

**Die Messung**  
des  
**Verbrauches an elektrischem Strom**  
(Elektrizitätszähler).

Nach Angaben **Prof. Dr. Johann Sahulka's.**

---

Vortrag, gehalten am 17. Dezember 1913

von

**Ing. Dr. Karl Haubner.**

Mit 6 Abbildungen im Texte.



Die zunehmende Entwicklung der Elektrotechnik brachte das Bedürfnis nach exakt wirkenden Apparaten zur Messung der innerhalb einer bestimmten Zeit gelieferten, bzw. verbrauchten Elektrizität mit sich, die eine verlässliche Grundlage der Beurteilung von Leistung und Gegenleistung von Produzenten und Konsumenten geben sollten. Solche Apparate nennt man Elektrizitätszähler; sie haben eine ähnliche Aufgabe zu erfüllen wie die in Gas- und Wasserleitungsanlagen seit langem verwendeten sogenannten Gas- und Wassermesser. Hier war das Problem insofern einfacher zu lösen, als es sich um Messung wägbarer, ausgedehnter Stoffe handelt, für die Gewichts- und Hohlmaße zur Verfügung stehen. Die Elektrizität aber, deren Wesen ja noch wenig erforscht ist, kann nicht mit derartigen Maßen gemessen, sondern nur aus ihren Wirkungen beurteilt werden. Das Fehlen der materiellen Beschaffenheit der Elektrizität führt z. B. auch in der Gerichtspraxis zu der Gepflogenheit, eine widerrechtliche Entnahme von elektrischem Strom nicht als Diebstahl, sondern als Betrug zu judizieren, da erstere Bezeichnung nur auf widerrechtliche Aneignung greifbarer Dinge anwendbar ist. Der Wert des elektrischen Stromes für den Abnehmer besteht in seinem Arbeitsvermögen, seiner Energie. Darunter versteht man die Fähigkeit,

Bewegungen veranlassen zu können, denen sich ein Widerstand entgegenstellt, der dabei überwunden wird. So kann man z. B. durch Elektrizität Arbeitsmaschinen oder Fahrzeuge antreiben, wobei dann der Strom mechanische Arbeit bewirkt. Der elektrische Strom ist aber auch imstande, die kleinsten Teilchen eines Körpers in Bewegung zu setzen; diese Bewegung wird uns als Wärme, Licht oder chemische Wirkung wahrnehmbar (elektrische Beleuchtung, Beheizung, Elektrolyse); man sagt dann die elektrische Energie setzt sich in Wärme- und Lichtenergie oder in chemische Energie um. Bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit geht man von Gesichtspunkten aus, die auch bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Druckwasser, wie solches zum Antriebe von Maschinen Verwendung findet, Geltung haben. Das Arbeitsvermögen des Druckwassers beurteilt man aus der verbrauchten Wassermenge und dem Drucke, mit dem das Wasser zur Wirkung kommt.

Die erstere mißt man gewöhnlich in Kubikmetern, den letzteren durch die in Kilogramm ausgedrückte Kraft, mit der das Wasser einen Kolben von  $1 \text{ m}^2$  Fläche vorwärts zu schieben trachtet. Die Maßzahl des so gefundenen Druckes (in  $\text{kg}/\text{m}^2$ ) mit der Zahl der in einer bestimmten Zeit verbrauchten Kubikmeter multipliziert, ergibt die Maßzahl der vom Druckwasser in dieser Zeit geleisteten (mechanischen) Arbeit in Meterkilogrammen (mkg). Fließt stets die gleiche Wassermenge durch den Apparat und herrscht immer derselbe Druck, so wird in den einzelnen Sekunden immer dieselbe Arbeit geleistet; die Arbeit in

einer Sekunde nennt man Leistung. Zwischen Arbeit und Leistung besteht der gleiche Zusammenhang wie zwischen zurückgelegtem Weg und Geschwindigkeit eines sich bewegendem Körpers. Falls nämlich die Bewegung stets gleichförmig erfolgt, wird hier in den einzelnen Sekunden derselbe Weg zurückgelegt, welchen man eben Geschwindigkeit nennt. Genau so wie aber Bewegungen mit stets sich ändernder Geschwindigkeit erfolgen können, kann das Wasser auch Arbeit mit veränderlicher Leistung verrichten. Das ist der Fall, wenn Wasserzufluß oder Druck Schwankungen unterworfen sind, wie es in Wirklichkeit immer der Fall ist. Dann ist die in einem bestimmten Augenblicke vorhandene Leistung durch jene Arbeit definiert, welche in der unmittelbar darauffolgenden Sekunde verrichtet würde, wenn Druck und Wasserzufluß die am Anfang der Sekunde gehabten Größen beibehalten. Die Wassermenge, die dann in dieser Sekunde durchfließen würde, nennt man dann die sekundliche Wassermenge. Mißt man daher in einem bestimmten Augenblicke den Druck und die sekundliche Wassermenge, so ergibt das Produkt der beiden Maßzahlen die Maßzahl der Leistung in Sekundenmeterkilogrammen. Bleibt der Druck dauernd konstant, so genügt natürlich die Messung des in einer bestimmten Zeit verbrauchten Wasserquantums, um die in dieser Zeit verrichtete Arbeit zu bestimmen. Man hat einfach die Zahl der von der Maschine verbrauchten Kubikmeter mit der Zahl der dauernd vorhandenen Druckeinheiten ( $\text{kg}/\text{m}^2$  oder Atmosphären) zu multiplizieren, um die vom Wasser geleistete Arbeit in mkg zu erhalten.

Bei den elektrischen Apparaten treten Verhältnisse auf, die jenen der Druckwassermaschinen analog sind. Bei diesen wird das Wasser durch den Einlaufstutzen hinein, durch den Ablaufstutzen herausgeleitet; bei jenen kann man auch eine Ein- und eine Austrittsstelle des elektrischen Stromes unterscheiden, welche in der Regel durch Klemmen, die zum Befestigen der Leitungsdrähte dienen, gebildet sind. Der in Betrieb befindliche elektrische Apparat setzt dem Durchgange des Stromes einen Widerstand entgegen, der durch die „elektrische Klemmenspannung“ überwunden wird; die Spannung spielt also eine dem Wasserdrucke analoge Rolle, während die in einer bestimmten Zeit hindurchgehende Elektrizitätsmenge der Wassermenge entspricht. Die in einer Sekunde durch die Leitung fließende Elektrizitätsmenge heißt Stromstärke; sie ist also der sekundlichen Wassermenge analog. Der Strom kann natürlich nur aus seinen Wirkungen beurteilt werden; eine bestimmte Elektrizitätsmenge, die durch die Lösung eines Metallsalzes hindurchgeleitet wird, scheidet an der Austrittsstelle des Stromes eine bestimmte, ihr proportionale Menge des betreffenden Metalles aus. Man hat jene Elektrizitätsmenge als Einheit gewählt, welche aus einer Silbersalzlösung 1·118 Milligramm Silber ausfällt; man nennt sie ein Coulomb. Fließt diese Einheitsmenge in einer Sekunde durch die Leitung, so hat man die Einheit der Stromstärke, die ein Ampere heißt. In der Praxis verwendet man statt des Coulomb gewöhnlich eine 3600 mal größere Einheit, welche „Amperestunde“ heißt. Als Widerstandseinheit

wählt man den Widerstand, den ein Quecksilberfaden von 1·063 m Länge und 1 mm<sup>2</sup> Querschnitt dem Durchgang des Stromes entgegensetzt, man nennt sie das Ohm. Je größer der Widerstand des Apparates, eine um so größere Spannung ist nötig, um eine bestimmte Stromstärke zu erzielen. Man verwendet für die Spannung als Einheit das Volt, welches jene Spannung vorstellt, die in einem Apparat von 1 Ohm Widerstand die Stromstärke von 1 Ampere hervorruft. Gehen wir wieder auf die Analogie mit dem Druckwasser zurück, so sehen wir, daß die Volt den kg/m<sup>2</sup>, die Coulomb den Kubikmetern, die Ampere den sekundlich verbrauchten Kubikmetern entsprechen. Wir werden daher als Arbeitseinheit in der Elektrotechnik jene Arbeit wählen, die ein Coulomb bei einer konstanten Spannung von 1 Volt und gleichbleibender Stromstärke verrichtet; man nennt sie Joule oder Wattsekunde; man verwendet aber gewöhnlich eine 3600 mal größere Einheit (entsprechend der Ampere-stunde), die man Wattstunde nennt, oft auch das Hundert- oder Tausendfache der Wattstunde, nämlich die Hekto-, bezw. Kilowattstunde. Als Einheit für die sekundliche Arbeit, die Leistung, gilt das Watt, das die sekundliche Arbeit angibt, die bei 1 Volt Spannung und 1 Ampere Stromstärke von dem Strome verrichtet wird. Genau so wie beim Druckwasser bei gleichbleibendem Drucke aus der verbrauchten Wassermenge auf die geleistete Arbeit geschlossen werden kann, ist bei unveränderlicher Spannung bloß die Messung der verbrauchten Elektrizitätsmenge (Amperestunden) nötig, um die in der betrachteten

Zeit vom Strome geleistete Arbeit zu bestimmen; man hat eben nur die Zahl der verbrauchten Amperestunden mit der Zahl der konstant vorhandenen Volt zu multiplizieren, um die Arbeit in Wattstunden zu erhalten. Der Zähler, der die Aufgabe hat, die vom Strome geleisteten Wattstunden zu registrieren, kann sich daher in diesem Falle bloß auf die Messung der Elektrizitätsmenge beschränken. Tatsächlich waren die ersten Elektrizitätszählerkonstruktionen derart, daß bloß die verbrauchte Elektrizitätsmenge gemessen wurde. Edison, der als erster dem Problem der elektrischen Verbrauchsmessung näher trat, leitete den vom Konsumenten verbrauchten Strom durch ein mit Zinkvitriol gefülltes Gefäß; als Zu- und Ableitung dienten zwei Zinkplatten, welche in die Flüssigkeit tauchten. Der Strom zersetzt das Zinkvitriol und scheidet an der den Austritt des Stromes vermittelnden Platte reines Zink ab, das eine der verbrauchten Elektrizitätsmenge proportionale Gewichtszunahme der Platte bewirkt. Diese Gewichtszunahme wurde in bestimmten Zeitabständen durch Wägung von den Angestellten des Elektrizitätswerkes ermittelt; daraus wurden die in diesen Intervallen verbrauchten Amperestunden berechnet und dem Konsumenten nach einem bestimmten Tarife in Rechnung gestellt. Das Verfahren war umständlich, da die Gefäße behufs Wägung immer ausgewechselt werden mußten; man verband später die Zinkplatten mit selbsttätigen, an Ort und Stelle wirksamen Wägevorrichtungen, die mit Zählwerken zur direkten Ablesung der verbrauchten Amperestunden kombiniert waren. Diese Zähler waren



aber sehr kompliziert. Die auf dem Zersetzungsprinzip beruhenden Zähler werden elektrolytische Zähler genannt; sie wurden größtenteils durch die später zu beschreibenden mechanischen Zähler verdrängt; immerhin haben sich in der neuesten Zeit auch auf dem Gebiete der Elektrolytzähler sehr vollkommene Konstruktionen herausgebildet, die der Konkurrenz anderer Systeme standhalten. Bei diesen modernen Zählern gelangen Lösungen von Quecksilbersalzen in Verwendung, aus welchen an der Austrittsstelle des Stromes metallisches Quecksilber ausgeschieden wird, das sich vermöge seines flüssigen Aggregatzustandes volumetrisch, z. B. in einem graduierten Auffanggefäße zylindrischer Form messen läßt. Hierher gehört u. a. der Zähler von Wright (Fig. 1). Der linke obere Ballon *B* des gläsernen Gehäuses ist mit Quecksilber *Q* gefüllt, in das bei *A* der Strom durch einen in die Glaswand eingeschmolzenen Platinkontakt eintritt. Der rechte obere Teil enthält die Quecksilbersalzlösung *L*, aus welcher der Strom durch den Platintrichter *P* bei *K* austritt. Bei Durchgang des Stromes wird eine den verbrauchten Amperestunden (also bei konstanter Spannung auch den verbrauchten Wattstunden) proportionale Quecksilbermenge aufgelöst und eine gleiche Menge auf dem Trichter aus der Lösung ausgeschieden, von dem es in die kalibrierte U-förmig gebogene Meßröhre *R* abfließt. Erreicht es die Höhe bis zum linken Scheitelpunkt *S*, so fließt es durch Heberwirkung in das große Meßgefäß *M*. Mit Hilfe der Maßstäbe *E* und *F* kann man bei entsprechender Teilung die verbrauchten Amperestunden

(bezw. unter Annahme einer konstanten Spannung die Wattstunden) direkt ablesen. Nach gemachter Ablesung entleert man das Meßgefäß durch Kippen der ganzen

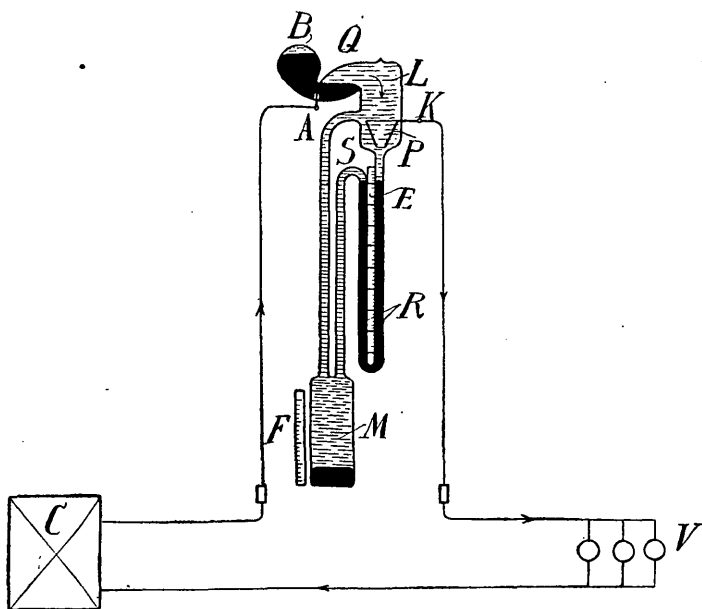


Fig. 1.

Vorrichtung in den Ballon zurück, wodurch der Zähler für eine neue Messung verwendbar geworden ist. Wir haben gesehen, daß die ersten Zählerkonstruktionen bloß imstande waren, Elektrizitätsmengen zu messen, und ihre Aufgabe, die verbrauchte Arbeit zu registrieren, nur

bei Vorhandensein einer gleichbleibenden Spannung erfüllen konnten. Da aber Spannungsschwankungen in jeder Anlage vorkommen, ist selbst bei Anlagen, die mit nahezu konstanter Spannung arbeiten, den sogenannten Gleichstromanlagen, diese Aufgabe nur näherungsweise erfüllt. Ganz unmöglich ist die Verwendung der beschriebenen Zähler im Wechselstrombetriebe. Bei diesen ändert die Spannung kontinuierlich mit großer Geschwindigkeit (30—100 mal in der Sekunde) ihre Richtung und Größe, sie schwingt gewissermaßen mit einer bestimmten Schwingungszahl, die man die Frequenz nennt, zwischen zwei gleich großen entgegengesetzten Höchstwerten hin und her. Die Zeit, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Spannungszuständen gleicher Richtung und Größe verstreicht, heißt Periodendauer oder Periode (beträgt also  $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{50}$  Sekunde bei den in der Technik gebräuchlichen Frequenzen). Eine solche Wechselspannung erzeugt aber auch einen mit gleicher Frequenz pulsierenden Strom, einen sogenannten Wechselstrom, der ebenfalls zwischen zwei entgegengesetzten Höchstwerten seiner Stärke hin- und herschwankt. Es muß aber nicht gerade zur selben Zeit, wo die Spannung am größten ist, auch der Höchstwert des Stromes auftreten, sondern es kann dies um einen gewissen Teil der Periodendauer früher oder später sein. Man spricht dann von einer Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung. Bei solchen Wechselströmen ist die Verwendung der früher erwähnten Zähler ausgeschlossen, da Wechselströme eine chemische Wirkung überhaupt nicht hervorbringen. Es müssen daher

Zähler verwendet werden, welche die geleistete Arbeit auf anderem, und zwar auf mechanischem Wege registrieren. Wir haben früher gesehen, daß Leistung und Arbeit zueinander in derselben Beziehung stehen wie Geschwindigkeit und zurückgelegter Weg. Wenn man daher imstande ist, ein Zählwerk derart durch die Wirkung des elektrischen Stromes anzutreiben, daß seine Geschwindigkeit proportional der augenblicklichen Leistung des Stromes, d. h. dem Produkte der Zahl der eben vorhandenen Volt und Ampere ist, so wird der Weg, den das Zählwerk in einer bestimmten Zeit zurücklegt, der in dieser Zeit vom Strom geleisteten Arbeit proportional sein. Der Weg wird durch eine Anzahl Zifferblätter registriert, welche in der Regel direkt Kilowattstunden nach Einern, Zehnern und Hundertern abzulesen gestatten. Auf diesem Prinzip beruhen also die elektromechanischen Zählerkonstruktionen. Es wird bei Besprechung der einzelnen Typen zu zeigen sein, daß die Umdrehungsgeschwindigkeit der Treibachse des Zählwerkes der elektrischen Leistung (d. h. dem Produkte Volt mal Ampere) proportional ist.

Die ältesten hierher gehörigen Zähler sind die Pendelzähler, die zuerst von Aron konstruiert wurden und große Verbreitung erlangt haben. Ihr Prinzip ist folgendes: Die Schwingungsdauer eines physikalischen Pendels hängt bekanntlich von den Abmessungen desselben und den Kräften, welche das Pendel in die Ruhelage zu bringen suchen, ab. Bei den Pendelzählern neuerer Bauart sind zwei Pendel vorhanden, deren Pendellinsen als Draht-

spulen ausgebildet sind, denen durch dünne biegsame Drähte ein der jeweiligen Spannung proportionaler Strom zugeführt wird. Die Spulenchse fällt mit der Pendelachse zusammen. Unterhalb der beiden Pendel befindet sich je eine aus dickem Drahte hergestellte fixe Spule von wenigen Windungen, welche von dem in der Anlage verbrauchten Strome durchflossen wird. Die Achsen der beiden festen Spulen fallen in der Ruhelage der Pendel mit jenen der Pendelspulen zusammen. Der Wicklungssinn ist nun so gewählt, daß das eine Spulenpaar (Pendelspule und darunter befindliche feste Spule) von den Strömen in gleichem Umlaufsinne durchflossen wird, während das andere Paar von den Strömen im entgegengesetzten Umlaufsinne durchflossen wird. Beide Pendel werden durch elektrisch selbsttätig aufgezoene Uhrwerke angetrieben und schwingen, solange kein Strom in der Anlage konsumiert wird, mit genau gleicher Schwingungsdauer, da die Abmessungen beider übereinstimmen. Fließt aber der Strom durch die Anlage, also auch durch die festen Spulen, so übt die erste Spule auf die zugehörige Pendelspule eine Anziehungskraft, die zweite Spule auf die zugehörige Spule des zweiten Pendels eine gleich große Abstoßung aus, wodurch die Schwingungsdauer des ersten Pendels um den gleichen Betrag vermindert, wie die des zweiten vergrößert wird, und zwar ist dieser Betrag mit großer Annäherung dem Produkte der Maßzahlen der beiden Ströme, welche die zugehörigen Pendelspulen durchfließen, proportional. Nun wird aber die Pendelspule von einem der Spannung, den Volt, proportionalen Strome, die feste

Spule von dem Verbrauchsstrom durchflossen. Daher ist die Differenz der Schwingungsdauer dem Produkte der Volt und Ampere, also der in der Leitung jeweilig verbrauchten Leistung proportional. Das Uhrwerk des ersten Pendels läuft daher um den gleichen Betrag rascher, das des zweiten um den gleichen Betrag langsamer. Beide Uhrwerke wirken durch eine sinnreiche, später zu beschreibende Vorrichtung auf ein gemeinsames Zählwerk, dessen Geschwindigkeit aber der Differenz der Uhrwerksgeschwindigkeiten, also der jeweiligen Leistung, proportional ist. In Fig. 2 *a* ist ein derartiger Zähler schematisch dargestellt. Der aus der Zentrale *C* kommende Strom durchfließt zunächst die aus dickem Drahte hergestellte Spule  $S_1$ , sodann die Verbrauchsapparate *V* und kehrt, auf dem Rückwege die gleichartige Spule  $S_2$  in entgegengesetztem Sinne durchfließend, in die Zentrale zurück. Die an den Pendeln  $P_1$  und  $P_2$  angebrachten, dünn Drahtigen, ebenfalls untereinander gleichartigen Spulen  $S_1'$  und  $S_2'$  sind wie ein Verbrauchsapparat an die Klemmen  $K_1$  und  $K_2$  des Zählers zwischen Hin- und Rückleitung angeschlossen. Durch Dazwischenschaltung von dünn Drahtigen Widerstandsspulen *w* wird der Stromverbrauch der Pendel­spulen auf ein Minimum reduziert; er ist aber immer der Spannung proportional. Wenn Strom durch die Verbrauchsapparate fließt, werden die Pendel  $P_1$  und  $P_2$ , die sonst genau gleich schnell schwingen, beschleunigt, bzw. verzögert, und zwar genau der entnommenen Leistung entsprechend. Die Beschleunigung, bzw. Verzögerung überträgt sich auf die beiden

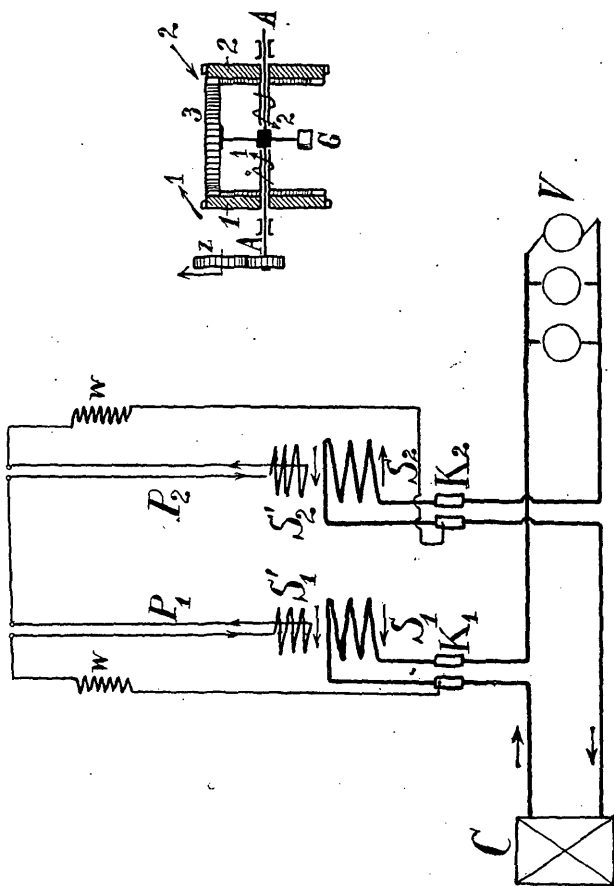


Fig. 2 a und 2 b.

sonst gleichgehenden Uhrwerke. Diese sind nun durch das in Fig. 2 b schematisch dargestellte Differentialgetriebe mit dem Zählwerke gekuppelt. Die Achse des Zählwerkes ist  $A$ ; auf ihr sitzen lose die beiden Zahnräder 1 und 2, die ihren Antrieb, aber in entgegengesetzter Richtung, durch die beiden Uhrwerke erhalten. Die Welle  $A$  trägt an einem Arme ein Zahnrad 3, das in seitliche Verzahnungen der Räder 1 und 2 eingreift und durch ein Gegengewicht  $G$  ausbalanciert ist. Wird nun Zahnrad 1 im Sinne des zugehörigen Pfeiles 1 gedreht, Zahnrad 2 aber festgehalten, so rollt sich 3 auf diesem ab und dreht damit die Welle  $A$  im Sinne der Drehung von 1, umgekehrt wird bei Drehung von 2 im Sinne des Pfeiles 2 bei Festhalten des Rades 1 eine Drehung der Welle im Sinne von 2 bewirkt. Drehen sich beide Räder gleich schnell im entgegengesetzten Sinne, bleibt  $A$  in Ruhe. Dreht sich aber 1 schneller als 2, wie es infolge der Pendelwirkungen bei Stromdurchgang der Fall ist, so ist die Drehgeschwindigkeit der Zählwerkswelle der Differenz der Drehgeschwindigkeiten der Räder 1 und 2 und der mit ihnen verbundenen Uhrwerke proportional, mißt also die jeweilige Leistung. Von der Welle  $A$  werden dann die einzelnen Zeiger der Zählerplatten mit entsprechender Umsetzung getrieben. Die Differenz der Ablesungen in zwei verschiedenen Zeitpunkten gibt dann die in der Zwischenzeit verbrauchte Arbeit in Kilowattstunden, indem man diese Differenz mit der „Zählerkonstanten“ (in der Regel eine Kilowattstunde) multipliziert. Die modernen Zähler dieser Art haben neben der Vorrichtung



zum selbsttätigen elektrischen Aufzug des Uhrwerkes noch gewisse periodisch wirkende Umschaltvorrichtungen, welche die Rolle der beiden Pendel vertauschen, um dadurch die Wirkung konstruktiver Ungenauigkeiten auf die Zählerangabe unschädlich zu machen. Ihre genauere Beschreibung würde hier zu weit führen.

Eine zweite große Gruppe der elektromechanischen Zähler sind die sogenannten Motorzähler. Bei diesen dient ein kleiner elektrischer Motor zum Antrieb des Zählwerkes. Die Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung des von Thomson zuerst konstruierten Zählers dieser Art. Der um eine vertikale, in  $O$  und  $U$  gelagerte Welle drehbare Teil des Motors, Anker genannt, erhält auf die bei den Gleichstrommotoren gebräuchliche Art durch die auf den Kollektor  $K$  schleifenden Bürsten  $B_1$  und  $B_2$  Strom zugeführt, welcher von der aus der Zentrale  $C$  kommenden Leitung entnommen, durch Widerstandsspulen  $w$  gedrosselt und der Spannung proportional eingestellt wird. Das magnetische Feld wird durch die zwei vom Verbrauchsstrome durchflossenen, in die Leitungen eingeschalteten Spulen  $S_1$  und  $S_2$  gebildet. Die Wechselwirkung zwischen Anker und magnetischem Felde bewirkt bekanntlich die Drehung des Ankers; und zwar ist in unserem Fall die Drehkraft dem Produkte der Maßzahlen des Ankerstromes und des Hauptstromes, also tatsächlich der Leistung proportional, da ja der Ankerstrom die Spannung mißt. Der Drehkraft entgegen wirkt eine Bremskraft, die durch die Einwirkung des Hufeisenmagneten  $M$  auf die an der Motorachse sitzende kupferne

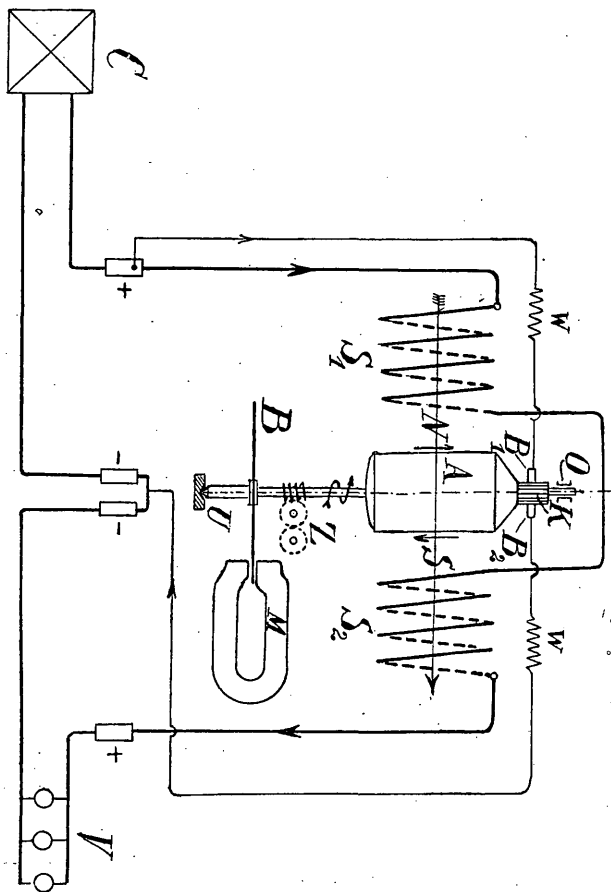


Fig. 3.

Bremsscheibe  $B$  hervorgerufen wird, indem in der Scheibe Wirbelströme entstehen, wenn sie sich durch den Schlitz zwischen den Polen durchbewegt. Da nun diese Bremskraft der Geschwindigkeit, mit der die Drehung erfolgt proportional ist, anderseits aber die der Bremskraft gleiche Drehkraft ein Maß für die Leistung gibt, so geht daraus hervor, daß auch die Drehgeschwindigkeit der Zählerachse ein Maß der jeweilig entnommenen elektrischen Leistung ist. Durch eine Schnecke wird die Bewegung auf das Zählwerk  $Z$  übertragen, das auf die früher erläuterte Art die Zifferblätter betreibt, an welchen die Ablesung der verbrauchten elektrischen Arbeit geschieht. Solange kein Strom durch die Verbrauchseinrichtungen fließt, sind die Spulen  $S_1$  und  $S_2$  stromlos; der Zähler steht stille, aber der Anker wird immer von dem schwachen Spannungsstrom durchflossen. Man hat Motorzähler in Anlagen mit konstanter Spannung auch als Ampère-stundenzähler benützt, indem man die Spulen  $S_1$  und  $S_2$  durch Stahlmagnete  $N S$  ersetzt und in den Anker statt des Spannungsstromes einen Zweigstrom des Verbrauchstromes hindurchleitete. Solche Zähler verbrauchen nicht ständig Strom, da sie keine Spannungswicklung besitzen, haben aber den Nachteil, daß der Kollektor des Ankers oft zu Störungen Anlaß gibt, da nur ein verhältnismäßig schwacher Strom durch den Anker geht, der durch Staubteilchen usw., die sich an den Bürsten festsetzen, leicht unterbrochen wird. Diesem Übelstande sind die von vielen Firmen gebauten Quecksilber-Motorzähler nicht unterworfen. Diese mögen durch das in Fig. 4 *a* und 4 *b* im

Schnitt und Grundriß dargestellte Schema erläutert werden. Eine in  $O$  und  $U$  um die Zählwerksachse  $A$  drehbar ge-

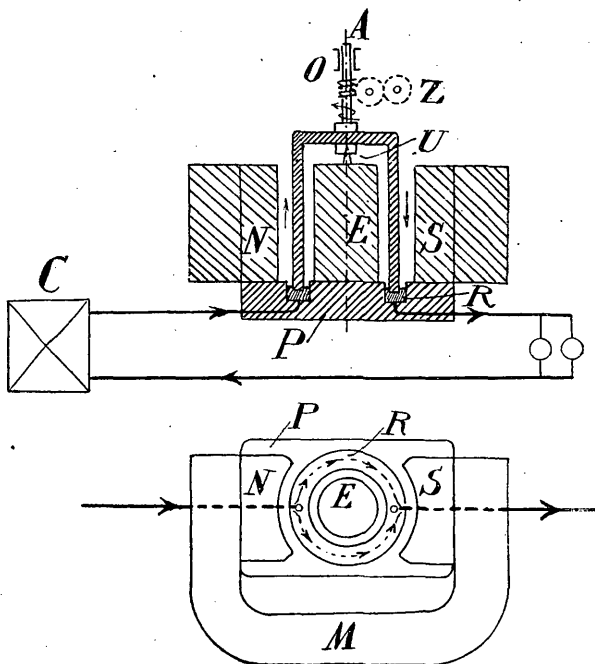


Fig. 4 a und 4 b.

lagerte Kupferglocke befindet sich zwischen den Polen  $NS$  eines kräftigen Hufeisenmagneten  $M$ , zu dessen Verstärkung noch der Eisenkern  $E$  im Innern der Glocke beiträgt. Die Glocke kann sich in den kreisförmigen

Schlitzen zwischen den Polen  $NS$  und dem Kerne  $E$  frei drehen. Die Glocke taucht in eine mit Quecksilber gefüllte Rinne  $R$ , die in der nichtleitenden Platte  $P$  versenkt ist. Das Quecksilber wird in der Richtung der Pfeile (siehe Fig. 4 *b*, in welcher die Glocke weggedacht ist) vom Verbrauchsstrom durchflossen. Da aber das Quecksilber dem Durchgange des Stromes einen verhältnismäßig großen Widerstand entgegengesetzt, geht ein Teil desselben auch durch die linke Mantelhälfte der Glocke hinauf und die rechte hinab, so daß die Glocke genau so wie der Anker eines Motorzählers vom Strom durchflossen und durch die Wirkung der Magnetpole im Pfeilsinne zur Drehung veranlaßt wird. Die Drehkraft ist proportional dem durchgehenden Strom, der aber einen bestimmten, gleichbleibenden Teil des verbrauchten Stromes ausmacht. Gleichzeitig tritt aber infolge der bei Drehung der Glocke in ihr entstehenden Wirbelströme eine der Geschwindigkeit proportionale Bremskraft auf. Daraus geht hervor, daß die Drehgeschwindigkeit ein Maß für die Stromstärke ist und daher der durch das Zählwerk  $Z$  registrierte Weg der Glocke ein Maß für die verbrauchte Elektrizitätsmenge abgibt. Man kann an den Zifferblättern des Zählwerkes die verbrauchten Amperestunden oder unter Annahme einer gleichbleibenden Spannung bestimmter Größe entsprechend die Watt- oder Kilowattstunden ablesen.

Die bisher beschriebenen Zählersysteme dienen vorzugsweise für Gleichstromanlagen, wengleich die Pendel- und Motorzähler auch für Wechselstrombetriebe sich

eignen. Im Folgenden sollen nunmehr Systeme erläutert werden, die nur für Wechselstrom sich eignen, dafür aber durch besondere Einfachheit und Betriebssicherheit auszeichnen. Sie beruhen auf dem Prinzipie des magnetischen Drehfeldes. In Fig. 5 seien die beiden senkrecht gekreuzten

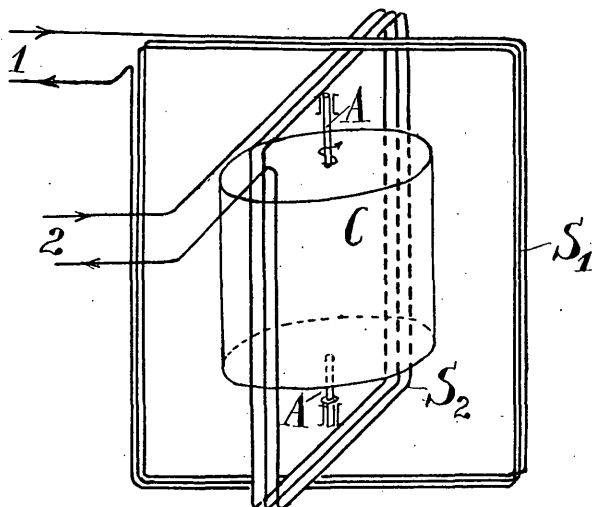
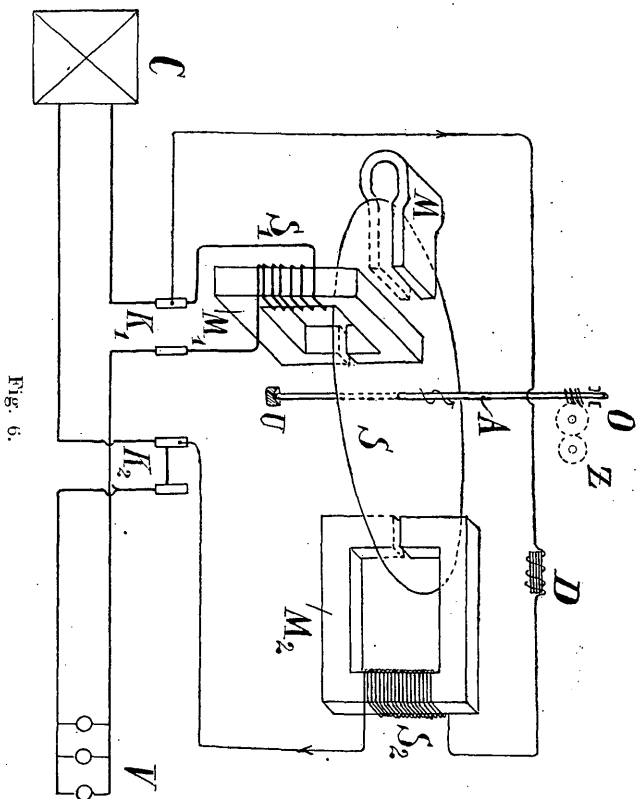


Fig. 5.

Drahtspulen  $S_1$  und  $S_2$  von zwei Wechselströmen 1 und 2 gleicher Stärke und Frequenz durchflossen, die eine Phasenverschiebung von einer Viertelperiode haben, d. h. wenn der eine Null ist, hat der andere seinen größten Wert und umgekehrt. In dem Raume zwischen den Spulen entsteht dann ein sogenanntes Drehfeld. Bringt man nämlich eine Magnetnadel in diesen Raum, so be-

ginnt sie sich zu drehen und vollendet in einer Periode des Wechselstromes eine ganze Umdrehung. In dem Augenblicke, wo der Strom 1 in der Spule  $S_1$  seinen Höchstwert erreicht, besteht senkrecht zu dieser Spule ein magnetisches Kraftfeld; die Nadel stellt sich also in diese Richtung, da der Strom in  $S_2$  gerade Null ist und keine Wirkung ausübt. Nun nimmt mit dem Strome die Wirkung von  $S_1$  ab, der Strom 2 in  $S_2$  steigt, es bildet sich ein Kraftfeld senkrecht zu  $S_2$ , das nach Verlauf einer Viertelperiode am stärksten ist, da dann der Strom 2 den Höchstwert erreicht, während Strom und Feld bei  $S_1$  Null werden. Die Nadel dreht sich daher in einer Viertelperiode in die Richtung senkrecht zu  $S_2$ , vollführt also eine Drehung um einen Viertelkreisbogen. Im weiteren Verlauf gewinnt Strom 1 an Stärke in entgegengesetzter Richtung, mithin auch das von ihm erzeugte Feld, während die Wirkung von  $S_2$  abnimmt. Die Nadel dreht sich im gleichen Sinne weiter und steht am Ende der zweiten Viertelperiode wieder senkrecht auf  $S_1$ , hat also eine halbe Drehung gemacht. Ersetzt man die Nadel durch einen Kupferzylinder  $C$ , der um eine Achse  $A$  drehbar ist, so dreht sich auch dieser im gleichen Sinne, nur ein wenig langsamer; er bleibt etwas gegen das Drehfeld zurück, man sagt: er schlüpft. Aber gerade diese Schlüpfung erzeugt im Kupferzylinder jene Wirbelströme, welche durch ihre Wechselwirkung mit dem Drehfeld die Drehkraft auf ihn ausüben. Das Prinzip des von Ferraris entdeckten Drehfeldes liegt, wie erwähnt, den Drehfeld- oder Induktionszählern zugrunde. (Der letztere Name

rührt davon her, weil in ihrem beweglichen Teile, ebenso wie im Kupferzylinder der Fig. 5, Ströme hervorgerufen,



induziert werden). Die Fig. 6 zeigt eine Schemadarstellung des Drehfeldzählers von Bláthy. Die Kupfer- oder Alu-



miniumscheibe  $S$  ist um die Welle  $A$ , von welcher in bekannter Weise das Zählwerk  $Z$  angetrieben wird, drehbar in  $O$  und  $U$  gelagert und bewegt sich zwischen den Schlitten zweier Rahmen aus Eisenblech  $M_1$  und  $M_2$  hindurch. Der eine Rahmen trägt eine Spule  $S_1$  mit wenigen Windungen dicken Drahtes, der andere eine solche  $S_2$  mit vielen Windungen dünnen Drahtes. Die Spule  $S_1$  wird von dem aus der Zentrale  $C$  in die Verbrauchsapparate  $V$  gehenden Strome durchflossen, während die andere Spule wie ein Verbrauchsapparat zwischen Hin- und Rückleitung geschaltet ist und daher immer von einem der Spannung proportionalen Strome durchflossen wird. Durch Vorschalten einer sogenannten Drosselspule  $D$  und durch die große Windungszahl der Spule  $S_2$  wird aber bewirkt, daß dieser „Spannungsstrom“ nahezu um eine Viertelperiode gegen die Spannungsschwingungen verspätet ist, während der Hauptstrom in der Regel fast keine oder eine geringe Phasenverschiebung gegen die Spannung besitzt. Ist also der Verbrauchsstrom gerade auf dem Höchstwert seiner Stärke, so stellt der Rahmen  $M_1$  infolge der magnetisierenden Wirkung der Spule  $S_1$  einen starken Magnet vor, zwischen dessen Polen die Scheibe sich befindet. Nach einer Viertelperiode ist der Hauptstrom Null, dagegen der Strom in der Spule  $S_2$  im Höchstwert, so daß nunmehr der Rahmen  $M_2$  am stärksten magnetisch ist. Es ist also gerade so, als hätte man den Rahmen  $M_1$  in die Lage von  $M_2$  gebracht, also das Magnetfeld weiter bewegt. Nach dem Früheren wissen wir aber, daß durch diese Drehung Wirbelströme in der Scheibe induziert

werden und die Scheibe daher mitbewegt wird. Die Drehkraft ist auch hier wieder um so größer, je größer die Ströme in den beiden Spulen, also je größer Strom und Spannung sind. Sie ist proportional der Leistung des Wechselstromes. Ein permanenter Magnet  $M$  wirkt gleichzeitig wie bei den Motorzählern als Bremsmagnet. Das Zählwerk registriert dann die verbrauchten Watt- oder Kilowattstunden auf einer Anzahl Zifferblättern wie bei den früher beschriebenen Zählerkonstruktionen.

Für Betrieb von Motoren ist besonders geeignet ein System von drei durch dieselbe Maschine erzeugten Wechselströmen, die in der Phase gegeneinander um je eine Drittelperiode verschoben sind; ein solches System heißt Drehstromsystem, weil die drei Ströme zur Erzeugung von Drehfeldern dienen können, wie sie in den Drehfeld-Induktionsmotoren auftreten. Man kann jeweils den einen Strom als die Rückleitung der beiden anderen ansehen und kommt daher mit bloß drei Leitungen aus. Zur Messung der in Drehstromapparaten verbrauchten Arbeit hat man zwei Zähler zu verwenden, deren Stromspulen in je eine der Leitungen eingebaut wird, während man die dritte als Rückleitung auffaßt. Die Spannungsspulen sind dann zwischen je eine der beiden Hinleitungen und die Rückleitung zu schalten. Man vereinigt aber gewöhnlich beide Zählersysteme und läßt sie auf ein gemeinsames Zählwerk wirken. So ergibt sich eine Abart der Wechselstromzähler in den „Drehstromzählern“.

Oft pflegen die Elektrizitätswerke ihren Abnehmern den bei schwacher Inanspruchnahme des Werkes be-

wirkten Konsum billiger zu verrechnen als jenen, welcher in den Abendstunden, bei starker Inanspruchnahme desselben geschieht. Das macht den Einbau von Doppeltarifzählern nötig, die zwei Zählwerke besitzen, deren Angaben nach verschiedenen Tarifen verrechnet werden. Durch eine von den Angestellten des Werkes entsprechend eingestellte Uhr wird zu einer gewissen Tageszeit die Ein-, bezw. Ausrückung eines der Zählwerke bewirkt.

In manchen Anlagen bestehen für den normalen Elektrizitätskonsum Pauschaltarife und haben die Elektrizitätszähler nur den über das vertraglich festgesetzte Pauschale hinausgehenden Konsum des Abonnenten zu registrieren, was ebenfalls Sonderkonstruktionen nötig macht.

Endlich verdienen noch die sogenannten Stromzeitähler Erwähnung, deren Aufgabe sich bloß auf die Registrierung der Zeit, während welcher ein Apparat Strom verbraucht, beschränkt. Es sind dies gewöhnliche Uhrwerke, die durch Einschaltung des Apparates elektromagnetisch ausgelöst werden. Solche Zähler findet man in den Straßenbahnwagen vor; sie dienen zur Kontrolle des Wagenführers in bezug auf die Zeit, während welcher er aus der Leitung Strom entnimmt, und sollen, da bei sparsamer Strombenützung Prämien gezahlt werden, die Motorführer zu ökonomischem Fahren aneifern.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: [54](#)

Autor(en)/Author(s): Haubner Karl

Artikel/Article: [Die Messung des Verbrauches an elektrischem Strom \(Elektrizitätszähler\). Nach Angaben Prof. Dr. Johann Schulka's. 183-209](#)