DIE NATURWISSENSCHAFTEN

1. Jahrgang.

21. März 1913.

Heft 12.

Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

Fünfundzwanzig Jahre ihrer Tätigkeit.

3. Elektrizität.

Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. W. Jaeger,

Mitglied der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Als vor nunmehr 25 Jahren die Physikalisch-Technische Reichsanstalt durch die tatkräftige Initiative des Bahnbrechers auf dem Gebiete der Elektrotechnik, *W. von Siemens*, ins Leben gerufen wurde, spielte die Elektrizität noch bei weitem nicht die große Rolle im wirtschaftlichen Leben und in der Industrie, welche ihr heute zukommt. Es ist daher nicht ganz leicht, sich in den damaligen Zustand zurückzusetzen, wo viele der Hilfsmittel noch nicht vorhanden waren, welche jetzt in so mannigfacher Weise für die Erzeugung, die Verwertung und die Messung der Elektrizität zu Gebote stehen.

Die ersten großen Erfolge der Elektrotechnik lagen bekanntlich auf dem Gebiete der Telegraphie, mit dem der Name *Siemens* auf das glänzendste verknüpft ist; die für dieses Gebiet erforderlichen, zum Teil sehr empfindlichen Meßapparate für schwache Ströme hatten bereits eine ziemliche Vollkommenheit erlangt, doch fehlte es noch fast gänzlich an zuverlässigen Einheiten, welche den Messungen zugrunde gelegt werden konnten.

Die Verwendung starker Ströme dagegen hatte noch keine erhebliche Bedeutung gewonnen, obwohl die Dynamomaschine bereits auf ein Alter von etwa 20 Jahren zurückblicken konnte; kurz bevor die Reichsanstalt ins Leben gerufen wurde, ist die erste größere elektrische Zentrale in Deutschland errichtet worden (1884). Die erste von *Siemens* (1881) eingerichtete elektrische Bahn von Berlin nach Lichterfelde hatte kein langes Bestehen; erst bedeutend später ist man allgemein dazu übergegangen, die Straßenbahnen zu „elektrisieren“, die dadurch als Abnehmer elektrischer Energie bedeutend ins Gewicht fallen. Eine Wechselstromtransformatoranlage entstand 1886 in Rom, doch hat erst die Frankfurter Ausstellung 1891 mit der Lauffener Kraftübertragung die große Bedeutung des Wechsel- bzw. Drehstroms und seine Leistungsfähigkeit in das rechte Licht gerückt. Von dieser Zeit an datiert ein gewaltiger Aufschwung in der Anwendung der Elektrizität auf vielen industriellen Gebieten, der an der Hand der seit 1894 in der Elektrotechnischen Zeitschrift geführten Statistik der Elektrizitätswerke zum Teil verfolgt werden kann.

Die internationale Bedeutung der Elektrizität tritt durch die Elektrikerkongresse von Chicago (1893), St. Louis (1904), London (1910) zutage.

Diese kurzen Angaben mögen genügen, um zu zeigen, wie eng naturgemäß die Entwicklung, welche das Gebiet der Elektrizität in der Reichs-

anstalt genommen hat, mit den Fortschritten der Elektrotechnik selbst zusammenhängt. Interessant ist beispielsweise auch die Tatsache, daß beim Bau der ersten Gebäude für die Reichsanstalt auf die Unterbringung von Akkumulatoren überhaupt keine Rücksicht genommen war; dieses heute so selbstverständliche und unentbehrliche Hilfsmittel in technischen Betrieben, wie in wissenschaftlichen Instituten stand damals gerade im Anfang seiner Ausbildung. Lange Zeit hat sich die Reichsanstalt den für ihren Bedarf erforderlichen elektrischen Strom selbst erzeugen müssen, bis sie durch die Errichtung der städtischen Zentrale in Charlottenburg dieser Mühe überhoben wurde.

Vergegenwärtigt man sich den Entwicklungsgang, welchen die Elektrizität in den fünfundzwanzig Jahren des Bestehens der Reichsanstalt genommen hat, so kann man ermessen, daß die Reichsanstalt keinen leichten Stand hatte, um den immer neuen Anforderungen gerecht zu werden.

Nicht nur wuchs ständig die Zahl der zu prüfenden Apparate und Instrumente usw., sondern auch der Meßumfang derselben erweiterte sich immer mehr. Die Größe der Stromstärke und der Spannung nahm immer mehr zu, und die Hilfsmittel mußten diesem ständigen Wachstum angepaßt werden. Dann galt es auch, die Zuverlässigkeit der zu den Messungen benutzten Apparate und Methoden zu prüfen und neue Methoden auszuarbeiten. Besonders auf dem Gebiete des Wechselstroms wurden dadurch umfangreiche Arbeiten nötig, ehe an laufende Prüfungen eingesandter Instrumente und Materialien gedacht werden konnte.

Da ferner die nie rastende Technik immer neue wichtige Gebiete erschließt, wofür die drahtlose Telegraphie und Telephonie, die Hochfrequenzmaschinen, die selbsttätigen Telephonämter Beispiele aus der jüngsten Zeit sind, so erweitert sich in gleichem Maße auch das Arbeitsgebiet der Elektrizität in der Reichsanstalt.

Die kurze Aufzählung gibt ein ungefähres Bild von der Arbeit, welche die Reichsanstalt auf elektrotechnischem Gebiete zu leisten hatte; auf die Einzelheiten wird später noch näher einzugehen sein; aber die technischen Fragen erforderten häufig auch eingehende wissenschaftliche Untersuchungen experimenteller und theoretischer Natur, auf Grund deren erst die Prüfungen und Eichungen vorgenommen werden konnten.

Ein großer Teil der auf elektrischem Gebiet von der Reichsanstalt ausgeführten Messungen basiert in letzter Linie auf den elektrischen Grundmaßen, welche durch reichsgesetzliche Bestimmungen festgelegt worden sind.

Daher sah sich die Reichsanstalt naturgemäß gleich zu Beginn ihrer Tätigkeit vor die Aufgabe gestellt, diese für ihre Messungen notwendigen Einheiten zu schaffen; auch an dem Gesetz für

elektrische Maßeinheiten selbst, welches i. J. 1898 erlassen worden ist, wie an den später von dem Bundesrat erlassenen Ausführungsbestimmungen zu dem Gesetz hat sie tätigen Anteil genommen.

Zunächst galt es, gemäß den Vereinbarungen der Pariser Kongresse im Anfang der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts, die Einheit für den elektrischen Widerstand, das Ohm, durch Herstellung von Quecksilberwiderständen nach dem Vorschlag von *Siemens* zu verwirklichen.

Die *Siemens*-Einheit war damals schon vielfach im Gebrauch und wurde durch die von der Firma *Siemens & Halske* in den Handel gebrachten Widerstandsrollen und -kästen verkörpert; diese Einheit wurde besonders in der Telegraphie benutzt. Die durch die Pariser Kongresse festgesetzte Einheit (das legale Ohm) war gleich 1,06 S.-E. und wurde später auf dem Kongreß von Chicago (1893) durch das sog. „Internationale Ohm“ (gleich 1,063 S.-E.) ersetzt, das noch heute im Gebrauch ist.

Neben der *Siemens*-Einheit wurde damals vielfach die sog. „British Association Unit“ (B. A. U.) benutzt, welche durch Widerstände aus Platin-silber, die sich in London befanden, verkörpert wurde. Doch zeigte sich diese Einheit als recht unzuverlässig, da sie starken zeitlichen Veränderungen ausgesetzt war, so daß viele sonst sehr sorgfältige Arbeiten der damaligen Zeit, welche auf diesem Grundmaße beruhen, leider sehr in ihrem Wert beeinträchtigt sind. Da die Quecksilbereinheit für den allgemeinen Gebrauch zu unbequem ist und bei nicht sachgemäßer Behandlung leicht zu erheblichen Fehlern Anlaß gibt, so machte sich das Fehlen bequemer, zuverlässiger Kopien der Widerstandseinheit in sehr fühlbarer Weise geltend. Auch die in den Handel gebrachten Quecksilberkopien konnten diesem Mangel nicht abhelfen. Das in den Widerstandskästen verwendete Neusilber erwies sich als inkonstant und zeigte ebenso wie das gleichfalls zu diesem Zweck benutzte Patentnickel eine starke Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur, die in vielen Fällen recht störend war und erhebliche Korrekturen erforderlich machte.

Da war es in der Tat ein glückliches Zusammen-treffen, daß es *Weston* in Newark gelang, eine Metallegierung aufzufinden, die eine sehr geringe Widerstandsänderung mit der Temperatur aufwies, und die, wie die eingehenden Untersuchungen der Reichsanstalt zeigten, sich in vorzüglicher Weise als Material für Widerstandsetalons eignete; hierdurch hat sich *Weston* ein großes Verdienst erworben. Doch waren erst noch verschiedene Fragen zu lösen, ehe die Widerstandsbüchsen in der jetzt bekannten Form allseitige Anwendung finden konnten. So mußte die beste Zusammensetzung der Legierung ermittelt, eine zuverlässige und für die Verwendung der Büchsen bequeme Form gefunden, sodann z. B. noch die sog. „künstliche Alterung“ der Widerstände eingeführt werden, durch welche die zeitliche Änderung des Widerstandes auf ein Minimum reduziert wird. Die aus Kupfer, Nickel und Mangan (im Ver-

hältnis 8 : 4 : 12) bestehende Legierung wird jetzt unter dem Namen „Manganin“ in Deutschland hergestellt, und die Manganinwiderstände haben die deutsche Widerstandseinheit in die ganze Welt hinausgetragen, bis auch andere Länder allmählich angefangen haben, sich ihre Einheiten selbst herzustellen. Eine auf der Quecksilbereinheit beruhende Widerstandseinheit besitzt zurzeit außer Deutschland nur England.

Die Reichsanstalt kann jetzt auf eine zwanzig-jährige Erfahrung mit Widerständen aus Manganin zurückblicken, das bis heute von keinem anderen Material übertroffen wird. Die Manganinwiderstände haben sich als außerordentlich konstant erwiesen und sind ein unentbehrliches Hilfsmittel in der ganzen elektrischen Meßtechnik geworden. Zur Messung sehr starker Ströme werden sie jetzt bis herab zu einem Hundert-tausendstel der Einheit hergestellt, während die obere Grenze etwa 100 000 Ohm beträgt.

An die Quecksilbereinheit sind die zur Prüfung eingesandter Widerstände dienenden Manganinnormale der Reichsanstalt angeschlossen, an diese wieder die Normale der über das Reich verteilten Prüfmäße (siehe den ersten Artikel), so daß die Einheitlichkeit der Messungen im ganzen Reich verbürgt wird. Regelmäßige Vergleichen- gen aller dieser Normale sind natürlich erforderlich, um die einmal erreichte Übereinstimmung dauernd festzuhalten. Aber auch international wird die Einheitlichkeit durch häufigere Vergleichen- gen der Normale der verschiedenen Länder aufrechterhalten, und zwar mit einer Genauigkeit von wenigen Hundert-tausendsteln der Einheit.

Zur Ausführung elektrischer Messungen ist aber im allgemeinen außer der Widerstandseinheit noch ein zweites Grundmaß erforderlich. Als solches ist gesetzlich festgelegt die Stromeinheit, das Ampere, welches durch den im Silbervoltameter erzeugten Silberniederschlag definiert wird. Diese Einheit ist (in Übereinstimmung mit dem deutschen Gesetz) auf dem Londoner Kongreß (1908) international angenommen worden, während vorher bezüglich der elektrischen Einheiten eine nicht unerhebliche Diskrepanz zwischen den verschiedenen Ländern vorhanden war. Für den praktischen Gebrauch hat sich dagegen an Stelle der Stromeinheit die daraus abgeleitete Spannungseinheit in Form des Normalelements am brauchbarsten erwiesen. Nach langen Bemühungen ist diese Spannungseinheit auf ein ähnlich hohes Maß der Zuverlässigkeit gebracht worden, wie die Widerstandseinheit.

Zur Zeit der Gründung der Reichsanstalt waren Normalelemente noch kaum in Gebrauch; die mitunter benutzten Elemente vom Typus Zink-Kupfer (das Flemingsche Element oder auch das sogenannte „Hohe“ Daniel-Element) waren vom heutigen Standpunkt aus nur traurige Notbehelfe, da sie durchaus inkonstant waren. Die bereits 1872 von *Clark* angegebenen und Mitte der 80er Jahre von Lord *Rayleigh* näher untersuchten Normalelemente (vom Typus Zink-Quecksilber) haben erst Anfang der 90er Jahre

durch die Untersuchungen der Reichsanstalt, welche auch eine für den Gebrauch und für den Versand geeignete Konstruktion derselben angegeben hat, allgemein Eingang gefunden. Später sind diese Elemente durch das Westonsche Normalelement (Typus Kadmium-Quecksilber), um dessen Untersuchung und Einführung sich die Reichsanstalt gleichfalls verdient gemacht hat, verdrängt worden. Das Westonsche Normalelement, welches sich durch eine sehr geringe Abhängigkeit seiner Spannung von der Temperatur auszeichnet, ist später auf dem Londoner Kongreß (1908) international als Spannungsnormalelement angenommen worden.

Es würde zu weit führen, an dieser Stelle auf die vielen Vorarbeiten (z. T. physikalisch-chemischer Natur) einzugehen, die nötig waren, bis auch mit dem Normalelement annähernd die gleiche Genauigkeit und Zuverlässigkeit erreicht werden konnte, wie mit den Normalwiderständen. In der letzten Zeit haben auch die auswärtigen Staatsinstitute regen Anteil an diesen Arbeiten genommen, und durch das Zusammenarbeiten der verschiedenen Länder ist nunmehr eine weitgehende internationale Übereinstimmung auf diesem Gebiet erreicht worden, während noch vor kurzer Zeit recht unangenehm sich fühlbar machende Differenzen vorhanden waren. Durch experimentelles Zusammenarbeiten von Vertretern aus den Staatsinstituten von Amerika, Deutschland, England und Frankreich im Frühjahr 1910 in Washington wurde der Wert des Westonschen Elements auf die gesetzliche, durch das Silbervoltmeter repräsentierte Stromeinheit zurückgeführt und dieser Wert darauf allgemein angenommen. Hierdurch und durch den ständigen Verkehr der verschiedenen Staatsinstitute ist jetzt eine für alle Zwecke ausreichende internationale Übereinstimmung der elektrischen Grundmaße hergestellt. Daß hierzu auch eingehende Untersuchungen der Vorgänge im Silbervoltmeter selbst nötig waren, soll nur erwähnt werden.

Das vollständige Fehlen dieser heute ganz unentbehrlichen und fast selbstverständlich angesehenen Grundmaße für die elektrischen Messungen zur Zeit der Gründung der Reichsanstalt illustriert deutlich den großen seit dieser Zeit gemachten Fortschritt.

Wenn es auch in erster Linie darauf ankam, die vorstehend erwähnten, sogenannten „empirischen“ Maße unveränderlich aufrechtzuerhalten, um die Einheitlichkeit der Messungen in Deutschland sowie in anderen Ländern gewährleisten zu können, so ist doch auch die andere Aufgabe, diese Einheiten in den theoretischen (sogenannten „absoluten“) Grundmaßen auszuwerten, d. h. die Einheiten der Stromstärke, des Widerstandes usw. auf diejenigen der Länge, Masse und Zeit zurückzuführen, nicht vernachlässigt worden. Diese Zurückführung ist wichtig wegen der Beziehung der Elektrizität zu anderen Gebieten (Mechanik, Wärme usw.), und der hierbei nötigen Umrechnungen; ein Beispiel hierfür ist das für die Elektrotechnik so wichtige Kilowatt (= 1000 Voltampere) in seiner Beziehung zur Pferdestärke bei der Umsetzung mechanischer Energie in elektrische oder umgekehrt.

Für die Messungen mit Gleichstrom und die damit zusammenhängenden Prüfungen und Beglaubigungen sind die erwähnten elektrischen Grundmaße ausreichend. Aber es waren noch zahlreiche Untersuchungen nötig, welche die Ausarbeitung der Meßmethoden, die Konstruktion, Verbesserung und Verfeinerung wichtiger Hilfsapparate betrafen. Ein sehr wichtiger und für Eichungen und Messungen mannigfaltigster Art fast unentbehrlich gewordener Apparat, der in seiner ursprünglichen Form und mannigfachen Abänderungen und Verbesserungen derselben für bestimmte Zwecke aus der Reichsanstalt hervorging, ist der Kompensationsapparat (Kompensator). In Verbindung mit dem Normalelement bildet dieser Apparat die eigentliche Grundlage für sehr viele elektrische Messungen, indem nicht nur sämtliche Zeigerinstrumente für Gleichstrom (Amperemeter, Voltmeter usw.) mit diesem Apparat geeicht, sondern auch eine große Anzahl der für Wechselstrommessungen bestimmten Instrumente auf seine Angaben zurückgeführt werden. In erster Linie gilt dies für die direkt zeigenden Drehspulinstrumente, wie sie zuerst von *Weston* in Newark in brauchbarer Form auf den Markt gebracht wurden, und die heute eine so vielseitige Verwendung finden. Nebenbei sei bemerkt, daß diese Instrumente zur Zeit der Gründung der Reichsanstalt noch nicht vorhanden waren. Nur wer den früheren Zustand einigermaßen kennen gelernt hat, kann es voll würdigen, welcher ein großer Fortschritt durch die Einführung derselben in die Meßtechnik erreicht worden ist. Doch würden sie sehr an Wert verlieren, wenn sie nicht jederzeit leicht auf die eigentlichen Grundmaße mittels des Kompensators zurückgeführt werden könnten.

Der Kompensator dient auch direkt zu Messungen des Widerstandes, der Spannung und der Stromstärke innerhalb großer Bereiche, zum Teil unter Zuhilfenahme von Widerstandsnormalen usw. Dadurch ist er auch zu Temperaturmessungen mittels Widerstandsthermometer oder Thermoelementen geeignet; eine besondere, in der Reichsanstalt ausgearbeitete Kompensationsmethode dient zur Eichung der für die Messung hoher Temperaturen so wichtigen Thermoelemente aus Platin-Platinrhodium.

Daß zur Verbesserung von Galvanometern (Kugelpanzer-, Drehspul-, Differentialgalvanometer), zur Vervollkommenung der Meßmethoden, Ausarbeitung besonderer Methoden (z. B. zur Eichung von Verbrennungskalorimetern auf elektrischem Wege) zahlreiche Untersuchungen ausgeführt wurden, mag nur kurz erwähnt werden.

Auf der bis jetzt behandelten Grundlage baut sich ein weites Feld der Prüftätigkeit der Reichsanstalt auf, wie ohne weiteres ersichtlich ist: die Prüfung von Einzelwiderständen, Widerstandssätzen, Kompensatoren, Normalelementen, Akkumulatoren, Trockenelementen, Leitfähigkeiten von Metallen, Zeigerapparaten, Zählern usw., soweit dabei Gleichstrommessungen in Frage kommen. Es können Stromstärken bis 10 000 Ampere und

Gleichstromspannungen von 10 000 Volt hergestellt werden; infolge der von der Reichsanstalt eingeführten „künstlichen Belastung“ (getrennte Meßkreise für Strom und Spannung) ist es möglich, mit kleinem Energieaufwand Apparate zur Messung von Leistungen bis zu mehreren tausend Kilowatt zu prüfen. Der Wert dieser Prüftätigkeit der Reichsanstalt ist hoch anzuschlagen, da sie erst den geprüften Apparaten die zu den Messungen notwendige Einheitlichkeit gibt und den einzelnen der Mühe überhebt, sich um die Grundlagen seiner Messung, die doch von fundamentaler Bedeutung sind, zu kümmern.

Ein großes Arbeitsfeld der Reichsanstalt auf elektrischem Gebiet, das bis jetzt noch nicht berührt wurde, bildet die Tätigkeit auf dem Gebiet des Wechselstroms. Der Wechselstrom hat allmählich eine immer mehr zunehmende Bedeutung gewonnen und erst neuerdings noch durch die Entstehung der drahtlosen Telegraphie und Telephonie neue Aufgaben gezeitigt. Bei dem Wechselstrom sind noch eine Anzahl Faktoren in Rücksicht zu ziehen, welche bei dem Gleichstrom nicht in Betracht kommen; andere Meßmethoden greifen Platz und andere Apparate und Hilfsmittel sind zu benutzen. Ferner bedarf man noch anderer Einheiten, außer den beim Gleichstrom erwähnten, nämlich derjenigen für Induktivität (Henry) und für Kapazität (Farad). Auch theoretisch bietet der Wechselstrom mancherlei Schwierigkeiten, und viele Fragen harren noch der Lösung. Zunächst handelte es sich darum, die Bedürfnisse der Technik zu befriedigen, die sehr mannigfacher Art sind.

Das Gebiet der Elektrizität im allgemeinen und dasjenige des Wechselstroms im besonderen ist ein glänzendes Beispiel dafür, in welcher Weise sich Wissenschaft und Technik, Theorie und Praxis gegenseitig befruchten und fördern können in dem Sinne, wie es *W. von Siemens* stets angestrebt und in seinen Lebenserinnerungen so schön zum Ausdruck gebracht hat.

Eine wesentliche Bedeutung besitzt bei Wechselströmen die Form der Strom- bzw. Spannungskurve. Während für rein sinusförmige Ströme die theoretischen Betrachtungen im allgemeinen ziemlich einfach sind und die Vorgänge sich graphisch (durch Diagramme) oder analytisch verhältnismäßig leicht übersehen lassen, bereiten die in der Praxis meist vorkommenden, von der Sinusform vielfach erheblich abweichenden Stromkurven mancherlei Schwierigkeiten. Oftmals besitzen die Strom- und Spannungskurven eine sehr komplizierte Form und haben eine große Anzahl harmonischer Oberschwingungen. Die Angaben vieler Apparate hängen z. T. in erheblichem Maße von der Form der Strom- oder Spannungskurve ab, und man ist bestrebt, diese Abweichung auf ein Minimum zu reduzieren.

Zur Ermittlung der Kurvenform dienen besondere Vorrichtungen (Analysatoren, Oszillographen, bei sehr schnellen Schwingungen mittels des in der Reichsanstalt konstruierten Glimmlichtoszillographen und der Braunschen Röhre in besonderer Aus-

führung und Schaltung); in vielen Fällen genügt die Kenntnis des Charakters der Kurve, die durch den sogenannten „Formfaktor“ gegeben ist.

Außer der Form der Kurve kommt noch die Periodenzahl des Stroms (oder Frequenz), d. h. die Anzahl seiner vollen Perioden in der Sekunde, in Betracht. Auch von dieser Größe hängt die Angabe vieler Wechselstrominstrumente mehr oder weniger ab. In der Starkstromtechnik ist die Frequenz 50 am verbreitetsten, geht aber für bestimmte Zwecke (z. B. Einphasenmotoren) noch weiter herunter (bis zu 15); in der Telephonie gelangt man zu Frequenzen bis 5000, in der drahtlosen Telegraphie bis zu einigen hunderttausend. Bei diesen sehr schnellen Schwingungen spielt die Bestimmung der Frequenz (bzw. Wellenlänge) eine bedeutende Rolle; die Eichung der zu diesem Zweck für die drahtlose Telegraphie konstruierten Wellenmesser bildet eine wichtige Aufgabe der Reichsanstalt.

Eine weitere wesentliche Rolle spielt beim Wechselstrom die induzierende Wirkung des schwingenden Stromes auf die von ihm durchflossenen Teile selbst und auf benachbarte Leiter. Die Wirkungsweise der Transformatoren beruht auf dieser Eigenschaft, ebenso die Koppelung der verschiedenen Systeme in der drahtlosen Telegraphie usw. Man nennt diese Eigenschaft die Induktivität und kann sie in besonderen Einheiten (Henry) zahlenmäßig angeben. Ebenso werden die Erscheinungen durch die Ladungsfähigkeit der Teile, die Kapazität (Einheit Farad) bedingt, deren Eigenschaft z. B. aus den Leydener Flaschen bekannt ist. So besitzen z. B. die überseeischen Kabel eine große, oft sehr unerwünschte Kapazität, die bekanntlich ein großes Hindernis für den telephonischen Verkehr bildet.

Induktivität und Kapazität bewirken im allgemeinen eine sogenannte „Phasenverschiebung“ zwischen Strom und Spannung, durch die auch die Leistung des Stromes beeinflusst wird. Bei nicht sinusförmigen Strömen findet dabei gleichzeitig eine Veränderung der Kurvenform statt; diese „Verzerrung“ ist besonders groß, wenn die Ströme auf Eisen einwirken.

Meist handelt es sich bei den Wechselstrommessungen um die Ermittlung der sogenannten „effektiven“ Spannung und Stromstärke, durch welche z. B. die in einem Leiter entwickelte Stromwärme bedingt wird. Die elektrische Leistung (Mittelwert), welche mit dem Wattmeter direkt gemessen werden kann, ist nicht mehr, wie bei Gleichstrom, gleich Stromstärke mal Spannung (beide effektiv gemessen), sondern diese Größe ist noch mit dem sogenannten „Leistungsfaktor“ zu multiplizieren, welcher bei sinusförmigem Strom gleich dem Cosinus des Phasenwinkels ist.

Die zur Strom- und Spannungsmessung bei Gleichstrom benutzten Instrumente (Nadel-, Drehspulgalvanometer usw.) sind bei Wechselstrom nicht mehr direkt anwendbar; man muß aber, soweit es sich nicht um relative Vergleichsmethoden handelt, die Messungen mit solchen Apparaten vornehmen, welche mit Gleichstrom geeicht wer-

den können (Elektrometer, Dynamometer, kalorische Instrumente).

Zur direkten Messung der effektiven Spannung (und der Leistung) kann das Elektrometer (eventuell mit Spannungsteiler bis 12 000 Volt) benutzt werden, ein für die Wechselstrommessungen besonders wichtiges Instrument, welches für diese Messungen eine ähnliche Rolle spielt, wie der Kompensator für die Gleichstrommessungen. Die bei diesem Instrument früher auftretenden Fehlerquellen, welche den Gebrauch desselben sehr einschränkten, sind durch eingehende theoretische und experimentelle Untersuchungen in der Reichsanstalt aufgeklärt und beseitigt worden; auf Grund dieser Arbeiten wurden auch neue Instrumente konstruiert.

Eine direkte Messung der effektiven Stromstärke (bzw. der Leistung) wird ermöglicht durch das Dynamometer, nach dessen Prinzip auch eine große Zahl von Amperemetern (bzw. Voltmetern), Wattmetern usw. gebaut sind. Diese Apparate lassen sich mit Gleichstrom eichen; doch sind besondere Untersuchungen über die Abhängigkeit ihrer Angaben von Phase, Frequenz, Kurvenform usw. notwendig.

Die kalorischen Instrumente (Hitzdrahtinstrumente) messen wie das Dynamometer die effektive Stromstärke, sind aber weniger genau. Dabei kann die durch den Strom in dem Draht erzeugte Wärme in sehr verschiedener Weise zur Messung benutzt werden (durch die Ausdehnung des Drahtes, kalorimetrisch, mit dem Luftthermometer, bolometrisch usw.). In Verbindung mit Thermoelementen, deren Spannung dann mit Gleichstromapparaten gemessen werden kann, haben diese Instrumente neuerdings eine besondere Bedeutung erlangt. Sie sind in dieser Form von der Reichsanstalt ausgebildet worden und haben besonders durch Einschluß der Thermoelemente in ein Vakuum eine größere Empfindlichkeit erreicht. Verschiedene Fehlerquellen, welche diesen Apparaten noch anhafteten, konnten wenigstens zum größten Teil aufgeklärt und beseitigt werden. Diese Instrumente gestatten in bequemer Weise die direkte Messung sehr schwacher Wechselströme unter Verwendung von Zeigerapparaten. Auch die Messung der Stromstärke auf optischem Wege (mittels des „optischen Pyrometers“), gleichfalls eine Methode der Reichsanstalt, ist hier zu erwähnen.

Auf die zur Vergleichung von Widerständen, Kapazitäten und Induktivitäten benutzten Apparate (akustisches und optisches Telephon, Vibrationsgalvanometer usw.) und die entsprechenden Methoden kann hier nicht weiter eingegangen werden. Alle diese Apparate, Methoden und die zur Ausführung derselben dienenden Hilfsmittel haben in der Reichsanstalt zum Teil erhebliche Verbesserungen erfahren.

Die zu den Wechselstrommessungen erforderlichen Normalien mußten erst noch geschaffen werden, wozu teilweise langwierige Arbeiten erforderlich waren. Die bei Gleichstrom benutzten Widerstände sind bei Wechselstrom, besonders für

große Frequenzen, nicht mehr ohne weiteres anwendbar, weil durch die Kapazität und Induktivität dieser Normale ihr scheinbarer Widerstand bei Wechselstrom im allgemeinen verändert wird. Auch wird bei sehr großen Frequenzen der Drahtquerschnitt nicht mehr gleichmäßig vom Strom ausgefüllt (sogenannter Skineffekt). Allen diesen Umständen ist bei Widerstandsnormalen für Wechselstrom Rechnung zu tragen, was man nach Möglichkeit durch besondere Art der Konstruktion zu erreichen sucht.

Die bei Wechselstrommessungen so wichtigen Größen der Kapazität und Induktivität erforderten gleichfalls besondere Normale (Normalkondensatoren und Selbstinduktionsnormale). Die Reichsanstalt hat zu diesem Zweck Luftkondensatoren und Selbstinduktionsrollen verschiedener Konstruktion und Größe hergestellt und auf das sorgfältigste ausgemessen, sowie die hierzu erforderlichen Methoden näher untersucht und ausgebildet. Auch die Vervollkommnung der zu diesen Messungen erforderlichen Hilfsmittel, wie z. B. die Erzeugung von Strömen gleichbleibender Frequenz und von reiner Sinusform, die Messung sehr kleiner Selbstinduktionen und solche mit hoher Frequenz gehören hierher.

Auf Grundlage der vorstehend skizzierten Hilfsmittel ermöglichte sich erst die Prüfung der zahlreichen zur Messung von Wechselströmen eingesandten Instrumente und Apparate (Weicheisen- und *Ferraris*-Instrumente, Frequenz-, Phasemesser, Kondensatoren, Induktionsrollen usw.), wobei für eine große Anzahl von Instrumenten die Angaben in letzter Linie auf die mit Gleichstrom geeichten Normalinstrumente zurückgeführt werden können.

Ein großes Feld der Prüftätigkeit wird gebildet durch die für den wirtschaftlichen Verkehr so wichtigen Elektrizitätszähler. Für die Fehlergrenzen dieser Zähler sind im Zusammenwirken mit der Reichsanstalt und industriellen Kreisen vom Bundesrat besondere Bestimmungen erlassen worden und noch jetzt finden häufigere Beratungen mit den in Betracht kommenden Kreisen (Zählerkommission) statt. Die zur Beglaubigung zugelassenen Zähler müssen vorher einer Systemprüfung unterzogen werden, und über die zugelassenen Zähler erfolgt eine amtliche Mitteilung. Die Untersuchung der in ihrer Konstruktion und im Prinzip so verschiedenen Zähler hat zahlreiche theoretische und experimentelle Arbeiten veranlaßt, welche die in den Zählern auftretenden, teilweise recht komplizierten Vorgänge betreffen. Die zur Zählerprüfung notwendigen Hilfsmittel haben gleichfalls vielfache Verbesserungen erfahren.

Neuerdings haben die Meßtransformatoren (Strom- und Spannungswandler) erhöhte Bedeutung gewonnen, bei denen zum Zweck der Messung das Übersetzungsverhältnis zwischen Primär- und Sekundärspule, der Phasenverschiebungsfehler, die Abhängigkeit von Frequenz, Kurvenform und Belastung bestimmt werden muß. Das bisher in der Reichsanstalt untersuchte Meßbereich (bis 12 000 Volt und 2000 Ampere) genügt aber für die An-

sprüche der Praxis noch nicht. Auch für diese Apparate sollen Bestimmungen über die Beglaubigungsfähigkeit im Verein mit dem Verband deutscher Elektrotechniker ausgearbeitet werden.

Um die erwähnte Prüfung mit ausreichender Präzision ausführen zu können, sind sehr konstant laufende Dynamomaschinen nötig, welche zu diesem Zweck mit von Akkumulatoren gespeisten Gleichstrommotoren gekuppelt sind. Besondere Erwähnung verdienen noch die von der Reichsanstalt angegebenen Doppelmaschinen (für Strom und Spannung), bei denen durch gegenseitige Verstellung der Statoren eine künstliche Phasenverschiebung zwischen der Spannung und dem Strom, welche zur Messung der Leistung benutzt werden, hervorgebracht werden kann, so daß die beim Gebrauch der Apparate auftretenden Bedingungen bei der Prüfung eingehalten werden können.

Auch auf Kabel, Maschinen und Anlagen beziehen sich die theoretischen und experimentellen Untersuchungen. Die Prüfung der Maschinen geschieht häufig an Ort und Stelle. Die Untersuchung der Wirbelstrombremse, der elektromagnetischen Schienenbremse, der Streuung in Maschinen und Transformatoren, der Wirbelströme in Kabelumhüllungen, der Schlüpfung von Asynchronmotoren (mittels Kapillarwellen), der Ventilgleichrichter und anderes mehr ist hier zu erwähnen.

Von großer Bedeutung für die Technik (Fabrikation von Maschinen, Transformatoren, Kabeln usw.), aber auch von wissenschaftlichem Interesse ist ferner die Untersuchung der Materialien auf Leit- und Isolierfähigkeit (Preßspan, Papiere, Ausgußmassen, künstliche Isoliermaterialien, Hochspannungsisolatoren bis 20 000 Volt, Transformatoröle, Leitungs- und Widerstandsmaterialien, elektrolytische Leitfähigkeit von Salzlösungen usw.), vor allem aber die Untersuchung von Eisen und Stahl auf seine magnetischen Eigenschaften. Wenn es bei den letzteren Messungen auch nicht auf große Genauigkeit ankommt, da die verschiedenen Proben erhebliche individuelle Unterschiede zeigen, so war es doch erforderlich, die vielen Fehlerquellen, durch welche die magnetischen Untersuchungen sehr erheblich gefälscht werden können, näher zu untersuchen; ferner handelte es sich um bedeutungsvolle systematische Untersuchungen, um die günstigen Eigenschaften des Eisens und Stahls für bestimmte Zwecke zu steigern und Übelstände zu beseitigen.

Die ersten Untersuchungen bezogen sich auf den zeitlichen Verlauf der magnetischen Induktion im Eisen, besonders auch für schwache Anfangswerte der Magnetisierung mittels des Helmholtzschen Fallpendels, auf die Verteilung der magnetischen Induktion in Zylindern und die Bestimmung der günstigsten Temperatur für die Härtung von Stahlmagneten.

Neuerdings hat sich das Hauptinteresse den Eigenschaften der Dynamo- und Transformatorenbleche zugewandt mit dem Bestreben, die in diesem Material bei Wechselstrom auftretenden Energie-

verluste (den sogenannten Hysteresisverlust, der durch die abwechselnde Ummagnetisierung des Eisens bedingt wird und den Wirbelstromverlust, hervorgerufen durch die in dem Eisen induzierten Wirbelströme) auf ein Minimum zu reduzieren und gleichzeitig die Magnetisierbarkeit des Eisens (Permeabilität) möglichst zu erhöhen. In dieser Beziehung erscheint das von *Barett, Brown* und *Hadfield* untersuchte siliziumlegierte Eisen, auf dessen Verwendung für den oben erwähnten Zweck die Reichsanstalt zuerst aufmerksam machte, von erheblicher Wichtigkeit zu werden, weil dasselbe bei guter Magnetisierbarkeit eine verhältnismäßig kleine Leitfähigkeit besitzt, so daß die Wirbelströme abgeschwächt werden. Das „legierte“ Blech hat daher trotz des viel höheren Preises das gewöhnliche Material im Transformatorenbau fast völlig verdrängt. Diese Untersuchungen bilden einen Teil der allgemeineren über den Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung und thermischen Behandlung des Materials mit seinen magnetischen Eigenschaften, eine Aufgabe, bei welcher die Reichsanstalt die Unterstützung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, zahlreicher Industrieller und, für die mikrographischen Untersuchungen, auch die Mithilfe der Herren Geheimrat *Wüst* und Prof. *Goerens* in Aachen genießt.

Für die Untersuchung der magnetischen Eigenschaften (außer der Permeabilität, besonders Anfangs- und Maximalpermeabilität, kommen noch Remanenz, Koerzitivkraft und Sättigungswerte in Betracht) ist es von Wichtigkeit, bequeme und zuverlässige Methoden anzuwenden, zwei Bedingungen, die sich auf diesem Gebiet für gewöhnlich ausschließen. Eine Hauptschwierigkeit bei den magnetischen Messungen entsteht dadurch, daß das magnetisch gewordene Material (z. B. in Stabform) den Magnetismus des ursprünglichen Feldes durch die sogenannte Entmagnetisierung schwächt, welche durch die magnetische Belegung der Oberfläche hervorgerufen wird. Diese Entmagnetisierung ist der Rechnung nur zugänglich beim Ellipsoid, bei dem auch allein eine gleichmäßige Magnetisierung vorhanden ist. Das Ellipsoid in Verbindung mit dem Magnetometer liefert zwar einwandfreie Werte für die Magnetisierungskurve, doch ist es recht unbequem und häufig nicht möglich, aus dem zu untersuchenden Material zum Zweck der Messung Ellipsoide herzustellen. Die Anwendung des Magnetometers ist zudem bei dem durch die Straßenbahnen stark gestörten Erdfelde nur möglich durch die Benutzung des in der Reichsanstalt konstruierten, in der Anwendung komplizierteren, astatischen Magnetometers.

Gleichfalls einwandfreie Resultate liefert die Ringmethode. Beim völlig geschlossenen Eisenring fällt die Entmagnetisierung durch die Enden fort; die Messung der magnetischen Induktion muß durch eine ballistische Methode erfolgen; aber es leuchtet ein, daß die für jeden Fall notwendige Herstellung und Bewicklung eines Proberings umständlich und zeitraubend ist. Man hilft sich dann durch der Ringform nahe kommende Vorrichtungen (Joch-

methode, Isthmusmethode, Köpelscher Apparat, magnetische Wage von *du Bois*, Epsteinscher Apparat usw.), bei denen das Material in Stab- oder Streifenform zur Untersuchung gelangt. Aber bei allen diesen Instrumenten findet infolge der vorhandenen Luftschlitze Streuung der magnetischen Kraftlinien statt und man muß die Angaben der Apparate mittels anderweitig untersuchter Normalstäbe oder in anderer Weise auf absolute Werte zurückführen (Scherung). Kürzlich ist in der Reichsanstalt ein neuer Apparat („Magnetischer Spannungsmesser“) angegeben worden, der die erwähnten Schwierigkeiten überwindet, die magnetischen Messungen in vielen Fällen vereinfacht und auf eine sichere Basis stellt. Er mißt eine Größe auf magnetischem Gebiet, die der elektrischen Spannung auf elektrischem Gebiet entspricht. Die Energieverluste im Eisen können auch direkt mittels Wechselstroms wattmetrisch gemessen werden, wobei durch Benutzung verschiedener Frequenzen Hysteres- und Wirbelstromverlust getrennt werden kann.

Alle diese Methoden sind eingehend untersucht worden und finden je nach dem Meßzweck zur Untersuchung von gehärtetem Stahl, Gußstahl, Gußeisen, Walzeisen, Nickelstahl, Dynamoblech usw. Anwendung.

Von unmagnetischen Materialien hat besonders der 25 prozentige Nickelstahl zur Herstellung von Panzerplatten für Kriegsschiffe (wegen der Beeinflussung des Kompasses durch den Magnetismus des Eisens) hohe Bedeutung.

Neuerdings hat die Untersuchung der Permeabilität von dünnen Eisenblechen bei Wechselstrom für die bei der drahtlosen Telegraphie benutzten Hochfrequenzmaschinen große Wichtigkeit erlangt, wofür gleichfalls in der Reichsanstalt die exakten Methoden ausgearbeitet worden sind.

Für die drahtlose Telegraphie, die noch jungen Datums ist, kommt zurzeit hauptsächlich die Herstellung einer Wellenlängenskala zur Eichung der eingesandten Wellenmesser in Betracht; zur Analyse der schnellen Schwingungen wird der bereits erwähnte Glimmlichtoszillograph und die Braunsche Röhre benutzt. Die Errichtung von Antennen auf den Gebäuden der Reichsanstalt wird es ermöglichen, die Messungen nicht nur auf Laboratoriumsversuche zu beschränken, sondern auch die Erscheinungen bei der Ausstrahlung, Fortpflanzung und dem Empfang der Wellen zu untersuchen.

An den internationalen Elekrikerkongressen (Chicago, St. Louis, London usw.) sowie an den Arbeiten des Verbandes Deutscher Elektrotechniker und des Berliner Elektrotechnischen Vereins (z. B. Kommission für Isolationsmaterialien, Strom- und Spannungswandler, Prüfvorschriften usw.) hat die Reichsanstalt lebhaften Anteil genommen.

Dem stetigen Wachstum der elektrischen und magnetischen Messungen ist dadurch Rechnung getragen worden, daß ein neues großes Gebäude für diese Zwecke erbaut worden ist.

Über Stereo-Photogrammetrie.

Von Dr. C. Pulfrich, Jena.

(Autoreferat über einen am 6. November 1912 auf dem Jenaer Photo-Kursus des Zeiß-Werkes gehaltenen Vortrag.)

Die älteste Art der Bildmeßkunst gründet sich ausschließlich auf die Gesetze der Perspektive, und es ist ein Prüfstein für die Güte der Bilder älterer Meister (z. B. Dürer), daß man nach einem solchen Gemälde Grundriß und Aufriß der in ihm dargestellten Gegenstände unter bestimmten Voraussetzungen rekonstruieren kann. Mit dem Auftreten der Photographie um die Mitte des vorigen Jahrhunderts beginnt die sogenannte Photogrammetrie, ein Verfahren, welches ermöglicht, aus zwei Photographien durch Strahlenziehen oder Rechnung den Grundriß des aufgenommenen Gegenstandes zu konstruieren. Um einen möglichst sicheren Schnitt zu erzielen, werden die Standorte für die Aufnahmen so weit auseinander gerückt, daß die horizontalen Achsen der beiden Kameras nahezu senkrecht zueinander stehen, und es war die Regel, daß man unter 30° Konvergenzwinkel nicht herabgehen darf. Das Verfahren hat nur in vereinzelten Fällen praktische Verwendung gefunden. Vor einigen Jahren hat in Österreich ein Fachmann gesagt, daß über die Photogrammetrie in den letzten 50 Jahren mehr geschrieben worden sei, als Pläne nach ihr ausgeführt wurden. Der Grund hierfür liegt in der Schwierigkeit des Identifizierens zusammengehöriger Bildpunkte, und daher hat die Photogrammetrie nur in der Architektur (*Meydenbauer*, Kgl. Meßbildanstalt, Berlin) festen Fuß gefaßt.

Die im Jahre 1901 durch Dr. Pulfrich begründete Stereo-Photogrammetrie benutzt ebenfalls zwei photographische Bilder, die aber an den Enden einer 10—20 mal kürzeren Standlinie mit geeigneten Apparaten (Feld- und Stand-Phototheodoliten) aufgenommen sind, und die in einem besonderen Instrument, dem Stereo-Komparator (s. Figur), stereoskopisch betrachtet und ausgemessen werden. Infolge der wesentlich kürzeren Standlinie werden die Bilder einander so ähnlich, daß die Schwierigkeit des Identifizierens zusammengehöriger Punkte vollständig fortfällt. Die Ausmessung geschieht mit Hilfe einer im Stereo-Komparator angebrachten künstlichen Marke, die sich nach dem Belieben des Beobachters, durch Einstellung der Platten, auf jeden beliebigen Punkt der Landschaft einstellen läßt, und mit der man die ganze Landschaft abtasten kann.

Diese Marke, die wandernde Marke genannt, vertritt die Stelle des Lattenträgers bei den bisher üblichen Arbeiten des Geodäten. Sie hat vor diesem den Vorzug, daß sie ausschließlich dem Willen des Beobachters untersteht und auch an solche Stellen gebracht werden kann, die für den Lattenträger unerreichbar sind.

Das Verfahren hat sich schnell eine große Anzahl von Freunden erworben. Es ist nicht allein für die Vermessung von schwer und unzugänglichen Partien im Hochgebirge, für den Bahn- und Kanalbau, für die Vermessung von Landgrenzen und Festungen,