

in der Konstruktion aus, besonders gegenüber den dynamo-elektrischen (Wattstunden-) Motorzählern.

Der Aronsche Amperestundenzähler besteht aus zwei gleichen Uhrwerken mit Pendeln, welche bei stromlosem Zustande des Zählers gleiche Schwingungsdauer haben. Am unteren Ende des einen Pendels ist ein Stahlmagnet angebracht; unter diesem befindet sich die Hauptstromspule. Durch den Verbrauchsstrom, der diese Spule durchfließt, wird die Schwingungsdauer des darüber schwingenden Pendels verkürzt. Der so bewirkte Gangunterschied der Pendel wird mittels eines Planetenrades auf ein Zählwerk übertragen.

Die Schuckertschen Amperestundenzähler entsprechen der Konstruktion nach den unten erwähnten Wattstundenmotorzählern.

2. Wattstundenzähler.

Dieselben messen den elektrischen Energieverbrauch, der mathematisch genau ausgedrückt ist durch

$$(2) \dots \dots \dots E = \int_{t_1}^{t_2} i \cdot e \cdot dt,$$

worin e die Spannung bedeutet, welcher der Stromempfänger ausgesetzt ist. Die Messung dieser Größe wird ermöglicht durch Verwendung einer weiteren, der sog. Spannungsspule, so daß das Zählwerk unter dem Einfluß der Produktwirkung von Strom und Spannung angetrieben wird.

Aus dem Aronschen Amperestundenzähler entsteht der Aronsche Wattstundenzähler, indem der über der Stromspule schwingende Magnet durch eine Nebenschluß-Spannungs-Spule ersetzt wird.

Sehr verbreitet sind die Motorzähler¹⁾, welche auf dem Prinzip der Nebenschlußmotoren beruhen. Indes werden bei denselben die Erregerspulen vom Verbrauchsstrom, der Anker vom Nebenschlußstrom durchflossen. Anker und Feld sind eisenfrei konstruiert, um fehlerhafte Angaben infolge von Hysterisis zu vermeiden. Die geringe, vom Motor entwickelte mechanische Arbeit wird durch die Achse des Motors auf eine Metallscheibe, die zwischen den Polen eines kräftigen Magneten rotiert, übertragen und so durch elektrische Dämpfung aufgenommen. Der Nebenschlußstrom wird dem Anker durch einen Kollektor zugeführt. Der Reibungswiderstand der Motorachse in den Lagern und die Bürstenreibung werden durch Hilfsspulen kompensiert.

Die oben genannten Wattstundenzähler sind sowohl für Gleich- als für Wechselstrom zu verwenden.

Nur für Gleichstrom eignet sich der oszillierende Gleichstromzähler der Allg. El.-Gesellschaft. Er vermeidet gegenüber den vorerwähnten, rotierenden Motorzählern die Nachteile des Kollektors. Hauptsächlich

¹⁾ Dieselben werden von vielen größeren Firmen (Union, Schuckert, Lux-Werke usw.) fabriziert.

hat, die am Kollektor auftretende Funkenbildung und die damit verbundene Zerstörung der Berührungsflächen eine Veränderung des Reibungswiderstandes zur Folge, worunter die Genauigkeit und Empfindlichkeit des Instrumentes notwendig mit der Zeit leiden. Beim oszillierenden A. E.-G.-Zähler geschieht der Antrieb des Zählwerks durch ein elektromagnetisches Relais, indem ein zwischen zwei Spulen intermittierend bewegter Haken ein Zahnrad Zahn um Zahn weiterschaltet. Die zwischen zwei Kontakten pendelnden, unter dem Einfluß der Spannung stehenden Nebenschlußspulen haben nur die Aufgabe, die elektrische Umschaltung des Relais auszuführen. Das bewegliche System leistet demnach zum Betriebe des Zählwerks keine Arbeit. Es ist möglich, das Schalt- und Zählwerk als besonderen Apparat vom oszillierenden Motor räumlich vollkommen zu trennen.

Für Wechselstrom kommen außer den oben schon genannten eine Reihe von Zählern nach dem Prinzip von Ferraris und Thomson in Anwendung. Diese entsprechen dem Grundgedanken nach den asynchronen Motoren; der bewegliche Teil besteht aus einem Kupfer- oder Aluminiumkörper, der unter der Einwirkung der festen Induktionsspulen rotiert. Die meisten derselben haben den Nachteil, daß sie nur bei annähernd induktionsfreier Belastung richtig zeigen. Durch die Raabsche¹⁾ Konstruktion gelang es, einen exakt messenden Wattstundenzähler nach Ferrarischem Prinzip zu bauen. Raab verwendet zwei Spannungsspulen, eine solche mit hoher Selbstinduktion, d. h. großer Phasenverschiebung zwischen Feld und Spannung, und eine solche mit großem Widerstande und kleiner Phasenverschiebung.

Außer diesen Zählern sind noch verschiedene andere im Verkehr, doch möge es genügen, die wichtigsten Typen ihrem Prinzip nach gekennzeichnet zu haben.

Im allgemeinen haben die Amperestundenzähler gegenüber den Wattstundenzählern den Vorzug der größeren Einfachheit, da sie keiner Spannungsspulen bedürfen. Infolgedessen sind die Anschaffungs- und auch die Unterhaltungskosten geringer, so namentlich bei den O'Keenan-Zählern.

Ferner liegt es in der Natur der Wattstundenzähler, daß sie einen beständigen, wenn auch kleinen, Stromverbrauch haben, indem die Nebenschlußspulen fortwährend der Spannung ausgesetzt und daher von Strom durchflossen sind. Der Nebenschlußstrom fließt auf Kosten des Elektrizitätswerkes, da der Verlust durch denselben am Zählwerk nicht zum Ausdruck kommt. Beträgt z. B. der Nebenschlußwiderstand r eines Zählers 10000 Ohm bei 220 Volt Netzspannung E , so findet im Nebenschluß ein sekundlicher Verbrauch von

$$\frac{E^2}{r} = \frac{220^2}{10000} = 4,84 \text{ Watt statt;}$$

¹⁾ Siehe die Arbeit von J. A. Möllinger, E. T. Z. 1898, Heft 36.

das macht im Jahre eine Arbeitsleistung von
 $4,84 \cdot 24 \cdot 365 = 42000$ Wattstunden.

Betragen nun die Erzeugungskosten pro Kilowattstunde z. B. 20 $\mathcal{G}$, so muß das Werk $42,02 = 8,4 \mathcal{M}$ pro Jahr für den Energieverlust in der Nebenschlußspule des Zählers aufwenden.

Auch in den Hauptstromspulen finden naturgemäß Verluste durch ohmschen Spannungsabfall statt und zwar entsprechend dem jeweiligen Stromkonsum.

Will man über die Güte eines Zählers ein vollständiges Urteil gewinnen, so hat sich die Untersuchung im allgemeinen auf folgende Punkte zu erstrecken:

Abhängigkeit der Angaben des Zählers von der Belastung bei normaler Spannung, bzw. Abweichungen derselben von den Sollwerten (größter prozentualer Fehler innerhalb gewisser Belastungsgrenzen).

Kleinste Belastung, bei der der Zähler noch sicher anläuft (Empfindlichkeit).

Einfluß der Spannung auf das richtige Anzeigen des Zählers.

Abhängigkeit der Angaben von vorausgegangener Dauerbelastung (Einfluß der Erwärmung).

Einfluß von Phasenverschiebung und abnormaler Periodenzahl bei Zählern für Wechselstrom.

Einfluß unrichtiger Montage: z. B. Aufhängung in schiefer Lage.

Einfluß benachbarter Magnetfelder.

Effektverluste im Leerlauf und Betriebe usw.

Beispiele.

Als Beispiel möge hier zunächst die von mir vorgenommene Untersuchung eines Einphasenzählers der E.-A.-G. vorm. Schuckert u. Co. angeführt sein. Das Zifferblatt trug die Angaben:

120 Volt, 100 Amp., 12000 Watt bei 53,4 Touren pro Minute (entsprechend einem Verhältnis des Energieverbrauches zur Tourenzahl pro Minute von 224,7).

Die Angaben des Zählers wurden verglichen mit denjenigen eines Wattmeters, eines Präzisionsamperemeters und eines Cardew-Voltmeters. Außerdem wurde die Tourenzahl pro Minute an der großen Scheibe des Zählers und die Zeitdauer jedes Versuches auf Sekunden genau beobachtet. Als Belastung wurden Glühlampen benutzt.

Die Ergebnisse des Versuchs sind aus der unten folgenden Tabelle und graphischen Darstellung zu ersehen; letztere gibt ein Bild von dem Verhältnis der durch den Zähler durchgeführten zu der angezeigten elektrischen Energie (s. Fig. 170). Der Gang der Rechnung soll für die Leistung 12200 Watt nachstehend gezeigt werden:

Beobachtete Zeit	Ablesung am Zähler	Watt-Ablesung (Mittelwert)	Touren pro Minute
6h 16' 20"	0011,03		
6h 37' 35"	0015,32	12 200	53,5
Diff.: 21' 15"	Diff.: 4,29 KW-Stdn.		
= 21,25'			
= 0,3541 Stunden.			

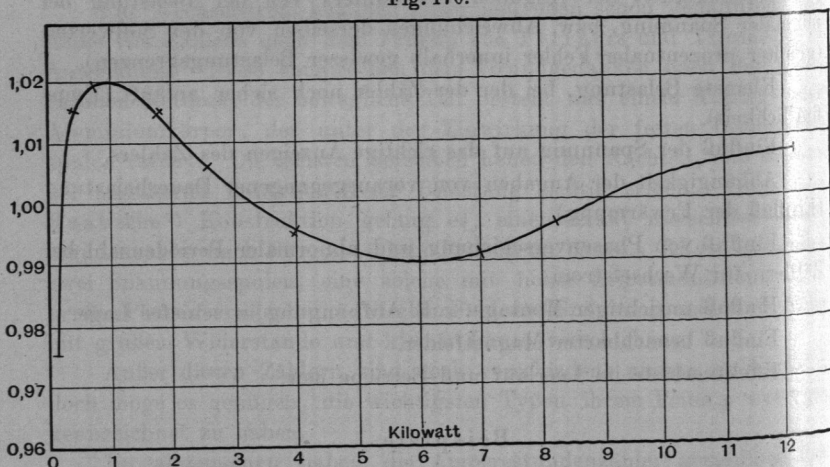
Die eingeführte Energie berechnet sich zu:

$$12,200 \cdot 0,3541 = 4,320 \text{ KW-Stdn.}$$

$$\frac{\text{Eingeleitete Energie}}{\text{Angezeigte Energie}} = \frac{4,320}{4,290} = 1,007,$$

daher ist der angezeigte Wert um 0,7 Proz. kleiner als der Sollwert.

Fig. 170.



	Eingeleitete Energie (korrigierte Mittelwerte) Watt	Verhältnis der eingeleiteten Energie zur angezeigten	Prozentualer Fehler gegenüber dem Sollwert
1.	150	0,97500	+ 2,500
2.	508	1,01500	— 1,500
3.	810	1,01920	— 1,920
4.	1 802	1,01490	— 1,490
5.	2 633	1,00570	— 0,570
6.	4 000	0,99480	+ 0,520
7.	7 000	0,99230	+ 0,770
8.	5 200	0,99653	+ 0,347
9.	12 200	1,00700	— 0,700

Bei Einschaltung des Zählers ohne Stromverbrauch lief die Scheibe nicht, bei einem Energieverbrauche von 59 Watt dagegen sofort an; jedoch war die Umfangsgeschwindigkeit derselben nicht konstant. Nach Ausschaltung blieb die Scheibe stehen. Bei Einführung einer Energie

von 99 Watt lief die Scheibe entsprechend schneller an und nach Ausschalten verlangsamt noch einige Minuten weiter.

Das Ergebnis der Untersuchung sei in folgendem zusammengefaßt: Der Anlauf erfolgt bereits bei 0,49 Proz. der normalen Belastung. Es müssen demnach die Reibungswiderstände gering und die Empfindlichkeit des Instrumentes für kleine Ströme groß sein. Von 8 Proz. Belastung sind die Angaben schon um etwa 2 Proz. genau, während von 19 Proz. bis über die normale Belastung hinaus die Fehler nur in den Grenzen von ± 1 Proz. schwanken. Die Angaben des Zählers zeigen also in weiten Grenzen der Belastung von 10 Proz. aufwärts sehr geringe Abweichungen vom Sollwerte.

Als zweites Beispiel diene die Untersuchung, welche ich an einem Zähler von Hartmann u. Braun, welcher schon mehrere Jahre im Betriebe war, mit Einphasenwechselstrom, vorgenommen habe. Der Zähler war für 120 Volt und 200 Amp. bestimmt. Der durch den Zähler geleitete Strom speiste eine Anzahl Glühlampen.

Als Vergleichsinstrumente wurden ein Wattmeter, ein Cardew-Voltmeter und ein Präzisionsamperemeter benutzt.

Die Messungen, die in analoger Weise wie beim vorhergehenden Beispiele durchgeführt wurden, hatten folgende Resultate:

Der Anlauf erfolgte bereits bei 0,25 Proz. der normalen Belastung. Das Instrument ist somit für kleine Belastungen sehr empfindlich und müssen demnach die Reibungswiderstände sehr gering sein.

Bei Belastungen von 3 bis 35 Proz. waren die Angaben des Instrumentes um 1 bis 4 Proz. zu hoch, während bei höheren Belastungen bis zu 70 Proz. die Abweichung vom Sollwerte $+ 0,8$ bis $+ 1$ Proz. ergab. Die Angaben des Zählers zeigen also in den mittleren Gebrauchsgrenzen von 35 Proz. Belastung geringe Abweichungen vom normalen Werte.

Untersuchung eines Flügel-Wattstundenzählers von Siemens u. Halske, A.-G., für 110 Volt und 10 Amp.

Der Flügel-Wattstundenzähler gehört unter die Klasse der Motorzähler, nimmt jedoch vermöge seiner Bauart eine Sonderstellung ein, indem dieselbe nicht auf dem oben (S. 451) gekennzeichneten, für andere Motorzähler charakteristischen Prinzip (Nebenschlußmotor) beruht. Das Unterscheidende liegt im wesentlichen in der Konstruktion des Ankers und der Wirkung der festen, den Verbrauchsstrom führenden Spulen auf den Anker. Letzterer besteht aus einem System von vier übereinanderliegenden und gegeneinander versetzten Eisenflügeln; je zwei derselben sind durch ein vertikales auf der Zählerachse sitzendes Eisenrohrstück verbunden. Ein solches Paar von Eisenflügeln in Verbindung mit dem Eisenrohre stellt einen Z-förmigen Eisenkörper dar. Zur

Magnetisierung desselben dienen vier horizontale, die Eisenrohre umgebende Nebenschlußspulen. Diese werden alternierend erregt, derart, daß die Magnetisierung jeweils nach einer Drehung um 90° wechselt. Das von den Hauptspulen erzeugte Feld übt auf das erste magnetisierte Flügelpaar ein Drehmoment aus und bewirkt eine Drehung desselben, so daß die Flügel sich in der Achse des magnetischen Feldes einzustellen suchen. Noch bevor dies letztere eintritt, hört die Magnetisierung des ersten Flügelpaares auf und wird durch Erregung einer anderen Nebenschlußspule das zweite um 90° gegen das erste versetzte Flügelpaar magnetisiert. Die Umschaltung der Erregung auf eine andere Spule nach einer Vierteldrehung der Zählerachse geschieht mittels eines vierlamelligen Kommutators. Demnach ist die Wirkung der Nebenschluß-(Spannungs-)spulen auf die Stromspulen — im Gegensatze zu den gewöhnlichen Motorzählern — nur eine mittelbare.

Die durch das Drehmoment erzeugte mechanische Leistung wird auch beim Flügel-Wattstundenzähler, wie sonst üblich, durch die Bewegung einer Kupfer-Bremsscheibe zwischen den Schenkeln permanenter Stahlmagnete verbraucht. Die Übersetzung der Ankerdrehung auf ein Zählwerk erfolgt in der üblichen Weise durch Schnecke und Schraubenrad. — Laut Angabe (auf dem Zählergehäuse) entspricht einem Energieverbrauche von einer Kilowattstunde eine Umdrehungszahl der Scheibe von 2880.

Die nachstehenden vom Verfasser vorgenommenen Untersuchungen erstreckten sich:

1. Auf Vergleichung der auf dem Zähler angegebenen Konstanten (2880) mit den Angaben des Zählwerkes.
2. Auf die Bestimmung der Empfindlichkeit und der Belastung, bei welcher der Zähler sicher angeht und dauernd weiterläuft.
3. Auf eine Eichung bei verschiedenen Belastungen, von 0,2 Proz. der normalen Belastung (10 Amp.) bis zu 20 Proz. Überlastung.
4. Auf Bestimmung des Spannungsabfalles und des Energieverlustes der Hauptstromspule, sowie Bestimmung des Energieverlustes im Nebenschlusse.
5. Auf den Einfluß der Dauer des Betriebes auf die Angaben (zunehmende Temperatur bei mehrstündiger Belastung).
6. Auf die Beeinflussung der Angaben des Zählers durch Spannungsschwankungen.
7. Auf den Nachweis etwaigen Leerlaufes bei Ausschaltung des Verbrauchsstromkreises bzw. bei plötzlicher Einschaltung des Nebenschlusses mit 110 Volt, jedoch offenem Verbrauchsstromkreise.

Die vorstehend näher bezeichneten Untersuchungen wurden in der Weise durchgeführt, daß unter tunlichster Konstanterhaltung der jeweilig gewünschten Strom- und Spannungsverhältnisse die Umdrehungen der Zählerachse ermittelt wurden, welche durch die — ebenfalls gemessene — elektrische Energie (Strom- und Spannungsmessung) bewirkt waren.

Zu diesem Behufe wurde mit dem Chronometer die Zeit bestimmt, während gleichzeitig die Umdrehungen (10 bis 600 je nach der Belastung bzw. Rotationsgeschwindigkeit) gezählt und mittels Präzisionsapparaten, je nach der Konstanz der elektrischen Größen in kurzen Intervallen von einer Viertelminute und mehr, der in den Zähler eingeführte Strom und die Spannung bzw. die elektrische Energie gemessen wurden. Die Einzelmessungen wurden etwa viermal für jede Belastung wiederholt und aus den Mittelwerten das Verhältnis

$$\frac{\text{Eingeleitete elektrische Energie}}{\text{Angezeigte elektrische Energie}}$$

berechnet. Es wurden zwei Beobachtungsreihen aufgenommen und zwar — jeweils nach vorheriger längerer Einschaltung der Nebenschlußspulen — zunächst nach etwa zweistündiger Vollbelastung des Zählers mit 10 Amp. bei abfallender Belastung, alsdann mit zunehmenden Werten der Belastung, mit $\frac{1}{50}$ -der Vollast beginnend.

Die bei den Messungen benutzten Präzisionsinstrumente (Milli-Volt- und Amperemeter und Weston-Voltmeter von Siemens und Halske) wurden vor und nach den Versuchen mit Normalinstrumenten geeicht.

Im einzelnen lieferten die Untersuchungen folgende Resultate:

Ad 1. Die Übersetzungskonstante des Zählers (2880 Umdrehungen = 1 KW-Stde.) wurde durch Zählen der Umdrehungen und gleichzeitige Beobachtung der Zifferblätter des Zählers über eine längere Zeitdauer hin bestätigt gefunden, und konnte daher obige Zahlengröße den weiteren Versuchen zugrunde gelegt werden.

Mittlere Spannung Volt	Mittlere Strom- stärke Amp.	Elektrische Energie Watt	$\frac{\text{Eingeleitete}}{\text{Angezeigte}}$ Energie	Pro- zentualer Fehler Proz.	Bemerkungen
110	0,198	21,78	1,060	— 6	
110	0,401	44,11	1,034	— 3,4	
110	0,611	67,61	1,019	— 1,9	
110	0,852	93,72	1,012	— 1,2	
110	1,210	133,10	1,006	— 0,6	
110	2,510	276,10	0,988	+ 1,2	
110	5,000	550,00	0,996	+ 0,4	
110	7,510	826,10	1,009	— 0,9	
110	10,000	1100,00	1,023	— 2,3	
110	12,000	1320,00	1,033	— 3,3	
110	12,000	1320,00	1,040	— 4,0	Messungen nach zweistündiger Belastung mit normaler Strom- stärke (10 Amp.)
110	10,000	1100,00	1,026	— 2,6	
110	7,530	828,30	1,015	— 1,5	
110	5,030	553,30	0,995	+ 0,5	
110	2,530	278,30	0,981	+ 1,9	

Ad 2. Die Empfindlichkeitsversuche wurden bei 110 Volt Gleichstrom durchgeführt. Es ergab sich hierbei, daß der Anlauf aus den meisten Stellungen der Zählerachse schon bei sehr geringen Stromstärken erfolgte; ein Anlaufen in allen Stellungen, sowie sicheres Weiterlaufen konnte bei 0,096 Amp. (10,56 Watt), d. h. bei 0,96 Proz. der Vollast festgestellt werden; die Rotationsgeschwindigkeit war hierbei während einer Umdrehung noch etwas ungleichmäßig.

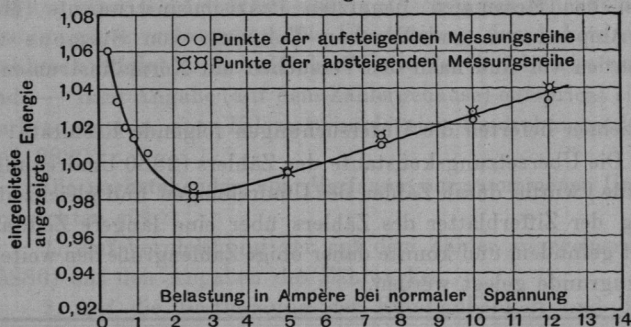
Ad 3. Die bei der Eichung gefundenen Werte sind vorstehend tabellarisch und graphisch für die verschiedenen Belastungen dargestellt.

Die Spannung war während der Versuche konstant (110 Volt), und konnten daher als Abszissen die Stromstärken aufgetragen werden; als Ordinaten sind die Werte des Verhältnisses

$$\frac{\text{Eingeleitete elektrische Energie}}{\text{Angezeigte elektrische Energie}}$$

eingetragen (s. Fig. 171).

Fig. 171.



Ad 4. Der Spannungsabfall bzw. der Energieverlust in der Hauptstromspule betrug bei 10 Amp. 0,8 Volt bzw. 8 Watt.

Die Stromstärke in der Nebenschlußwicklung wurde bei 110 Volt zu 0,0185 Amp. gemessen, woraus sich ein Wattverbrauch von 2,035 ergibt.

Insgesamt ist demnach der Eigenverbrauch des Zählers bei Vollast:

$$8 \text{ Watt} + 2,035 \text{ Watt} = \sim 10 \text{ Watt.}$$

Ad 5. Den Einfluß der Temperaturerhöhung infolge von Dauerbelastung ersieht man aus der graphischen Darstellung, in welcher die Punkte der aufsteigenden Meßreihe dem kalten Zustande des Zählers, diejenigen der absteigenden Meßreihe dem warmen Zustande entsprechen. Die maximale gemessene Abweichung in den Angaben infolge Erwärmung betrug bei den Versuchen nur 0,7 Proz.

Ad 6. Um den Einfluß der Spannungsänderungen auf die Angaben des Zählers zu prüfen, wurden Messungen bei 100,2 und 122,8 Volt vorgenommen. Bei dieser hohen Spannungsänderung um etwa 20 Proz.

und Vollast (10 Amp.) wurde eine Gesamtschwankung in den Angaben von 2,5 Proz. festgestellt; es sei jedoch hierzu bemerkt, daß die im praktischen Betriebe vorkommenden Spannungsschwankungen bedeutend geringer (etwa 3 Proz.) sind.

Ad 7. Bei Ausschaltung des Verbrauchsstromkreises sowie bei plötzlicher Einschaltung der Spannungsspule ergab sich kein Leerlauf, sondern der Anker blieb in jeder Lage sofort stehen. — Aus den sub 1. bis 7. beschriebenen Prüfungen resultiert:

1. Der Anlauf des Zählers sowie der dauernde Weiterlauf erfolgt mit Sicherheit bei 10,56 Watt oder bei 0,96 Proz. der Vollbelastung (10 Amp.).

2. Die Zählerangaben zeigen von 2 bis 7 Proz. der Vollast maximal 6 Proz. und minimal 1,5 Proz. Fehler und innerhalb der gewöhnlichen Gebrauchsgrenzen von 10 bis 100 Proz. der Vollast nicht über $\pm 2,3$ Proz. Fehler, während bei Überlastung von 25 Proz. der maximale Fehler 4 Proz. nicht überschreitet. Auch dieses Resultat genügt den Anforderungen der Praxis vollauf.

3. Der Eigenverbrauch ist bei 110 Volt und Vollast für die Hauptstromspulen etwa 8 Watt, für die Nebenschlußspulen etwa 2 Watt, insgesamt etwa 10 Watt, d. h. 0,91 Proz. der Vollast.

4. Der Einfluß der Erwärmung infolge von Dauerbelastung des Zählers ist gering (maximal 0,7 Proz. Abweichung in den Angaben).

5. Die hohen Spannungsänderungen von 10 Proz. nach oben und 10 Proz. nach unten haben nur geringen Einfluß auf die Angaben.

6. Der Zähler zeigt keinen Leerlauf.

Untersuchung eines Gleichstrom-Motorzählers der ehemaligen Union Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin für 110 Volt und 15 Amp.

Die Untersuchungen des Zählers erstreckten sich auf die gleichen Punkte wie bei dem vorstehend beschriebenen Flügel-Wattstundenzähler und wurden in derselben Weise durchgeführt. Als Konstante war auf dem Gehäuse angegeben: 1 Umdrehung = 0,35 Wattstunden. Die vom Verfasser vorgenommenen Untersuchungen hatten folgende Ergebnisse:

1. Ein längerer Versuch, bei welchem die Umdrehungen der Scheibe sowie die Zifferblätter beobachtet wurden, bestätigte die Beziehung: 1 Umdrehung = 0,35 Wattstunden (Zifferblattangabe).

2. Die Empfindlichkeitsversuche wurden bei 110 Volt durchgeführt. Der Anlauf aus den meisten Stellungen des Ankers erfolgte schon bei minimalen Stromstärken; bei 0,12 Amp., d. h. bei 0,8 Proz. der Vollast, lief der Zähler in allen Stellungen an und sicher weiter; die Umdrehungsgeschwindigkeit innerhalb einer Tour war noch ungleichmäßig.

3. Die Werte der Eichung sind nachstehend tabellarisch und graphisch dargestellt.

Mittlere Spannung Volt	Mittlere Strom- stärke Amp.	Elektrische Energie Watt	Eingeleitete Angezeigte Energie	Pro- zentualer Fehler Proz.	Bemerkungen
110	0,198	21,78	0,790	+ 21,0	
110	0,400	44,00	0,868	+ 13,2	
110	0,511	56,21	0,896	+ 10,4	
110	0,615	67,65	0,922	+ 7,8	
110	0,830	91,30	0,940	+ 6,0	
110	0,920	101,20	0,948	+ 5,2	
110	1,098	120,78	0,955	+ 4,5	
110	1,440	158,40	0,970	+ 3,0	
110	2,000	220,00	0,983	+ 1,7	
110	3,020	332,20	0,986	+ 1,4	
110	5,420	596,20	0,997	+ 0,3	
110	6,800	748,00	0,997	+ 0,3	
110	10,000	1100,00	1,005	— 0,5	
110	12,000	1320,00	1,005	— 0,5	
110	15,000	1650,00	1,010	— 1,0	
110	18,200	2002,00	1,005	— 0,5	
110	15,000	1650,00	1,001	— 0,1	
110	12,000	1320,00	1,001	— 0,1	
110	10,000	1100,00	1,004	— 0,4	Messungen nach
110	6,900	759,00	0,990	+ 0,1	zweistündiger
110	5,000	550,00	0,995	+ 0,5	Belastung mit
110	3,020	332,00	0,989	+ 1,1	normaler Strom-
110	1,920	221,20	0,974	+ 2,6	stärke (15 Amp.).

Die Spannung war konstant 110 Volt. Als Abszissen sind die Stromstärken und als Ordinaten das Verhältnis

$$\frac{\text{Eingeleitete Energie}}{\text{Angezeigte Energie}}$$

aufgetragen (s. Fig. 172).

4. Der Spannungsabfall in der Hauptstromspule betrug bei 15 Amp. 0,5925 Volt, der Energieverlust $0,5925 \times 15 = 8,89$ Watt.

Die Stromstärke in der Nebenschlußwicklung war bei 110 Volt 0,027 Amp., danach der Wattverbrauch 2,97.

Insgesamt ist somit der Eigenverbrauch des Zählers bei Vollast:

$$8,89 \text{ Watt} + 2,97 \text{ Watt} = \sim 11,9 \text{ Watt.}$$

5. Der Einfluß der Erwärmung durch Dauerbelastung ist, wie die graphische Darstellung erkennen läßt, gering; sie hat nach den Versuchsergebnissen eine maximale Abweichung in den Zählerangaben von 0,9 Proz. zur Folge.

6. Um den Einfluß der Spannungsschwankungen zu ermitteln, wurden Messungen bei 99,8 Volt und 122,5 Volt vorgenommen. Bei dieser hohen Spannungsänderung um etwa 20 Proz. und bei Vollast

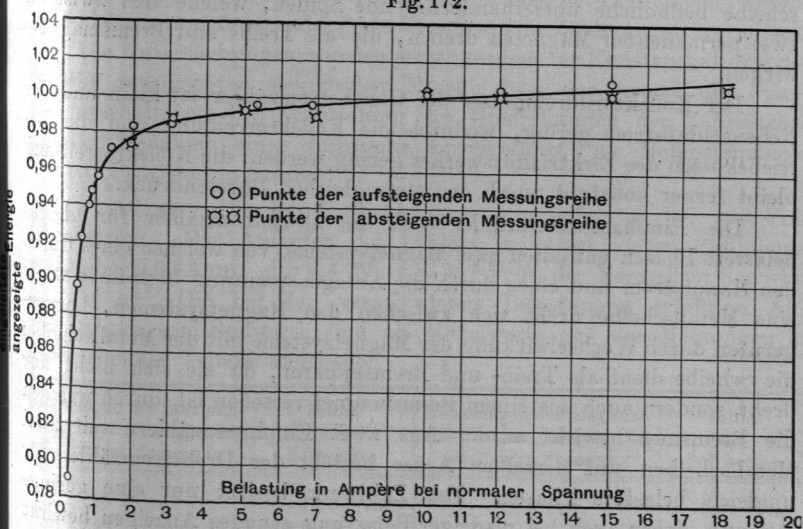
(15 Amp.) wurde eine Gesamtschwankung der Resultate um weniger als 2 Proz. festgestellt; die gleiche Untersuchung für halbe Belastung ergab eine Gesamtschwankung von 1,6 Proz.; die im normalen Betriebe vorkommenden Spannungsschwankungen sind jedoch viel geringer als die beim Versuche herbeigeführten.

7. Bei Ausschaltung des Verbrauchsstromkreises sowie bei plötzlicher Einschaltung der Spannungsspule ergab sich kein Leerlauf, und blieb der Anker sofort stehen.

Hiernach läßt sich das Ergebnis der Prüfungen im nachstehenden zusammenfassen:

1. Der Anlauf des Zählers erfolgt mit Sicherheit bei 0,12 Amp., d. h. bei 0,8 Proz. der Vollast.

Fig. 172.



2. Die Angaben des Zählers zeigen nur in den unteren Grenzen größere Abweichungen vom Sollwerte und zwar von 7 bis 25 Proz. der Vollast einen maximalen Fehler von 5 Proz., während von 25 Proz. der Vollast bis 25 Proz. Überlastung die Fehler weniger als 1 Proz. betragen; gegenüber diesen günstigen Ergebnissen in den mittleren und oberen Grenzen spielen die größeren Abweichungen in den untersten Grenzen keine Rolle.

3. Der Eigenverbrauch ist bei 110 Volt und Vollast für die Hauptstromspulen 8,89 Watt, für die Nebenschlußspulen 2,97 Watt, insgesamt rund 11,9 Watt.

4. Der Einfluß der Erwärmung durch Dauerbelastung ist unbedeutend (maximal 0,7 Proz. Abweichung in den Angaben).

5. Spannungsänderungen um 10 Proz. nach oben und unten — welche übrigens für normalen Betrieb bei weitem nicht erreicht werden — haben sehr geringen Einfluß auf die Zählerangaben.

Die Isaria-Zählerwerke in München bauen Gleichstrom-Wattstunden-, Amperestunden- und Wechselstromzähler.

Das System des Gleichstromzählers beruht auf dem elektro-dynamischen Prinzip. Durch Hauptstromsolenoiden wird das Magnetfeld und durch drei Spannungsspulen der rotierende Anker gebildet; drei Enden der Spannungsspulen gehen an die Kollektorlamellen. Neben dem Anker ist eine Aluminiumscheibe angeordnet, welche auf magnetischem Wege die Bremsung des Ankers herbeiführt. Zur Eliminierung der Reibung bei niedriger Belastung dient eine Hilfsspule. Das Gewicht des Ankers ist sehr gering und die Achse des Ankers läuft unten mit einem Kugelpapfen auf poliertem Edelsteinlager.

Der Anker des Amperestundenzählers hat drei auf einer Aluminiumscheibe befindliche übereinanderliegende Spulen, welche sich zwischen zwei permanenten Magneten drehen, die als Treib- und Bremsmagnete wirken.

Der Kollektordurchmesser der Gleichstromzähler ist klein und der Nebenschlußstrom gering, wodurch die Kollektorreibung und die Betriebskosten des Elektrizitätswerkes gering werden; die Kollektorreibung bleibt ferner konstant durch den stets gleichen Bürstendruck.

Die Einphasenstromzähler und die Drehstromzähler für gleichbelastete Phasen enthalten zwei Magnetsysteme, von welchen eines durch den Hauptstrom und eines durch die Anlagenspannung beeinflusst wird; eine Metallscheibe dreht sich zwischen den Magnetsystemen, hervorgerufen durch Wechselwirkung der Magnetsysteme mit der Metallscheibe; die Scheibe dient als Treib- und Bremsapparat, da sie sich nicht nur dreht, sondern auch mit einem Bremsmagnet versehen ist, durch welchen die Bremsung bewirkt wird. Aus zwei Einphasenzählern mit zwei Metallscheiben auf derselben Achse besteht der Drehstromzähler für ungleich belastete Phasen. Das Zählwerk besitzt nur eine geringe Reibung, daher auch bei niedriger Belastung genaues Anzeigen bewirkt wird. — Ich gebe im folgenden einige von mir angestellte Prüfungen an neuen Zählertypen der Isaria-Werke.

Untersuchung:

- I. eines Isaria-Gleichstromwattstundenzählers Modell E. R. Nr. 56149 für 10 Amp., 120 Volt, 3600 Umdrehungen pro Kilowattstunde;
- II. eines Isaria-Wechselstromzählers Modell W. E. Nr. 81079 für 2×5 Amp., 2×110 Volt, 50 Perioden, 3000 Umdrehungen pro Kilowattstunde.

Die von mir vorgenommenen Untersuchungen bezogen sich:

- a) Auf Ermittlung der Empfindlichkeit des Zählers.
- b) Auf Bestimmung der Abweichungen der Zählerangaben vom Sollwert bei Belastungen von etwa 10, 25, 50, 100 und 125 Proz.

c) Auf Festlegung des Spannungsabfalles und der Energieverluste der Hauptstrom- und Nebenschlußstromspule.

d) Auf die Einwirkung der Betriebsdauer auf die Zählerangaben durch die vorausgegangene Erwärmung des Zählers bei Vollast und 10 Proz. der Normalbelastung.

e) Auf den Einfluß der Zählerangaben durch Spannungsschwankungen bzw. Überspannungen.

f) Auf die Bestimmung etwaigen Leerlaufens bei Ausschaltung des Verbrauchsstromkreises und Einschaltung des Nebenschlusses, sowie bei Erschütterungen des Zählers.

g) Auf den Einfluß der Zählerangaben bei unrichtiger Montage des Zählers.

h) Ferner wurde bei dem Wechselstromzähler der Einfluß von Phasenverschiebung und abnormaler Periodenzahl auf die Zählerangaben ermittelt.

Die Untersuchungen wurden unter tunlichster Konstanthaltung der jeweilig gewünschten elektrischen Energie bzw. der Strom- und Spannungsverhältnisse bei Ermittlung der Umdrehungen der Zählerachse mit Zuhilfenahme einer Springuhr durchgeführt; als Meßinstrumente dienten Präzisionsapparate.

I. Ad a). Die Empfindlichkeitsversuche erfolgten bei 120 Volt Gleichstrom. Das Anlaufen des Zählers in verschiedenen Stellungen wurde bei 0,07 Amp., also 8,4 Watt $\sim$ 0,7 Proz. der Normallast bewirkt.

Ad b). Die bei den verschiedenen Belastungen erfolgten Abweichungen vom Sollwerte sind als Mittelwerte aus den Messungen in nachstehender Tabelle angegeben:

Belastungen der maximal- elektrischen Energie bei konstanter Spannung	Fehler des Sollwertes	Belastungen der maximal- elektrischen Energie bei konstanter Spannung	Fehler des Sollwertes
10 Proz.	— 1,10 Proz.	75 Proz.	— 0,70 Proz.
25 "	+ 0,10 "	100 "	— 0,15 "
50 "	— 1,00 "	125 "	— 1,00 "

Ad c). Der Spannungsabfall bzw. der Energieverlust in der Haupt- und Nebenschlußspule wurde bei 120 Volt und 10 Amp. zu

7,20 bzw. 2,16 Watt,

somit in Summa 9,36 Watt, also rund 0,78 Proz. der Normalbelastung bestimmt.

Ad d). Um den Einfluß der Erwärmung festzustellen, wurden nach zweistündiger Dauerbelastung mit 100 Proz. der Vollast Messungen vorgenommen, welche nachfolgende Werte ergaben:

Belastung	Fehler des Sollwertes
100 Proz.	— 0,2 Proz.
10 "	— 0,4 "

Ad e). Den Einfluß verschiedener Spannungen, Über- und Unterspannungen auf die Abweichungen vom Sollwert zeigen folgende Werte:

Belastung	Spannung	Fehler des Sollwertes
etwa 50 Proz.	132 Volt	— 0,2 Proz.
„ 50 „	108 „	— 0,4 „

Ad f). Der Zähler bei Ausschaltung des Verbrauchsstromkreises, sowie bei plötzlicher Einschaltung der Spannungsspule zeigte keinen Leerlauf; nur bei starken Erschütterungen erfolgte ein momentaner kurzer Anlauf.

Ad g). Um den Einfluß der Aufhängung in schiefer Lage auf den Sollwert der Zählerangaben zu ermitteln, wurde der Zähler in schräger Lage etwa um 20° gegen die Vertikale aufgehängt und betrug der Fehler der Zählerangaben bei 50 Proz. der Normalbelastung nur — 0,2 Proz.

II. Ad a). Bei der normalen Spannung lief der Zähler schon bei etwa 5 Watt rund 0,45 Proz. der Vollast sicher an.

Ad b). Die Werte der Prüfung bei verschiedenen Belastungen und $\cos \varphi = 1$ sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt:

Belastungen der maximal- elektrischen Energie bei konstanter Spannung	Fehler des Sollwertes	Belastungen der maximal- elektrischen Energie bei konstanter Spannung	Fehler des Sollwertes
125 Proz.	— 0,46 Proz.	75 Proz.	+ 0,46 Proz.
100 „	— 0,10 „	25 „	+ 0,45 „
50 „	+ 0,85 „	10 „	— 0,52 „

Ad c). Der Eigenverbrauch ist bei der Normalspannung und Vollast für die Hauptstromspule und die Nebenschlußspule insgesamt 1,85 Watt gleich rund 0,17 Proz.

Ad d). Der Einfluß der Erwärmung kann bei diesem Zähler kaum eine Rolle spielen, weshalb nähere Untersuchungen nicht vorgenommen wurden.

Ad e). Der Fehler in Prozenten des Sollwertes bei Überspannungen bis zu etwa 25 Proz. betrug nur etwa — 0,45 Proz.

Ad f). Ein Leerlauf des Zählers erfolgte selbst bei 30 Proz. Überspannung und Erschütterungen nicht. Bei Ausschaltung des Verbrauchsstromkreises kam der Zähler sofort zum Stillstand.

Ad g). Die schräge Aufhängung — um etwa 15 bis 20° gegen die Vertikale — hatte keine besondere Einwirkung auf die Zählerangaben. Bei 50 Proz. Belastung war die Abweichung vom Sollwert + 0,6 Proz.

Ad h). Die Versuche bei verschiedenen Periodenzahlen und induktionsfreier Belastung ergaben bei 50 Proz. Belastung und 45 bzw. 55 Perioden nur Fehler von 0,16 bzw. 0,60 Proz. Ebenfalls gaben die Messungen bei Vollast und $\cos \varphi = 0,8$ bzw. 0,5 ein befriedigendes Resultat; der Fehler in Prozenten des Sollwertes betrug in beiden Fällen nur etwa + 0,3 Proz.

Schlußresultat.

Aus den Untersuchungen sub a bis g bzw. a bis h geht hervor, daß die Hauptmomente für gute Zähler, nämlich: kein Leerlauf, geringer Eigenverbrauch, geringe Reibungswiderstände bzw. große Empfindlichkeit für niedrige Ströme, geringe Beeinflussung der Erwärmung und der Spannungsschwankungen bzw. der Phasenverschiebungen, Periodenzahlen und geringe Abweichungen vom Sollwerte in weiten Grenzen der Belastung, sowie gute Durchführung der Konstruktionen in technischer Beziehung vorhanden sind.

T. Beispiele für Gesamtprüfungen und Abnahmen in Zentralstationen.

Erstes Beispiel.

Abnahmeversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen der von der E. A. G. vorm. Schuckert u. Co. erbauten elektrischen Zentrale Regensburg.

Daten und Garantien der Flammenrohr-Dampfkesselanlage von J. A. Maffei, München.

1. Die gesamte wasserberührte Heizfläche: 90 qm.
2. Die totale Rostfläche: 2,5 qm.
3. Betriebsüberdruck: 9,5 Atm.
4. Verfeuerte Kohlensorte: „Austria-Würfel II“.
5. Mit 1 kg Kohle brutto von 6600 Kalorien sind bei normaler und maximaler Beanspruchung 7,7 kg Wasser von 0° C in Dampf von 600 Kalorien Erzeugungswärme garantiert.
6. Der Wirkungsgrad des Kessels, d. h. das Verhältnis der Gesamtwärme des erzeugten Wasserdampfes zu der Gesamtwärme der Kohle — und zwar brutto — soll 70 Proz. bei 2 Proz. Toleranz betragen. (Forderung 6. ist identisch mit Forderung 5., wie folgender Zusammenhang der Ziffern unter 5. und 6. zeigt:

$$\frac{600 \text{ Kal.} \times 7,7}{6600 \text{ Kal.}} = 0,70.)$$