenelemente, wie sie beispielsweise in den Taschenlampen- und Anodenbatterien vorhanden sind, haben eine EMK von etwa 1,5 V, die Spannung an den Anschlüssen (Klemmenspannung) hängt, wie bereits gesagt, von der Größe des entnommenen Stroms ab.

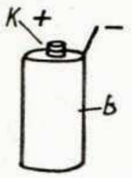


Abb. 18

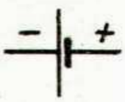


Abb. 19

Betrachten wir ein einzelnes Trockenelement (Abb. 18) nach Entfernung der Papphülle, so finden wir, daß es aus einem Zinkbecher B und einer auf einem oben eingegossenen Kohlestift K aufgesetzten Messingkappe besteht. Der Zinkmantel führt eine Spannung gegen die Kohle, dem Element wohnt also eine EMK inne. Das Kurzzeichen (Symbol) eines Elements, dessen wir uns bei Zeichnungen bedienen, zeigt Abb. 19. Die Kohle hat eine Spannung von etwa 1,5 V gegen das Zink; verbinden wir also zwei derartige Elemente so miteinander, daß das Zink des ersten an die Kohle des zweiten angeschlossen wird (Abb. 20), so ist leicht einzusehen, daß zwischen der Kohle des ersten und dem Zink des zweiten Elements dann 3 V Spannung vorhanden sind. Bei Hinter-

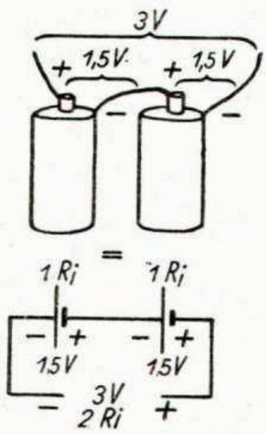


Abb. 20

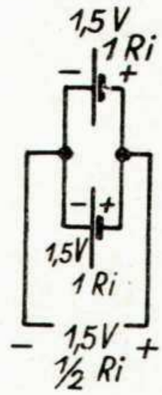


Abb. 21

einanderschaltung von Elementen zu einer sog. „Batterie" addieren sich also deren Spannungen, allerdings liegen ja auch ihre inneren

Widerstände in Serie und addieren sich ebenfalls. Brauchen wir also einen großen Strom und wollen daher den inneren Widerstand der Stromquelle möglichst klein machen, so müssen wir mehrere Elemente (und damit ihre inneren Widerstände!) parallelschalten (Abb. 21), also Kohle mit Kohle und Zink mit Zink verbinden. Um eine Herabsetzung des Innenwiderstandes gleichzeitig mit einer Erhöhung der Spannung zu erzielen, müssen wir eine sogenannte „gemischte Schaltung" (s. a. die „gemischte Schaltung" der Widerstände in Abb. 15) anwenden und mehrere Elemente in Serien-Parallelschaltung zu einer Batterie vereinigen (Abb. 22).

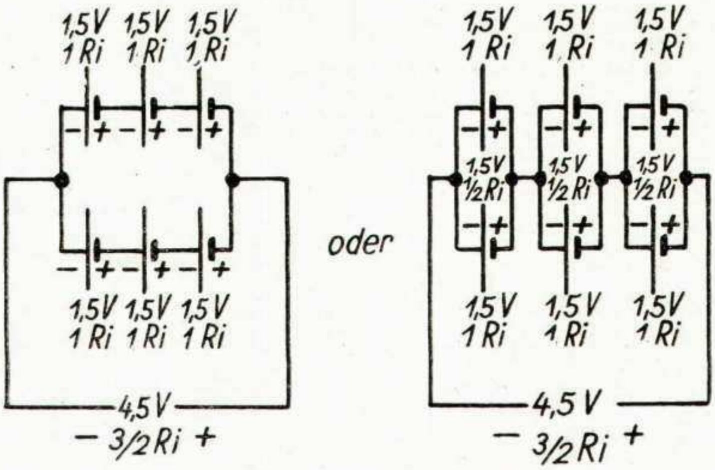


Abb. 22

In der Praxis wird bei Trockenelementen die gemischte oder die Parallelschaltung seltener angewandt, man verwendet für größere Stromstärken Elemente größerer Abmessungen. Die Serienschaltung einzelner Elemente ist allgemein gebräuchlich (z. B. 3 Elemente für die 4,5-V-Taschenlampenbatterie, 80 Elemente für eine 120-V-Batterie). Bei Akkumulatoren verwendet man die gemischte und die Parallelschaltung öfter, insbesondere, wenn aus Einzelakkumulatoren (je 2 V) mit geringem Maximal-Entladungsstrom (auf dem Etikett vermerkt!) eine größere Stromstärke entnommen werden soll und wenn eine größere Spannung benötigt wird.

Das Vermögen eines Elementes, einer Akku-„Zelle" bzw. einer daraus zusammengestellten Batterie, Strom zu liefern, wird in „Ampere-Stunden" (abgekürzt Ah) gemessen. Eine Trockenbatterie hat 3 Ampere-Stunden, kann z. B. heißen, daß sie 300 Stunden lang 10 mA (0,01 A) abgeben kann, könnte aber auch heißen, daß sie 3 Stunden lang 1 A abzugeben vermag, wenn das nicht die höchstzulässige Stromstärke überschreiten würde. Bei Ueberschreitung der maximal zulässigen Stromstärke wird die Zahl der Amperestunden, die die Batterie bei normaler Belastung herzugeben vermag, verkürzt. Gleiches gilt auch für den Akkumulator, dessen Vermögen, eine bestimmte „Elektrizitätsmenge" aufzuspeichern, man auch mit „Kapazität" (in Ah gemessen) bezeichnet.

Für die Praxis merken wir uns, daß normalerweise größere Trockenelemente mit nicht mehr als etwa 1/3 A belastet werden dürfen, während den sogenannten Anodenbatterien normal bis 10 oder 15 mA, in Sonderausführungen bis zu 50 mA entnommen werden darf. Für größere Ströme sind Akkumulatoren vorzuziehen (bzw. Netzanschluß, s. weiter unten!).

Leistung und Arbeit

Strömendes Wasser, beispielsweise ein Bach, kann Leistung vollbringen, wenn wir beispielsweise ein Wasserrad in seinen Weg stellen. Er versetzt es in Drehung, die wir z. B. dazu ausnutzen könnten, ein Gewicht zu heben, etwa 75 kg. Wird eine Leistung in einer bestimmten Zeit vollbracht, so nennen wir das „Arbeit", und wenn uns unser Wasserrad 75 kg in einer Sekunde 1 m hoch hebt, so nennen wir diese 75 „Meterkilogramm pro Sekunde" (kgm/sek) 1 PS, eine Pferdestärke. Wir können eine PS „Arbeit vollbringen", wenn wir 75 kg wiegen und in einer Sekunde 1 m hoch springen!

Wir wissen, daß es Maschinen gibt, die vom elektrischen Strom betrieben werden, und daß diese „Elektromotoren" 1 oder 5 oder 1000 PS Arbeit leisten können. Wie sieht denn nun das elektrische Maß für die Leistung bzw. für die Arbeit aus?

Fließt irgendwo bei einer Spannung von 1 V ein Strom von 1 A, so ist die Leistung, die dieser Strom vollbringen kann, 1 VA (Voltampere) oder 1 „Watt" (W), und wenn diese Leistung in einer Sekunde vollbracht wird, so haben wir eine Arbeitsleistung von 1 „Wattsekunde". Da das ein recht kleines Maß ist, nimmt man meist die tausendfache Leistung und setzt statt der Sekunde die Stunde (also das 3600fache einer Sekunde). Die sich so ergebende Arbeit heißt Kilowattstunde. Das ist auch die Einheit, die wir beim Elektrizitätswerk bezahlen, die unser Elektrizitätszähler anzeigt. Wenn wir noch wissen, daß 1 PS 736 W entspricht, so haben wir auch den Uebergang und Vergleichsmöglichkeiten zwischen mechanischer und elektrischer Leistung bzw. Arbeit. Die elektrische Leistung können wir mithin allgemein als Produkt von Spannung und Strom errechnen:

$W = U \cdot I$ oder — da $I = U/R$ ist und $U = R \cdot I$ — auch
$W = U^2/R$ $(U \cdot U/R)$ und $W = I^2 \cdot R$ $(I \cdot I \cdot R)$.

An unserem Wasserrad könnten wir Bremsklötze anbringen und sie ziemlich fest anziehen. Dann würden wir nach einiger Zeit beobachten, daß sie heißer und heißer werden, ein ähnlicher Vorgang, wie er von den primitiven Eingeborenen der Südseeinseln zur Feuererzeugung benutzt wird. Die Reibung erzeugt also Wärme, und da die Reibung in unmittelbarem Zusammenhang mit der geleisteten Arbeit steht, können wir auch sagen, wir setzen mechanische Energie in Wärme um. Es liegt nahe, das auch beim elektrischen Strom zu versuchen. Bringen wir zwischen den Anschlüssen für das elektrische Lichtnetz, zwischen denen ja eine Spannung herrscht, einen starken, aufgewickelten Widerstandsdraht an, wie er beispielsweise auf den Heizkörpern für elektrische „Heizsonnen" zu finden ist, so werden wir feststellen, daß der Draht schnell glühend wird, daß also „der Strom Wärme erzeugt", daß sich elektrische Energie in Wärme umsetzt. Wir werden später, beispielsweise bei den Röhren, finden, daß es nicht immer wünschenswert ist, daß elektrische Energie durch Verwandlung in Wärme verlorengeht, wenn wir sie anderswo gebrauchen. Die Erzeugung der Wärme können wir uns so vorstellen, daß in einem Leiter die Elektronen durch den Widerstand, den sie an den im Wege stehenden Atomen finden, aufgehalten werden, da sie aber ihre Bewegung beibehalten wollen, eben sich an den Widerständen reiben und dort „Reibungswärme" erzeugen. Die obigen Formeln besagen ja auch, daß die in einem Leiter vom Ohmschen Widerstand R auftretende Leistung I · I · R ist. Diese Leistung wird restlos in Wärme umgesetzt. Wollen wir also beispielsweise einen Apparat A (Abb. 23), der bei

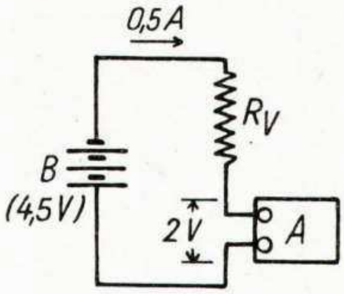


Abb. 23

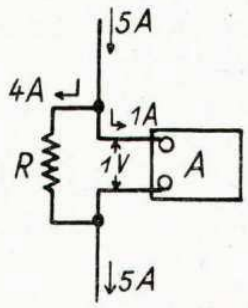


Abb. 24

einem Strom von 0,5 A eine Spannung von 2 V benötigt, an eine Stromquelle, beispielsweise eine Batterie von 4,5 V Spannung, anschließen, so müssen wir in Reihe mit dem Apparat einen Widerstand R schalten, der die überflüssige Spannung aufnimmt, in unserem Beispiel mithin 2,5 V, und zwar bei 0,5 A. Letztere Angabe ist wichtig, denn wenn kein Strom fließt, findet an R ja kein Spannungsabfall statt, und wenn die Stromstärke nicht angegeben wäre, könnten wir auch nicht den richtigen Wert von R ausrechnen! Hier wissen wir, daß $I = 0{,}5$ A und $U = 2{,}5$ V (die Spannung an R!) ist, daher können wir nach dem Ohmschen Gesetz den Wert für den Widerstand zu $2{,}5/0{,}5 = 5$ Ohm ausrechnen. In dem Widerstand geht eine Leistung von $I^2 \cdot R = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 5 = 1{,}25$ Watt verloren, während der Apparat A eine Leistung von $U \cdot I = 2 \cdot 0{,}5 = 1$ Watt aufnimmt. Das ist also eine recht ungünstige Ausnutzung! Wir erkennen gleich, daß es im Prinzip etwas ähnliches ist, wenn wir etwa unseren 4-V-Akku aus der 220-V-Lichtleitung (Gleichstrom!) laden wollten und einfach einen Vorschaltwiderstand mit dem Akku in Serie schalten; denn die meiste Leistung wird gebraucht, um die Stube zu heizen, während nur ein geringer Bruchteil für den gewünschten Zweck, hier also zur Ladung des Akkus, ausgenutzt wird: der „Wirkungsgrad" ist klein. Für einen 4-V-Akku, den wir mit 1 A aus dem Lichtnetz von 220 V laden wollen, brauchen wir einen Vorschaltwiderstand von 216 Ω, in dem 216 Watt verlorengehen; der Akku bekommt nur 4 Watt!

Aehnlich geht es uns in folgendem Falle, den wir in der Praxis auch finden, wenn auch bei den praktischen Anwendungen meistens der Verlust an Leistung ziemlich uninteressant ist. Nehmen wir an, wir hätten einen Apparat A (Abb. 24), der bei einer Spannung von 1 V einen Strom von 1 A „aufnimmt", mithin also einen Widerstand von 1 Ω hat. Ferner sei uns die Aufgabe gestellt, diesen Apparat aus irgendeinem Stromkreis zu speisen, in dem 5 A fließen. Da wir nur 1 A brauchen, müssen wir dafür sorgen, daß auf einem Nebenweg, einem sogenannten „Nebenschluß" (englisch auch „Shunt"), 4 A an dem Apparat vorbeifließen (R in Abb. 24). An beiden Widerständen liegt die Spannung $U = 1$ V und durch den Apparatewiderstand R_a fließt der Strom $I_a = 1$ A, während durch den Nebenwiderstand R/I = 4 A fließen sollen. Es wird also $U = I_a \cdot R_a$ oder $U = I \cdot R$; $I_a \cdot R_a = I \cdot R$; $R = R_a \cdot I_a/I = 1 \cdot 1/4 = 0{,}25$ Ohm. Der Nebenwiderstand R hat mithin $1/4$ des Widerstandes des Apparates A! Während der Apparat $U \cdot I = 1$ W verbraucht, ist die im Nebenwiderstand R verbrauchte Leistung $= U \cdot I = 4$ W.

Nachstehend sind wieder einige Aufgaben gestellt, die zur Einübung des Vorstehenden dienen mögen.

Aufgabe 7. Bei einer Meßbrücke sei der bekannte Widerstand $R_N = 100\,\Omega$ (s. Abb. 16) und an dem 1 m langen „Schleifdraht" werde a zu 30 cm abgelesen. Wie groß ist der unbekannte Widerstand R_x, wenn die Brücke „im Gleichgewicht" ist, also G keinen Strom anzeigt?

Aufgabe 8. Wenn die Brücke (s. Abb. 16) aus Gründen größerer Meßgenauigkeit nur von a = 25 cm bis b = 25 cm und mit $R_N = 100\,\Omega$ verwendet werden soll, welchen „Meßbereich" erhält man?

Aufgabe 9. Eine Trockenbatterie hat eine EMK von E = 4,5 V und einen $R_i = 1{,}5\,\Omega$. Kann daraus eine Glühlampe mit 4,5 V bei I = 0,3 A betrieben werden?

Aufgabe 10. Aus der gleichen Batterie soll eine Empfängerröhre mit 2 V Spannung und einem Stromverbrauch von 100 mA betrieben werden. Wie groß muß der Vorschaltwiderstand sein und welche Leistung wird in ihm verbraucht?

Aufgabe 11. Welchen Vorschaltwiderstand braucht man bei einem Akkumulator von 4 V EMK und $0{,}2\,\Omega$ R_i zum Betriebe einer Röhre von 3,8 V mit 1 A Heizstrom?

Aufgabe 12. An ein Lichtnetz von 220 V (R_i vernachlässigbar) sollen die Heizfäden dreier Empfängerröhren von 13, 13 und 24 V Heizspannung mit einem Heizstrom von 0,2 A angeschlossen werden. Wie groß muß der Vorschaltwiderstand sein und welche Leistung wird in ihm in Wärme umgesetzt?

Aufgabe 13. Drei Röhren sollen mit den Heizfäden in Serie an ein Lichtnetz von 125 V (R_i vernachlässigbar) geschaltet werden. Ihre Heizspannung ist durchweg 4 V, die Ströme 0,15, 0,06 und 0,07 A. Parallel zu den Heizfäden mit 0,06 und 0,07 A sind Nebenschlüsse (R_1 und R_2) geschaltet, die den Gesamtstrom auf 0,15 A bringen. Wie groß müssen diese sein und wie groß muß der Vorschaltwiderstand R_v werden?

Aufgabe 14. Wie groß ist die Klemmenspannung einer Trockenbatterie mit einer EMK von 120 V und einem inneren Widerstand von $120\,\Omega$ bei einer Stromentnahme von 0,1 A?

Stromrichtung und Elektronen

Achtung! Wir haben bisher immer davon gesprochen, daß die Elektronen von einer Stelle, die einen Elektronenüberfluß aufweist, dorthin fließt, wo ein Elektronenmangel besteht. Lange bevor die Wissenschaftler die Elektronen und ihre Eigenschaften kennengelernt hatten, wußte man schon, daß es einen elektrischen Strom gibt, und bezeichnete die Stellen, an denen ein Elektronenmangel vorhanden ist, mit + oder Pluspol, während die Stellen mit Elektronenüberfluß mit — oder

Minuspol bezeichnet wurden. Das ist nach unseren heutigen Begriffen unverständlich, weil wir ein Mehr gegenüber einem Weniger mit dem +Zeichen versehen würden, ist aber nun einmal aus der älteren Elektrizitätslehre übernommen worden und nicht mehr zu ändern. Nach der alten Deutung hieß es: „Der elektrische Strom fließt von + nach —." Wir wissen jetzt, daß die Elektronen von — nach + fließen, also gerade entgegengesetzt. Um aus dieser Schwierigkeit herauszukommen, merken wir uns:

„Der elektrische Strom fließt von + nach — und die Elektronen bewegen sich in der dem Strom entgegengesetzten Richtung."

Wechselstrom

Wir hatten weiter oben schon erfahren, daß es Meßinstrumente für die Stärke des elektrischen Stromes oder überhaupt für den Nachweis eines elektrischen Stromes gibt. Wir nehmen jetzt ein solches Instrument, das bei vollem Ausschlag des Zeigers (von 0 bis ganz an das rechte Ende der Skala!) 2 oder 3 mA (tausendstel Amperes) anzeigt, und verbinden je eine seiner Klemmen in der in Abb. 25 gezeigten Weise mit je einem Stecker einer Spule, beispielsweise einer sogenannten Korbspule, von etwa 250 Windungen durch Kupferdrähte. Der Zeiger unseres Instruments wird sich nicht bewegen. Jetzt nehmen wir einen starken Hufeisenmagneten und bewegen ihn in der Pfeilrichtung langsam auf die Spule zu, bis er beiderseits die Mittelöffnung der Spule abdeckt. Während dieser Bewegung, bei der der Magnet die Spule gar nicht berührt, beobachten wir, daß der Zeiger des Meßinstruments nach einer Seite pendelt, um dann, wenn wir den Magneten in der Mittellage ruhig halten, wieder in die Ausgangsstellung zurückzukehren und in ihr zu verharren. Bewegen wir jetzt den Magneten in der gleichen Richtung weiter, so daß wir uns mit ihm also dann wieder von der Spule entfernen, so pendelt der Zeiger abermals, diesmal aber nach der entgegengesetzten Richtung wie vorhin. Bewegen wir den Magneten schneller, so pendelt der Zeiger stärker. Bewegen wir den Magneten dauernd hin und her, so wird auch der Zeiger dauernd pendeln.

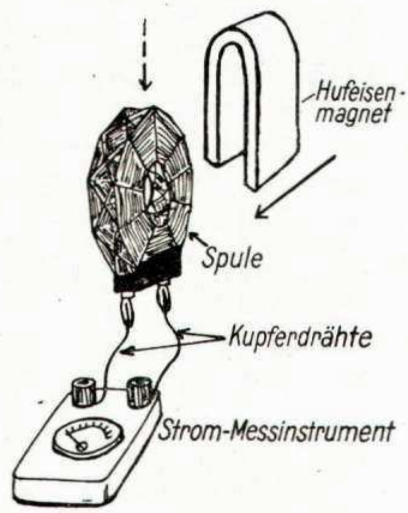


Abb. 25

Was sagt uns dieser Versuch? Wir haben einen Stromanzeiger verwendet, bei dem eine Bewegung des Zeigers aus der Ruhelage das Vorhandensein eines Stromes in der Spule, mithin auch einer EMK, anzeigt. Die Richtung, in der der Zeiger ausschlägt, ist auch für die Stromrichtung maßgebend; denn sonst würden wir an den Klemmschrauben unseres Instrumentes nicht die Zeichen + und — finden. Das Ausschlagen des Zeigers und seine Rückkehr bis zur Mittellage sagt uns, daß ein Strom in einer Richtung geflossen ist und dann wieder aufhörte zu fließen, und daß er bei Weiterbewegung des Magneten über die Mitte hinaus in umgekehrter Richtung fließt und wiederum aufhört. Bei fortgesetzter Hin- und Herbewegung des Magneten kommt der Zeiger nicht zur Ruhe, sondern er pendelt dauernd nach wechselnden Seiten, es fließt also dauernd ein Strom, der dauernd in der Richtung wechselt. Im Gegensatz zu dem Strom, der dauernd in einer Richtung fließt und wie ihn beispielsweise eine Batterie liefert — wir nennen ihn „Gleichstrom" —, bezeichnen wir den hier beobachteten Strom als Wechselstrom. Wir haben einen einfachen „Wechselstromerzeuger" kennengelernt. Wir könnten ihn vervollkommnen, indem wir beispielsweise den Magneten oder deren mehrere auf einem Rad anbringen (Abb. 26),

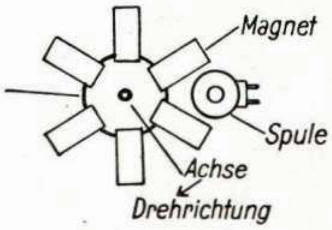


Abb. 26

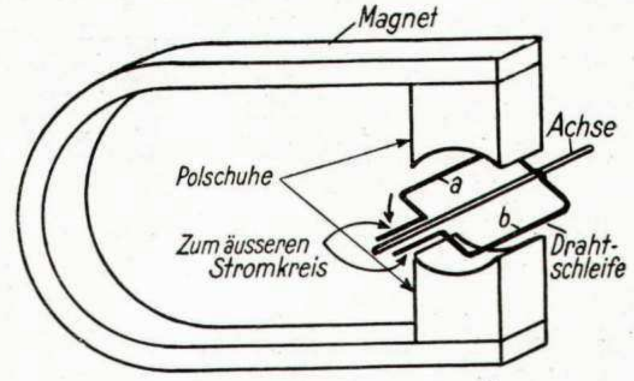


Abb. 27

so daß bei Drehung desselben immer ein Magnet nach dem anderen über die Spule hinwegstreicht. Nehmen wir für unseren Versuch eine Spule von nur etwa 25 Windungen, so wird die Bewegung des Zeigers sehr viel kleiner, der Wechselstrom also kleiner werden. Ganz gleichgültig, ob wir aber 250 Windungen oder nur eine nehmen: immer wird durch die Bewegung des Magneten ein Strom wechselnder Richtung hervorgerufen, seine Größe nimmt zu mit der Zahl der Windungen, also der nebeneinanderliegenden Drähte und der Geschwindigkeit der Bewegung. Stellen wir den Magneten fest auf den Tisch und bewegen die Spule zwischen seinen Enden, den sogenannten „Polen", hindurch, so ändert sich nichs an der Größe des Stromes. Wir könnten uns also einen Wechselstromerzeuger auch so vorstellen wie in Abb. 27, wo wir eine Drahtwindung, die auf einer Achse befestigt ist, dauernd an den hier auf die Pole gesetzten „Polschuhen" des Magneten vorbeibewegen, wir müßten nur irgendein Mittel haben, diesen Strom von der Schleife wegzuführen. Statt der einen Drahtwindung könnten wir auch mehrere nehmen und dadurch eine größere EMK, im angeschlossenen Stromkreis einen größeren Wechselstrom erzeugen. Alle unsere Stromerzeuger, wie sie in den Elektrizitätswerken verwendet werden, arbeiten nach diesem Prinzip.

Elektrische Meßinstrumente

Wir wollen uns hier nicht länger mit der Erzeugung von Wechselstrom aufhalten, es genügt uns, wenn wir wissen, daß dann, wenn ein Leiter (Draht) gegenüber einem Magneten bewegt wird, in dem Draht ein Strom entsteht. Interessant ist aber für uns noch folgender Versuch. Wir stellen unseren Magneten auf den Tisch, und zwar so, daß seine beiden Pole oben sind. Jetzt hängen wir die Spule frei zwischen diesen auf und verbinden sie durch dünne, weiche Kupferdrähte mit Akkumulatoren von 4 Volt. Im Augenblick, da wir den Strom durch die Spule schließen, bewegt sie sich, und zwar schwingt sie seitwärts und dreht sich außerdem. Vertauschen wir die Anschlüsse zur Batterie, lassen also den Strom entgegengesetzt durch die Spule fließen, so bewegt sie sich auch in entgegengesetzter Richtung!

Bringen wir eine Kompaßnadel in die Nähe unseres Magneten, so wird sie sich auch aus ihrer normalen Nordrichtung bewegen: daraus können wir folgern, daß unsere Spule sich wie ein richtiger Magnet (die Kompaßnadel ist ja ein solcher!) verhält. Daß das stimmt, können wir einfach dadurch nachweisen, daß wir den Hufeisenmagneten durch die Spule ersetzen und den Kompaß in ihre Nähe stellen. Im Augenblick, indem wir den Strom einschalten, wird die Kompaßnadel aus ihrer Nordrichtung gebracht.

Haben wir irgendein Stück Eisen zur Hand, beispielsweise einen Hammer, den wir in die Oeffnung der Spule stecken können, so werden wir beobachten, daß dann dieses Eisen sogar kleine Nägel usw. anzieht wie ein Magnet, aber nur solange der Strom um das Eisen herum in der Spule fließt. Unterbrechen wir diesen, so fallen die Nägel herunter, das Eisen ist nicht mehr magnetisch.

Wir stellten fest, daß ein (in unserem Versuch zur Spule aufgewickelter) Leiter, der vom Strom durchflossen ist und sich frei bewegen kann, eine Bewegung gegenüber einem Magneten ausführt. Stecken wir — in der in Abb. 25 durch einen gestrichelten Pfeil gekennzeichneten Richtung — eine Achse durch die Spule und bringen sie zwischen den Polen eines Magneten an, so dreht sie sich, wenn wir Strom durch sie leiten. Auf dieser Tatsache beruhen die Maschinen, die aus einem elektrischen Strom eine Drehung machen, die Elektromotoren.

In unserem ersten Versuch mit der Spule fanden wir, daß durch die Windungszahl auch die Größe des Stromes bedingt ist. Wir stellten weiterhin fest, daß sich die Spule um so stärker dreht, je größer der Strom und die Windungszahl ist. Bringen wir an der Spule also einen Zeiger an, so können wir damit Strom messen. Da sich eine Spule dreht, nennen wir solche Strommesser auch „Drehspulinstrumente". Da sie die Amperes messen, heißen sie auch „**Amperemeter**". Da eine bestimmte Spannung durch einen Widerstand einen durch das Ohmsche Gesetz gegebenen Strom fließen läßt, können wir also mit der Spule eines solchen Drehspul-Strommessers einen Widerstand in Serie schalten und ihn an eine Batterie legen. Dann wird der sich ergebende Strom von dem Instrument angezeigt. Wir können es auf diese Weise also auch als Spannungsmesser verwenden und nennen es dann „**Voltmeter**".

Wir könnten auch noch andere Arten von Instrumenten bauen, z. B. aus einer Spule und einem Eisenstückchen, das bei Stromfluß mehr oder weniger stark von der Spule angezogen wird. Auch diese Bewegung können wir auf einen Zeiger übertragen und haben dann ein sogenanntes „**Weicheiseninstrument**" vor uns, mit dem wir in ähnlicher Weise Strom und Spannung messen können. Oder bringen wir zur Erhöhung der magnetischen Wirkung der Spule bei diesem Instrument außer dem beweglichen Eisen„anker" noch ein festes Eisenstück an; solche Instrumente heißen „**Dreh-Eisen-Instrumente**". Beide letzteren Arten haben die Eigenschaft gemeinsam, daß es gleichgültig ist, ob ihre Spule stets in gleicher Richtung vom Strom durchflossen wird oder ob er seine Richtung wechselt, weil ja die anziehende Kraft, die auf ein Stück unmagnetischen Eisens ausgeübt wird, von der Stromrichtung in der Spule unabhängig ist. Wir können mit ihnen also auch Wechselstrom und Wechselspannung messen. Beim Drehspulinstrument mit seinem Magneten ist aber die Stromrichtung nicht gleichgültig, so daß es nur für die Messung von Gleichstrom bzw. Gleichspannung verwendbar ist! Drehspulinstrumente sind für unsere Zwecke am günstigsten, zumal sie durch einen Gleichrichterzusatz auch die Messung von Wechselströmen und -spannungen gestatten.

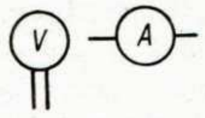


Abb. 27a

Für die Bezeichnung von Strom- und Spannungsmessern werden die Schaltzeichen der Abb. 27a verwendet. Dabei wird in den Kreis die charakteristische Größe eingezeichnet, bei Voltmetern also V, mV, KV usw., bei Amperemetern A, mA, μA usw. Die Bezeichnung G (Galvanometer) bezeichnet allgemein einen sehr empfindlichen Stromzeiger.

Regel: 1. Voltmeter werden mit ihren beiden Klemmen stets an die Stellen angeschlossen, zwischen denen die Spannung zu messen sind. An dem vorhandenen Stromkreis wird also nichts geändert.

2. Amperemeter werden in den an einer Stelle zu diesem Zweck unterbrochenen Stromkreis eingeschaltet und von dem gesamten, zu messenden Strom in diesem durchflossen.

Wie man durch Wahl verschiedener Vorschaltwiderstände (s. a. Abb. 23) aus dem Stromzeiger (Amperemeter) einen Spannungszeiger (Voltmeter) verschiedener Meßbereiche machen kann, so besteht auch die Möglichkeit, den Meßbereich eines Amperemeters zu erweitern, indem man (s. Abb. 24) einen Teil des zu messenden Stroms durch Nebenwiderstände an ihm vorbeileitet.

Hat beispielsweise ein Stromzeiger einen „inneren Widerstand" von 50 Ω und fließt beim vollen Zeigerausschlag ein Strom von 2 mA, so können wir damit auch Spannungen bis zu 100 mV (50 Ω × 2 mA) messen. Mit einem Vorschaltwiderstand von 100 000 Ω (100 KΩ) reicht unser Instrument demnach bis 200 V (100 KΩ × 2 mA).

Wollen wir Ströme bis 20 mA messen, so müssen demnach 18 mA durch den Nebenwiderstand fließen, dieser muß also $R = U/I = \frac{0{,}1\,\mathrm{V}}{0{,}018\,\mathrm{A}}$ $= 5{,}555\,\Omega$ haben, da ja nach Vorstehendem die am Instrument liegende Spannung 0,1 V beträgt!

Wechselstromkurven, Frequenz

Bringen wir auf die Pole eines auf dem Tisch stehenden Magneten (Pole nach oben gerichtet!) ein Stück Karton, streuen auf diesen Eisenfeilicht und beklopfen ihn vorsichtig, so bekommen wir ein Bild ähnlich wie in Abb. 28. Die Eisenteilchen bilden Linien, die unter dem Einfluß des Magneten, durch seine magnetische Kraft, entstehen und die man „Kraftlinien" nennt. Sie sind natürlich auch vorhanden, wenn die Eisenteilchen gar nicht da sind, nur können wir sie dann nicht sehen, die Eisenspäne helfen uns dazu, sie sichtbar zu machen. Wir erkennen, daß sie am stärksten zwischen den Polen sind. Sie sind die eigentliche Ursache, für den in Abb. 25 erzeugten Strom: sobald ein Leiter (Draht, Spule) diese Kraftlinien „schneidet“, sich quer zu ihrer Richtung bewegt, entsteht in ihm Strom. Um die Kraftlinien gut zusammenzuhalten, hat man die runde Form der Polschuhe (Abb. 27) gewählt. In Abb. 29 haben

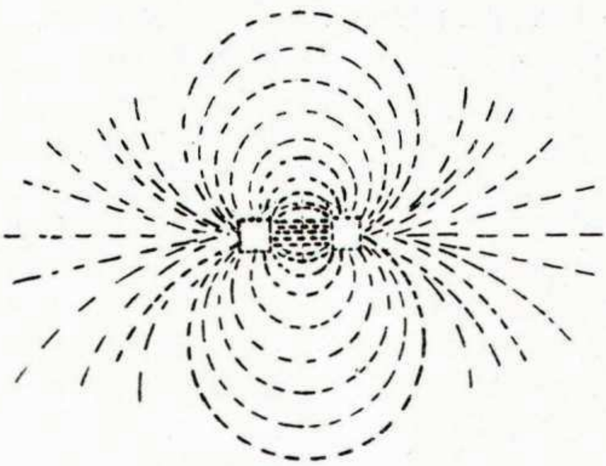


Abb. 28

wir die Polschuhe und die Drahtschleife in der Richtung der Achse gesehen noch einmal abgebildet. Sie dreht sich in der Pfeilrichtung. Wir erkennen, daß bei waagerechter Lage der Schleife diese nicht quer, sondern parallel zu den Kraftlinien sich bewegt. Dann wird also kein Strom erzeugt werden. Drehen wir weiter, so wird nach und nach die Schleife immer mehr Kraftlinien durchqueren und schließlich dann den größten Strom führen, wenn sie direkt zwischen den Polen des Magneten (hier also senkrecht) steht. Dann nimmt der Strom wieder ab, bis die waage-

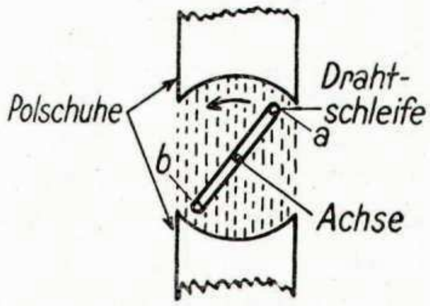


Abb. 29

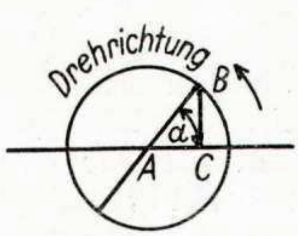


Abb. 30

rechte Lage wieder erreicht ist. Jetzt dreht sich die Bewegung gegen die Kraftlinien in den beiden Teilen a und b der Schleife um, also fließt auch der Strom in entgegengesetzter Richtung, wird größer bis zur senkrechten Lage, um dann wieder bis zur waagerechten Lage auf Null zu sinken. Der Strom schwingt also hin und her, und zwar von Null einmal hin, zurück, her und wieder zurück auf Null, bzw. die EMK wechselt ihre Richtung. Drehen wir die Schleife einmal in einer Sekunde herum, so schwingt der Strom also einmal vollkommen hin und her, er hat „eine Schwingung in der Sekunde" ausgeführt.

In der Praxis nennt man die Zahl der Schwingungen in der Sekunde „Frequenz" (f) und mißt sie nach „Hertz" (Hz). Sagen wir also „ein Strom hat eine Frequenz von 50 Hertz", so meinen wir, daß er in einer Sekunde 50mal hin und her schwingt (f = 50 Hz), also hundertmal seine Richtung ändert! In Abb. 30 ist veranschaulicht, wie die Schleife eine Kreisbewegung ausführt. Der Punkt B der Schleife legt bei einer Umdrehung den vollen Umfang des Kreises zurück. Dieser ist, wie wir aus der Schule uns erinnern werden, $2 \cdot \pi \cdot$ Radius des Kreises ($\pi = 3{,}1416$). Ist dieser (AB in Abb. 30) gleich Eins, so haben wir als Kreisumfang 2π und wenn dieser Kreis mit der Frequenz $f = 50$ (Hertz) durchlaufen wird, also 50mal pro Sekunde, so sagen wir auch, die „**Kreisfrequenz**" ist $2 \cdot \pi \cdot 50 = 314{,}16$. Diese Kreisfrequenz, die uns später noch hin und wieder begegnen wird, bezeichnen wir mit dem griechischen Buchstaben ω (Omega), sie ist also stets $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$.

In Abb. 30 ist die Schleife schon etwas aus der waagerechten Lage gedreht. Wir können ihre Lage entweder durch die Messung des Winkels α angeben und durch die Länge der Strecke A bis B, wir könnten aber statt des Winkels auch den lotrechten Abstand BC des Punktes B der Schleife von der Waagerechten messen, der immer größer wird, wenn der Winkel α zwischen Null Grad (waagerechte Lage) und 90 Grad (senkrechte Lage) sich ändert. Darüber bis 180 Grad (abermals waagerechte Lage!) nimmt er wieder auf Null ab. Rechnen wir von der waagerechten Geraden nach oben die Werte als positive (+), so sind die unterhalb negativ (—), und wir können uns die Zeichnung der Abb. 31 auch in Millimeterpapier so einzeichnen, daß wir als Radius des Kreises beispielsweise 10 cm nehmen. Für jeden eingezeichneten Winkel bekommen wir dann eine bestimmte Größe der Strecke BC (Abb. 30). In Abb. 31 ist das für die jeweils um 30 Grad verschiedenen Winkel angedeutet. Bei 0° ist BC = 0, für 30° 5, für 60° 8,66 und schließlich für 90° 10, für 120° wieder 8,66 cm usf. Jetzt zeichnen wir uns eine waagerechte, gerade Linie auf (Abb. 32) und teilen sie in 360 gleiche Teile, entsprechend den 360° des gesamten Kreises. In jedem der Punkte, die den Winkeln von 0, 30, 60, 90, 120 Grad usw. entsprechen, zeichnen wir die Abstände BC, die wir ermittelt haben, mit dem richtigen Vorzeichen (+ oder —) auf. Dann können wir die Endpunkte dieser Senkrechten (Pfeilspitzen!) durch eine Linie miteinander verbinden und bekommen eine Wellenlinie. Die ganze Kurve von A bis M entspricht einer Umdrehung der Schleife, also einer ganzen Schwingung. Infolge der

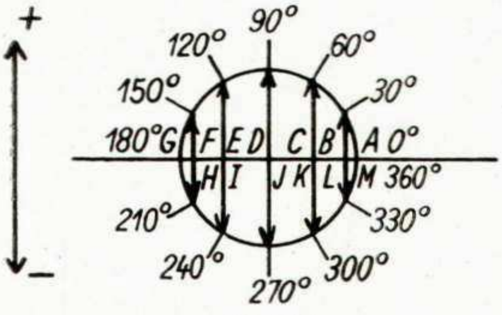


Abb. 31

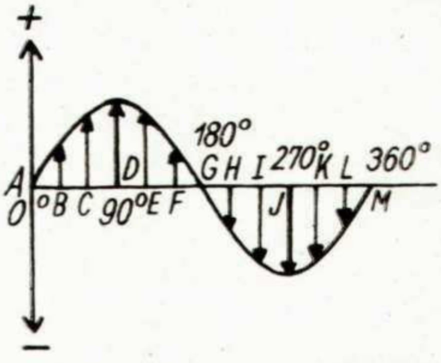


Abb. 32

Wellenform sprechen wir auch von „Wellenlänge". (In der Mathematik nennt man in einem Kreis, dessen Radius [AB in Abb. 30] gleich 1 [mm, cm, m oder dgl.] ist, die Größe der Strecke BC den „Sinus" [abgekürzt sin] des Winkels α, daher rührt die Bezeichnung „Sinuskurve" für die Wellenlinie in Abb. 32.)

Frequenz und Wellenlänge

In Abb. 32 hängt sicher die Länge der Kurve von A bis M, also die Länge der Welle (Wellenlänge), irgendwie mit der Schwingungszahl, der Frequenz, zusammen. Nehmen wir eine Frequenz von 1 Hz (Schwingung pro Sekunde) an, so entsteht in einer Sekunde eine volle Wellenlänge, und wird beispielsweise auf die Reise durch den Stromkreis geschickt. Die zunächst liegenden Elektronen werden angestoßen und geben den Stoß weiter, so daß überall in der Drahtleitung des Stromkreises eine Elektronenbewegung festgestellt werden kann. Nach 1/4 Sekunde sind die Elektronen am weitesten nach der einen Seite geschwungen, dann kehren sie in die ursprüngliche Lage zurück (nach 1/2 Sekunde), schwingen nach der anderen Seite (am weitesten nach 3/4 Sekunden) und haben schließlich nach 1 Sekunde eine volle Hin- und Herschwingung ausgeführt. Die Bewegung der Elektronen pflanzt sich in einer Sekunde über eine Strecke von 300000000 m fort. Zu Anfang der Bewegung ist also der Punkt A (Abb. 32) noch an der Stromquelle zu finden, bereits nach einer Sekunde aber 300000 km entfernt. Im gleichen Zeitpunkt verläßt aber der Punkt M gerade die Stromquelle, so daß die Entfernung von A nach M, die Wellenlänge, 300000 km beträgt. Haben wir eine Frequenz von 50 Hertz, so laufen in einer Sekunde 50 Wellen durch den Draht (die Strecke A bis M in $^1/_{50}$ Sekunde!). Nach $^1/_{50}$ Sekunde ist aber der Punkt A in einer Entfernung von 300000 km $\cdot$ $^1/_{50}$ oder in 6000 km Entfernung angekommen, die Wellenlänge ist also 6000 km. Wir sehen, daß wir einfach die gesamte, in einer Sekunde durchlaufene Strecke von 300000 km (die als Geschwindigkeit der Wellen mit dem kleinen Buchstaben c bezeichnet wird) durch die Schwingungszahl, die Frequenz f dividiert haben und so auf die Wellenlänge kommen, die mit dem griechischen Buchstaben λ (Lambda) bezeichnet wird, also: $\lambda = c/f$, wobei wir λ in m erhalten, wenn wir c in m einsetzen (300 000 000 m) und in km für c in km (300 000 km).

Die Wellen mit Längen oberhalb etwa 1000 m bezeichnen wir als „Langwellen", die bis 200 m herunter als „Mittelwellen" und die unterhalb 200 m als „Kurzwellen". Unterhalb 10 m liegt das Gebiet der „Ultrakurzwellen", die wieder in „Meter-", „Dezimeter-" und „Zentimeterwellen" unterteilt werden. Das gesamte Gebiet der Kurzwellen wird von einer großen Zahl der verschiedensten Sendestationen verwendet, einige Bereiche, sogenannte „Frequenzbänder", sind für die Kurzwellenamateure der ganzen Welt vorbehalten, und zwar (sog. „**Amateurbänder**")

1715 bis 2000 KHz, 3500 bis 4000 KHz, 7000 bis 7300 KHz, 14 000 bis 14 400 KHz, 28000 bis 30000 KHz, 56000 bis 60000 KHz und oberhalb 110000 KHz.

In Deutschland ist das Band zwischen 1715 und 2000 KHz ebenso wie 56000 bis 60000 und der Bereich oberhalb 110000 KHz für Amateure gesperrt und auf dem 3500 KHz-Band steht nur der Bereich zwischen 3500 und 3600 KHz zur Verfügung. Für 1000 KHz sagt man auch 1 Megahertz (MHz) und die deutschen Amateurbänder werden daher auch kurz als 3,5 —, 7 —, 14 — und 28 — MHz-Band bezeichnet. Erwähnt sei hier, daß die Bezeichnung Mc, Mc/s, Kc, Kc/s und c oder c/s, die in fremdsprachigen Veröffentlichungen häufig zu finden sind, mit den Bezeichnungen MHz, KHz und Hz übereinstimmen.

Frequenzen unter etwa 100 Hz heißen niedrig (Niederfrequenz), bis etwa 20000 Hz schließt sich das Gebiet der mittleren Frequenzen (auch Tonfrequenz) an, darüber liegt der Bereich der hohen Frequenzen (Hochfrequenz).

Kondensatoren

Wir nehmen an, wir hätten in ein Wasserrohr eine Kammer eingeschaltet (Abb. 33), die in der Mitte durch eine dünne Gummimembran

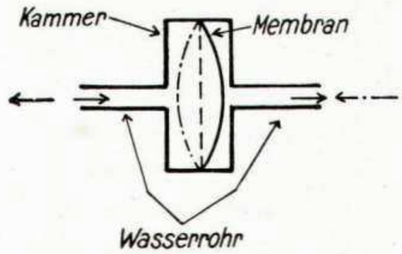


Abb. 33

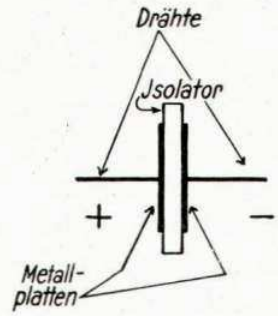


Abb. 34

abgesperrt ist. Liefert uns also eine Wasserpumpe oder dgl. einen dauernden Wasserdruck in der Richtung des ausgezogenen Pfeils, so wird sich die Membran aus der (gestrichelt gezeichneten) Ruhelage in die stark eingezeichnete Lage ausbiegen und das Wasser in der zweiten Kammer in die Fortsetzung des Rohres drücken. Diese Verschiebung der Membran erfolgt nur beim Auftreten eines Wasserdrucks, und trotzdem auf der linken Seite der Membran dauernd ein Druck vorhanden bleibt, können wir auf der rechten Seite nur beobachten, daß einmal ein Stoß Wasser weiterbewegt, daß dann aber das Wasser sich nicht weiterbewegt. Erst wenn wir links den Druck wieder wegnehmen und sich die Membran entspannen lassen, also eine gewisse Entlastung, Entladung der Kammer bewirken, können wir durch abermaliges Anlegen des Druckes eine neue (einmalige) Bewegung rechts hervorrufen. Würden wir die Druckrichtung wechseln, also den Druck in der durch den strichpunktierten Pfeil gekennzeichneten Richtung wirken lassen, so würde sich die Membran nach der entgegengesetzten Seite (strichpunktiert eingezeichnet) durchbiegen und wir würden die gleichen Erscheinungen beobachten.

Wir könnten uns vorstellen, daß eine Pumpe das Wasser in dem linken Rohr einmal nach rechts, einmal nach links treibt. Es ist unschwer, einzusehen, daß die Membran dann sich ebenfalls dauernd hin und her bewegen wird, so daß also auf der rechten Seite wiederum ein Wasserstrom mit wechselnder Richtung hervorgerufen wird und das Wasser ständig in Bewegung bleibt. Je größer die Kammer und daher die Membranfläche ist, desto besser wird die Wasserbewegung sich von der einen Seite auf die andere übertragen lassen, eine dünne Membran wird vorteilhafter sein als eine dicke. Denken wir uns jetzt, daß wir die Membran unter Druck gesetzt haben. Jetzt wollen wir die beiden Rohrstutzen fest verschließen. Nehmen wir diese mit Wasser gefüllte Kammer mit der unter Spannung stehenden Membran aus der unter Druck stehenden Rohrleitung heraus, setzen sie in eine andere Rohrleitung ein, in der kein Wasserdruck, sondern nur stillstehendes Wasser vorhanden ist, und geben ihre Oeffnungen wieder frei, so wird die Membran bemüht sein, in die Ruhelage zurückzukehren und wird das Wasser in diesem neuen Rohrsystem solange in Bewegung versetzen, bis sie wieder entspannt ist, also in der Mittellage steht. Wir haben also etwas von dem Wasserdruck auf diese Weise in unserer Kammer aufgespeichert und konnten es woandershin bringen. Auch hier gilt, daß der aufgespeicherte Druck größer ist, wenn die Membran größer wird und wenn sie dünner ist.

Wir hatten uns schon früher des Wassers als Vergleich bedient. Hier haben wir einen vollkommen treffenden Vergleich mit einem elektrischen Apparat. Wir wissen, daß dann, wenn wir statt Wasser Elektronen nehmen, an die Stelle der Rohre und Behälter Metall treten kann. Entsprechen den Rohrleitungen Drähte, so können wir statt der beiden Abteilungen unserer Kammer (Abb. 33) Metallplatten setzen. Bliebe nur noch die Membran zu ersetzen. Nehmen wir hierfür einmal eine Glasplatte, also einen Körper, der die Elektrizität praktisch gar nicht weiterleitet, weil die Elektronen durch ihn sich kaum fortbewegen können (Abb. 34). Wir können an diese beiden, durch einen Isolator getrennte Metallplatten eine Spannung legen (+ —) und jetzt überlegen, was sich ereignet. Infolge der Spannung werden die Elektronen bestrebt sein, von der einen Metallplatte auf die andere zu gelangen. Sie werden den — in der Glasplatte ja auch vorhandenen — Elektronen einen Anstoß erteilen. Da diese sich aber nicht groß bewegen können, werden sie zwar bis zu einem gewissen Grade nachgeben und den Stoß an andere Elektronen weiterleiten, aber sie werden dann ihre Bewegung einstellen. Der Druck pflanzt sich schließlich auch auf die Elektronen auf der anderen Metallplatte fort und in der von dieser wegführenden Drahtleitung tritt im Augenblick, wo wir die Spannung anlegen, eine Elektronenbewegung auf, die aber gleich wieder aufhört, wenn die Elektronen im Isolator sich nicht mehr weiterbewegen können. Dieser „Ladestrom"-Stoß wird um so stärker sein, je höher die Spannung ist, mit der wir die Platten „laden". Nehmen wir jetzt dieses Gebilde aus den zwei Metallplatten mit dazwischenliegender Isolierplatte von der Spannung weg und bringen es anderswohin, also beispielsweise zwischen die beiden Enden eines Drahtbügels, so werden wir feststellen, daß durch diesen einen Augenblick lang ein Strom fließt. Wir haben also hier tatsächlich Elektrizität aufgespeichert, wie wir vorher Wasserdruck aufspeicherten. Bildlich gesprochen, haben wir durch Anlegung der Spannung in dem Apparat die Elektronen (Wasser) auf der einen Seite zusammengepreßt, verdichtet (Fremdwort: kondensiert), wir nennen ihn daher auch „Kondensator". Je größer er ist (je größer mithin die Platten), desto mehr Elektrizität können wir darin aufspeichern, ähnlich wie bei der Wasserkammer. Der Vergleich geht so weit, daß auch die Stärke der Membran, also hier die Dicke der Isolierplatte, ausschlaggebend ist; denn je dünner diese ist, je dichter die Metallplatten aneinanderliegen, desto größer das „Fassungsvermögen" (Fremdwort: „Kapazität")*) für Elektrizität. Statt der Glasplatte könnten wir auch einfach einen Luftzwischenraum zwischen den beiden Platten lassen; denn auch Luft leitet ja den Strom nicht, ist ein „Isolator". Das „Kurzzeichen", Symbol, des Kondensators ist in Abb. 34a wiedergegeben.

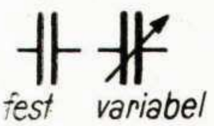


Abb 34a

Stellen wir uns einen Metallkörper, beispielsweise eine Kugel, vor, die wir auf irgendeine Weise mit Elektronen beladen, so wissen wir, daß sie dann gegenüber der Umgebung mehr Elektronen oder — anders ausgedrückt — eine Spannung hat. Laden wir auf den Körper 6 000 000 000 000 000 000 Elektronen (diese Elektronenmengen nennt man wohl auch 1 „Coulomb") und entsteht eine Spannung von 1 V, so muß die Größe des Metallkörpers dann eine ganz bestimmte sein, auch sie nennen wir Fassungsvermögen oder Kapazität und nehmen diese als Maßeinheit der Kapazität. Sie wird mit Farad (F) bezeichnet. Auf eine Kapazität von 1 F lassen sich also bei 1 V Spannung 1 Coulomb (6 000 000 000 000 000 000 Elektronen) laden. Diese Einheit ist sehr groß, deshalb rechnet man in der Technik meistens mit dem millionsten Teil, dem Mikrofarad (μF) und — wenn das auch noch zu groß ist — mit dem millionsten Teil des μF, dem Mikromikrofarad (μμF), auch Pikofarad (pF) genannt. Eine andere Zähleinheit für die Kapazität heißt cm, sie wird heute nur noch ziemlich wenig verwendet, sei daher hier nur erwähnt. Die Umrechnung ist recht einfach, wenn wir uns merken, daß 1 pF (1 μμF) = 0,9 cm ist, also 1 μF = 900000 cm (1 000 000 pF).

Wir merken uns noch, wie wir aus der Größe zweier Metallplatten die Kapazität eines Kondensators ausrechnen können, weil wir das später manchmal brauchen werden. Nennen wir die Fläche der beiden einander gegenüberstehenden Platten (wenn eine größer als die andere ist, so gilt

*) Diese Kapazität darf keinesfalls mit der des Akkus verwechselt werden.

natürlich nur die Fläche der sich wirklich gegenüberstehenden Teile, hier also die Fläche der kleineren Platte in qcm!) F, die Kapazität C und der Abstand zwischen den Platten in cm d, so bekommen wir die Kapazität in pF, aus der Formel

$$F = \frac{1{,}111 \cdot F}{4 \cdot \pi \cdot d}$$

wenn zwischen den Platten Luft vorhanden ist. Bei Kondensatoren mit mehreren Platten der Fläche F (beispielsweise n-Platten) wird der errechnete Kapazitätswert noch mit der um 1 verminderten Zahl der Platten (n — 1) multipliziert, bei zwei Platten (n = 2) ergibt sich dann wieder die vorstehende Formel.

Eigenartigerweise beobachten wir, daß die Kapazität größer wird, wenn wir irgendeinen anderen Isolator zwischen die Platten bringen, und zwar 5- bis 8mal so groß, wenn wir Glas statt Luft nehmen, 1,8- bis 2,6mal so groß bei Papier usf. Wir müssen also die oben errechnete Kapazität noch mit dieser für verschiedene Materialien verschiedenen Zahl multiplizieren. Diese Zahl heißt „Dielektrizitätskonstante", das Isolationsmaterial zwischen den Platten „Dielektrikum". In der nachstehenden Tabelle 3 sind die Dielektrizitätskonstanten einiger wichtiger Stoffe angegeben.

Tabelle 3

Dielektrizitätskonstanten (k)

Stoff	k		
Amenit	3,5	Glas (Quarzglas)	4,2
Bernstein	2,9	Glimmer	5...8
Calan	6,6	Hartpapier	4,5...6
Ultra-Calan	7,1	Hartgummi	3
Calit	6,5	Kerafar T	40
Condensa N	40	Kerafar R	80
Condensa C	80	Papier	1,8...2,6
Frequenta	5,6...6,1	Porzellan	5,4...5,8
Glas (Spiegelglas)	5...8	Quarz	3,7...4,8
		Trolitul	2,2

Für diese Materialien wird also das Ergebnis der obigen Formel noch mit k multipliziert.

Wir hatten weiter oben festgestellt, daß dann, wenn in unsere Wasserkammer (Abb. 33) das Wasser bald von der einen, bald von der anderen Seite hineinfließt, die Membran hin- und herschwingt. Lassen wir den Wasserdruck auf der einen Seite wirken und ersetzen ihn im nächsten Augenblick durch einen Sog, also einen Unterdruck, so ändert sich nicht viel; auch dann wird auf der anderen Seite der Membran eine ständige Wasserbewegung vorhanden sein. Uebertragen wir das auf unseren Kondensator, so finden wir, daß einem „Ueberdruck" mehr Elektronen, einem „Unterdruck" weniger Elektronen entsprechen. Legen wir den Kondensator also beispielsweise mit je einer Platte, einer „Belegung", wie wir auch sagen, an die beiden Enden der offenen Drahtschleife von Abb. 22, so will bei Drehung der Schleife infolge der entstehenden EMK ein Wechselstrom fließen. Es entstehen in dauerndem Wechsel Elektronenstauungen und Elektronenmangel auf beiden Seiten. Diese wirken, wie wir schon weiter oben gesehen hatten, auf die Elektronen des „Dielektrikums" ein und geben diesen einen Anstoß. Da jetzt der Anstoß für diese Elektronen in seiner Richtung entsprechend der Frequenz dauernd wechselt, werden die Elektronen des Dielektrikums bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gestoßen und diese wechselnden Stöße übertragen sich auch auf die andere Seite, so daß auch dort die Elektronen in ständige Hin- und Herbewegung versetzt werden. Das heißt aber nichts anderes, als daß Wechselstrom auch jenseits des Kondensators fließen kann, daß eine Wechselspannung an einem Kondensator „besser behandelt" wird als eine Gleichspannung, denn diese kann ja nur einen einmaligen, sogenannten „Ladungsstrom" durch das Dielektrikum treiben, dann aber nichts mehr. Der Kondensator wird den Wechselstrom um so besser weiterleiten, je größer seine Fläche (s. Vergleich mit der Wasserkammer von Abb. 33) und je dünner das Dielektrikum (die Membran!) ist, allgemein, je höher seine Kapazität ist. Wir haben früher schon einen anderen Gegenstand kennengelernt, der einen Strom mehr oder weniger gut leitet, nämlich den Widerstand. Auch unser Kondensator wirkt also wie ein solcher Widerstand, aber nur für Wechselstrom (Gleichstrom läßt er ja nicht durch!). Wir nennen ihn daher auch „Wechselstromwiderstand" und hörten schon, daß dieser von der Kapazität abhängt: je größer die Kapazität, desto besser wird der Strom durchgelassen, desto kleiner also der Wechselstromwiderstand. Je schneller der Wechselstrom schwingt, je höher also die Frequenz (und damit seine Kreisfrequenz), desto niedriger wird der Wechselstromwiderstand eines Kondensators. Wir können seinen Wechselstromwiderstand $\mathfrak{R}c$ aus der Formel: $\mathfrak{R}c = \frac{1}{\omega \cdot C}$ *) berechnen und bekommen ihn in Ohm, wenn wir C in Farad einsetzen. Haben wir also

*) Wechselstromgrößen werden meist — im Gegensatz zu Gleichstromgrößen (Gleichstrom, Gleichspannung, Ohmscher Widerstand usw.) mit deutschen (Fraktur-) Buchstaben bezeichnet.

einen Kondensator von 2 µF ($^2/_{1000000}$ F) und wollen seinen Wechselstromwiderstand für einen Wechselstrom von f = 50 Hz bestimmen, so ergibt sich ($\omega = 2\pi f$) $\mathfrak{R}c = \frac{1000000}{2 \cdot 3{,}1416 \cdot 50 \cdot 2} = 1590$ Ohm. Wir können mit Wechselspannungen und Wechselströmen sowie mit Wechselstromwiderständen ähnlich rechnen wie nach dem Ohmschen Gesetz mit Gleichspannungen, -strömen und „normalen" Widerständen (sog. Ohmschen Widerständen, die bei Wechselstrom den gleichen Widerstand haben wie bei Gleichstrom!). Legen wir also beispielsweise eine Spannung von 3,18 Volt an unseren Kondensator von 2 µF bei 50 Hz, so bekommen wir den durch ihn fließenden Strom, indem wir die Spannung durch den Widerstand dividieren, erhalten hier also 2 mA (Milliampere). Für einen Kondensator von 1 µF, der nach der obigen Formel den Wechselstromwiderstand $\mathfrak{R}c$ = 3180 Ohm hat, bekämen wir nur 1 mA. Wir haben also die Möglichkeit, sehr einfach Kapazitäten zu messen, indem wir eine Spannung von 3,18 Volt an den Kondensator legen und den Strom in mA messen. Die Stromanzeige in mA entspricht dann bei f = 50 Hz der Kapazität in µF! In ähnlicher Weise könnten wir ja auch durch Messung von Strom und Spannung Ohmsche Widerstände messen, denn R = U/I!

Da die Herstellung großer Kapazitäten mit zwei einzelnen Platten etwas umständlich wäre und u. U. viel Raum erfordern würde, legt man mehrere kleinere Platten unter Zwischenlage des entsprechenden Dielektrikums aufeinander (Abb. 35), oder man legt zwei lange Metallbänder als Belege unter Zwischenlage eines Bandes aus Isoliermaterial als Dielektrikum aufeinander, legt oben darauf und unten darunter je ein weiteres Isoliermaterial zur Isolation, bringt an den Belegen Ableitungsdrähte an (Abb. 36) und wickelt die Bänder zu einer

Abb. 35

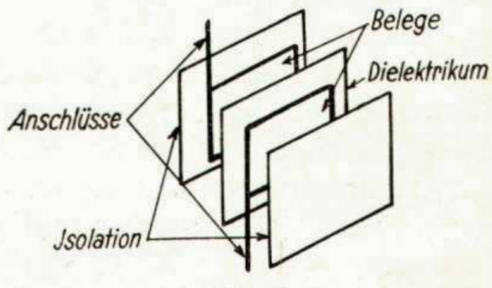


Abb. 36

Rolle auf, die man dann entweder in einen zylindrischen oder (flachgedrückt) in einen rechteckigen Behälter (z. B. Metallbecher) hineinsetzt und dort mit einem Isolierstoff vergießt (sog. Wickel- und Becherkondensatoren). Kondensatoren, bei denen die beiden Belegungen gegeneinander gedreht und dadurch ihre gegenüberstehenden Oberflächen (und damit die Kapazität) geändert werden kann, nennt man Drehkondensatoren.

Induktion, Selbstinduktion

Wir hatten bei unseren Versuchen mit der Spule und dem Magneten festgestellt, daß in einem Leiter (Draht oder zur Spule aufgewickelter Draht) ein Strom entsteht, wenn er sich gegenüber einem Kraftlinienfeld (senkrecht zur Richtung der Kraftlinien) bewegt. Mit einem Fremdwort nennen wir diese Erscheinung Induktion und sagen „es wird ein Strom induziert". Ein Kraftlinienfeld ist zwischen den Polen eines Magneten vorhanden, wir wissen aber, daß wir einen einfachen Eisenstab, den wir in eine Spule hineinstecken, dadurch ebenfalls zum Magneten machen können, daß wir einen Strom durch die Spule schicken, ja daß auch die Spule ohne Eisen als (wenn auch schwächerer) Magnet wirkt. Wir könnten also bei unserem Versuch auch den Magneten durch eine Spule ersetzen und würden in der beweglichen Spule einen Strom feststellen können, wenn wir sie an der festen, durch die ein Strom fließt, vorbeibewegen. Wir machen jetzt den Versuch so, daß wir zwei Spulen von etwa 200 und 250 Windungen aufeinanderlegen und an die eine unseren Stromzeiger anschließen, während wir durch die andere einen Strom schicken können. In dem Augenblick, wo wir den Strom fließen lassen, beobachten wir an dem Stromzeiger ein Pendeln in einer Richtung, dann geht der Zeiger in die Ruhelage zurück. Schalten wir den Strom wieder aus, so pendelt der Zeiger nach der entgegengesetzten Richtung wie beim Einschalten. Als Grund für dieses Verhalten können wir uns vorstellen, daß beim Einschalten die stromdurchflossene Spule plötzlich zum Magneten wird, also die Kraftlinien gewissermaßen aus ihr herausschießen, während sie plötzlich wieder in die Spule zurückkehren (entgegengesetzte Bewegungsrichtung!), wenn wir ausschalten. Schließen und unterbrechen wir den Strom in der ersten Spule in schneller Folge, so stellen wir fest, daß in der zweiten Spule ein Strom wechselnder Richtung fließt. Lassen wir auch den Strom in der ersten Spule seine Richtung wechseln, so beobachten wir, daß dann der Strom in der zweiten Spule ebenfalls seine Richtung dauernd wechselt. Stecken wir ein Eisenstück („Kern") durch die beiden Spulen, so wird der Zeiger des Instrumentes stärker pendeln als vorher, wir können also die Induktion der ersten Spule (mit einem Fremdwort auch „Primärspule") auf die zweite („Sekundärspule") durch den Eisenkern vergrößern.

Ein solcher Apparat aus zwei Spulen, die nebeneinander (oder auch übereinander) aufgewickelt sind (die „miteinander gekoppelt sind"), überträgt also beispielsweise Wechselstrom und heißt daher auch „Uebertrager" (Fremdwort „Transformator"). Der Strom, der in einer vor einem Magneten bewegten Spule induziert wird, ist um so größer, je größer die Kraftlinienzahl des Magneten und je größer die Zahl der zu einer Spule aufgewickelten Drahtwindungen sind. Ist die Kraftlinienzahl des Magneten bzw. der Primärspule (bei letzterer durch die Windungszahl und den Strom, „Primärstrom") gegeben, so gilt das gleiche also auch für die Sekundärspule. Wir wissen, daß ein Strom zwischen zwei Punkten, zwischen denen eine Spannung, oder (richtiger) eine EMK besteht, nur fließen kann, wenn wir diese beiden Punkte leitend miteinander verbinden. Oeffnen wir die Verbindung, so wird zwar die EMK trotzdem vorhanden sein, aber es fließt kein Strom. Wir sagen also: „Der in einer Spule fließende Strom induziert in der mit ihr gekoppelten eine EMK, und bei Schließung eines Stromkreises fließt infolge dieser EMK ein Strom." Da wir die Natur nicht betrügen können und nicht für eine bestimmte elektrische Leistung, die wir der Primärspule eines Uebertragers zuführen, mehr Leistung auf der Sekundärseite erwarten dürfen, sondern höchstens die gleiche Leistung, werden wir also für eine bestimmte Primärleistung $W_1 = U_1 \cdot I_1$ auch nur eine Sekundärleistung $W_2 = W_1 = U_2 \cdot I_2$ herausbekommen. Nehmen wir sekundär eine sehr große Windungszahl, bekommen wir also ein großes U, so muß demzufolge I kleiner als auf der Primärseite werden, damit die Rechnung wieder stimmt. Ist die Spannung auf der Sekundärseite viermal so groß wie auf der Primärseite, so wird der Strom sekundär $\frac{1}{4}$ des Primärstromes betragen, wir sagen: die Spannungen verhalten sich wie 1 zu 4, die Ströme wie 4 zu 1 oder (allgemein) umgekehrt wie die Spannungen.

Werden Kraftlinien einer Spule gegenüber bewegt, so entsteht eine EMK in dieser. Dabei ist es doch offensichtlich gleichgültig, ob die Kraftlinien aus einem Magneten oder einer anderen, stromdurchflossenen Spule oder — ja, oder aus der Spule selbst stammen. Denken wir uns eine Spule aus vielen übereinandergewickelten Drahtwindungen und schicken Strom durch sie, so wird beim Einschalten ein Kraftlinienbündel aus der Spule herausschießen und ihre eigenen Windungen ebenso durchsetzen wie die einer anderen Spule, wird also in ihnen eine EMK induzieren. Das gleiche ist beim Ausschalten der Fall. Die EMK läßt einen Strom fließen, da ja der Kreis geschlossen ist. Bei Wechselstrom ändert sich nichts an dieser Tatsache!

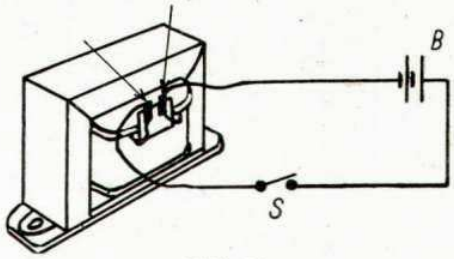


Abb. 37

Wir machen jetzt einen Versuch mit einer Spule, die sehr viel Windungen hat und mit einem Eisenkern versehen ist, beispielsweise einer sogenannten „Netzdrossel", wie sie in Netzanschlußgeräten verwendet wird. Wir verbinden eine Batterie B von etwa 4 Volt unter Zwischenschaltung eines Ausschalters S mit den beiden Anschlüssen für die Spule (Abb. 37). Jetzt berühren wir die beiden mit Pfeilen bezeichneten Anschlüsse der Spule mit zwei Fingern einer Hand. Schließen wir den Schalter, so spüren wir nichts, wohl aber, wenn wir ihn öffnen; wir bekommen einen „elektrischen Schlag". Woher kommt das? Wenn wir die beiden Klemmen der Batterie anfassen, selbst mit nassen Fingern (die besser die Elektrizität leiten!), so spüren wir doch immer noch nichts. Wir wissen, daß eine ziemlich hohe Spannung vorhanden sein muß, wenn wir sie spüren wollen. Und dann: warum spüren wir nicht auch einen elektrischen Schlag, wenn wir den Schalter schließen?

Denken wir uns einen schweren Wagen, der auf der Straße steht. Wenn wir ihn leicht anstoßen, rührt er sich nicht, wir müssen ihn schon mit Aufbietung aller Kraft „in Schwung" bringen. Rollt er erst einmal, so müssen wir lange nicht mehr soviel Kraft aufwenden, ja wir könnten ihn ganz loslassen und er würde weiterrollen. Stellt sich dem einmal in Bewegung befindliche Wagen jetzt aber ein Hindernis entgegen, beispielsweise ein Zaun, so wird die ganze Energie, die wir dem Wagen gegeben haben (dadurch, daß wir ihn in Bewegung setzten), gegen dieses Hindernis wirken und den Zaun durchschlagen, dann aber zum Stillstand kommen. Beobachten wir den Schalter S unserer Versuchsanordnung in einer dunklen Zimmerecke beim Ausschalten, so werden wir feststellen, daß dann ein kleines Fünkchen auftritt, nicht aber beim Einschalten. Die Elektrizität überwindet also den Luftzwischenraum zwischen den Kontakten und will weiterfließen, sie durchschlägt die Luft. Ein solcher Ueberschlag setzt aber eine recht hohe Spannung voraus.

So wie wir beim Ingangbringen des Wagens durch diesen einen Widerstand entgegengesetzt bekommen, der entgegen der Richtung zu wirken scheint, in der wir ihn schieben wollen, so setzt auch die Spule dem Strom zunächst einen gewissen Widerstand entgegen. Erst wenn dieser überwunden ist, fließt der Strom gleichmäßig durch die Spule. Es ist so, als wenn das Entstehen von Kraftlinien und das Herausdringen derselben aus der Spule einen gewissen Kraftaufwand erfordert. Mittels besonderer Meßinstrumente und auch durch theoretische Erklärungen könnten wir nachweisen, daß beim Einschalten die aus der Spule herausdringenden Kraftlinien eine der angelegten Spannung entgegengesetzte EMK induzieren, die also ersterer entgegenwirkt, bis der normale Zustand sich eingestellt hat, also bis keine neuen Kraftlinien mehr aus der Spule herauskommen (der Wagen sich in Schwung befindet).

Wir wissen bereits, daß beim Ausschalten, also beim Verschwinden der Kraftlinien, die dann auftretende EMK der beim Einschalten auftretenden EMK entgegengesetzt ist. Sie liegt dann also in der gleichen Richtung wie die ursprünglich wirkende. So wie der Wagen beim plötzlichen Auftreffen auf ein Hindernis durch seinen Schwung dieses umwerfen oder durchschlagen kann, seinen Weg fortzusetzen bestrebt ist, so wird bei einer plötzlichen Zustandsänderung in der Spule (Ausschalten) gewissermaßen der Schwung, der in der Spule steckt (und in den sie durch Ueberwindung des ersten Widerstandes erst versetzt wurde), irgendeine außergewöhnliche Leistung vollbringen. (Der Strom will weiterfließen.) Er durchschlägt die Luft am Kontakt: es entsteht ein (sogenannter Oeffnungs-) Funken. Die zum Durchschlagen der Luftstrecke notwendige Spannung baut sich auf, da ja kein Strom mehr fließen kann, wenn der Schalter geöffnet wird und die Kraftlinien wieder in der Spule zusammensinken, dadurch eine EMK erzeugend.

Wichtig ist es für uns, zu wissen, daß sich eine Spule zunächst jeder Zustandsänderung widersetzt. Ob der eingeschaltete Strom immer in einer Richtung zu fließen bestrebt ist (Gleichstrom) und jedesmal beim Einschalten wieder eine seiner Richtung entgegengesetzte, bremsende (elektromotorische) Kraft vorfindet, oder ob der Strom in wechselnder Richtung fließt (Wechselstrom), ist dabei belanglos. Der Unterschied ist nur der, daß ein Richtungswechsel des Stromes einem neuen Einschalten gleichkommt. Jedesmal also, wenn der Wechselstrom seine Richtung umkehrt, widersetzt sich die Spule, sie bildet also einen Widerstand für Wechselstrom. Je größer die Windungszahl einer Spule ist, desto mehr tritt ihre Eigenschaft hervor, in ihren eigenen Windungen eine EMK zu induzieren, sich selbst zu induzieren. Diese Eigenschaft bezeichnet man als „Selbstinduktion"; sie ist außer von der Windungszahl auch von der Länge der Spule und ihrem Durchmesser sowie dem Verhältnis der letzteren abhängig. Je größer Windungszahl und Durchmesser und je kleiner die Länge, desto größer wird die Wirkung. Ein Eisenkern vervielfacht diese. Auch für die Größe der Wirkung dieser „Selbstinduktionsspule" brauchen wir ein Maß. Es heißt „Selbstinduktionskoeffizient" (L) und wird in „Henry" (H) gemessen. Wir nannten die Spule weiter oben einen Wechselstromwiderstand. Je größer L wird, desto mehr Widerstand wird die Spule einem Wechselstrom entgegensetzen, aber auch eine Erhöhung der Frequenz des Wechselstromes bewirkt eine Erhöhung von deren Wechselstromwiderstand (auch „Impedanz" genannt), wie aus obigem hervorgeht. Der Wechselstromwiderstand einer Spule $\mathfrak{R}_L$ wird also: $\mathfrak{R}_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$*). Auch mit $\mathfrak{R}_L$ können wir in ähnlicher Weise rechnen wie mit Ohmschen Widerständen, wir erhalten also den Wechselstrom, der durch eine Spule fließt, indem wir die an ihre Enden gelegte Wechselspannung durch den „induktiven" Widerstand $\mathfrak{R}_L$ (im Gegensatz zum „kapazitiven" Widerstand eines Kondensators!) dividieren, bzw. wir können $\mathfrak{R}_L$ ausrechnen, wenn wir Strom und Spannung kennen: $\mathfrak{R}_L = U/I$. Haben wir eine Spannung von 314,16 Volt, und fließt dann durch die Spule ein Strom von 1 Ampere bei einer Frequenz von 50 Hz (Kreisfrequenz 314,16!), so ergibt sich ein $\mathfrak{R}_L =$ 314,16 Ohm und, da $\mathfrak{R}_L = 2 \pi f L$ ist $(2 \cdot 3{,}1416 \cdot 50 \cdot L)$, können wir $L = 1$ rechnen. Dieser Wert heißt 1 Henry. Er wird in Milli- und Mikrohenry (mH, µH) unterteilt, 1µH wird wohl auch in 1000 cm geteilt.

Die gebräuchlichsten Schaltzeichen für Spulen und Uebertrager sind in Abb. 37a wiedergegeben.

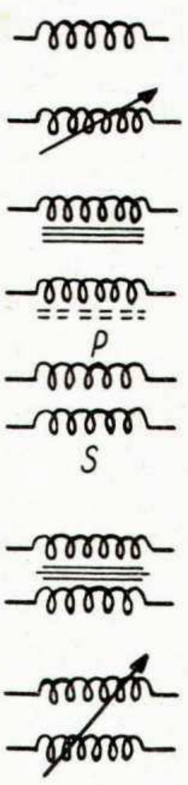
Phase und Phasenverschiebung

Phase ist abgeleitet vom griechischen „Phasis" und bedeutet soviel wie Erscheinungszustand oder kurz Zustand. Wir fanden, daß der Wechselstrom und daher auch die Wechselspannung nach einer Kurve entsprechend Abb. 32 verläuft. Den jeweiligen Zustand des Stromes können wir durch den Abstand des Punktes auf der waagerechten Geraden, der ihm zugeordnet ist, vom Punkt A kennzeichnen, oder, da wir die Waagerechte in Winkelgraden eingeteilt haben, auch durch den zugehörigen Winkel. Der Punkt D beispielsweise und damit die größte augenblickliche Stromstärke in positiver Richtung sind durch die Strecke AD oder den Winkel 90° gekennzeichnet. Der Wert größten Stromes in entgegengesetzter Richtung liegt (J) um 180° von dem ersten Wert entfernt (bei 270°), seine „Phase ist um 180° gegen ihn verschoben", wie man auch sagt. Der Punkt F (der zum Winkel 150° gehört) ist um 60° „phasenverschoben" gegen D usw.

Schalten wir eine Selbstinduktionsspule in einen Wechselstromkreis, so wissen wir, daß die Wechselspannung sich bemüht, einen Strom durch

*) Siehe Fußnote auf Seite 45.

die Spule zu pressen, daß ihr das aber nicht so ohne weiteres gelingt. Vielmehr kann das eine gewisse Zeit dauern, und zwar kann es vorkommen, daß die Spannung bereits ihren größten Momentanwert erreicht hat (D in Abb. 32) und nun erst der Strom anfängt, zu fließen.



Selbstinduktion

Selbstinduktion variabel

Selbstinduktion mit Eisenkern

Selbstinduktion mit fein unterteiltem Eisenkern (HF-Eisen)

Uebertrager (Transformator) (zwei gekoppelte Spulen)

Uebertrager mit Eisenkern

Spulen mit variabler Kopplung

Abb. 37a

Die Spannung nimmt wieder ab, aber der Strom steigt weiter an, um seinen höchsten Wert dann zu erreichen, wenn die Spannung gerade Null geworden ist (G in Abb. 32). Wir können auch sagen: „Der Strom in einer Spule ist um 90° phasenverschoben gegen die Spannung." In Abb. 38 ist die Wechselspannung und der durch die Spule fließende Wechselstrom dargestellt, woraus das Gesagte noch klarer hervorgeht.

Einen Kondensator, der an einer Wechselspannung liegt, betrachten wir in dem Augenblick, in dem an ihm die größte Momentanspannung liegt. Zunächst fließt noch gar kein Strom, erst dann, wenn die Spannung abnimmt (wir denken wieder an unser Wasserbeispiel mit der gespannten Membran!), beginnt ein Strom zu fließen, und zwar entgegengesetzt der Spannung, aber in der gleichen Richtung. Oder: wenn Strom fließt, nimmt die Spannung ab! (Abb. 39.) Ist die Spannung gerade Null, so hat der Strom seinen (negativen) Höchstwert. Jetzt beginnt er gewissermaßen wieder in den Kondensator hineinzufließen und dessen Spannung zu erhöhen. Hat der Strom wieder gerade

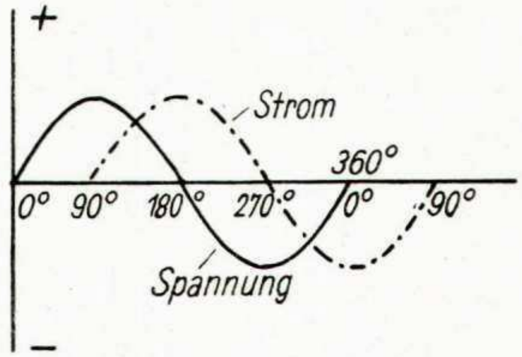


Abb. 38

den Nullwert, so ist die Spannung am größten usw. Lassen wir also die Kurven normal bei 0° beginnen, so haben wir das Bild von Abb. 40,

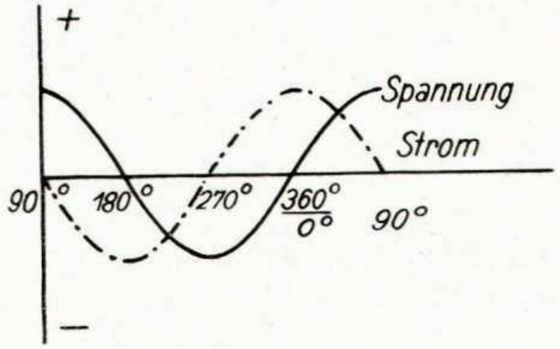


Abb. 39

d. h. auch hier bekommen wir eine „Phasenverschiebung" des Stromes gegen die Spannung von 90°. Der Unterschied gegenüber der Selbst-

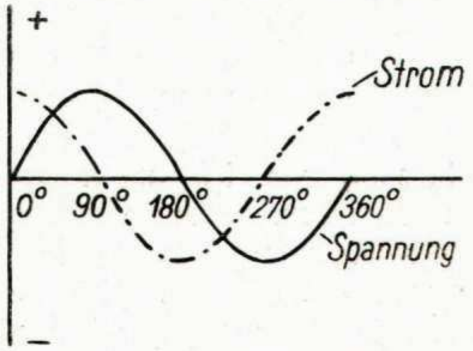


Abb. 40

induktion ist nur der, daß bei der Selbstinduktion der Strom um 90° (1/4 Schwingungsdauer) gegenüber der Spannung „nachhinkt" („nacheilt"), während am Kondensator der Strom schneller ist, er „eilt" der Spannung um 90°, um eine Viertelschwingungszeit oder „Viertelperiode" („Periode" ist ein Fremdwort für Schwingungszeit) „vor". Vergleichen wir also Kondensator und Spule, so müssen wir feststellen, daß bei einer Wechselspannung der Strom in ersterem um 180° (2mal 90°) oder eine halbe Periode gegenüber dem Spulenstrom phasenverschoben ist (s. a. Abb. 41). Bezeichnen wir in Abb. 41 die ausgezogene

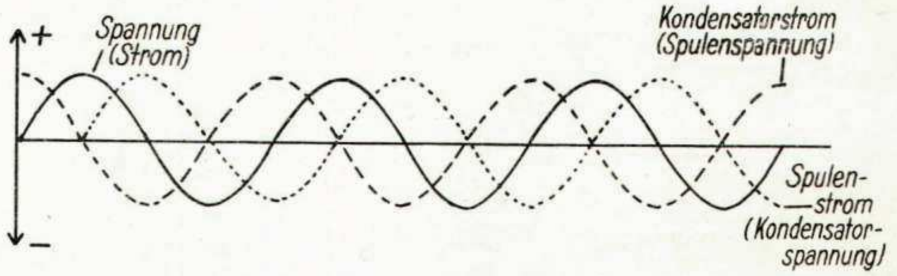


Abb. 41

Kurve als Stromkurve, so ergibt sich aus einer einfachen Ueberlegung, daß dann die gestrichelte Kurve für die Spulenspannung und die punktierte für die Kondensatorspannung gilt (denn wenn ein Wechselstrom durch einen Wechselstromwiderstand fließt, so tritt an dessen Enden ja eine Spannung auf!).

Betrachten wir die Spannungskurven bzw. Stromkurven für Spule und Kondensator beispielsweise bei 180°, so finden wir, daß sie einmal ein „positives" Maximum, das andere Mal ein „negatives" Maximum erreicht. Es liegt nahe, daß wir die beiden (um 180° auseinanderliegenden Werte!) durch ein +- oder —-Zeichen voneinander unterscheiden. Das ist besonders für unsere obige Betrachtung über die Phasenverschiebung der Ströme in Kondensator und Spule bequemer, als wenn wir immer einen langatmigen Satz von den 180° Phasenverschiebung erzählen müssen. Dieses Vorzeichen hängen wir den Werten für die Wechselstromwiderstände an, denn diese sind ja durch Strom und Spannung mit der Phase verbunden. Wenn der induktive Widerstand das positive Vorzeichen bekommt, also (da wir + nicht extra zum Ausdruck zu bringen brauchen) $\mathfrak{R}_L = 2\pi f_L$ bleibt, wird der kapazitive Widerstand $\mathfrak{R}_C = -\,{}^1\!/_2\,\pi f C$. Wir könnten diese ganzen Dinge auch durch sehr komplizierte Rechnereien beweisen, wollen uns das hier aber ersparen.

Spule und Kondensator im Wechselstromkreis

Wir schalten einen Kondensator C und eine Spule L in Serie an eine Wechselspannung U (Abb. 42). Der Wechselstromwiderstand $\mathfrak{R}_L$ der Spule wird bei Aenderung der Frequenz des Wechselstroms mit der Frequenz zunehmen, während der Wechselstromwiderstand $\mathfrak{R}_C$ des Kondensators abnimmt. Bei irgendeiner Frequenz werden wir für L und für C gleichgroße Widerstände feststellen. Dieser Fall interessiert uns besonders und wir wollen uns mit ihm näher beschäftigen. Der gesamte Wechselstromwiderstand $\mathfrak{R}$ von L und C in Serienschaltung heißt zweifellos $\mathfrak{R} = \mathfrak{R}_C + \mathfrak{R}_L$ oder $\mathfrak{R} = \omega \cdot L + (-1/\omega C)$ $\mathfrak{R} = \omega L - 1/\omega C$, der Strom ist $J = U/R$. Wird $\mathfrak{R}_L = \mathfrak{R}_C$, so wird $\mathfrak{R}$ = Null ! ! ! Dividieren wir aber irgendeine Zahl durch Null, so wird das Ergebnis unendlich groß, d. h. der Strom wird hier unendlich groß. Anders ausgedrückt: der aus L und C bestehende Stromkreis bildet einen Kurzschluß, wir nennen ihn „Kurzschlußkreis". (In Wirklichkeit wird $\mathfrak{R}$ nie ganz zu Null, weil u. a. L immer einen Widerstand auch für Gleichstrom hat und daher die Phasenverschiebung zwischen L und C nie ganz 180° werden kann.)

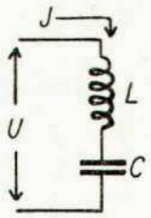


Abb. 42

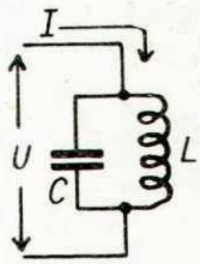


Abb. 43

In Abb. 43 haben wir Spule L und Kondensator C parallel an eine Wechselspannung U gelegt. Wir erinnern uns noch der Rechnungsvorschriften für die Parallelschaltung von Widerständen und können $1/\mathfrak{R}$ (Gesamtwiderstand) $= \dfrac{1}{\omega L} \cdot \dfrac{1}{1/\omega C}$ ausrechnen. Wir interessieren uns hier auch wieder für den Fall, daß $\omega L = 1/\omega C$ (s. o.). Dann wird $1/\mathfrak{R}$ = Null und $\mathfrak{R}$ unendlich groß. Da $J = U/\mathfrak{R}$ (eine Zahl durch unendlich dividiert gibt als Resultat Null !), wird der Strom Null, der aus L und C bestehende Kreis sperrt also den Strom, wir nennen ihn „Sperrkreis". ($\mathfrak{R}$ wird hier wegen des Ohmschen Widerstandes praktisch nie ganz unendlich; s. oben!)

Es wird uns nicht immer möglich sein, zur Erreichung des Zustandes $\mathfrak{R}_C = \mathfrak{R}_L$ die Frequenz zu ändern. Dann könnten wir noch L oder C ändern oder auch beide. Wir nennen diesen Vorgang „abstimmen". Ist $\mathfrak{R}_L = \mathfrak{R}_C$, so ist, auch wie wir aus obigem leicht ausrechnen können, $\omega \cdot \omega = 1/L \cdot C$ bzw.

$$\omega = \sqrt{1/L \cdot C}$$

Die hieraus zu berechnende Frequenz $f = \omega/2\pi$ ist für uns besonders interessant, wir nennen sie „**Resonanzfrequenz**" und den bei ihr erreichten Zustand, daß $\mathfrak{R}_C = \mathfrak{R}_L$ ist, „**Resonanz**". Haben wir durch das „Abstimmen" „auf Resonanz eingestellt", so sprechen wir auch von „Abstimmung des Kreises" (aus L und C) auf die Frequenz f. Da im Kreis Wechselstrom hin- und herschwingt, sprechen wir auch von „Schwingungskreis".

Um für spätere Rechnungen Unterlagen zu haben, seien hier noch einige Formeln wiedergegeben, so die beiden Hauptformeln für den Wechselstromwiderstand von Selbstinduktionsspulen und Kondensatoren, die mit einem Widerstand R in Serie geschaltet sind (Abb. 44 und 45). Dabei ist der Widerstand R nach außen meist nicht erkennbar, sondern „steckt" in der Spule bzw. dem Kondensator „drin". Eine Spule ist ja aus Draht gewickelt, der einen Ohmschen Widerstand hat, der Kondensator besteht ebenfalls aus Metall, das einen Ohmschen Widerstand hat, außerdem sind die Bewegungen der Elektronen im Dielektrikum je nach dessen Beschaffenheit in ihrer Bewegung mehr oder weniger gehemmt, so daß auch dadurch dem den Kondensator durchfließenden

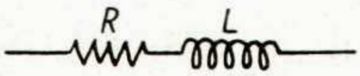


Abb. 44

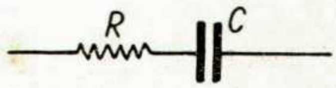


Abb. 45

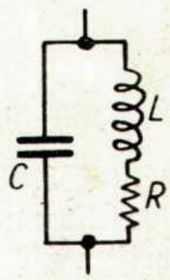


Abb. 46

Wechselstrom ein zusätzlicher Widerstand entgegengesetzt wird. Wir denken uns zur einfachen Berechnung diesen Serienwiderstand gesondert herausgenommen. Er heißt auch Verlustwiderstand, weil in ihm wie in einem vom Strom durchflossenen Widerstand elektrische Energie in Wärme umgesetzt wird, für unsere Zwecke also verlorengeht. Eine Spule mit Verlusten (durch R dargestellt) hat den Wechselstromwiderstand

$$\mathfrak{R}_L = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2},$$

ein Kondensator mit Verlusten (sogenannten „dielektrischen Verlusten“ meistens !) den Wechselstromwiderstand $\mathfrak{R}_C = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$.

Wir wollen auf die Herkunft dieser Formeln nicht weiter eingehen und nur bemerken, daß der Verlustwiderstand aus hier ebenfalls nicht näher zu erörternden Gründen von der Frequenz abhängig ist (besonders stark bei Spulen!) und daher nicht dem Ohmschen Widerstand gleichgesetzt werden darf.

Wir hatten vorher mit verlustlosen Kapazitäten und Selbstinduktionen Kurzschluß- und Sperrkreiswiderstände berechnet und für den Sperrkreis den Wechselstromwiderstand für unendlich groß befunden. Sind Verluste vorhanden, so wird er kleiner als unendlich, und zwar wird er um so kleiner, je größer der Verlustwiderstand. Denken wir uns diesen (Abb. 46) ganz auf die Spulenseite verlegt (R ist also aus den gesamten Verlustwiderständen des ganzen Kreises zusammengesetzt !), so bekommen wir für den Wechselstromwiderstand des Sperrkreises, der uns ja besonders interessiert, im Fall der Resonanz ziemlich genau

$$\mathfrak{R} = \frac{L}{C \cdot R}$$

Hat also eine Spule einen Verlustwiderstand von 50 Ohm und eine Selbstinduktion von 2 Henry, so wird ihr Wechselstromwiderstand für eine Frequenz von 100 Hertz statt 1256 Ohm ohne Mitrechnung von R jetzt (mit R berechnet nach obiger Formel) $\mathfrak{R}_L = 1256{,}91$ Ohm.

Der Wechselstromwiderstand eines Schwingkreises mit einem gesamten Verlustwiderstand R = 2 Ohm, einer Selbstinduktion von 20 μH und einer Kapazität von 100 pF wird bei Resonanz (f = 3551 KHz) dann 100000 Ohm, wobei in die Formel die Werte für Henry und Farad sowie Ohm einzusetzen sind (1 H = 1000000 μH; 1 F = 1000000000000 pF).

Schalten wir zwei gleichartige Wechselstromwiderstände in Serie, so wird sich genau wie bei Ohmschen Widerständen (s. a. Abb. 8) als Gesamtwiderstand die Summe der Einzelwiderstände ergeben, während bei Parallelschaltung die zu Abb. 13 gegebene Regel gilt. Wie wir leicht durch eine einfache Rechnung feststellen können, wird für den Gesamtwiderstand zweier **in Serie** geschalteter **Selbstinduktionen** der Gesamtwiderstand $\omega L_{\text{gesamt}} = \mathfrak{R}_L = \omega (L_1 + L_2)$, und da sich ω wegheben läßt, ist die sich ergebende Gesamt-Selbstinduktion dann

$$L = L_1 + L_2.$$

Aehnlich stellen wir für die beiden **in Serie** geschalteten **Kapazitäten** fest, daß

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

ist, daß sich also die sich ergebenden Kapazitätswerte in Serie geschalteter Kondensatoren nach dem gleichen Gesetz berechnen lassen wie die parallelgeschalteter Ohmscher Widerstände.

Entsprechend wird bei **Parallelschaltung** von **Kondensatoren** für die resultierende Kapazität die gleiche Formel wie für die Serienschaltung von Widerständen sich ergeben, also $C = C_1 + C_2$ und für die resultierende **Selbstinduktion parallelgeschalteter** Spulen die Formel $1/L = 1/L_1 + 1/L_2$.

Schalten wir also zwei Kondensatoren von 50 und 100 pF parallel, so erhalten wir eine Kapazität von 150 pF, während wir bei Serienschaltung der beiden eine Kapazität von rund 33,3 pF erhalten. Zwei nicht miteinander gekoppelte Spulen von 20 und 80 μH ergeben bei Serienschaltung 100 μH, bei Parallelschaltung aber 16 μH.

Schwingkreise, die uns interessieren

Wir haben alle schon einmal gehört, daß ein Empfänger auf die Frequenz, die er empfangen soll, „abgestimmt" werden muß. Wenn wir uns durch die vorhergehenden Ausführungen hindurchgearbeitet haben, werden wir begreifen, was dabei elektrisch vorgeht. Damit ist uns aber zunächst noch recht wenig gedient, denn wir wollen ja auch wissen, welche Größen wir für L und C nehmen müssen, um beispielsweise auf die Amateurfrequenzbänder abstimmen zu können. Wir könnten uns daranmachen und aus der für f oben gegebenen Formel für verschiedene Werte von C (in Farad) und L (in Henry) ausrechnen, was für Frequenzen dabei herauskommen. Das wäre aber etwas umständlich, es genügt uns hier, zu wissen, daß das möglich ist. Um uns nicht noch mehr mit der Theorie aufzuhalten, wollen wir gleich einmal in die Praxis hineinsteigen und geben in der folgenden Zusammenstellung für Kapazitäten verschiedener Größe und für verschiedene Selbstinduktionswerte die zugehörigen Frequenzen (abgerundet) an. In einer weiteren Tabelle sind verschiedene (abgerundete) Windungszahlen für Spulen mit der aus der vorstehenden Tabelle ersichtlichen Selbstinduktion für verschiedene Drahtstärken und Spulendurchmesser angegeben. Es konnte hier nur eine beschränkte Auswahl gegeben werden, sie genügt aber für den allgemeinen Bedarf beim Bau von Kurzwellenempfängern und Frequenzmessern, mit dem wir uns später ja vorwiegend beschäftigen wollen.

Selbstinduktion (μH)	Frequenz (KHz) für folgende Kapazitätswerte					
	25 pF	50 pF	75 pF	100 pF	150 pF	200 pF
150	2600	1850	1500	1300	1110	925
85	3400	2420	2000	1715	1415	1225
42	4850	3450	2820	2450	2000	1715
20	7100	5000	4090	3520	2880	2500
10	10000	7000	5700	4950	4000	3500
4,8	14500	10100	8200	7100	5750	4950
2,3	20900	14600	11900	10200	8250	7100
1	31800	22200	18200	15500	12600	10800
0,5	45500	31300	25500	21900	17800	15200

(Abgerundete Werte nach „Radio-Rechner" von W. P. Koechel — F. W. Behn; Weidmannsche Buchhandlung.)

Selbstinduktion (μH)	Windungszahl (N) und Drahtdurchmesser (d in mm) für Spulen mit einer Spulenlänge l (cm)					
	Durchmesser 5 cm			Durchmesser 3,5 cm		
	N	d	l	N	d	l
150	77	0,6	7	88	0,35	5,5
85	58	0,8	7	72	0,5	5,5
42	35	1,0	5	50	0,7	5,5
20	25	1,2	5	35	1,0	5,5
10	15	1,2	3	21	1,0	3,5
4,8	11	1,5	3	15	1,5	3,5
2,3	$6^1/_2$	1,2	2	$8^1/_2$	1,5	2
1	$4^1/_2$	1,5	2	$5^3/_4$	1,5	2
0,5	$2^1/_2$	1,5	1	$3^1/_2$	1,5	1,5

(Ungefähre, etwas reichliche Werte für N; nach „Radio-Rechner" berechnet.)

Für die Berechnungen an Kapazitäten, Selbstinduktionen, Schwingkreisen usw. sind nachstehend einige Aufgaben angeführt, die den Umgang mit den verschiedenen Begriffen und Formeln erläutern sollen.

Aufgabe 15. Ein Kondensator unbekannter Kapazität hat als Dielektrikum Condensa C und die beiden einander gegenüberstehenden Belege seien je 2×4 cm groß. Die Dicke des Dielektrikums betrage 1 mm (0,1 cm). Wie groß ist die Kapazität?

Aufgabe 16. Der Wechselstromwiderstand eines Kondensators von 2 μF ist für 50 und 100 Hertz zu berechnen ($R = 0$).

Aufgabe 17. Der Wechselstromwiderstand eines Kondensators von 50 pF ist für 50 Hz, 3,5 MHz und 40 000 KHz zu berechnen ($R = 0$).

Aufgabe 18. Der Wechselstromwiderstand einer Spule ist für $f = 50$ Hz 628 Ohm, der Verlustwiderstand R sei praktisch vernachlässigbar. Wie groß ist die Selbstinduktion L der Spule?

Aufgabe 19. Ein Kondensator von 8 μF wird mit einem Ohmschen Widerstand von 1000 Ohm zu einem Spannungsteiler hintereinandergeschaltet. Wie groß ist bei 50 Hz (100 Hz) sein Wechselstromwiderstand und wie groß bei einer an die Serienschaltung angelegten Gesamtwechselspannung von 10 V die auf den Kondensator entfallende Teilspannung, wenn man mit dem kapazitiven Widerstand einfach wie mit einem Ohmschen Widerstand rechnet?

Aufgabe 20. Wie groß müßte eine Selbstinduktion sein ($L = ?$), die im vorigen Beispiel den Ohmschen Widerstand gleichwertig ersetzen könnte, wenn mit ihr ebenfalls wie mit einem Ohmschen Widerstand gerechnet würde?

Aufgabe 21. Eine Spule von $L = 70\ \mu$H und $R = 3$ Ohm und eine solche von $L = 25\ \mu$H und $R = 1{,}5$ Ohm sollen mittels Parallelschaltung von verlustfreien Kondensatoren ($R = 0$) auf die Frequenz von 3,5 MHz abgestimmt werden. Wie groß müssen diese Kapazitäten sein (abgerundet!) und wie groß sind die Sperrkreiswiderstände (abgerundet!) der beiden Schwingkreise?

Aufgabe 22. Welche Kapazitätswerte lassen sich aus 3 Kondensatoren von 1, 5 und 20 μF zusammenstellen?

Aufgabe 23. Zwei Spulen sind parallelgeschaltet, die Gesamt-Selbstinduktion beträgt 20 H. Die eine der beiden Spulen hat 50 H, wie groß ist die andere?

Aufgabe 24. Ein Voltmeter hat einen Stromverbrauch von 1,5 mA für die ganze Skala (voller Zeigerausschlag!) und einen Meßbereich von 5 V. Wie groß muß ein Vorschaltwiderstand sein, der die Messung von Spannungen bis 600 V ermöglicht?

Aufgabe 25. Ein Universalinstrument hat einen inneren Widerstand von 100 Ohm und einen Gesamtstromverbrauch von 1 mA. Wie groß muß der Nebenwiderstand werden, mittels dessen Ströme bis 3 A gemessen werden können?

Aufgabe 26. Ein Voltmeter von 2 mA Stromverbrauch und 5000 Ohm Innenwiderstand, also einem Meßbereich bis 10 V, wird unter Vorschaltung eines unbekannten Widerstandes an eine Batterie von 10 V gelegt. Es zeigt nur noch 5 V an. Wie groß ist der vorgeschaltete Widerstand?

II. Die Technik der Röhren

Die Röhren

Wir haben uns jetzt durch die grundlegenden Dinge, die nun einmal zum Verständnis der Empfängertechnik mit dazugehören, hindurchgearbeitet und wollen uns den Röhren zuwenden, die ja in einem Kurzwellenempfänger ebenso wie in Sendern, Verstärkern, Frequenzmessern usw., die wir benutzen, eine ausschlaggebende Rolle spielen.

Die Zweipolröhre

Edison fand bei Versuchen folgenden interessanten Effekt. Er experimentierte mit Glühlampen, deren Glühfaden aus einer Batterie betrieben, „geheizt", wurde (B_1 in Abb. 47). In die Lampe war noch eine kleine Metallplatte (P) eingebracht und diese unter Zwischenschaltung eines Galvanometers (G) an den Pluspol einer weiteren Batterie, B_2, angeschlossen. Es zeigte sich, daß von dem Minuspol dieser Batterie — über den Glühfaden („Heizfaden"), dann durch das „Nichts" zwischen dem Faden und der Platte (die Luft war aus der Lampe ausgepumpt!) zur Platte und von dort zum Pluspol der Batterie sich ein Elektronenstrom bewegen mußte; denn das Meßinstrument zeigte einen solchen schon bei geringen Spannungen von B_2 an. (Nach alter Lesart fließt also ein Strom vom Pluspol der Batterie nach deren Minuspol.) Wie kommen aber die Elektronen durch den freien Raum zwischen Glühfäden und Platte? Die Antwort war nicht allzu schwer zu erhalten. Schalten wir nämlich in dieser Versuchsanordnung, die wir jederzeit mit einer einfachen „Gleichrichterröhre" nachbauen können, die Leitung vom Minuspol der Batterie B_1 zum Faden ab, so daß also zwar B_2 noch mit dem Faden in Verbindung steht, aber der Faden nicht mehr glühen kann (der Strom der Batterie B_1 bringt ihn ja erst zum Glühen!), so wird das Instrument G keinen Strom mehr anzeigen, auch wenn wir die Spannung der Batterie B_2 größer machen. Erst wenn wir hier mehrere tausend

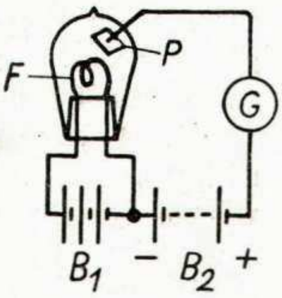


Abb. 47