



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut

Elektrizitätszähler-Kabinett

Begleitheft zum Ausstellungsbesuch





Inhaltsverzeichnis

Gebrauchsanweisung	5
Hinweise zu energiemesstechnischen Begriffen.....	6
Übersicht zu den Zählerarten	9
Quellen.....	90

Liebe Gäste,

das Elektrizitätszähler-Kabinett beherbergt das umfangreichste Museum für Elektrizitätszähler in Deutschland. Im Ausstellungsraum sind insgesamt ca. 700 Exponate untergebracht. Darunter befinden sich etwa 50 Leihgaben des Deutschen Museums Münchens, das uns wichtige Meilensteine der Zählergeschichte seit 2003 freundlicherweise zur Verfügung stellt. So können Sie bei uns an historischen Originalen die gesamte Entwicklungsgeschichte der Elektrizitätsmessgeräte von ihren Anfängen in den 1880er Jahren bis hin zu den Smart Metern heutiger Zeit verfolgen.

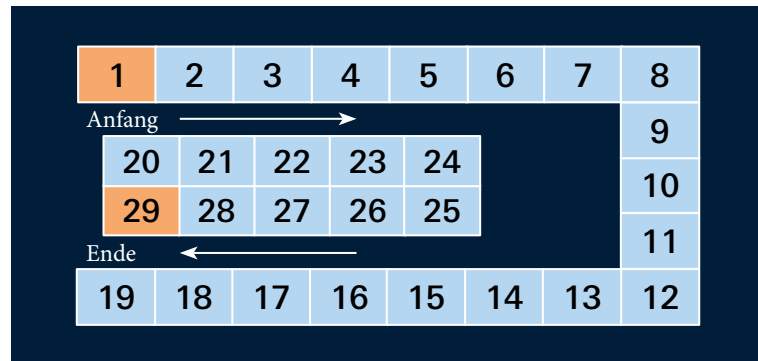
Warum aber eine Ausstellung von Technik der Vergangenheit in einer für Gegenwart und Zukunft arbeitenden Forschungseinrichtung wie der PTB? Hier die wichtigsten Gründe:

1. Die Problemlösungsideen früherer Zeiten können im Zusammenhang mit heutigen Werkstoffen und Herstellungsmethoden auch für die moderne Metrologie inspirierend sein.
2. Die Betrachtung von technischen Evolutionsvorgängen über längere Zeiträume lassen Gesetzmäßigkeiten von Abläufen erkennen. Das Verstehen, wie und warum sich manche Vorgänge wiederholen und welche lange Zeiträume technische Entwicklungen mitunter benötigen, kann auch in der Gegenwart planen helfen.
3. Digitalisierung ist eine gute Sache. Als Beweise ihrer tatsächlichen Existenz bedarf es allerdings immer noch der Dinge selbst. Das ist unverändert einer der Hauptgründe, warum z. B. Handschriften von Schiller und Beethoven nicht weggeworfen werden und die Menschen nicht aufhören, Archive und Museen zu betreiben. Messtechnische Apparate als Artefakte von Ingenieurkunst haben eine Behandlung als Kulturerbe nicht weniger verdient als andere Zeugnisse menschlichen Könnens.
4. Mit Messtechnik Beschäftigten kann es zusätzlichen Ansporn im beruflichen Alltag geben, sich bei der Auseinandersetzung mit Technikgeschichte als Teil eines geschichtlichen Ganzen zu erkennen. Geschichte ist im Übrigen auch eine gute Wissenschaftsdisziplin, um zu erkennen, wie wichtig es ist, Information möglichst genau und unverfälscht weiterzugeben. Diese Zielsetzung ist eine der Beschäftigung mit Geschichte wie auch der Metrologie Sinn gebende Gemeinsamkeit.
5. Schließlich ist es natürlich auch erlaubt, sich einfach nur am Schönen des Industriedesigns und der feinwerktechnischen Messgeräte-Baukunst früherer Zeiten zu erfreuen – zur Erholung und Entspannung.

Aber ganz gleich, ob diese oder andere Gründe Sie in unser Elektrizitätszähler-Kabinett geführt haben: In jedem Fall wünschen wir gute Unterhaltung und wertvolle Anregungen beim Gang durch die Ausstellung.

Gebrauchsanweisung

In der Ausstellung finden Sie 29 Vitrinenbereiche. Die Vitrinen 1 bis 19 sind als grüne Tafeln hinter großen Schauscheiben ausgeführt. Die Vitrinen 20 bis 29 sind in einer Zweierreihe in der Raummitte aufgestellt. Einen Rundgang durch die Ausstellung beginnen Sie am besten nach dem Betreten des Raumes auf der linken Seite mit der Vitrine 1 und wandern dann in einer Schleife im Uhrzeigersinn durch die Gänge bis zur Vitrine 29. So folgen Sie weitgehend chronologisch der Entwicklungsgeschichte der Zähler von Edisons erstem Strommessgerät aus dem Jahre 1881 bis hin zu den heutigen Smart Metern.



Technikgeschichtlich besonders interessante Exponate sind in den Vitrinen mit kleinen, nummerierten Schildchen versehen. Auf diesen Schildchen finden Sie kurze Texte und Referenznummern (z. B. 05) zu Erläuterungen in diesem Begleitheft. Dabei folgen die Beschreibungen dem empfohlenen, schleifenförmigen Rundgang von Vitrine Nr. 1 bis Nr. 29. Die Reihenfolge der Stationen ist nochmals auf der inneren hinteren Umschlagseite zusammengestellt.

Hinweise zu energiemesstechnischen Begriffen

Das Elektrizitätszähler-Kabinett richtet sich an Gäste aus allen Lebensbereichen. Es erlaubt sich deshalb eine Mischung aus Alltagssprache, Vereinfachungen und exakter Fachsprache. Für Fachleute, die auf Genauigkeit in der technischen Sprache besonderen Wert legen, empfiehlt sich in Zweifelsfällen, im „Internationale Elektrotechnischen Wörterbuch der IEC: IEV“ nachzublättern. Es ist beim VDE „Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.“ auf dessen Webseiten frei verfügbar. Für die Gäste, die aus anderen Arbeitsbereichen als der Elektrotechnik in die Ausstellung kommen, nachfolgend zur Orientierung ein paar vereinfachende Erläuterungen zu in dieser Broschüre verwendeten Begriffen:

Spannung, Strom, Widerstand

Die SPANNUNG schafft die Grundvoraussetzung für die elektrische Energieversorgung im Haus. Die Einheit dieser Größe ist das Volt (V). Die Höhe der Netzspannung an den häuslichen Steckdosen beträgt nominell 230 V und ändert sich praktisch zeitlich nicht.

STROM fließt an der häuslichen Steckdose, wenn an sie eine Last angeschlossen wird. Die Einheit der Stromstärke ist das Ampere (A). Die elektrotechnische Bezeichnung für die Last ist WIDERSTAND. Die Einheit des Widerstandes ist das OHM (Ω). Die Stärke des Stromes ist also abhängig von den angeschlossenen Lasten und kann deshalb zeitlich sehr stark schwanken – von null A bis zu mehreren 10 A (in durchschnittlichen Haushalten). Aus dieser großen Schwankungsbreite ergeben sich besondere Anforderungen an das Messgerät Elektrizitätszähler. Er muss über den gesamten großen Strombereich möglichst richtig messen, ohne dass jemand wie bei einem Labormessgerät bedarfsweise eine Bereichsumschaltung vornehmen könnte.

Gleichstrom, Wechselstrom – Gleichspannung, Wechselspannung

GLEICHSTROM ist elektrischer Strom, dessen Stromstärke zeitunabhängig ist. In Anlehnung an die englische Bezeichnung wird für diese Stromart auch oft die Abkürzung DC verwendet.

WECHSELSTROM ist elektrischer Strom, dessen Stromstärke eine periodische Funktion der Zeit ist. In Anlehnung an die englische Bezeichnung wird für diese Stromart auch oft die Abkürzung AC verwendet.

Für Spannungen gilt dieser Unterschied „Wechsel“ und „Gleich“ sinngemäß. Die Abkürzungen DC und AC werden auch für Spannungen verwendet.

In den deutschen Versorgungsnetzen für die Haushalte ist in heutiger

Zeit die periodische Funktion nominell eine sinusförmige Schwingung mit der Frequenz 50 Hz. Zu Beginn der gewerblichen, öffentlichen Stromversorgung im 19ten Jahrhundert wurde dagegen überwiegend Gleichstrom bereitgestellt. Deshalb sind aus der Zeit vor 100 Jahren und früher besonders zahlreich Gleichstromzähler im Elektrizitätszähler-Kabinett zu finden. Der mehr oder weniger vollständige Übergang zur Wechselstromversorgung erfolgte erst nach dem Zweiten Weltkrieg.

Wirkleistung, Leistung

Die WIRKLEISTUNG ist ein Maß dafür, wie viel elektrische Energie pro Zeit aus dem Versorgungsnetz in den Haushalt geliefert und dort von den Lasten aufgenommen wurde. Physikalisch ergibt sich die Wirkleistung als Produkt aus Spannung und Stromstärke. Die Einheit der Wirkleistung ist das Watt (W). Im allgemeinen Sprachgebrauch wird die „Wirkleistung“ oft verkürzt einfach als „Leistung“ bezeichnet.

Blindleistung, Scheinleistung, Phasenverschiebung

Bei der Versorgung mit Wechselstrom gibt es in der Regel eine Verschiebung zwischen dem zeitlichen Verlauf der Spannung und des Stromes. In der Fachsprache wird das auch als „Phasenwinkel“ oder „Phasenverschiebung“ bezeichnet. Die Ursache dafür ist, dass die in das Haus gelieferte Energie dort in der Regel nicht vollständig „verbraucht“, sondern ein Teil davon kurzzeitig in den Lasten gespeichert und von dort wieder an das Netz zurückgegeben wird. Durch dieses periodische Oszillieren fließt ohne energetischen Nutzen Strom im Netz. Blindleistung und Scheinleistung sind physikalische Konventionen, um dieses Phänomen messbar und mit Zahlen bewertbar zu machen. Bei der Bereitstellung von Leistung zur Versorgung von Haushalten spielen Blindleistung und Scheinleistung für die Abrechnung in der Regel keine Rolle. Auf weitere physikalische Einzelheiten zu diesen Konventionen muss an dieser Stelle verzichtet werden, da sonst ein längerer Ausflug in die theoretische Elektrotechnik unvermeidlich würde.

Arbeit, Energie, Elektrizität, Verbrauch, Coulomb

ARBEIT ist die physikalische Größe, die vom Elektrizitätszähler im Haushalt gemessen und für die Stromrechnung herangezogen wird. Die Einheit der Arbeit ist das Joule (J) oder im Zusammenhang mit der elektrischen Energieversorgung die Kilo-Wattstunde (kWh). Der Messwert für die elektrische Arbeit entsteht durch zeitliches Integrieren der elektrischen Leistung. Auch der physikalischen Größe ENERGIE ist die Einheit kWh zugeordnet. Im Alltag werden oft die Begriffe Arbeit und Energie im gleichen Sinne verwendet. Definitionsgemäß ist „Arbeit“ jedoch die richtige Bezeichnung für solche Energie, die

Übersicht zu den Zählerarten

übertragen wird. Der Elektrizitätszähler ist also eigentlich genau gesprochen ein Arbeitszähler. Die Bezeichnungen „Stromzähler“, „Energiezähler“, „Verbrauchszähler“, und „Elektrizitätszähler“ haben sich dennoch etabliert.

Am besten durchgesetzt hat sich der Begriff „Elektrizitätszähler“. Dieses Wort wurde bereits im 19ten Jahrhundert eingeführt. Damals war der Begriff „Energie“ und die Erkenntnis, dass Elektrizität eine Energieform ist, noch relativ neu. Vor allem die beiden Briten James Prescott Joule und William Thomson, der spätere Lord Kelvin, waren hierzu Mitte des 19ten Jahrhunderts die Vorreiter. Im ausgehenden 19ten Jahrhundert sprachen Wissenschaftler und Ingenieure aber immer noch lieber von „Elektrizitätsmengen“ als von Energie oder Arbeit. Zur Messung der Elektrizitätsmengen erachtete man es wegen der weitgehend konstanten Netzspannung und der Abwesenheit von Phasenverschiebungen in den damals üblichen Gleichstromnetzen als ausreichend an, nicht Stromstärke und Spannung zu multiplizieren, sondern nur die Stromstärke über die Zeit zu integrieren. Die Anzeige-Einheit der Zähler aus der Zeit ist deshalb in der Regel die Ampere-stunde (Ah), für die auch der Einheitenname „Coulomb“ üblich war. Heute steht die Einheit Coulomb für eine Amperesekunde (As), ist der Größe „Elektrische Ladung“ zugeordnet und hat mit der Elektrizitätsmenge mit einer interessanten Ausnahme nichts mehr zu tun. Die Ausnahme betrifft die in Batterien gespeicherte Energie. Sie wird in der Regel wegen der weitgehend konstanten Spannung, immer noch – wie im 19ten Jahrhundert – über eine Elektrizitätsmenge mit der Einheit Ah charakterisiert.

Es läuft beim Elektrizitätszähler-Kabinett immer auf dasselbe hinaus: Die Beschäftigung mit der Technikgeschichte lässt die Zusammenhänge zwischen Vergangenheit und Zukunft verstehen und das Verstandene nützlich verwenden.

In rund eineinhalb Jahrhunderten Geschichte der Elektrizitätszähler haben die Messgeräte-Entwickler eine Vielzahl unterschiedlicher Gerätetypen entwickelt, die sich vor allem in den Merkmalen „Messwerke“, „Tariffunktionen“ und „Anwendungsfälle“ unterscheiden. Beim Gang durch die Ausstellung lässt sich diese Systematik erkennen und hilft beim Verstehen der gesamten Genese der elektrischen Messtechnik. Deshalb zum Ende der einleitenden Erläuterungen dieser Broschüre nachfolgend ein zusammenfassender Überblick über die Gerätearten:

Messwerke

- Zähler nach elektrolytischem Prinzip (für DC-Ah)
- Pendel-Zähler (für DC und AC, für Ah und Wh)
- Elektrizitätszähler mit einem Uhrwerk, das den Ausschlag eines elektrischen Mess-instrumentes periodisch registriert (für DC und AC, für Ah und Wh bzw. kWh)
- Motor-Zähler mit Bürste und Kollektor
 - a. auf magnet-elektrischem Prinzip beruhend (für DC-Ah)
 - b. auf dynamometrischem Prinzip beruhende Gleich- und Wechselstrom-Wattstunden-Zähler mit und ohne Eisen als Rotationszähler oder Wendemotor-Zähler, auch Oszillationszähler genannt (für DC und AC, für Ah und Wh)
- Motorelektrizitätszähler beruhend auf dem Induktionsprinzip nach Ferraris
 - a. als Einphasen-Zähler (auch „Wechselstromzähler“ genannt)
 - b. als Mehrphasen-Zähler (auch „Drehstromzähler“ genannt)
- Elektronische Zähler
 - a. in Varianten mit Stromsensoren: Nach dem Induktionsprinzip, mit Hall-Effekt-Prinzip oder Shunt-Prinzip
 - b. in Varianten mit integrierenden Multiplizierern: Nach dem Time-Division-Prinzip, nach dem Hall-Prinzip oder unter Verwendung handelsüblicher Analog-Digital-Wandler und Mikroprozessoren



Tarifwerke

- Blindverbrauch- und Scheinverbrauch-Messwerke
- Doppeltarif- und Mehrtarifwerke
- Maximumwerke
- Überverbrauch-Messwerke
- Lastgang-Messwerke (Abspeichern von Arbeitswerten in 15-Minuten-Abständen zur weiteren Tarifierung beim Energieversorgungsunternehmen nach Fernauslesung)
- Kassierwerke (Münzen, Wertmarken, Token, Gutscheincodes)
- Zeitzähler, Überstromabschalter
- Umlaufzähler

Anwendungsfälle

- Direktanschluss-Zähler

So werden Zähler bezeichnet, deren Spannungsmess-Anschlüsse direkt an die Netzspannung und deren Stromstärkemess-Anschlüsse direkt in den Stromkreis geschaltet werden. Solche Messgeräte werden überwiegend für die Messungen in privaten Haushalten verwendet und führen daher alltagssprachlich auch oft die Bezeichnung „Hauszähler“)

- Messwandler-Zähler

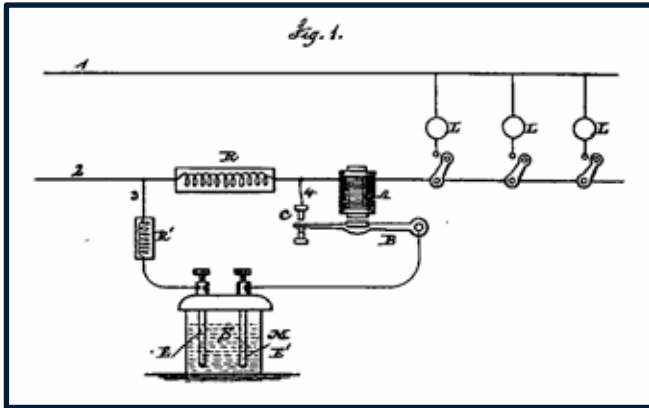
So werden Zähler bezeichnet, deren Spannungsmessanschlüsse und/oder Stromstärkemess-Anschlüsse über Messtransformatoren, sogenannte Messwandler, angeschlossen werden. Solche Messgeräte werden überwiegend für die Messungen bei gewerblichen Energiekunden mit großem Energiebedarf verwendet.

- Zähler für Ladesäulen im Anwendungsbereich Elektromobilität
- Zähler für den Anwendungsbereich Bahn, auf Fahrzeugen oder in Umspannstationen.

01 Edison: Elektrolytischer Zähler (1881)

Der Edison-Zähler gilt als erstes industriell hergestelltes Stromverbrauchsmessgerät der Welt. Das hier ausgestellte Exemplar hat T. A. Edison seinem Freund Oskar von Miller, dem Gründer des Deutschen Museums Museum, für die dortige Ausstellung geschenkt.

In den Kolben befand sich eine elektrolytische Flüssigkeit, durch die der zu messende Strom floss. Durch den Galvanisierungseffekt wurde auf der einen Elektrode Material auf, auf der anderen abgetragen. Der Gewichtsunterschied war ein Maß für die gemessenen Amperestunden. Für die Wägung musste ein Kolben ausgebaut und in die Prüfstelle des Versorgungsunternehmens verbracht werden. Als großer Nachteil erwies sich die fehlende Anzeige für den Verbraucher, bei dem das Messgerät eingebaut war. Um die Richtigkeit der Messwerte gab es deshalb nicht selten Streit.



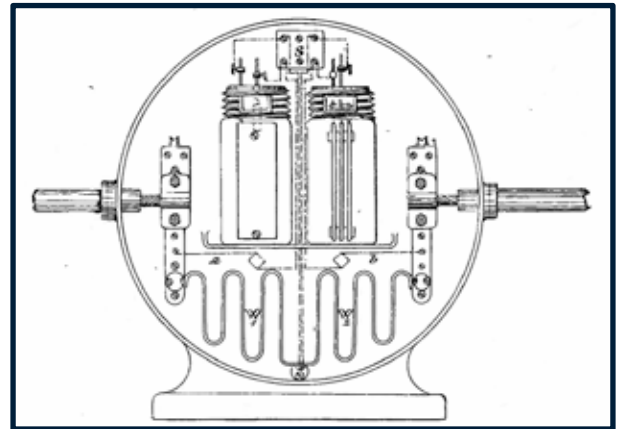
Innenschaltung des elektrolytischen Zählers; aus Edisons richtungweisende Patentanmeldung [DE 20823]

02 Rathenau: Nachbau des Edison-Zählers (ca. 1885)

Eine zentrale Persönlichkeit in Deutschlands Geschichte der Elektrotechnik war der Unternehmer Emil Rathenau (1838-1915). Er besuchte 1881 die erste große elektrotechnische Ausstellung Europas in Paris. Dort stellte Edison sein System zur Versorgung der Bevölkerung mit elektrischem Licht als Alternative zum Gas-Licht vor. Zu dem System gehörten auch die elektrolytischen Strommesser. Rathenau erwarb die Lizenzen für Edisons Patente und gründete in Berlin die „Deutsche Edison Gesellschaft“, aus der später die Weltfirma AEG wurde. Die in Berlin eingeführten Edison-Zähler waren anders als die amerikanischen mit runden Gehäusen ausgeführt.

Originale dieser Messgeräte sind, soweit bekannt, nicht mehr erhalten. Es gibt nur zeichnerische Darstellungen aus dem 19ten Jahrhundert. Das

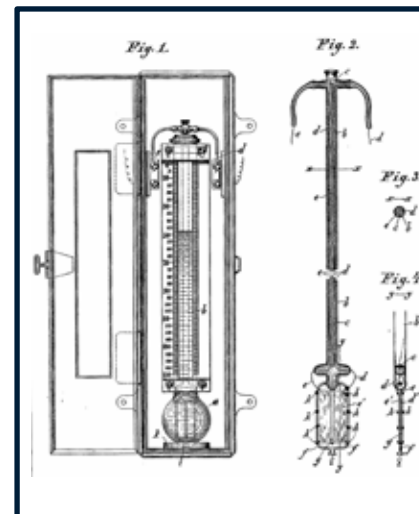
hier gezeigte Exponat ist ein von den Stadtwerken München übernommener Nachbau nach diesen Zeichnungen. Wann er entstand, ist unklar. Das Deutsche Museum München DMM hat in den 1990er Jahren zu den Geräten eine sehr ausführliche Bauanleitung für Schulen veröffentlicht. Die auch heute noch beim DMM erhältliche Druckschrift enthält auch eine lesenswerte, von Museumsprofis verfasste Beschreibung der Geschichte der Elektrizitätszähler.



Aufbauzeichnung des Berliner Edison-Zählers aus einer zeitgenössischen Bedienungsanleitung [3]

03 Bastian: Wasserstoff-Zähler (1898)

In den 1890er Jahren wurden von der Industrie zahlreiche Varianten



Bastians Wasserstoff-Zähler [Patent DE 108408]

verbesserter, elektrolytisch arbeitender Messgeräte entwickelt, die anders als Edisons Konstruktion auch direkt abgelesen werden konnten. Besonders in England erfolgreich waren die Bastian-Zähler. Das Prinzip war sehr einfach: Der zu messende Strom wurde durch Wasser geleitet und zersetzte dieses elektrolytisch. Die Menge des zersetzten Wassers war ein Maß für die registrierten Ah.

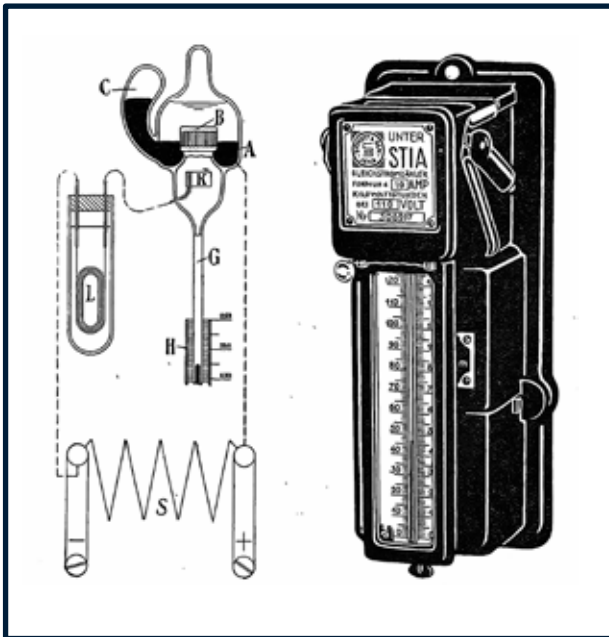
Vitrine 1

Gefährlich war der entweichende Wasserstoff, der bei der Elektrolyse entstand. Entleerte sich der Wasserbehälter unbemerkt und wurde das Nachfüllen versäumt, kam es gelegentlich zu Explosionen.

04 STIA-Zähler (1930)

Für die weitere Verbesserung der elektrolytischen Zähler war ein wichtigstes Ziel, zu geschlossenen Systemen zu kommen, bei denen keine Chemikalien entweichen konnten oder nachgefüllt werden mussten. Das erste wirklich gut funktionierende Konzept dafür lieferten Wright und Hatfield mit ihrem „Quecksilber-Zähler“. Der Elektrolyt besteht aus Jod-Kalium-Quecksilberlösung. Bei Stromfluss wird Quecksilber abgeschieden, das sich in einem Röhrchen sammelt. Beim Ablesen durch den Zählerableser wurden die Zähler durch Umkippen des Röhrchens wieder auf null gestellt.

Besonders erfolgreich waren die Bauformen STIA der Firma Schott in Jena, die betreffend der optimalen Glassorten und der Glasformgebung über einen wichtigen Know-How-Vorsprung gegenüber der Konkurrenz verfügten. In Gleichstromnetzen waren die zuverlässigen und genauen STIA-Zähler auch nach dem Zweiten Weltkrieg noch im Einsatz.

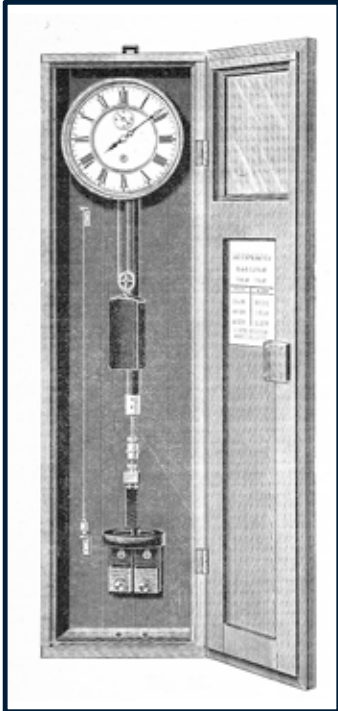


Prinzipdarstellung des Innenlebens eines STIA-Zählers [7]



05 Aron: Erster Pendel-Zähler (1884)

Das Unternehmen von Emil Rathenau war wegen der Probleme mit der fehlenden Kundenanzeige bei den Edison-Zählern auf der Suche nach Alternativen. So kamen Anfang der 1880er Jahre auch erste Pendel-Zähler nach dem Konstruktionskonzept des Berliner Physikers Herrmann Aron (1845-1913) zum Einsatz. Das Wirkungsprinzip ist einfach, genau und wenig störanfällig:



Arons Langpendel-Zähler aus der Serienfertigung [5]

Die Ganggeschwindigkeit einer Pendeluhr hängt nur von der Pendellänge und der Erdanziehungskraft ab. Auf der grünen Vitrinen-Tafel ist auf der linken Seite eine solche übliche Stuben-Pendeluhr ausgestellt. Davon ließ sich Aron inspirieren. Er hatte die Idee, das runde Gewicht am Ende des Pendels durch einen Permanentmagneten zu ersetzen und unter dem Magneten eine Stromspule anzuordnen. Bei Stromfluss entstand eine zusätzliche Kraft auf das Pendel. Die Erdanziehungskraft wurde gewissermaßen virtuell von der Stärke des Stromes vergrößert. Die Ganggeschwindigkeit der Uhr wurde entsprechend der Stromstärke mehr oder weniger stark erhöht. Auf diese Weise entsprach über die Zeit betrachtet der Unterschied zwischen der vom Pendel-Zähler angezeigten Zeit und der Tageszeit den gemessenen Ah.

Diese Idee war der Anfang des erfolgreichen Industrieunternehmens Aron (1933 in Heliowatt umbenannt). Allerdings gilt Herrmann Aron nicht als erster Erfinder des Pendel-Zählers. Die Priorität gebührt hier den englischen Professoren Ayrton und Perry.

Der Pendel-Zähler ist nicht nur eine pfiffige Idee, sondern zeigt auch eindrücklich, wie bereits im 19ten Jahrhundert das Prinzip des „Kontinuierlichen Verbesserungsprozesses“ erfolgreich angewandt wurde. Fehler, Störungen und Unzulänglichkeiten wurden verstanden und durch ständige, konstruktive Verbesserungen schrittweise beseitigt. Die später folgenden Varianten des Pendel-Zählers zeigen diese auch heute noch bei der Entwicklung von Produkten übliche Philosophie zur Qualitätssteigerung.

06 Aron: Referenz- und Messuhr zusammen (ca. 1885)

Dieses Exponat befindet sich zwischen den grünen Tafeln der Vitrinen 2 und 3 an der hinteren Gitterwand. Als Problem des Einpendel-Zählers stellte sich schnell heraus, dass die Genauigkeit des Ergebnisses von der richtigen Tages-Uhrzeit der Uhr des Ablesers abhing. In einem ersten Verbesserungsschritt wurden also Messuhr und Referenzuhr gemeinsam in ein Gehäuse gebaut. Der Zählerableser musste also nur noch die beiden Uhrzeiten im Zähler ablesen und subtrahieren. Die Differenzzeit konnte wieder in die gemessenen Ah umgerechnet werden.

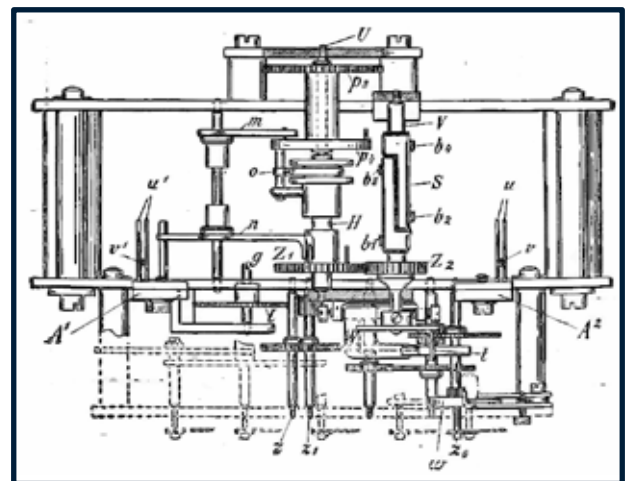
Vitrine 3

07 Aron: Uhrwerkskopplung über Differential (ca. 1890)

Im nächsten Verbesserungsschritt des Doppelpendel-Zählers wurden dann die Ganggeschwindigkeiten der beiden Uhren über ein Differentialgetriebe subtrahiert und durch entsprechende Wahl der Übersetzungsräder mit dem richtigen Faktor multipliziert. So konnte auf einem gemeinsamen Zeigerzählwerk der Ah-Messwert direkt abgelesen werden. Außerdem ersetzte Aron bei den Uhren den Gewichtsantrieb durch ein Federwerk. So konnten die Uhren mehrere Wochen laufen, ohne dass Personal die Uhren neu aufziehen musste.

08 Aron: Kurzpendel-Zähler (ca. 1900)

Im letzten Verbesserungsschritt erhielten die Zähler zahlreiche Veränderungen, die sie genauer, kompakter im Aufbau und servicefreund-

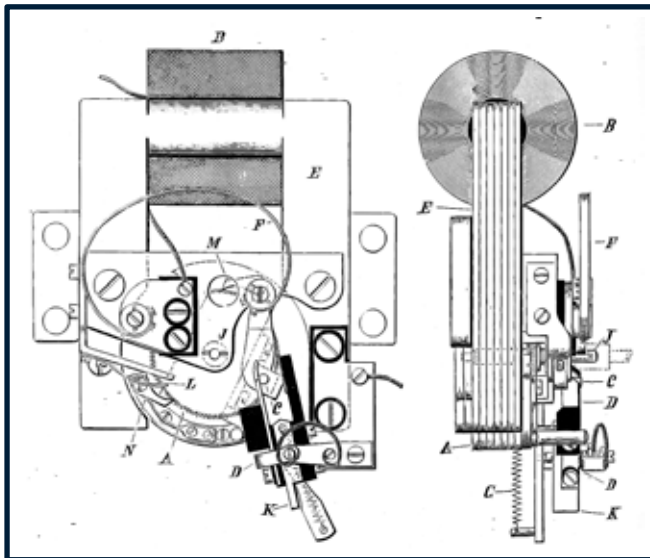


Differential und Umschaltbetriebe in Aron Kurzpendel-Zähler [4]

licher machten. Das hier gezeigte Gerät konnte nun statt Ah, kWh messen. Das wurde erreicht, indem das Pendel statt mit einem Permanentmagneten mit einem Elektromagneten ausgestattet wurde, der an die Netzspannung angeschlossen war. Strom und Spannungen waren so gepolt, dass die elektromagnetischen Kräfte auf der einen Seite abstoßend und auf anderen Seite anziehend wirkten. Ein Umschaltmechanismus schaltete die Polung zum Anziehen und Abstoßen rhythmisch wechselseitig zwischen dem linken und rechten Pendel um. Mit diesem Trick wurden die Einflüsse der Pendellängen-Differenz und auch von äußeren Fremdfeldern weitgehend aus dem Ergebnis herausubtrahiert, während sich die Nutzsignale addierten. So konnte die gewünschte Genauigkeit auch bei erheblich geringerer und weniger übereinstimmender Pendellänge erzielt werden. Elektronikfachleute aus der Metrologie erleben hier ein besonderes Déjà-vu, weil dieses Umschaltkonzept unter dem Namen „Chopper-Prinzip“ ähnlich auch in moderner Elektronik eingesetzt wird, um unerwünschte Störsignale zu eliminieren.

09 Aron: Elektrischer Aufzug (ca. 1900)

Bei den Kurzpendel-Zählern kam eine weitere, bahnbrechende Neuerung der Firma ARON zur Anwendung: Der elektrische Uhrwerkaufzug. Hier wurde mit einem Elektromagneten ein Stahlfederbogen zyklisch, automatisch gespannt und dann mit der Entspannungsenergie ein genaues Uhrwerk angetrieben. Service-Besuche beim Zähler, um das Uhrwerk aufzuziehen, waren somit überflüssig geworden und verringerten damit in erheblichem Maße die Betriebskosten.



Elektrischer Aufzug für Kurzpendel-Zähler [6]

10 Aron: Langpendel-Prüfzähler (ca. 1900)

Der Prüfzähler rechts neben der Tafel der Vitrine 3 ist ein Hochpräzisionszähler zur Kalibrierung von Abrechnungszählern. Bei diesen Geräten kamen Arons Entwickler auf das Langpendelprinzip zurück. Die Besonderheit bestand in den durch kleine Gewichte mit Schraubtrieb feinjustierbaren Pendellängen und die Sekundenzeiger der Uhren. Der Gleichlauf beider Uhren ohne Stromfluss konnte so sehr genau eingestellt werden. Zur Kalibrierung wurden Prüfling und Prüfzähler dann in zwei Durchgängen in Reihe geschaltet und mit der Prüfleistung beaufschlagt. Das „Choppen“ (siehe № 8) erfolgte durch Handumschaltung und die Berechnung des Sollwertes der Prüf-Wh mit Bleistift und Papier als Mittelwert aus den Uhrzeitanzeigen. Auch hier treffen wir auf Prüfphilosophien, wie sie auch in modernen Kalibrierlaboratorien Anwendung finden, um möglichst große Genauigkeiten zu erzielen.



Historische Zählerprüfstation mit Langpendel-Zähler [8]

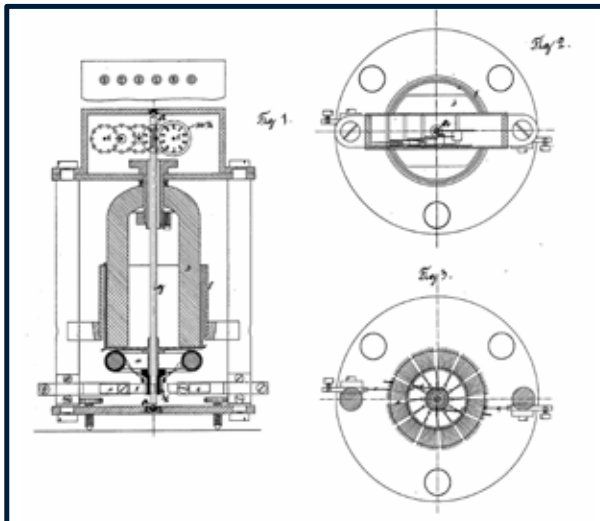


11 Werner Siemens: Motor-Zähler (1886)

Dass auch Elektromotoren für die Messung von Ah in Gleichstromnetzen geeignet sein könnten, erkannten elektrotechnische Erfinder auch bereits Anfang der 1880er Jahre. Die ersten dazu bekannt gewordenen Patentanmeldungen stammen einmal mehr von T. A. Edison. Er gab dann aber für sein in Paris 1881 ausgestellttes Stromverteilungssystem dem elektrolytischen Prinzip den Vorzug. Es ließ sich zu damaliger Zeit deutlich einfacher, billiger und zuverlässiger herstellen.

1882 stellte Werner Siemens die Konstruktion eines von seinem Bruder Wilhelm erfundenen Zählers auf der Basis eines Elektromotors, der ein Zählwerk zur Messwertanzeige antrieb, auf der Internationalen Elektrizitätsausstellung in Wien aus. Das Gerät war allerdings nicht ausreichend genau. Werner von Siemens hat dann 1886 (Reichspatent Nr. 40632) einen Motor-Zähler vorgestellt, bei dem sich ein Rotor mit Stromspule zwischen den Polen eines Magneten drehte. Der Magnet konnte als Elektromagnet oder Permanentmagnet ausgeführt sein. Der Zähler № 11 ist ein Baumuster dieser Konstruktion.

Um zu erreichen, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rotors proportional zur zu messenden Stromstärke ist, wurde der Rotor mit einem kupfernen Zylinder versehen. Die in ihm bei Drehung induzierten Ströme und ihre Felder sollten in Wechselwirkung mit den fest eingebauten Magneten die gewünschte Bremsung bewirken. Das funktioniert gut. Allerdings war die elektromagnetische Bremsung durch ein englisches Patent von Ayrton und Perry vorbekannt, so dass Siemens diesen Patentanspruch für die magnetische Bremsung aufgeben musste.

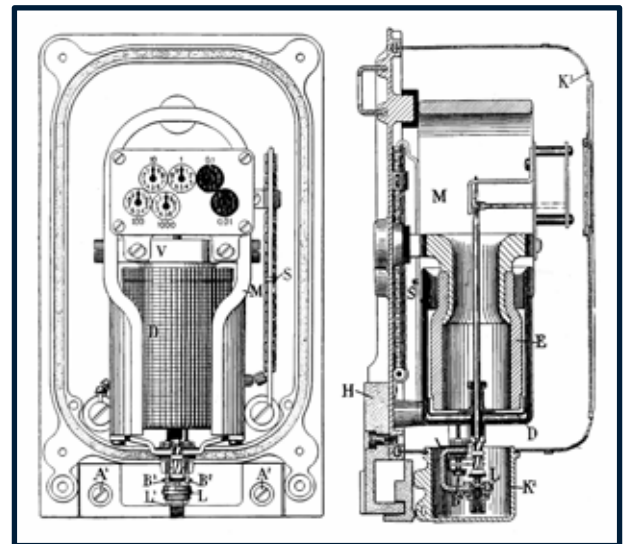


Aus W. Siemens' Patent für einen ersten Magnetmotor-Zähler. Die toroidförmige Pacinotti-Spule dreht sich unter einem Hufeisenmagneten [Patent DE 40632]

Das funktionierte gut. Allerdings war die elektromagnetische Bremsung durch ein englisches Patent von Ayrton und Perry vorbekannt, so dass Siemens diesen Patentanspruch für die magnetische Bremsung aufgeben musste.

12 O'Keenan/Danubia: Magnetmotor-Zähler(1903)

Die erste industriell in größerem Rahmen erfolgreiche Bauform eines Magnetmotor-Zählers basierte auf einer Erfindung von C. Edouard O'Keenan aus dem Jahre 1898. In Zentraleuropa produzierte die Firma Danubia in Wien diesen Zähler. Bei ihm wurde die Bremsung des Motors nicht durch einen Bremszylinder oder eine Bremscheibe erreicht, sondern mit durch geschickte Konstruktion bewirkten Reibungseffekten. Um diese Effekte zu erzielen, mussten für den Rotor möglichst hohe Umdrehungszahlen erzeugt werden. Die Konsequenz war starker Verschleiß an der Bürste/Kollektor-Anordnung, die dem Rotor den zu messenden Strom zuführte. Die daraus folgende Notwendigkeit häufiger Zähleraustausche und Ersatzteil-Einbauten machten die Geräte in der Verwendung teuer.

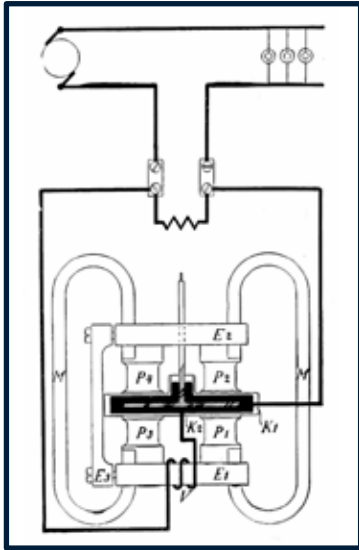


Magnetmotor-Zähler von O'Keenan mit Dämpfung durch Reibung [8]

Vitrine 21

13 Ferranti: Quecksilbermotor-Zähler (1896)

Zu einer der Hauptaufgaben bei den Gleichstrom-Motorzählern gehörte die Beantwortung der Frage, wie dem sich drehenden Rotor am geschicktesten der Messstrom zugeführt werden konnte. Der O'Keenan-Zähler (N^o 12) hatte das Problem mit dem Verschleiß besonders



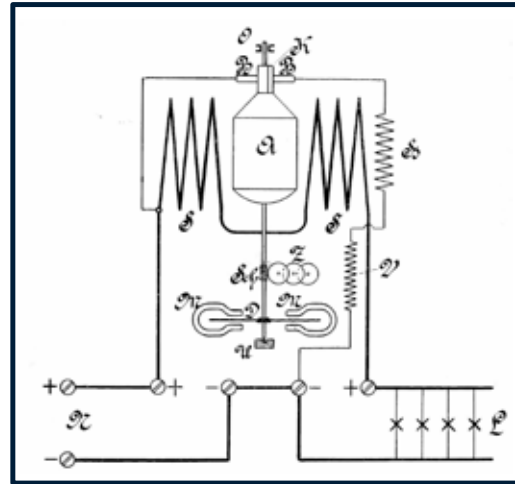
Schematische Darstellung des Quecksilbermotor-Zählers [6]

deutlich werden lassen. Eine der technisch ausgeführten Lösungen bestand darin, dem Rotor den Strom über die elektrisch leitende Flüssigkeit Quecksilber zuzuführen. Die ursprüngliche Idee der Verwendung von Quecksilber zur Umgehung der mechanischen Verschleißprobleme stammte von dem Engländer Sebastian Ziani de Ferranti (1864-1930). Kommerziell erfolgreich war eine Ah-Zähler-Variante von Ferranti's Idee, die die Firma Chamberlain&Hookham produzierte. Das ausgestellte Gerät gehört zu dieser Produktfamilie.

Vitrine 22

verwendeten zu diesem Zweck zunächst überwiegend Elektromagnete und/oder Bremszylinder.

Der Thomson-Zähler mit seinen einzelnen konstruktiven Merkmalen erwies sich schließlich für die Gleichstrom-Wattstunden-Zähler als der beste Kompromiss zwischen Genauigkeit und einfacher Herstellbarkeit. Er bildete damit das konstruktive Vorbild für die Ausführungsformen auch der meisten anderen Hersteller von dynamometrischen Zählern.



Gleichstrom-Zähler mit Hummelspule zur Verbesserung des Anlauf- und Kleinlastverhaltens [6]

Vitrine 22

14 Elihu Thomson: DC-Wh-Zähler

Mit dem zunehmenden Wissen über die physikalischen Vorgänge bei der elektrischen Energieverteilung wurde deutlich, dass auch im Fall von Gleichstrom statt der Messung der Ah die Messung von Wh bzw. kWh die gerechteren Ergebnisse lieferte. Der erste nach dem Motorprinzip arbeitende, in größerem Rahmen kommerziell erfolgreiche Zähler war eine Entwicklung des amerikanischen Professors Elihu Thomson (1853-1937). Das Spannungssignal wurde über einen Vorwiderstand mit Bürste und Kollektor dem Rotor zugeführt. Das Stromsignal wurde durch die festmontierten Spulen geleitet, sodass das Drehmoment auf die Scheibe dem Produkt aus Strom und Spannung entsprach.

Zur Erzeugung der Bremsung wirkten Dauermagnete auf eine metallische Scheibe. Thomson gilt als Pionier in der Verwendung von Permanentmagnet mit Luftschlitz für die Bremscheibe. Andere Entwickler

15 Läuferscheiben-Waage

In der Vitrine 22 stellen wir abweichend von der eigentlichen Ausstellungschronologie einige Gegenstände aus dem Bereich der Zählerherstellung und -prüfung aus. Dazu gehört auch die auf der Vitrine stehende Waage zur Bestimmung des Läuferscheibengewichtes. Im Rahmen der Zulassungsprüfung und der Qualitätsprüfung wurde mit solchen Waagen ermittelt, ob das für das messtechnische Verhalten der Motorzähler bedeutsame Gewicht des Läufers (=Rotor) innerhalb der zulässigen Spezifikationen lag.



16 Stoßsichere Transportverpackung

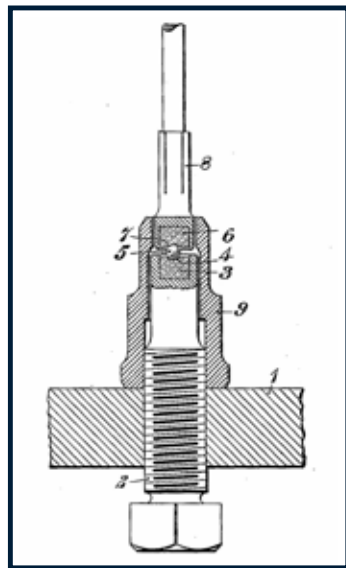
Die Firma AEG hatte zum Transport der Zähler spezielle Blechdosen entwickelt, die innen mit Wellpappe gefüttert waren. Mit ihnen konnte ein weitgehend stoßsicherer Transport der Geräte von der Fabrik zum Energieversorgungsunternehmen und von dort zum Einbauort ermöglicht werden.

17 Doppelstein-Unterlager

Die messtechnischen Eigenschaften und die Messbeständigkeit eines Motorzählers werden entscheidend durch die Konstruktion der vertikalen Lagerung des Läufers bestimmt. Der Qualität des Unterlagers, das das gesamte Gewicht des Läufers tragen muss, kommt eine besondere Wichtigkeit zu. Bei modernen Induktionsmotor-Zählern wird von

einer Nutzungszeit im Netz von ca. 30 Jahren ausgegangen. Während dieser Zeit soll sich die Reibung möglichst nicht verändern und möglichst wenig Verschleiß auftreten. Als dafür am besten geeignete Konstruktion haben sich sogenannte Doppelsteinlager durchgesetzt. Diese Lagerform wurde bereits 1906 für die Firma Westinghouse patentiert. Bis in die heutige Zeit nutzen alle noch im Gebrauch befindlichen Motorzähler diesen Lagertyp.

Der besondere Trick des Lagers liegt darin, die Lagerkugel aus Stahl sich zwischen zwei Lagerpfannen aus künstlichem Edelstein drehen zu lassen. Durch diese Formgebung dreht sich die Kugel walkend in den Kalotten der Lagerpfannen.



Worum sich alles dreht: Die Stahlkugel zwischen zwei Edelstein-Pfannen aus dem Patent von Walter Ehmsen McCoy [Patent US 824194]

nen. Verformung und – soweit bei den harten Materialien überhaupt relevant – Abnutzung erfolgen symmetrisch und gleichmäßig. Die messtechnischen Lager-Eigenschaften ändern sich bei den Millionen von Umdrehungen, die eine Läuferscheibe während der Lebensdauer des Zählers ausführt, kaum.

In der Vitrine sind verschiedene Kleinteile aus Unterlagen der Firma „Oskar Moser Technische Edelsteine“ ausgestellt. Diese Firma hatte über Jahrzehnte besonderes Geschick in der Herstellung von Lagern

entwickelt und war im 20ten Jahrhundert Weltmarktführerin für diese Komponenten. Viele Zählerhersteller kauften ihre Lager bei Moser und verzichteten auf Eigenproduktion.

18 Federdynamometer

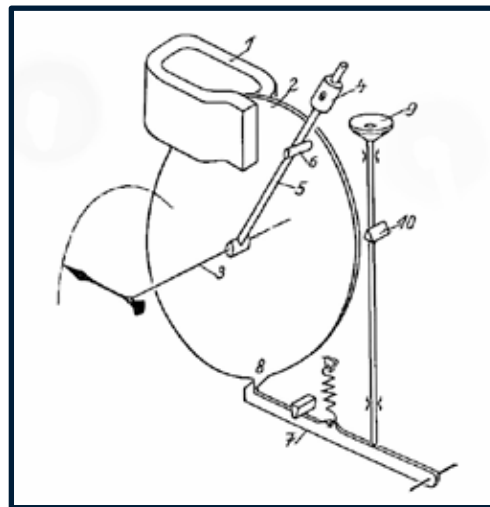
Auch bei sehr guten Unter- und Oberlagern nimmt die Reibung der Läuferlagerung mit der Zeit etwas zu und es entstehen negative Messabweichungen. Gut konstruierte Zähler sind deshalb für ein möglichst hohes Scheibendrehmoment ausgelegt. Um das spezifizierte Moment im Rahmen von Qualitätskontrolle oder Typprüfung nachvollziehen zu können, wurden verschiedene Formen von Messgeräten zur Bestimmung des Scheibendrehmomentes eingesetzt. Das Ausstellungsstück ist eine Variante, die zu Transportzwecken einfach zerlegt werden kann (Hersteller: AEG).



Drehmomentmessung am Zählerrotor [18]

19 Magnetmess-Apparat mit Wirbelstrombremse

Ein für die Messbeständigkeit der Motorzähler sehr wichtiges Bauteil ist der Bremsmagnet, denn wenn die Stärke seines Magnetfeldes mit der Zeit nachlässt, entsteht eine zusätzliche positive Messabweichung.



Bremskraftmesser mit Wirbelstrombremse [14]

Vitrine 22

Zur Überprüfung der Bremskraft der Magnete im Labor wurden auch Geräte wie das ausgestellte verwendet. Der zu prüfende Magnet wird so auf das Gerät montiert, dass die Scheibe sich wie später im Zähler durch den Luftspalt des Magneten dreht. An der vertikal drehbaren Scheibe ist ein Fallgewicht befestigt. Wenn es ausgelöst wird, setzt sich die Scheibe in Bewegung. Die Stärke des Magneten bzw. seine Bremskraft ist maßgebend dafür, um welchen Winkel sich die Scheibe dreht. Er ist dann ein Maß für die magnetische Feldstärke im Luftspalt des Magneten. Diese Prüfgeräte funktionierten ganz ohne Elektronik oder elektrische Hilfsenergie und waren wegen ihrer einfachen Konstruktionsweise in den Prüflaboratorien sehr beliebt.

20 Ersatz-Kollektoren

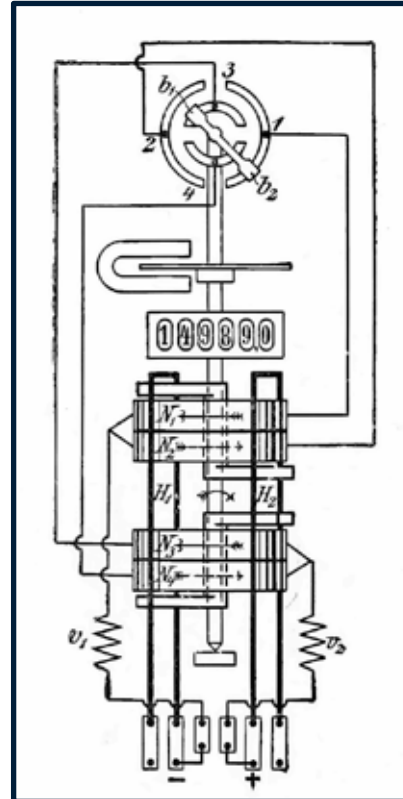
Eine wesentliche Schwachstelle der Magnetmotor-Zähler und der dynamometrischen Zähler bestand in der Notwendigkeit, dem Läufer während der Rotation den Messstrom zuzuführen. Die Anordnung, bei der ein „Bürste“ genannter Kontakt auf dem Kollektor oder Kommutator der Läuferachse schliß, verschliss schnell und musste häufig ausgetauscht werden. Das Ausstellungsstück ist eine angebrochene Schachtel mit Ersatz-Kommutatoren aus einer Zähler-Reparaturwerkstatt.



Vitrine 23

21 Siemens/Peloux: Flügel-Wh-Zähler (1904)

Der „Flügelzähler“ für Gleichstrom-Wattstunden nach einem Patent des Schweizer Albert Peloux wurde von der Firma Siemens & Halske produziert. Er gehörte zu den ersten Zählern, die zu Beginn des 20ten Jahrhunderts eine Bauartzulassung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt erhielten.



Prinzipdarstellung von Pelouxs Eisenflügel-Zähler [4]

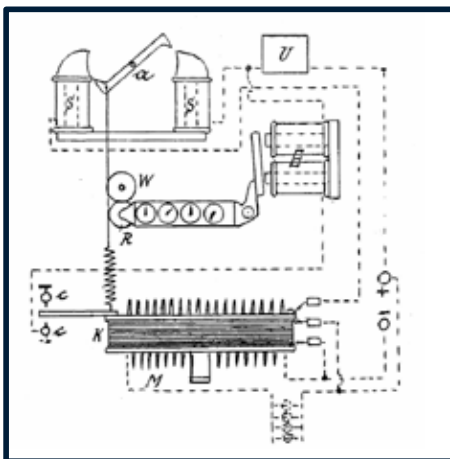
Peloux hatte das Ziel, einen Rotor zu realisieren, der ein besonders niedriges Gewicht aufweisen sollte. Dadurch wurde das Läuferlager weniger belastet, die Reibung und der Verschleiß verringert und das Anlauf-Verhalten bei kleinen Strömen verbessert. Die Lösung bestand darin, dass der Läufer nicht mit einer Wicklung aus Drahtwindungen, sondern mit um 90 Grad versetzten Flügeln aus Eisenblech versehen wurde. An der zu messenden Spannung anliegende, fest im Zähler eingebaute Spulen erzeugten Felder, die die Flügel magnetisierten. Eine weitere festeingebaute Spulen-anordnung erzeugte Felder proportional zum zu messenden

Strom. Auf diese Weise entstand das leistungsproportionale Moment auf den Rotor. Damit es zu einer kontinuierlichen Drehbewegung des Läufers kam, verfügte dieser über eine sich mitdrehende Stromwender-Anordnung, die die Feldrichtung der Spannungsspulen mit den Drehungen des Rotors zyklisch umpolte.

Nachdem die Firma Siemens 1903 die frühere Firma von Sigmund Schuckert in Nürnberg übernommen hatte und so auch in den Besitz von Rechten an der sehr viel einfacheren Thomson-Zähler-Konstruktion (№ 14) gelangte, wurde das Konzept von Peloux nicht weiterentwickelt und die Produktion dieser Zähler eingestellt.

Vitrine 6

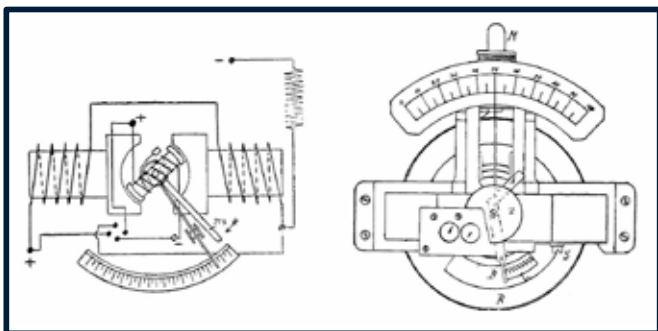
Diese Weglänge wird über eine Walze auf das Zeigerzählwerk übertragen. Der Vorgang wird, von einer Uhr gesteuert, in konstanten Zeitabständen automatisch zyklisch wiederholt durchgeführt. Auf diese Weise erreicht



Prinzip des Zugfeder-Zählers [5]

25 Raps/Siemens: Unruhe-Zähler (1890)

Auch bei diesem Zähler werden Bogenlängen von Ausschlägen eines Zeigerinstrumentes (Amperemeter oder Wattmeter) in konstanten Zeitabständen zu Messwerten für Ah oder Wh aufsummiert. Dazu ist um die Zeigerachse herum eine Unruhe-Torsionsfeder angeordnet. Sie wird durch einen impulsartig anziehenden Elektromagneten in periodischen Schwingungen gehalten und bewegt periodisch einen Mitnehmerhebel. In Vorwärtsrichtung schwingt die Unruhe frei. Bei der Rückwärtschwingung wird der Mitnehmer durch eine Reibungskupplung in ein Zahnrad eingekoppelt, wenn er den Messgerätezeiger berührt, und bleibt so lange gekoppelt, bis der Zeiger in die Nullstellung zurückgedrückt ist. Die Zahnradrotation wird auf ein Zählwerk übertragen, das so die Bogenlängen der Zeigerausschläge aufaddiert. Mit der nächsten Vorwärts-



Prinzip des Unruhe-Zählers [5]

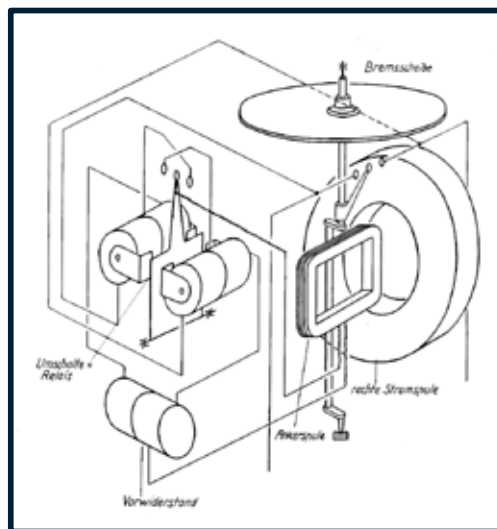
das Gerät je nach Ausführung eine den gemessenen Ah oder Wattstunden proportionale Anzeige. Wegen der langsamen, mechanischen Abläufe muss auch bei dieser Konstruktion vorausgesetzt werden, dass während des „Abtastvorganges“ die Stromstärke weitgehend konstant bleibt.

schwingung folgte der nächste derartige Abtastvorgang usw. Vermittels einer raffinierten Mechanik wurde erreicht, dass die Unruhe ohne Beeinträchtigung durch die Zeigermitnahme weitgehend störungsfreie, periodische Schwingungen von weniger als 4 Sekunden ausführen konnte. Damit war die Konstruktion den anderen absatzweise registrierenden, elektromechanischen Analog-Digital-Wandlern bezüglich der Fähigkeit, zeitlich schwankende Ströme richtig zu messen, weit überlegen.

Vitrine 7

26 AEG: Wendemotor-Wh-Zähler (1905)

Wie bei anderen Exponaten bereits erläutert, benötigen Gleichstromzähler nach dem elektrodynamischen Prinzip mit umlaufendem Rotor eine Bürste/Kollektor-Anordnung, um dem Rotor den Messstrom zuführen zu können. Diese Baugruppe verschleißt schnell und macht es wegen der Reibung aufwändig, besonders auch für kleine Signale hohe Genauigkeiten zu erreichen. Eine einfallsreiche Alternative bildeten die oszillierenden Zähler oder wie sie auch anschaulich genannt wurden: „Wendemotor-Zähler“. Das Exponat ist ein Beispiel der Firma AEG für ein derartiges Messgerät.



Prinzipdarstellung eines Wendemotor-Zählers [14]

Die Wirkungsweise des Wendemotors ist ebenso einfach wie messtechnisch überzeugend: Der Rotor dreht sich nicht fortwährend im Kreis, sondern läuft in beiden Drehrichtungen nach Zurücklegen einer Teilrotation gegen einen Anschlag mit Schalter. Der Schalter schaltet die durch Messstrom und Spannung hervorgerufenen elektromagnetischen

Drehmomente, die den Messwert der elektrischen Leistung repräsentieren, in ihrer Richtung um. Der Läufer dreht sich dann in die entgegengesetzte Richtung, bis er den Umschalter auf der anderen Seite aktiviert. Das Spiel wiederholt sich dort mit umgekehrten Vorzeichen. Gleichzeitig mit der Umschaltung der Wirkrichtung wird ein Impulsschalter betätigt, der das als elektrisches Schrittschaltwerk ausgelegte Zählwerk mit Impulsen versorgt. Die Arbeitsweise wird schnell klar: Je größer die zu messende Leistung, umso häufiger oszilliert der Läufer hin und her und umso mehr Impulse werden vom Wh-Zählwerk registriert.

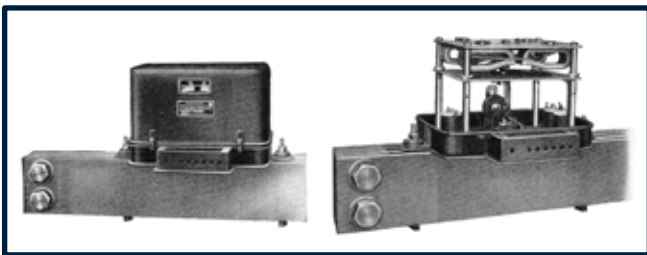
Diese elegante Lösung wies mit seinem Lösungsansatz drei Hauptvorteile auf:

1. Bürste und Kollektor wurden vermieden.
2. Durch die Umkehr der Wirkrichtung der von den Messgrößen abgeleiteten, magnetischen Felder im Zähler wurden von außen wirkende Störfelder aus dem Messergebnis heraussubtrahiert.
3. Mit der Zählerkonstruktion wurde das Prinzip des Impulsgeber-Zählers vorgedacht, bei dem das Zählwerk nicht mehr direkt vom Rotor angetrieben wurde und auf diesen unerwünschte mechanische Rückwirkungen ausübte, sondern von elektrischen Impulsen.

27 AEG: Wendemotor-Wh-Zähler für 3000 A (ca. 1930)

Die Firma AEG hatte sich Anfang des 20ten Jahrhunderts auf Gleichstromzähler nach dem Wendemotorprinzip spezialisiert. Von ihr gibt es besonders zahlreiche Varianten des Konzepts, das den Vorteil aufwies, durch das Impulsgeber-Prinzip (siehe № 26) eine elektrische Messwert-Fernübertragung zu ermöglichen. Das Exponat links neben der Tafel der Vitrine 7 zeigt eine Ausführung für 3000 A. Die zwei großen, runden, mit AEG-Logo verzierten Gebilde sind Bestandteil der Stromspule aus massivem Kupfer. Das Zählwerk befindet sich nicht im gläsernen Gehäuse, sondern in einem Extra-Gehäuse, das auf dem Zähler zur Anschauungszwecke montiert ist. Im realen Betrieb der Zähler war es in der Regel vom Zähler räumlich entfernt auf einer Schalttafel montiert.

28 AEG: Wendemotor-Zähler für Stromschiene (ca. 1930)

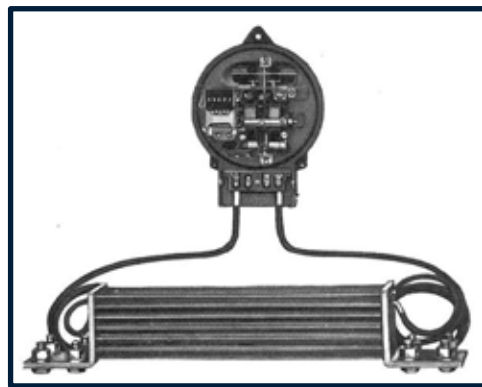


Auf Stromschiene montierter Impulsgeber-Zähler [18]

Eine ebenfalls originelle Variante eines oszillierenden Wh-Zählers der Firma AEG für Ströme bis 2000 A verfügte über gar keine eigenen Stromspulen im Zähler. Stattdessen wurde es direkt auf die stromführenden Kupferschienen montiert, so dass das Feld des Schienenstroms direkt auf den Rotor mit der Spannungsspule wirkte. Beim Exponat ist der Zähler zur Anschauung auf ein kurzes Stück Muster-Stromschiene montiert. Auch hier ist das elektromagnetische Zählwerk in einem Extragehäuse untergebracht, so dass eine Fernmessung in einer Schaltwarte möglich wurde.

29 Nebenschluss-Widerstände („Strom-Shunts“) (ca. 1930)

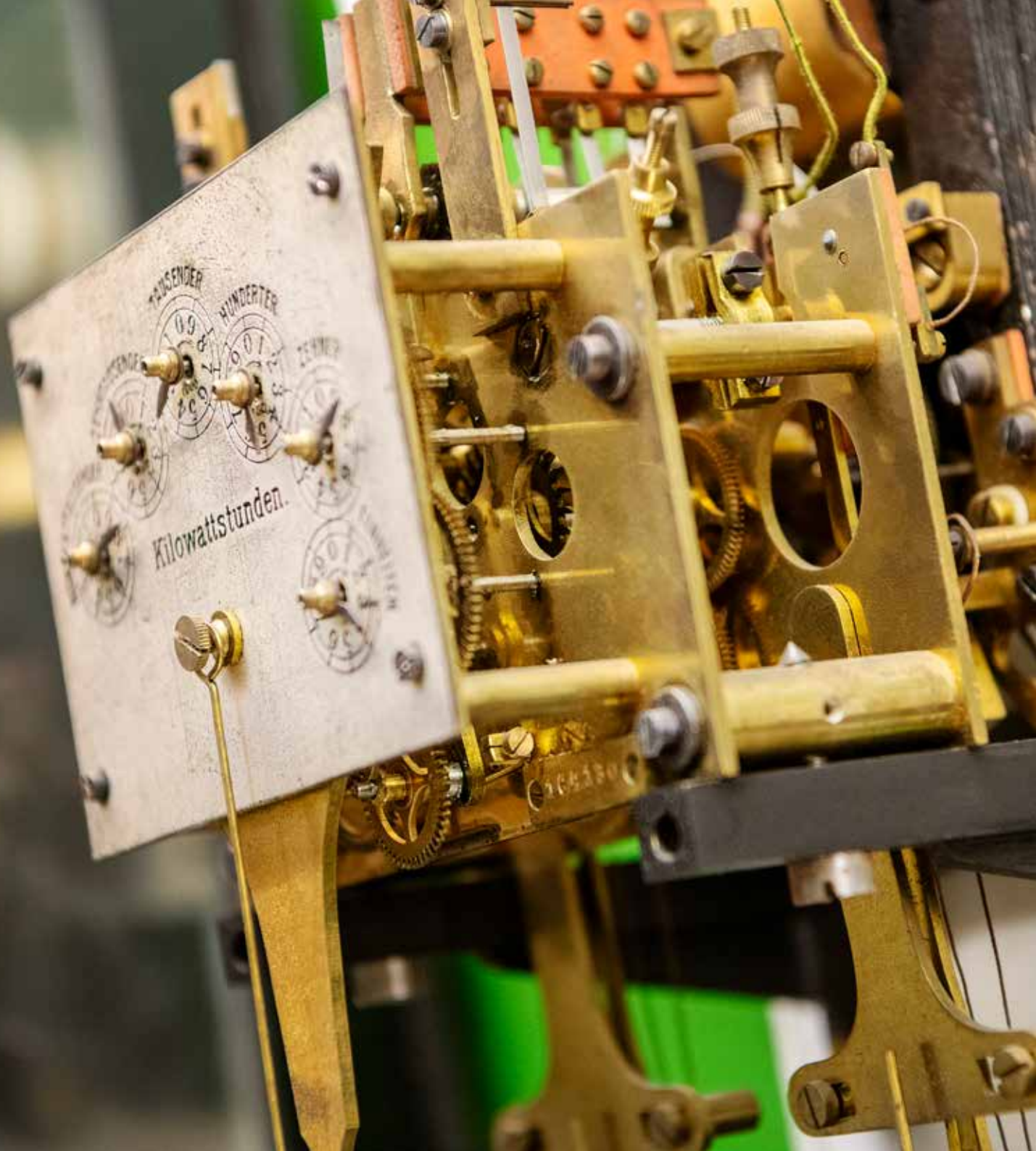
Im hinteren Vitrinbereich rechts neben der Vitrine 7 ist eine Auswahl an Strom-Nebenwiderständen zusammengestellt. Sie wurden zur Messung hoher Stromstärken den Gleichstromzählern parallelgeschaltet. Der Hauptanteil des zu messenden Stroms floss dann durch den Widerstand und nur ein kleiner Anteil durch den Zähler. Dieser musste dann nicht so massive Stromspulen aufweisen wie im Beispiel des Exponates № 27.



Wendemotor-Zähler mit Shunt [18]

30 Gleichstrom-Durchsteckwandler (1968)

Mit der zunehmenden Verwendung von Halbleiterelektronik in der Messtechnik wurden statt der Strom-Nebenwiderstände auch elektronische Gleichstromwandler verwendet, um aus großen Stromstärken kleine Signale für die Zähler-Stromeingänge abzuleiten. Das Exponat gehört zu einem Gleichstrom-Motorzähler moderner Bauart (siehe № 32). Der Vorteil der Stromwandler bestand in erster Linie in der Vermeidung von großen Verlustleistungen und damit verbundener Stromwärme, die bei den Strom-Nebenwiderständen durch das Prinzip bedingt unumgänglich sind.



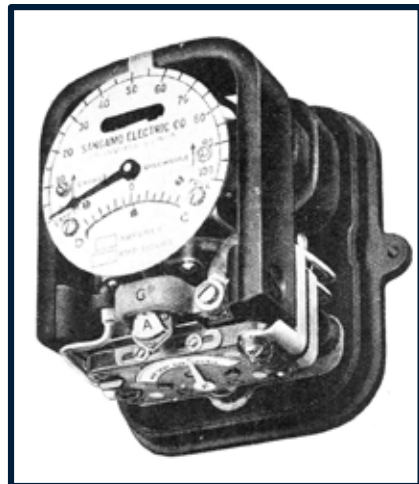
31 ISARIA: U-Bootzähler (1914)

Vor dem Hintergrund heutiger Debatten um die Elektromobilität zu Lande, zu Wasser und zu Luft stellt das Exponat № 31 einen besonders spannenden Anwendungsfall für einen Gleichstromzähler dar. Er diente der Überwachung des Ladezustandes der Antriebsbatterien in U-Booten des Ersten Weltkriegs. Wie bei heutigen Mobilgeräten mit Akkumulator, seien es Smartphones, Laptops oder eben Autos, kam es auch bei den U-Booten darauf an, jederzeit den Ladezustand des Energiespeichers möglichst genau zu kennen.

Auffällig bei dem Zähler sind die besonders querschnittsarken Spulen des Strompfades, ähnlich wie beim Exponat № 27. Zu damaliger Zeit fehlten noch die technischen Möglichkeiten, hohe Gleichspannungen zu erzeugen. Große Energiemengen mussten also mit großen Strom-

stärken übertragen werden. Da nach physikalischen Gesetzen aber die Verluste bei der Stromübertragung mit dem Quadrat der Stromstärke ansteigen, mussten alle Leitungsquerschnitte möglichst groß dimensioniert werden, damit zumindest der Einfluss des elektrischen Widerstandes auf die Verlustleistung möglichst gering gehalten wurde.

Der U-Boot-Zähler ist ein besonders gutes



Batteriezähler für Automobile (nicht in der Ausstellung) [13]

Beispiel dafür, wie die Beschäftigung mit der Entwicklungsgeschichte der Elektrizitätszähler für aktuelle Forschung Anregungen liefern kann. Es ist nicht abwegig, die Konzepte für ein intelligentes Lademanagement für die Batteriekonstruktionen zum Antrieb von U-Booten daraufhin zu prüfen, ob sie womöglich auch im Bereich ziviler Elektrofahrzeugentwicklung nutzen könnten.

Überhaupt ist das ganze Thema der Versorgung mit Gleichstrom heute, da neu über die Vorteile von Gleichstromversorgung diskutiert wird, wieder ein besonders lohnender Bereich, um aus der Technikgeschichte Lehren zu ziehen. Ein weiteres Beispiel dafür sind die Ideen für Elektrizitätsmessung auf Straßenbahnen, um das energiebewusste Fahren der Fahrzeugführer zu kontrollieren. Auch Elektrizitätszähler in Elektroautos kamen bereits Anfang des 20ten Jahrhunderts zur Anwendung. Leider gibt es im Elektrizitätszähler-Kabinett dazu keine Exponate.

32 Siemens: Neurer DC-Zähler (1968)

Das in Vitrine 8 rechts im unteren Bereich gezeigte Exponat ist einer der letzten Vertreter in neuerer Zeit noch produzierter, dynamometrischer Zähler. Heute hat auch hier die Elektronik Einzug gehalten.

Tatsächlich gab es aber in den Anfangszeiten der Transistortechnik in den 1960er Jahren einen ernstesten Feind der Elektronik in der Zählertechnik, die sogenannten „Offset“-Ströme und Spannungen. Darunter sind Störsignale zu verstehen, die sich ungewollt durch unkontrollierbare physikalische Phänomene den analogen Nutzsignalen hinzuaddierten. Gemessen wurden dann Summen aus Stör- und Nutzsignalen, in denen beides nicht mehr voneinander unterscheidbar war, und wo sich die Grenzen zwischen beidem oft auch noch unbemerkbar zeitlich änderten. Messfehler und geringe Messbeständigkeit waren die Konsequenzen. Gerade bei Messgeräten, deren Anzeigen zu Abrechnungszwecken verwendet werden sollten, war das ein besonders gefürchteter Effekt. Aus diesem Grunde blieb man bis in die 1970er Jahre hinein bei Motorzählern und perfektionierte die dynamometrischen Messmotoren für die Zähler.

Obgleich die Anwendungsfälle der Gleichstrom-Energieversorgung bis in die späte Mitte des 20ten Jahrhunderts zugunsten der Wechselstromversorgung immer weiter zurückgingen, blieben einige der Zähler doch noch lange Zeit in Betrieb und wurden auch nachgeegicht. Beispielsweise gab es in Bayern einige Seilbahnen, bei denen die Zähler noch eingesetzt wurden. Auch bei einigen Netzen für elektrische Straßenbahnen wurden die Motorzähler noch in der zweiten Hälfte des 20ten Jahrhunderts verwendet.



33 Borel: Induktionsmotor-Zähler (1887)

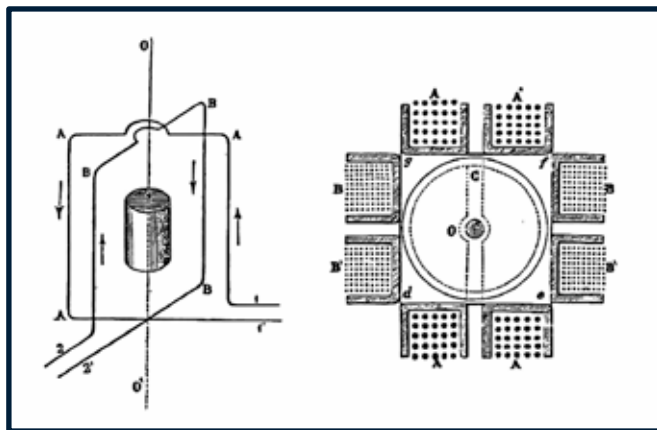
Die bisher in der Ausstellung betrachteten Zähler dienten der Messung von Gleichstrom-Energie. Es beginnt mit der Vitrine 24 das Thema „Zähler für Wechselstrom-Energie“, also der Energieart, die in heutiger Zeit vorrangig für unsere Energieversorgung über öffentliche Netze zur Anwendung kommt. Das Exponat № 33 kennzeichnet einen wichtigen Meilenstein in der Entwicklung von Zählern für diese Stromart. Produziert wurde das Gerät von der Firma des Schweizer Ingenieurs Francois Borel (1847-1924). Es handelte sich um den ersten in Europa kommerziell hergestellten Wechselstrom-Amperestunden-Zähler nach dem Induktionsmotorprinzip. Weitere Hintergründe zum Induktionsmotor-Zähler sind im folgenden Abschnitt für Ausstellungsgäste mit Interesse an weitergehenden Einzelheiten beschrieben.

Weitere Hintergründe zum Induktionsmotor-Zähler

Um die Jahrhundertwende vom 19ten zum 20ten Jahrhundert wurden die Vorteile einer Energieversorgung mit Wechselstrom statt mit Gleichstrom immer deutlicher. Die sich bereits in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium befindenden elektromechanischen Zählerkonzepte, wie der Pendel-Zähler und der elektrodynamische Zähler konnten prinzipiell auch für die Verwendung in Wechselstromnetzen modifiziert werden. Allerdings wurde schnell klar, dass der bei Wechselspannungen nutzbare Induktionseffekt sehr viel elegantere Zählermotorlösungen ermöglichte. Mehrere Erfinder kamen ab Ende der 1880er Jahre auf diese Idee. Die Priorität spricht die Technikgeschichte dem italienischen Professor Galileo Ferraris (1847-1897) zu.

Ferraris beschrieb die entscheidenden theoretischen Grundlagen 1888 in einem Aufsatz:

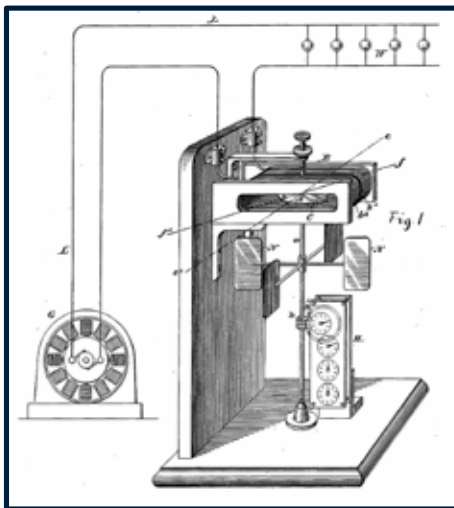
Vom Magnetfeld einer fest angeordneten Spule A wird in einem aus einer Scheibe oder einem Zylinder bestehenden Rotor ein Wirbelstromfluss induziert. Der Wirbelstromfluss in dem Rotor erzeugt seinerseits ein Magnetfeld. Von weiteren, festangeordneten Stromspulen B, die räumlich versetzt angeordnet am Rand des Rotors montiert sind, wird eine dritte Art von Magnetfeldern erzeugt, die mit dem Magnetfeld des Rotors in Wechselwirkung treten. Wird die geometrische Anordnung der Spulen A und B und die zeitliche Verschiebung der Ströme durch diese Spulen in theoretisch richtiger Weise gewählt, entstehen magnetische Kräfte zwischen dem Rotor und den Spulen B, die diesen in Drehung versetzen. Es bildet sich etwas aus, das im Motorenbau ein „Wanderfeld“ genannt wird. Dieser Begriff beschreibt anschaulich, dass es sich um ein Feld handelt, das etwas – z. B. den Rand eines Rotors – im Raum bewegen kann. Der Vorteil dieses Antriebskonzept liegt insbesondere darin, dass der Rotor ohne das Erfordernis einer Bürste/Kollektor-Anordnung mit einer definierten Abhängigkeit von Messgrößen in Drehungen versetzt werden kann. Dadurch kann der Motor im Vergleich zu anderen Konstruktionen mechanischer Zähler erheblich einfacher aufgebaut werden, arbeitet mit weniger Verschleiß und ist somit sehr viel langlebiger. Das Motorprinzip, das nicht nur in Zählern Verwendung findet, gehört wie z. B. das Fahrrad zu den wichtigen Erfindungen, für die die Menschen auch nach mehr als hundert Jahren keinen wirklich konzeptionell besseren Ersatz gefunden haben. Die nichtelektronischen Zähler, die heute noch millionenfach in den deutschen Stromversorgungsnetz zur Anwendung kommen, funktionieren nach Ferraris' Grundidee.



Ferraris' Induktionsmotor-Prinzip aus seiner Original-Veröffentlichung ROTAZIONI ELETTRODINAMICHE PRODOTTE PER MEZZO DI CORRENTI ALTERNATE, Akademie der Wissenschaften, Turin 18.3.1888

34 Shallenberger: Induktionsmotor-Zähler (1888)

Unabhängig von Ferraris und Borel entdeckte in den USA der Ingenieur und Chefentwickler der Westinghouse Electric Company Oliver B. Shallenberger (1860-1898) die Möglichkeit, durch magnetische Felder in Folge von Induktionsströmen motorische Bewegungen zu erzeugen. Er entwickelte daraus die Konstruktion eines Ah-Zählers für Wechselstrom. Das ausgestellte Exponat ist ein Exemplar der von der Firma Westinghouse hergestellten Zähler. Die ins Auge fallenden, großen Blechflügel dienen der Bremsung des Rotors, um eine stromproportionale Drehgeschwindigkeit zu erzielen.



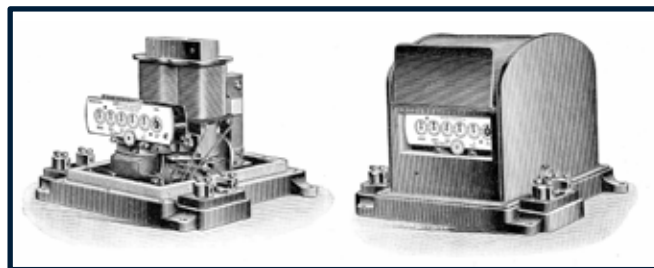
Darstellung des Shallenberger-Zählers aus seiner Patentanmeldung 1888 (US 388004)

35 Blathy: Induktionsmotor-Zähler für Wh (1890)

Ferraris hatte das Konzept des Induktionsmotors als Erster theoretisch beschrieben, aber keinen Zähler entwickelt. Borel (№ 33) und Shallenberger (№ 34) waren auf eher empirischem Wege zu Zählerkonstruktionen mit Induktionsmotor für Ah gelangt. Den ersten echten Wh-Zähler nach Ferraris Theorie hat dann aber erst der ungarische Ingenieur Otto Titus Blathy (1860-1939) erfunden und sich 1889 patentieren lassen. Sein Arbeitgeber, die Firma Ganz in Gödöllö, hat das Gerät in großen Stückzahlen produziert. In Deutschland wurde es in Lizenz von der Firma Helios in Köln vertrieben.

Der Blathy-Zähler ist die erste Entwicklungsstufe des Induktionsmotor-Zählers, wie er auch heute noch in den Netzen in Verwendung ist. Vom zu messenden Strom und der zu messenden Spannung abgeleitete Ströme wurden mit einer Phasenverschiebung von annähernd 90 Grad durch zwei Elektromagnete geleitet, die mit einem Versatz von 90 Grad auf die Scheibe wirkend an deren Rand montiert waren. Durch die Wechselwirkung mit den in der Scheibe induzierten

Wirbelströmen entstand ein Drehmoment, das etwa proportional zur zu messenden Leistung war. Das Zählwerk übernahm wie bei den Gleichstrom-Motorzählern das Aufsummieren zu Wh-Messwerten.



Blathy-Zähler mit und ohne Gehäuse [4]

An diesem Gerätetyp lässt sich ähnlich wie im Fall von Arons Pendel-Zähler sehr gut der evolutionäre Prozess in technischen Entwicklungen nachvollziehen. Durch Patentschutz bedingt, erfolgten die Verbesserungen im Fall des Pendel-Zählers alle im Hause Aron. Beim Ferraris-Prinzip wirkte dagegen die gesamte Gemeinschaft der Zählerhersteller und Erfinder mit. Das war möglich, weil Ferraris seine Idee veröffentlicht, aber keine Schutzrechte darauf angemeldet hatte. Für technischen Fortschritt ist es manchmal nützlich, wenn richtungweisende Ideen nicht durch Patentschutz monopolisiert sind.

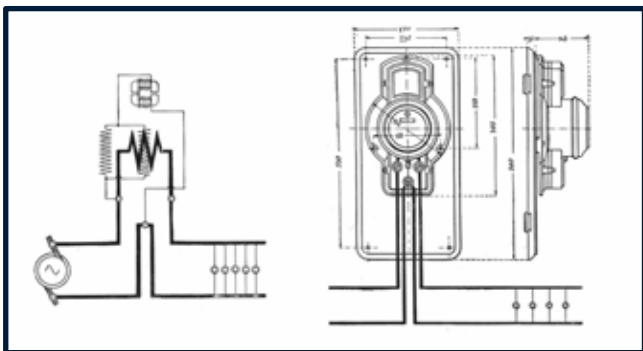
Noch zur Firma Ganz: Das 1844 gegründete Unternehmen begann mit Maschinenbau (z. B. gab es auch eine Zusammenarbeit mit der Braunschweiger Firma Büssing) und erweiterte seine Produktpalette zunehmend auch auf elektrotechnische Einrichtungen. Zusammen mit anderen berühmten Elektrotechnikern erfand Blathy in der Firma z. B. auch den Transformator für Anwendungen in der Energieverteilung. Die Zählerpartie der Firma Ganz in Gödöllö (Ungarn) wechselte mehrfach die Eigentümer und gehörte schließlich als Abteilung des US-amerikanischen Itron-Konzerns zu den letzten Unternehmen, die auch im 21ten Jahrhundert noch Induktionsmotor-Zähler in Europa herstellten. Seit 2020 ist auch diese Zählerfabrik dauerhaft geschlossen.

36 Hummel/AEG: AC-Wh-Zähler (1892)

Der Blathy-Zähler hatte noch einige gravierende Schwachstellen betreffend die Tauglichkeit zum massenhaften Einsatz. Blathy war noch der Auffassung, dass die in der Scheibe erzeugten Wirbelströme sich nicht gegenseitig beeinflussen durften. Außerdem hatte er noch keine ausreichend gute Idee, wie er die von Ferraris' Theorie geforderte 90-Gradverschiebung perfekt hätte erreichen können. Im Ergebnis führte das infolge konstruktiver Zwänge auf sehr große und rund 20 kg schwere Geräteexemplare.

Eine weitere wichtige Persönlichkeit unter den Elektrotechnikern des 19ten Jahrhunderts fand Abhilfe: Georg Hummel (1856-1902). Der ehe-

malige Chefentwickler der Firma Schuckert in Nürnberg (siehe №37) erhielt 1895 ein Patent für eine Schaltung zur gezielten Erzeugung einer 90-Grad-Verschiebung in Induktionsmotoren nach Ferraris' Prinzip. Diese genial-einfache Schaltung ist als sogenannte „Hummelschaltung“ berühmt geworden. Sie anwendend entwickelte Hummel einen Motorzähler nach Ferraris' Prinzip, der genauer arbeitet als der von Blathy und vor allem sehr viel kleiner von den Abmessungen her ausfallen konnten. Im Übrigen hatte Hummel sehr nahe an den Ideen von Ferraris den Rotor in seinem Zähler statt mit einer Läuferscheibe mit einem Kupferzylinder ausgeführt, auf den die Wirbelströme erzeugenden Elektromagnete wirkten.



Hummel-Zähler → Links: Prinzipschaltbild, oben im Bild die Drosselspule für die 90-Grad-Verschiebung. Rechts: Montage-Maße [2]

Zunächst produzierte Hummel den Zähler in seiner 1893 gegründeten, eigenen Firma in München; dann veräußerte er die Rechte auch an die Firma AEG. Dort war diese Zählerkonstruktion der Einstieg in die anschließend jahrzehntelang erfolgreiche Fabrikation von Wechselstrom-Wh-Zählern.

37 Exkurs > Hummel/Schuckert: DC-Ah-Zähler (1887)

Der ausgestellte Zähler ist nicht für Wechsel-, sondern für Gleichstrom ausgelegt. Er ist deshalb als Ausnahme in dieser Vitrine ausgestellt, weil er wie die № 36 eine richtungweisende Erfindung von Georg Hummel enthält. Im Fall dieses Zählers handelt es sich um die Idee, mit dem Feld einer Zusatzspule den Rotor dabei zu unterstützen, sicher anzulaufen. Damit wurde erreicht, dass die Zähler auch bei kleinen Strömen vergleichsweise genau messen konnten. Das ausgestellte Gerät ist ein Exemplar der Geräteausführung, die auf der berühmten Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt 1891 von der Firma Schuckert gezeigt wurde, dessen Mitarbeiter Hummel zu dieser Zeit noch war.

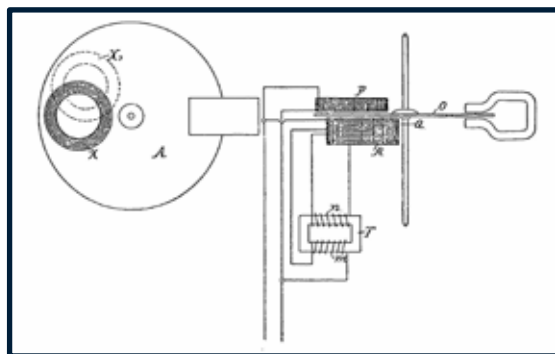
Lizenzen für die Nutzung der hummelschen Idee verkaufte Schuckert an das Unternehmen von Prof. Elihu Thomson in den USA. Seiner Konstruktion (siehe № 14) verhalf die Zusatzspule zu einer entscheidenden Verbesserung für ihren kommerziellen Erfolg. Vermutlich entwickelte

sich durch diese Unterstützung der Firma Schuckert eine weitgehende Geschäftsbeziehung mit Elihu Thomson, da spätere Schuckert-Zähler auch Konstruktionsmerkmale aufwiesen, für die Thomson über Schutzrechte verfügte.

Als der Firmengründer der Schuckert-Werke, Johann Sigmund Schuckert (1846-1895) sich 1892 wegen seiner schweren Erkrankung aus dem Unternehmen zurückziehen musste, entschloss sich auch sein Chefentwickler Hummel zum Verlassen der Firma und machte sich selbstständig.

38 Raab/Schuckert: AC-Wh-Kompakt-Zähler (1895)

Mitte der 1890er Jahre veröffentlichte der Erfinder Carl Raab mehrere Patente für Induktionsmotor-Zähler, die die entscheidenden Verbesserungen des Motors einführten, um kleine, kostengünstige und doch genauere Wechselstromzähler nach dem Ferraris-Prinzip in Massenproduktion zu bauen. Die Idee bestand im Wesentlichen darin, zwei Teiltriebssysteme auf die Rotorscheibe wirken zu lassen, deren Fehler umgekehrte Vorzeichen aufwiesen und sich so weitgehend gegenseitig aufhoben. Bei diesem Konzept konnten der Strom- und der Spannungselektromagnet zur Erzeugung der Antriebs-Wirbelströme in der Rotorscheibe dicht nebeneinander angeordnet und die Scheibe zudem gleichzeitig zur Realisierung der Wirbelstrombremsung mit einem Permanentmagneten herangezogen werden.



Darstellung des Kompakt-Zählers in Raabs Patent [Patent CH 13893]

Die Firma Schuckert bzw. die Nachfolgefirma EAG entwickelte auf der Basis der Raab-Ideen die durch das Exponat № 38 repräsentierte Zählerbauform. Dieses Konstruktionskonzept stellte bereits in den wesentlichen Merkmalen den Kompakt-Zähler dar, wie er dann bis in heutige Zeit von allen Herstellern – mehr oder weniger nur in Details variiert und verbessert – gefertigt wurde. Die wichtigsten Herausforderungen bei den Abwandlungen waren dabei, die Genauigkeit, die Langlebigkeit und die Herstellungseffizienz zu erhöhen, aber besonders auch, die Schutzrechte der anderen Hersteller nicht zu verletzen. Mit dem Erfolg des Konstruktionsansatzes von Raab erfolgte eine weitgehende Ablösung aller anderen elektromechanischen Messwerktypen für Wechselstrom-Wh-Zähler.

39 Aron: Drehstromzähler in „Aron-Schaltung“ (1903)

Mit dem ausgehenden 19ten Jahrhundert traten die Vorteile der Stromart Wechselstrom für die Energieversorgung immer deutlicher zutage. Insbesondere Generatoren und Motoren ließen sich für Wechselstrom eleganter konstruieren als für Gleichstrom. In den 1890er Jahren schlugen dann Entwickler besonders effiziente Maschinen vor, die mit drei Wechselspannungen versorgt wurden, die um 1/3 der Periodendauer zeitlich zueinander versetzt waren. Dafür setzte sich die Bezeichnung Drehstrom durch. Die drei zeitlich versetzten Spannungen nannte und nennt man „Phasen“. Der Drehstrom ist bis heute die Stromart, mit der die Elektrizitätsversorgung fast aller Verbraucher erfolgt.

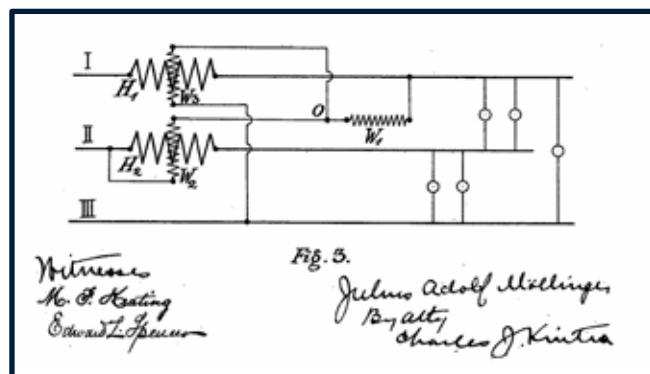
Die Übertragung der Drehstromenergie erfolgt unter Verwendung von drei oder vier Leitern. Zur richtigen Messung der mit Drehstrom übertragenen Gesamt-Elektrizitätsmenge werden dann im Prinzip mehrere Zähler benötigt, deren Messwerte später für die Abrechnung addiert werden. Die Zählerindustrie begann schnell, sich Gedanken darüber zu machen, wie die Messaufgabe eleganter mit nur einem einzigen Zähler gelöst werden könnte.

Dem Berliner Prof. Aron war schnell klar, dass in einem Drehstromsystem mit drei Leitern zwei Messwerke ausreichen, um die Gesamtenergie richtig zu messen. Sein Doppelpendel-Zähler war perfekt geeignet für derartige Drehstrommessungen, da er ohnehin schon über zwei gleiche Messwerke verfügte (siehe № 06 ff.). Die Verschaltung der Messwerke in den Drehstromleitern ist auch als „Zweiwattmeter-Methode“ oder „Aron-Schaltung“ bekannt geworden. Das Exponat zeigt eine Ausführung dieser ersten Drehstromzähler.

40 Möllinger/Schuckert: Drehstromzähler (1907)

Zum Leidwesen der Wettbewerber war es Aron gelungen, sich die „Zweiwattmeter-Methode“ patentieren zu lassen. Die anderen Hersteller mussten also nach Lösungen für Drehstromzähler suchen, die das Aron-Patent nicht verletzen. Im Fall der Induktionsmotor-Zähler war die Firma Schuckert in Nürnberg am schnellsten. Das Ausstellungsstück ist ein Seriengerät nach den Ideen von Carl Raab und Julius Adolf Möllinger. Bei diesem Drehstromzähler werden die Spannungssysteme nicht wie bei Aron direkt zwischen die Phasenleiter geschaltet, sondern an einen mit einem Widerstand realisierten, künstlichen Sternpunkt. So wurde vermieden, von Aron Lizenzen erwerben zu müssen.

In heutiger Zeit erfolgt die Lieferung der Elektrizität zu den Letztverbrauchern über Drehstrom-Vierleitersysteme. In solchen Netzen werden Zähler benötigt, die für jede einzelne Phase über ein eigenes, unabhängiges Messsystem verfügen. Auf den Tafeln der Vitrinen 11 und 12 sind die Konstruktionsvarianten verschiedener Hersteller ausgestellt. Manche Hersteller ließen die Triebssysteme der drei Phasen auf drei Scheiben des Rotors wirken, die meisten auf zwei. Der Firma Landis & Gyr gelang in den 1970er Jahren sogar die Konstruktion eines Drehstromzählers, bei dem die drei Triebssysteme und der Bremsmagnet auf nur eine Scheibe wirkten. Der Zähler setzte sich allerdings nicht durch, weil er wegen der großen Scheibe für die üblichen Zählerschränke eine zu große Bautiefe aufwies. Dieser Landis & Gyr-Einscheiben-Zähler „Y16“ und andere Drehstromzähler neuere Bauart sind in Vitrine 26 ausgestellt.



„Kunstschaltung“ Möllingers zur Umgehung der Aron-Schaltung
[Patent US 637473]

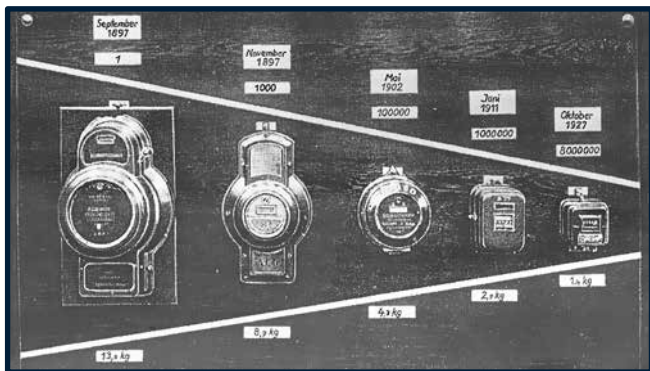
41 Hummel: Zähler in Schmuckgehäuse (ca. 1897)

Die meisten Zähler in der Ausstellung werden ohne Gehäusekappe gezeigt. Das erlaubt, einen Eindruck von der Arbeitsweise der Geräte und Respekt vor der Produktionskunst der früheren „Zählermacher“ zu vermitteln. Bei dem hier gezeigten Zähler der Firma Hummel wurde wegen des außergewöhnlich dekorativen Gehäuses eine Ausnahme gemacht und die Gehäusekappe auf dem Zähler belassen.

Leider liegen keine genauen Unterlagen dazu vor, warum die Firma von Georg Hummel Anfang der 1890er Jahre den Zähler mit diesem Schmuckgehäuse hergestellt hat. Es gibt Vermutungen, aber keine Belege von Museologen, dass er zur Verwendung in einem Schloss vorgesehen gewesen sein könnte. Andere Historiker mutmaßen, dass es sich um ein Ausstellungsgerät für eine der zahlreichen elektrotechnischen Messen am Ende des 19ten Jahrhunderts handeln könnte. Tatsächlich erinnern die beiden zum Licht gewandten Kinder an die „Göttin des Lichts“, die als Allegorie für die Elektrizität zu damaliger Zeit zahlreich in der Werbung für elektrische Produkte anzutreffen war.

Wenngleich der Zähler zur Schonung des Artefaktes bislang weder an seinem früheren Ausstellungsort bei den Stadtwerken München, noch in der PTB geöffnet wurde, lässt er sich mit guter Wahrscheinlichkeit als Induktionsmotor-Zähler nach dem System Hummel einordnen, wie er später von der Firma AEG produziert wurde (siehe № 36). Alte Abbildungen von bei der Firma Hummel direkt produzierten Zählern lassen vermuten, dass sich die patentierte Hummelschaltung bei dem hier ausgestellten Gerät oben unter der runden Haube befindet.

42/43 Wechselstromzähler-Evolution



Die Evolution des Induktionsmotor-Zählers, hier am Beispiel AEG [aus AEG-Werbematerial, ähnlich auch in Mirus (16)]

In der Vitrine 25 werden wie in der Vitrine 13 Varianten von Wechselstrom-Induktionsmotor-Zählern gezeigt. Die Zusammenstellung soll vor allem deutlich machen, wie weit ausentwickelt die Motorzählertechnik bereits Anfang des 20ten Jahrhunderts war. Die Zähler № 42 aus dem Jahr 1920 und № 43 aus dem Jahr 1981 stammen beide aus derselben Fabrik und sehen sich in der Konstruktion bereits sehr ähnlich.

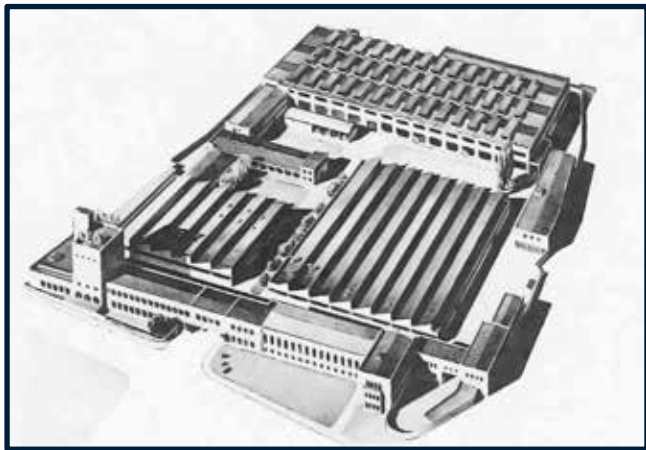
Die über Jahrzehnte hinweg durchgeführten Verbesserungen hatten vor allem zwei Ziele:

1. Die Erweiterung des Messbereiches, innerhalb dem die gesetzlich vorgeschriebenen Fehlergrenzen eingehalten werden mussten. Der Messbereich wurde bei Zählern in Prozent der Nennstromstärke ausgedrückt. Ein 200% belastbarer Zähler misst also beim doppelten der Nennstromstärke noch ausreichend genau. In den 1980 Jahren konnten alle Firmen als Standard mindestens eine 600%-Belastbarkeit anbieten.
2. Die Erhöhung der Messbeständigkeit. Bis in die 1960er Jahre wurde den Zählern nicht zugetraut, länger als etwa 12 Jahre im Netz verwendet werden zu können, bevor sie ausgebaut und überholt werden mussten. Im Laufe der Jahre lernten die Entwickler jedoch, welche Komponenten wie verändert mussten, um eine größere Lebensdauer zu erreichen. Besonders die ausschließliche Verwendung hochwertiger, praktisch verschleißfreier Doppelsteinlager und die Verwendung des außerordentlich zeitstabilen Magnetwerkstoffes AlNiCo für die Bremsmagnete ließen Messgeräte entstehen, die über Jahrzehnte ihre messtechnischen Eigenschaften kaum änderten und unter der Bezeichnung „Langzeit-Zähler“ in der Fachliteratur abgehandelt werden.

Das günstige Alterungsverhalten der Zähler führte dazu, dass der Gesetzgeber die Nachprüffristen für die Induktionsmotor-Zähler auf den noch heute geltenden Zeitraum von 16 Jahre verlängerte. Nach 16 Jahren müssen die Zähler zudem nicht zwingend ausgebaut werden. Es ist vielmehr die Anwendung statistischer Stichprobenverfahren zulässig, um den Weiterbetrieb der eingebauten Geräte um weitere 8 Jahre behördlich zu erlauben. Physikalisch vertretbar ist das, weil die Alterung bei den elektromechanischen Zählern nicht nur gering ausgeprägt, sondern auch in einem gewissen Rahmen statistisch vorhersagbar ist.

44 AEG: Goldener Jubiläumszähler (1962)

Nachdem das Elektrizitätszähler-Kabinett im Jahre 2003 eröffnet worden war, folgten zahlreiche wertvolle Exponat-Spenden, u. a. aus der ehemaligen AEG-Zählerfabrik in Hameln. Dazu gehörte auch der hier ausgestellte Jubiläumszähler aus dem Jahre 1962.



Die ehemalige AEG-Zählerfabrik in Hameln, Kuhbrückenstraße [AEG, „Forschen und Schaffen“]

In den 1960er, 1970er und 1980er Jahren erlebte die deutsche Zählerindustrie ihre besten Zeiten. Die beiden größten Hersteller, die Siemens-Schuckert-Werke in Nürnberg und das AEG-Zählerwerk in Hameln, produzierten jeweils mit mehr als 2500 Beschäftigten. Mit den 1990er Jahren begannen schwierigere Zeiten. Der Vorteil der elektromechanischen Qualitätszähler – ihre Langlebigkeit – geriet gleichzeitig zu ihrem Nachteil: Die Märkte waren gesättigt; die Nachfrage ließ nach. Weitere ökonomische und politische Faktoren führten zu Preisdruck und dann zum einsetzenden Niedergang der Fabrikation elektromechanischer Zähler bei allen Herstellern. Bei den meisten erfolgten zunächst Eigentümerwechsel und Fusionen, dann die Verlagerung der Fertigung ins Ausland und schließlich Fabrikschließungen. Heute sind in ganz Zentraleuropa keine Produktionsstätten für neue Induktionsmotor-Zähler mehr zu finden. Trotz der Vorzüge „Langlebigkeit“, „Reparierbarkeit“ und „gute Recycling-Fähigkeit“ musste diese elektromechanische Technologie der Elektronik weichen.

45 Verschiedene Haushaltsgeräte

Vor den Vitrinen 13, 14 und 15 sind einige elektrische Haushaltsgeräte aus den 1920ern und 1930er Jahren ausgestellt. Für die Elektrifizierung der Haushalte wurde durch die elektrotechnische Industrie sehr nachdrückliches Marketing betrieben; stark unterstützt durch die Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU). Die EVU hatten ein Interesse dar-



„Die elektrische Küche“ [Schwartz, Th.: Licht und Kraft, Union Deutsche Verlagsgesellschaft, Leipzig und Berlin 1900]

an, dass die Konsumenten Elektrizität nicht nur für Licht einsetzten. Ziel war dabei, den Elektrizitätswerken zu ermöglichen, den produzierten Strom möglichst die ganzen 24 Stunden des Tages über und unabhängig von Tageslichtzeiten verkaufen zu können. Die Kraftwerke sollten aus Effizienzgründen möglichst nicht im Leerlauf Betriebskosten verursachen. Propagiert wurde deshalb vor allem auch die Anwendung von Elektrowärme zum Bügeln, Kochen, Heißwasser usw.

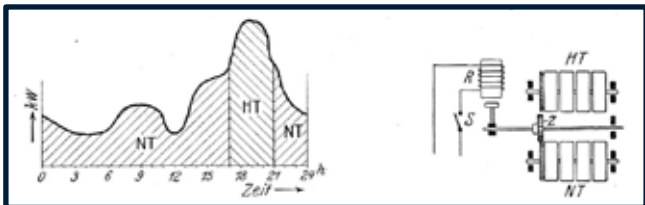
Diese Phase der Elektrotechnikgeschichte ist ein weiteres gutes Beispiel, wie Vergangenes für die Gegenwart lehren kann. Die heutigen Debatten um die „All-Electric-Society“ und die Abkehr von der Verbrennung zur Erzeugung von Wärme haben ja ebenfalls zum Ziel, eine möglichst starke Hinwendung zu mehr Stromanwendung zu erreichen.

46 Schuckert (EAG): Doppeltarif-Zähler (1903)

Bereits im 19ten Jahrhundert war klar geworden: Damit die Verbraucher ihre Elektrogeräte so einsetzen, dass sich die gewünschte Vergleichmäßigung der Kraftwerksbelastungen ausbildete, mussten preisliche Anreize für die zeitliche Verschiebung des Verbrauches geschaffen werden. Dazu wurden Zähler entwickelt, die über eine eingebaute Schaltuhr verfügten, mit der die Umdrehungen der Läuferscheibe zeitabhängig auf verschiedene Zählwerke umgeschaltet werden konnten. Wie die diversen Ausführungsformen in Vitrine 14 zeigen, konnte die Zählerindustrie bereits zur Wende zum 20ten Jahrhundert verschiedene Ausführung

Vitrine 14

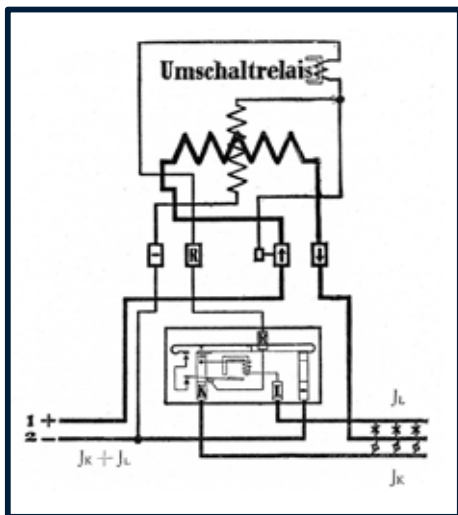
von solchen, sogenannten Tarif-Zählern anbieten. Die meisten Geräte verfügten wie das ausgewählte Beispiel №46 über ein Doppeltarif-Zählwerk. Das Umschalten zwischen nur zwei Zählwerken ließ sich mechanisch noch mit relativ wenig Aufwand realisieren.



Prinzip des Doppeltarif-Zählwerks mit Schwenkachse [17]

47 AEG: Wertschätzungstarif-Zähler (1917)

Zunehmend entwickelten sich Ideen, wie mit dem Zähler nicht nur über die Zeit preisliche Anreize für ein bestimmtes Verbrauchsverhalten gesetzt werden konnten, sondern auch über andere Merkmale bei der Elektrizitätsverwendung. Bei dem Exponat №47 wurden im Zähler z. B. Einrichtungen geschaffen, mit denen es möglich wurde, außer der zeitlichen Tarifierung zusätzlich den Lichtstrom individuell abzurechnen. Dazu verfügt der Zähler im Inneren über einen besonderen Messkreis



Prinzipialschaltbild eines Zählers für Wertschätzungstarife (unterschiedliche Preise für Kraft- und Lichtstrom) [12]

mit eigenen Klemmen, an den die Beleuchtung des Hauses angeschlossen wurde. Tarife, bei denen nicht nur die Zeit, sondern auch die Art des Verbrauches zu unterschiedlichen Strompreisen führte, trugen die schöne Bezeichnung „Wertschätzungstarife“. Marketing durch geschickte Sprachwahl ist also auch eine bereits seit 100 Jahren geübte Kunst.

Die Mehrtarifzähler läuteten die Phase der Elektrizitätszähler-Entwick-

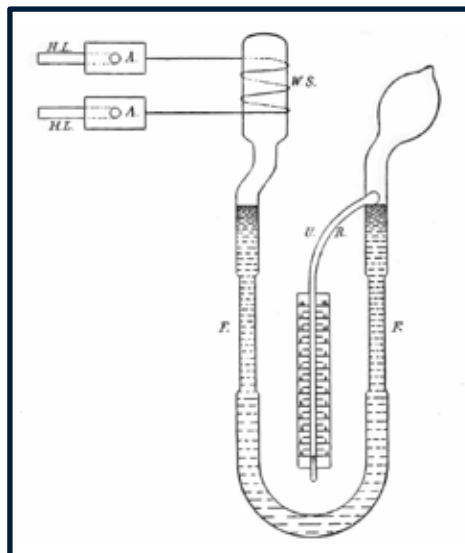
lung ein, in der die Geräte nicht allein die Messung der elektrischen Arbeit ausführen sollten. Stattdessen sollten sie zusätzlich die Messwerte – abhängig von den Bedingungen ihrer Entstehung – auch mit unterschiedlichen „Preisschildchen“ versehen können. Bis Anfang der 1980er Jahre wurden diese Zusatzfunktionen praktisch ausschließlich durch analogrechnende Mechaniken gelöst, dann folgte die Zeit der sogenannten „Hybrid-Zähler“, wie sie in der Vitrine 28 vorgestellt werden.

Vitrine 15

48 Wright: Thermometrischer Maximum-Messer (1896)

Ein anderes Konzept für gerechtere Strompreise verfolgten Zähler, die nicht nur die über den Abrechnungszeitraum vom Stromkunden bezogene Arbeit registrieren konnten, sondern auch, welche maximale Bezugsleistungen dabei auftraten. Dahinter steckte die Überlegung, dass bei hohen Leistungen bezogene Elektrizität wegen dabei auftretenden höheren Stromstärken auch höhere Stromverluste in den Stromleitungen des Verteilnetzes verursachen. Da diese Verluste von den Stromverbrauchern verursacht aber vom Zähler nicht als elektrische Arbeit gemessen wurden, zog man die Leistungsmesswerte heran, um daraus einen zusätzlichen Preisanteil für die Stromrechnung zu bestimmen.

Die Idee der Verwendung von Maximalwerten von Strömen für die Preisgestaltung stammt von dem englischen Ingenieur Arthur Wright (1858-1931) aus Brighton. Nach seinen Patenten sind auch die ersten Maximalstrom-Messgeräte kommerziell produziert worden.



Wirkungsprinzip des thermischen Maximum-Messers von A. Wright [4]

Hierbei kam ein simples elektrothermisches Prinzip zur Anwendung: Ein U-förmiges Rohr ist auf beiden Seiten mit einer Kugel abgeschlossen. Das U-Rohr ist teilweise mit Flüssigkeit gefüllt. Auf der linken Seite ist die Kugel mit einem Heizkörper umwickelt. Er wird vom zu messenden Strom durchflossen. Auf der rechten Seite gibt es einen Überlauf, über den Flüssigkeit in ein mittleres, skaliertes Röhrchen abfließen kann. Bei Stromfluss erwärmt sich die Luft in der linken Kugel und dehnt diese aus. Die Flüssigkeit wird dadurch wie bei einem Thermometer durch das U-Rohr gedrückt. Die Menge der in das Überlauf-Röhrchen „übersgeschwappten“ Flüssigkeit ist ein Maß für die maximale Stärke des geflossenen Stromes.

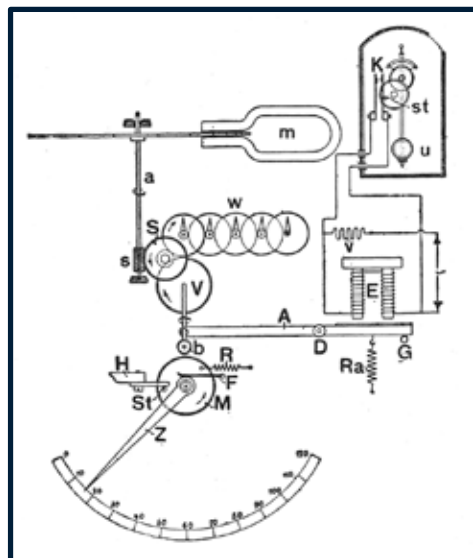
Diese Geräte in ihrer einfachsten Form wurden in Verbindung mit Betriebszeitmessern (dazu auch Vitrine 27) für die Abrechnung von Strombezug eingesetzt. Der Zählerableser hatte dann die Aufgabe, nach der Ablesung von Betriebsstunden-Zähler und Maximum-Messer, diesen wieder auf null zu stellen. Das konnte in einfacher Weise durch ein mittels Scharnier ermöglichtes Umklappen des Glasröhrengebildes erfolgen, sodass die Flüssigkeit aus dem mittleren Ableserohr wieder in das U-Rohr zurückfloss.

49 AEG: Mechanischer Maximum-Zähler (1916)

Mit den rasanten Fortschritten, die die Zählertechnik um die Wende zum 20ten Jahrhundert hin machte, entwickelte die Industrie zusammen mit Energieversorgungsunternehmen immer raffiniertere Maximum-Messkonzepte. Der Anspruch an das Messverfahren war einerseits, eine gerechte, die Netzverluste sinnvoll abbildende Mess- und Berechnungskonvention für die Bezugsleistung. Andererseits mussten diese Messungen auch mit einem elektromechanischen Messwerk bei vertretbarem Herstellungsaufwand umgesetzt werden können. Letztlich setzte sich bei allen Herstellern das im folgenden Abschnitt beschriebene Messkonzept durch. Das Exponat № 49 ist unter den zahlreichen Ausführungsvarianten auf der Tafel in Vitrine 15 ein willkürlich gewähltes Beispiel.

Die Branche einigte sich bereits Anfang des 20ten Jahrhunderts darauf, als Basis für die Ermittlung der innerhalb eines Abrechnungszeitraumes bezogenen Maximalleistung die zyklisch innerhalb einer konstanten Zeitspanne gemessene Arbeit heranzuziehen. Es stellte sich heraus, dass für die überwiegende Zahl der Anwendungsfälle ein Intervall von 15 Minuten eine technisch sinnvolle Länge darstellt. Bewusst sollte über einen solchen längeren Zeitraum gemessen werden, damit unvermeidliche, kurze Lastspitzen keinen ungebührlich großen Einfluss auf den Leistungsmesswert erhielten.

Für die technische Realisierung wurden die Zähler neben dem eigentlichen Rollenzählwerk für die gemessene Arbeit mit einem zusätzlichen Zeigerzählwerk ausgestattet. Dieses Zeigerzählwerk – gut erkennbar bei allen Exponenten in Vitrine 15 – zählte 15 Minuten parallel zu dem



Prinzip eines mechanischen Maximum-Messwerks [7]

Rollenzählwerk und wurde dann automatisch sprunghaft auf null zurückgestellt. Der so angetriebene Zeiger führt einen Schleppeziger mit sich, der bei der Rückstellung des Antriebszeigers in der Stellung verblieb, in die er geschleppt wurde. Auf diese Weise zeigt der geschleppte Zeiger immer den Maximalwert der Arbeit an, der innerhalb der fortlaufenden 15-Minuten-Messungen gemessen wurde. Dividiert durch die Zeit ergibt sich die Maximalleistung aus den 15-Minuten-Arbeitswerten. Manche Zähler zeigten auf der Zeigerskala direkt die Leistung an, bei anderen gab es neutrale Skalen, deren Anzeige mit einem auf das Schild gedruckten Faktor multipliziert werden musste, um den Leistungsmesswert zu erhalten.

Bei der Ablesung des Zählers am Ende des Abrechnungszeitraumes wurde der geschleppte Maximumzeiger auf null zurückgesetzt. Die ständige Verbesserung der Mechanik bei diesen Geräten führte zu sehr genauen und zuverlässigen Messwerken und Messgeräten. Erst Anfang der 1980er Jahre mit der Einführung der sogenannten „Hybrid-Zähler“, in denen Mikrorechner die Leistungsberechnungen übernahmen, wurde die Technik langsam abgelöst.



50 Heliowatt: Maximum-Schreiber (1938)

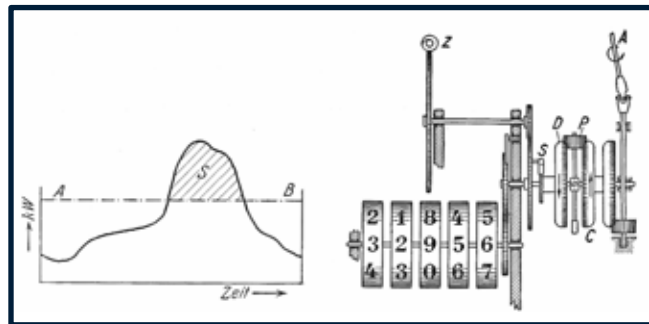
Mit zunehmenden Ansprüchen an die verursachungsgerechte Bepreisung des Elektrizitätsverbrauchs verstärkte sich im ersten Drittel des 20ten Jahrhunderts der Wunsch, nicht nur einen Leistungsmaximalwert am Ende des Abrechnungszeitraumes zur Verfügung zu haben, sondern das Auf und Ab der Werte über die Zeit beobachten zu können. So war die Zählerindustrie gefordert, Messwerke zu entwickeln, die Leistungsmesswerte sukzessive speichern konnten. Verschiedene Varianten entstanden. Vitrine 16 zeigt einige davon. Messwerte wurden auf Rollen, auf Walzen oder wie im Fall des Exponats № 50 auf Scheiben geschrieben. Als Nachteil hierbei erwies sich die Schreibtinte, die gelegentlich eintrocknete oder zur Unzeit aufgebraucht war. Manche Hersteller boten daher auch lochende Maximum-Messgeräte an.



Werbe-Anzeige für Heliowatt-Maximumschreiber [Heliowatt-Werbeschrift „Über 50 Jahre Zählerfabrikation“, 1937]

51 AEG: Überverbrauch-Zähler (1953)

Eine weitere seit den 1920er Jahren weitverbreitete Tarifierungsidee war der sogenannte „Überverbrauch-Tarif“. Diesem lag die Philosophie zugrunde, die bezogene Energie zur Abrechnung danach zu unterscheiden, ob sie oberhalb oder unterhalb einer bestimmten Leistungsgrenze bezogen wurde. Es gab zunächst Konzepte, bei denen die Energie unterhalb der Grenze pauschal abgerechnet wurde und nur oberhalb gemessene kWh in Rechnung gestellt wurden. Später war es üblich, auch unterhalb der Grenze kWh zur Abrechnung zu registrieren. Die für diese Tarifierungsart konstruierten Zähler trugen die Bezeichnung Überverbrauch-, Spitzen- oder Subtraktionszähler. Besonders die Bezeichnung „Subtraktionszähler“ verdeutlicht die



Prinzipdarstellung eines Überverbrauch-Zählwerks [17]

Arbeitsweise der Geräte als analog-rechnende Messgeräte: Im Zähler wurde ein zusätzlicher Motor eingebaut, der sich mit konstanter Drehzahl drehte. Diese Umdrehungszahl repräsentierte die Leistungsgrenze. Das Überverbrauch-Zählwerk war über ein Differentialgetriebe mit Sperrklinge an den Zusatzmotor und an den Rotor des eigentlichen kWh-Messwerks des Zählers angekoppelt. Das Differentialgetriebe subtrahierte die Drehgeschwindigkeiten von Zählerrotor und Vergleichsmotor. Durch das Gesperre wurde erreicht, dass das Überverbrauch-Zählwerk nur registrierte, wenn die Geschwindigkeit des Zählerrotors die des Vergleichsmotors überschritt. Dessen Umdrehungszahl und damit die Leistungsgrenze ließ sich mit plombierbaren Einstellorganen durch die Zählerkappe nach Bedarf stufenweise einstellen.

Der Zähler № 51 ist ein willkürliches ausgewähltes Beispiel. Auf der Tafel der Vitrine 17 sind weitere Varianten ausgestellt, die sich in der Funktionsweise nur in Feinheiten, nicht aber von der grundsätzlichen Arbeitsweise her unterscheiden.

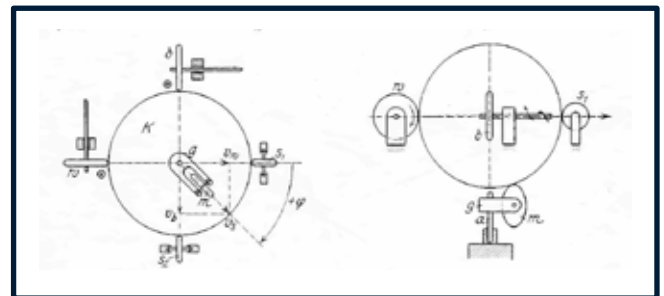
52 Siemens: Komplexverbrauch-Zähler (1938)

Im frühen 20ten Jahrhundert wurde für den Scheinverbrauch der eigentlich besser zutreffende Begriff „Komplex-Verbrauch“ verwendet. Diese Zählerart zeigt besonders eindrücklich, welcher Aufwand von den Zählerherstellern in der „vorelektronischen“ Zeit getrieben wurde, um mathematische Berechnungen durchzuführen.

Als Scheinleistung wird bei Wechselstrom die Leistung bezeichnet, die sich ohne Rücksicht auf die Phasenverschiebung aus dem Produkt aus Stromstärke und Spannung ergibt. Das ist also in Netzen mit sich ändernden Phasenverschiebungen die maximale Leistung, die auftreten kann, und nach der Anlagenteile ausgelegt werden müssen, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. So entstand die Idee zu besonderen Tarifen, die die Scheinleistungsverbräuche mit berücksichtigen sollten. Die dafür erforderlichen Scheinverbrauch-Zähler kamen praktisch nur bei Großverbrauchern zur Anwendung. Die Zähler wurden vor allem mit gleichzeitig integriertem Maximumwerk oder wie das Exponat № 52 als schreibende Version ausgeführt.

Die Definition des Scheinverbrauchs erfordert die Berechnung der Quadratwurzel aus einer Summe von zwei quadrierten Messwerten. Einen solchen Zusammenhang entdeckten die Entwickler in geometrischen Formeln zur Berechnung von Kugelparametern. Wird eine Kugel an ihrer Oberfläche an zwei Stellen von Reibrädern mit den Geschwindigkeiten a und b angetrieben, so kann an einer bestimmten Stelle auf der Oberfläche eine resultierende Geschwindigkeit c von einem dritten Rad abgenommen werden, die gerade dem gewünschten mathematischen Zusammenhang $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ entspricht.

Das Exponat № 52 ist eine Zählerausführung mit einem eingebauten Wirkverbrauchzähler und einem Blindverbrauchzähler. Die Rotorumdrehungen der beiden Zähler arbeiten auf das sogenannte Scheinverbrauchsgetriebe, das die vorgenannte Getriebeoperation durchführt. Gut erkennbar ist bei der № 52 und den anderen nach diesem Prinzip arbeitenden, ausgestellten Zählern, die zwischen den Reibrädern lagernde Kugel.

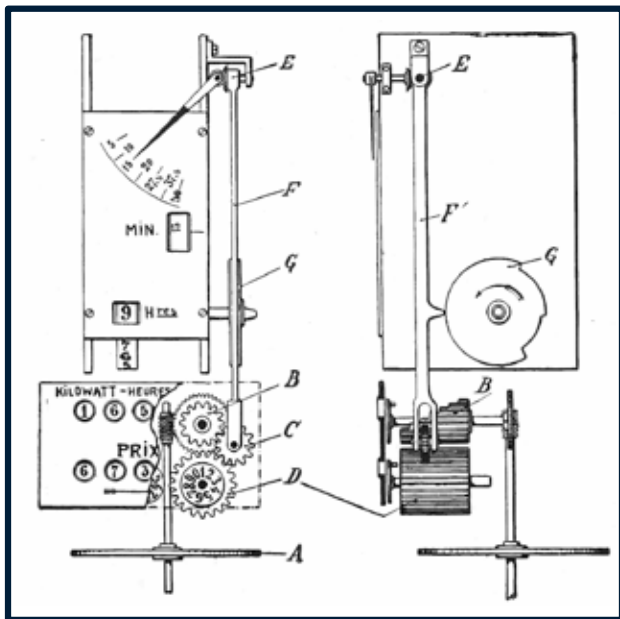


Prinzipdarstellung eines Kugelgetriebes für komplexe Analogrechnungen [17]

53 Baumann: Preiszähler (1905)

Mehrtarif-, Maximum- und Überverbrauch-Zähler kamen besonders bei Stromkunden mit großen oder sehr großen Energieverbräuchen in Frage. Aber auch für die kleineren Verbräuche entwickelten die Zählererfinder Lösungen, um beim Messen und Abrechnen die Bedürfnisse der Strombezieher besser zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang ist das Exponat № 53, eine Konstruktion des Schweizer Erfinders Adrian Baumann, besonders bemerkenswert.

Der Baumann-Zähler nimmt eine Idee vorweg, die die Stromvertriebsfachleute der Energieversorgungsunternehmen auch 100 Jahre später noch als Innovation diskutierten: Um das Bewusstsein der Kunden für ihren Stromverbrauch zu schärfen, sollten die Zähler nicht nur den Verbrauch in abstrakten kWh anzeigen, sondern direkt die Kosten in



Innenleben eines Preis-Zählers [7]

der Landeswährung. Der Baumann-Zähler führte aber nicht nur diese Doppelanzeige ein, sondern verfügte zudem über eine eingebaute Tarifschaltuhr. Diese Uhr schaltete während des Abrechnungszeitraumes durch eine Tarifprogramm-Scheibe und ein Hebelwerk die Übersetzung zwischen der kWh-Anzeige und der Preisanzeige stufenweise um. Dem Kunden wurden so automatisch die mit den zu unterschiedlichen Zeiten geltenden Strompreisen verrechneten Stromkosten angezeigt. Die Schaltuhr ist beim Exponat № 53 oberhalb der der kWh-Anzeige angeordnet, erkennbar an der Zeitanzeige und dem Pendel an der linken Seite.

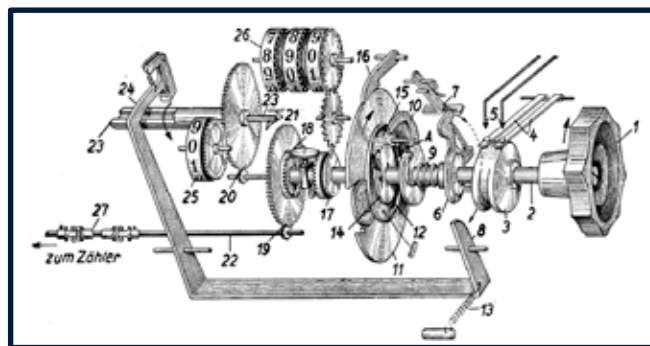
54 Siemens: Münz-Zähler (1927)

Hauptthema der Vitrine 19 sind Zähler mit eingebauten Kassier-Automaten. In der schönen Sprache des Jugendstils wurden die Geräte wohlklingender als „Selbstverkäufer“ bezeichnet.

Bereits Anfang des 20ten Jahrhunderts wurde intensiv darüber diskutiert, ob es nicht sinnvoller wäre, dass der Kunde erst bezahlt und dann den Strom bekommt, statt umgekehrt, wie es heute gang und gäbe ist. Vor allem folgende Vorteile wurden darin gesehen:

1. Keine Probleme dadurch, dass Kunden die Bezahlung ihrer Stromrechnung schuldig blieben.
2. Der grundsätzlich mögliche, vollständige Verzicht auf Rechnungsabteilungen bei den Energieversorgungsunternehmen, da ja mit anonymen Zahlungsträgern bezahlt wurde.

Zunächst wurden die Münzwerke in den Zählern so ausgestaltet, dass sie mit regulären Münzen der Landeswährung gefüttert werden mussten, damit der Strom floss. Dadurch sammelte sich über die Zeit Bargeld in den Zählern an und bot Anreize zu Diebstahl. Deshalb wurden dann vielfach Lösungen bevorzugt, bei denen die Kassierwerke für spezielle Wertmarken ausgelegt waren. Diese Wertmarken konnten dann bei öffentlichen Verkaufsstellen erworben werden. Das Stehlen der Marken aus den Zählern wurde dadurch sehr viel unattraktiver. Zur Zeit der großen Inflation in 1920ern hatten die Wertmarken allerdings den Vorteil, anders als normales Geld, ihren Wert nicht zu verlieren. Die Energieversorgungsunternehmen waren nämlich nicht in der Lage, die in den Zählern programmierten Strompreise synchron mit dem schnellen Wertverlust des Geldes zu erhöhen. Das Horten und Verschwinden der Wertmarken aus dem regulären Verkauf war die Folge.



Innenleben eines Münzzählers [18]

Münz-Zähler wie das Exponat № 54 sind so konstruiert, dass nach Einwerfen der Wertmarken oder Münzen der Stromfluss und eine Art Drehzahlmesser freigeschaltet werden, der nach einer voreingestellten Anzahl von Läuferumdrehungen den Stromfluss wieder unterbricht. Die Läuferumdrehungen sind ja nichts anderes als ein mit einem konstanten Faktor bewertetes Äquivalent der gelieferten Elektrizitätsmenge. Die Anzahl von Läuferumdrehungen, die der Kunden pro eingeworfenem Zahlungsträger bekam, konnte bei den meisten Ausführungsformen ohne Öffnen des amtlich plombierten Zählergehäuses von außen je nach Bedarf angepasst werden. Auch die Geldkassette konnte entleert werden, ohne dass die amtliche Plombe gebrochen werden musste. Die Zugänge zu den „kWh-pro-Wertmarke-Einstellelemente“ und zur Kassette wurden mit Plomben des Energieversorgungsunternehmens gesichert, um illegale Eingriffe erkennbar zu machen.

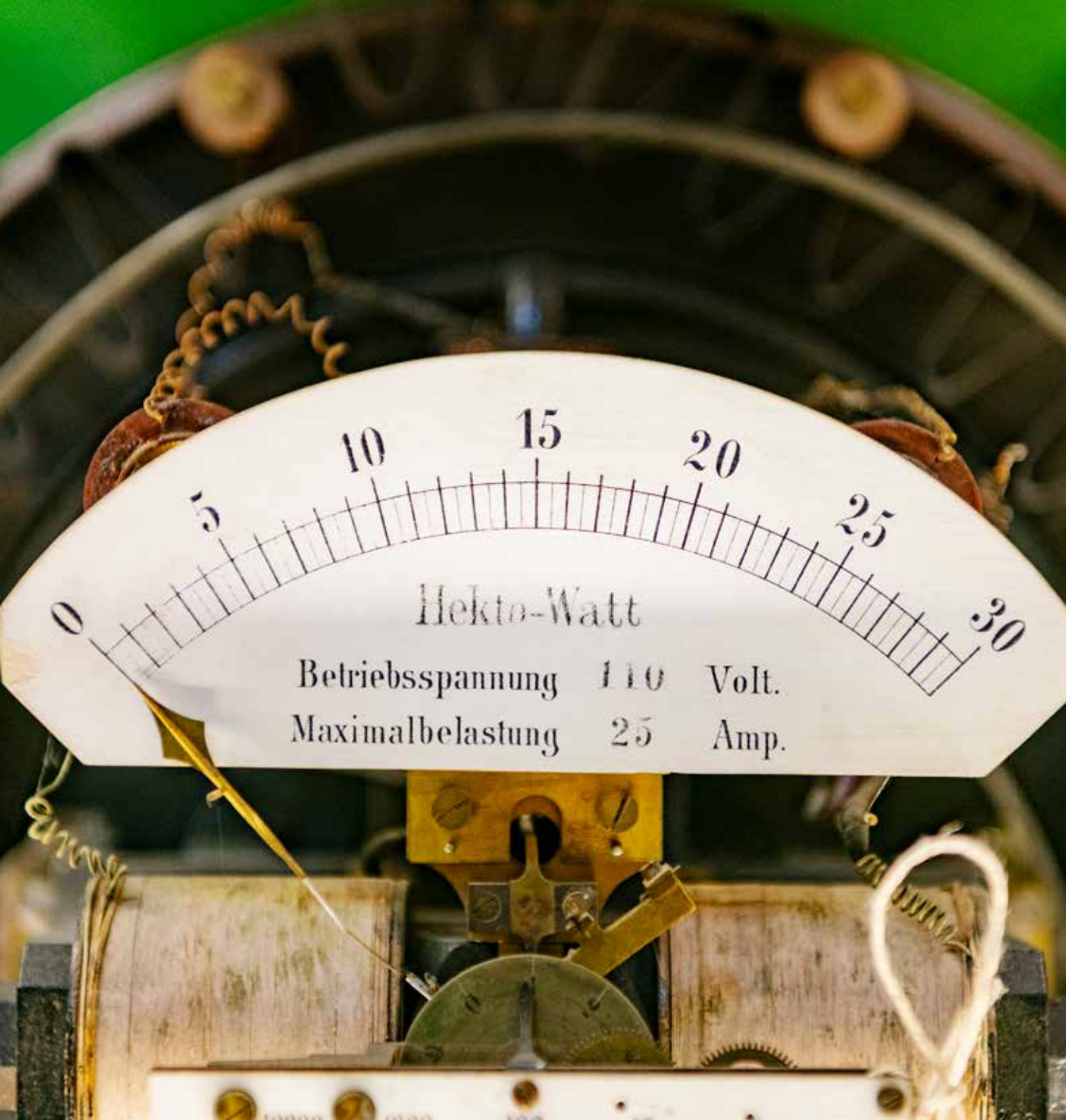
55 Landis & Gyr: Prepayment-Zähler (1995)

Im 20ten Jahrhundert wurden „Selbstverkäufer“ oder „Vorkasse-Zähler“, wie sie später genannt wurden, hauptsächlich für Anwendungsfälle eingesetzt, wo Strom öffentlich verkauft wurde oder wo Kunden sich erfahrungsgemäß als unwillig erwiesen hatten, ihre Stromrechnung zu bezahlen. Die Ideen aus dem Anfang des 20ten Jahrhunderts, den Vorkasse-Zähler grundsätzlich in allen Haushalten als Alternative zum Standardzähler einzusetzen, wurden erst in den 1990er Jahren wieder aufgegriffen. Das geschah im Zusammenhang mit neuen rechtlichen Rahmenbedingungen, die regelten, dass die vier Aufgaben der Energieversorgungsunternehmen „Erzeugung, Verteilung, Vertrieb und Messung“ voneinander getrennt und von unterschiedlichen, im Wettbewerb handelnden Unternehmen wahrgenommen werden sollten. In modernen, elektronischen Vorkasse-Zählern wurden Chancen gesehen, den Stromvertrieb unter diesen Markt-Bedingungen zu vereinfachen.

Es war wieder die Schweizer Firma Landis & Gyr, die auf diesem Feld Pionier-Arbeit leistet. Die ersten Zähler, bei denen nicht über Münzen oder Wertmarken, sondern mit Smart-Cards als Zahlungsträger kassiert wurde, kamen von diesem Hersteller. Ein Mustergerät dazu ist das Exponat № 55, aufgehängt links neben der grünen Tafel der Vitrine 19 hinten an der Lochwand.

Schräg unten links des Smart-Card-Zählers ist auch ein weiterer Meilenstein der Entwicklung von Vorkasse-Zählern ausgestellt, gleichfalls ein Produkt von Landis & Gyr. Gut erkennbar an dem massiven, grauen Gehäuse in Hammerschlag-Lackierung. Dieser Zähler wurde vor allem im öffentlichen Raum mit wechselndem Kundenkreis verwendet, kassierte reguläre Münzen und wurde deshalb besonders diebstahlsicher gebaut. Die Besonderheit und Innovation des Gerätes verbirgt sich allerdings im Inneren des Gehäuses: Das Zählen der Umdrehungen zum Abschalten des Stromes erfolgte hier nicht mehr durch ein mechanisches Räderwerk, sondern durch eine elektronische Schaltung. Die Strompreise ließen sich so besonders feingranular einstellen. Dazu verfügte die Zähler über einen plombierbaren Zugang durch die Zählerkappe zu Mikroschaltern im Zählerinneren.

Letztlich erfüllten sich die hohen Erwartungen und Prognosen der Trendforscher am Ende des 20ten Jahrhunderts betreffend einer Renaissance des Vorkasse-Zählers als Standardabrechnungszähler nicht. Angewandt wurden sie weiter nur bei „schwierigen“ Stromkunden und in Sonderfällen der öffentlichen Stromversorgung, wie Campingplätze, öffentliche Waschküchen, Yachthäfen usw. Im Übrigen: Auch die ersten Ladesäulen für Elektroautos in den 1990er Jahren kassierten anonym mit Münzen oder elektronischen Zahlungsträgern, sogenannten Tokens. Mit Blick auf den Datenschutz auch keine schlechte Lösung.

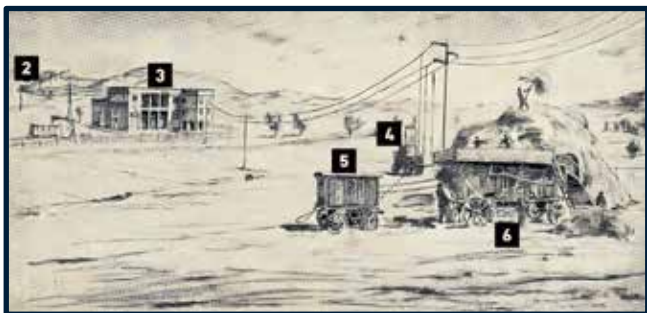


Hekto-Watt

Betriebsspannung 110 Volt.
Maximalbelastung 25 Amp.

56 ISARIA: Umdrehungszähler für Motoren (ca. 1925)

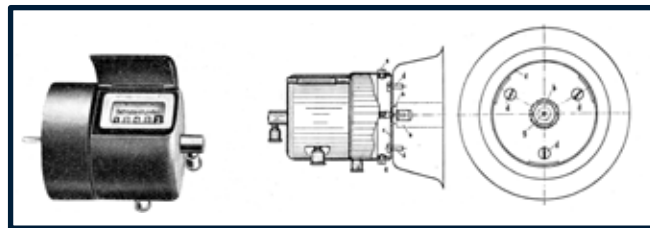
Auf dem Weg zum Ende des Ausstellungsrundgangs geht es zu einem kleinen Exkurs nochmal ein paar Schritte zurück zur Vitrine 27. Hier sind neben Schaltuhren einige technische Lösungen versammelt, die schon zu Beginn des 20ten Jahrhunderts als Alternativen zur Abrechnung nach gemessenen kWh diskutiert und praktisch genutzt wurden. Zu solchen alternativen Ansätzen gehörte auch der Umlauf-Zähler der Firma ISARIA, von dem ein Exemplar unter der № 56 ausgestellt ist.



Strom auf dem Feld → (2) Hochspannungsleitung, (3) Umspannwerk, (4) Mobiler Trafo, (5) Elektromotorwagen mit Zähler, (6) Dreschwagen mit Schlappiemen-Antrieb

Auf der Suche nach neuen, zusätzlichen Anwendungsmöglichkeiten für die Elektrizität rückte Anfang des 20ten Jahrhunderts auch die Landwirtschaft ins Blickfeld. Landwirtschaftliche Maschinen auf dem Hof, aber auch auf dem Feld konnten vorteilhaft elektrisch betrieben werden, soweit Anschlussmöglichkeiten an elektrische Leitungen bestanden. Nicht unüblich im Fall mobiler Maschinen, wie z. B. Dreschwagen, war dabei, diese direkt an in der Gegend verlaufende Freileitungen anzuschließen. Zur Abrechnung der auf diese Weise bezogenen Elektrizität wurden die Motoren einfach mit mechanischen Umdrehungszählern ausgerüstet. Im Zusammenhang mit den Leistungsangaben auf dem Motortypschild wurden dann die aufgenommen kWh (schätzungsweise) bestimmt. Elektrizitätszähler, die bei dem rauen Feldbetrieb brauchbare kWh-Messwerte hätten liefern können, standen noch nicht zur Verfügung.

Der Umlauf-Zähler gehört zu den zahlreichen Beispielen im Elektrizitätszähler-Kabinett, die aus der Technikgeschichte heraus für heutige Fragestellungen Anregungen liefern können. Tatsächlich bekommt die Verwendung von mehr Strom als Energiequelle auf Hof und Feld im Rahmen heutiger Diskussionen um die möglichst weitgehende Abkehr von fossilen Energieträgern neue Aktualität.



Umlauf-Zähler zur Ermittlung des Stromverbrauchs aus Umdrehungen der Motorwelle [Hanfland, C.: Die neuzeitliche Elektrotechnik, Minerva Verlag, Leipzig 1923]

57 ISARIA: Betriebsstunden-Zähler (ca. 1930)

Anfang des 20ten Jahrhunderts gab es heftige, in den Fachzeitschriften öffentlich geführte Debatten, inwieweit die Abrechnung von kWh, die mit Zählern gemessen worden waren, überhaupt ökonomisch sinnvoll sei. Waren doch die Zähler selbst in der Beschaffung teuer. Ihre aufwendige Wartung, Pflege und Nachprüfung verursachte zudem unerfreuliche Kosten. Dazu kamen noch die Verwaltungskosten für die kWh-genauen Rechnungen. Das Alternativ-Modell zum „Zählerarif“ war der „Pauschaltarif“, etwas, das heute „Flatrate“ genannt wird. Reine Pauschaltarife, also die Zahlung von regelmäßigen Geldbeträgen unabhängig von der Höhe des Energiebezugs und ohne jede Messung, bewährten sich allerdings wirtschaftlich nicht.

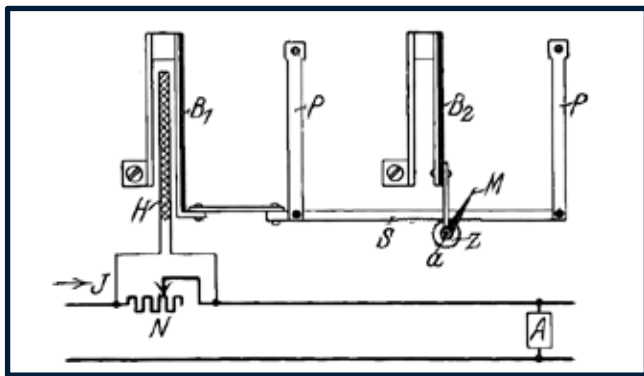
Als Mittelweg experimentierten die Energieversorgungsunternehmen mit Tarifen, bei denen nicht kWh, sondern Betriebsstunden abgerechnet wurden. Dazu kamen Betriebsstunden-Zähler zur Anwendung, die über einen elektrischen Aufzug verfügten. Für temporäre Betriebsstundenmessungen, wie z. B. für landwirtschaftliche Anwendungen, boten die Hersteller Zeit-Zähler an, deren Uhrwerk von Hand aufgezogen werden musste. Das Exponat № 57 ist ein Ausführungsbeispiel dieser Geräteart.

Die Zählung von Zeiteinheiten anstatt von kWh ist heute im Zusammenhang mit der Abrechnung des Strombezugs an Ladesäulen wieder ein kontrovers diskutiertes Thema. Das Abrechnen von Zeit ist technisch, organisatorisch und rechtlich einfacher und damit billiger als die Messung von kWh. Allerdings: Heute setzt sich auch an der Ladesäule – wie vor hundert Jahren im Strommarkt – die Messung der kWh zur Abrechnung der gelieferten Energie zunehmend durch. Es gilt das alte metrologische Gesetz: Was physikalisch richtig ist, ist meistens auch ökonomisch richtig.

58 Siemens: Höchststrommesser (ca. 1930)

Als die Energieversorgungsunternehmen lernen mussten, dass die Stromkunden bei Pauschal- oder Zeittarifen Energie verschwendeten und die Flatrate-Gebühren betriebswirtschaftlich versagten, wurde versucht, mit „Überstrommessern“ Abhilfe zu schaffen. Das Exponat № 58 ist eine beispielhafte Ausführung solcher Geräte. Im Grunde handelte es sich um eine Verfeinerung des Konzeptes von Arthur Wright (Vitrine 15, № 48) auf elektromechanischem Wege:

Ein Teil des Verbrauchsstromes wurde durch den Heizer eines Bimetalls geleitet, das sich dann je nach Stromstärke verformte. Die Verformungen wurden mit einer Zahnradübersetzung auf einen Zeiger übertragen. Je stärker der Strom, umso weiter schlug der Zeiger aus. Dieser von der Messgröße angetriebene Zeiger schleifte einen Schleppzeiger mit, der dann bei der während eines Abrechnungszeitraumes erreichten Maximalstromstärke stehen blieb. Es wurde dann ein Preiselement eingeführt, dass diesen Maximalstrom mit einem zusätzlich Preis belegte.

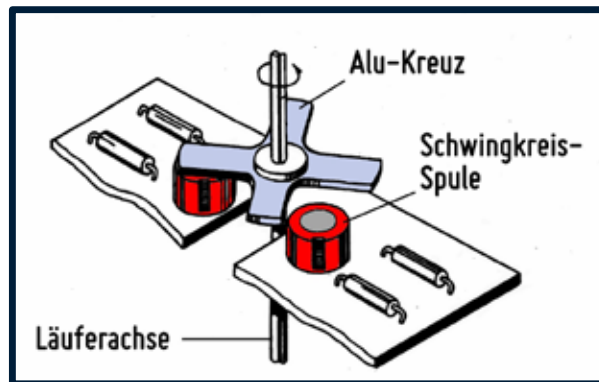


Prinzipialschaltbild eines Bi-Metall-Maximumwerks mit automatischer Kompensation der Umgebungstemperatur [17]

Ähnliche Geräte waren so konstruiert, dass sie – ähnlich einer Sicherung – als Maximalstrom-Abschalter wirkten. Der Verbraucher wurde dann bei Überschreiten einer vertraglich vereinbarten Stromstärke einfach von der Versorgung getrennt. Es mussten dann weiter keine Messwerte für die Abrechnung erfasst werden. Der eigentliche Flatrate-Vorteil blieb erhalten.

59 Heliowatt: Hybrid-Zähler (Anfang 1980er)

An den druckenden und lochenden Messwerken in Vitrine 16 wird besonders deutlich, welchen technologischen Sprung es bedeute, als Ende der 1970er Jahre Mikroprozessortechnik zur Verfügung stand. Die Realisierung der komplizierten, mechanischen Rechen- und Speichertechnik war nun in einer zigaretenschachtel-großen Baugruppe möglich. Zunächst statteten die Zählerhersteller ihre Motorzähler mit sogenannten Impulsgebern aus. Diese optisch oder induktiv arbeitenden Vorrichtungen wur-



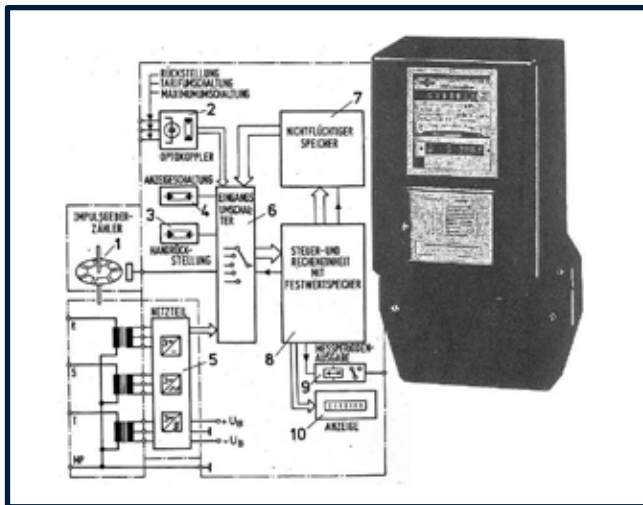
Impulsgeber mit Drehrichtungserkennung nach dem Prinzip des induktiven Näherungsinitiators [nach einer amtlichen PTB-Bekanntmachung]

den auf der Rotorachse montiert und produzierten bei Rotordrehungen elektrische Impulsfolgen, deren Frequenz proportional zur vom Zähler gemessenen Leistung war. Zunächst boten die Hersteller Lösungen an, bei denen das mit Mikroprozessortechnik realisierte Rechenwerk in einem Extragehäuse auf den Klemmenblock montiert war. Es erhielt dann durch die Impulsfolgen aus dem Zähler Messwerte in frequenzanaloger Codierung zur Weiterverarbeitung und Speicherung.

Der erste Hersteller, dem es gelang, ein solches Mikrorechner-System vollständig in einen Motorzähler zu integrieren, war die Firma Heliowatt (ehemals Aron) in Berlin. Dabei spielte eine Rolle, dass der Messwerk-Aufbau des Heliowatt-Drehstromzählers eher zufällig schon immer so aufgebaut war, dass im Inneren zwischen den elektro-mechanischen Baugruppen ausreichend zusammenhängendes Volumen zur Verfügung stand, um eine Mikrorechnerschaltung unterzubringen. Damit war eine neue Gerätekategorie geboren, die „Hybrid-Zähler“ genannt wurde.

Die Konstruktionsphilosophie lautete: Der sogenannte „Basiszähler“ zur Messung der letztlich für die Stromrechnung maßgeblichen kWh sollte in einer langlebigen und zuverlässigen Technik ausgeführt sein, bei der es auch bei Stromausfall oder Gerätedefekt immer noch eine verlässliche Anzeige gab. Ende der 1970er und Anfang der 1980er Jahre gab es noch keine Elektronik, die das so gut hätte leisten können, wie der elektromechanische

Qualitätszähler der damaligen Zeit. Das Mikrorechnersystem war demgegenüber dazu da, die Geräte flexibel und umfangreich mit Tarif- und Speicherfunktionen auszustatten. Tatsächlich waren die Mikrorechner in diesem Punkt den sehr komplizierten, voluminösen und mitunter auch störanfälligen Räderwerken der mechanischen Vorgänger überlegen.



Pioniertat! Heliowatt-Hybrid-Zähler [aus einer Heliowatt-Werbeschrift]

Diese Hybrid-Zähler kamen nicht bei den Haushaltsstromkunden zur Anwendung. Dazu waren die Geräte in der Herstellung zu teuer. Der Anwendungsbereich lag bei den Gewerbe- und Industrieverbrauchern, auch in der Landwirtschaft. In diesen Sektoren lösten die Hybrid-Zähler die Geräte mit mechanischen Tarifwerken zunehmend ab.

Die Firma Aron/Heliowatt hat während ihrer gesamten 125-jährigen Existenz bis in die 1990er Jahre immer wieder technische Pionierleistungen erbracht, die bis in die heutige Zeit wirken. So hat das Unternehmen mit der Entwicklung der Hybrid-Zähler auch als erster Hersteller Standards für die Bedienung der Anzeige mit Taschenlampen-Lichtimpulsen und für die Auslesung der Zähler mittels optoelektronischer Infrarot-Schnittstelle gesetzt. Ursprünglich wurde das Interface speziell auf die Fähigkeiten des damals sehr populären, ersten Laptop-Computer Epson HX20 hin zugeschnitten, heute hat es sich in weiterentwickelter Variante weltweit bei Zählern etabliert. Die „Blinklampen“, die Heliowatt auch gern als Werbegeschenke verteilte, und ein HX20 aus jener Zeit sind in der Vitrine mit ausgestellt.

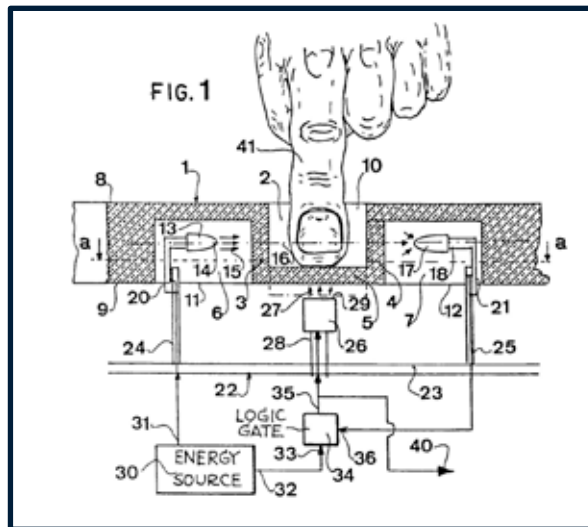
60 Landis & Gyr: Messwerk-Evolution (1980er)

Hybrid-Zähler bildeten den Ausgangspunkt für den schrittweisen Übergang von den elektromechanischen Motorzählern hin zu vollständig elektronischen Multifunktionszählern, die heute landläufig „Smart Meter“ genannt werden. Die Entwicklungsschritte lassen sich an drei Produkten

der Firma Landis & Gyr recht gut erkennen. Von links nach rechts:

Links: Zunächst bestand der Hybrid-Zähler aus dem Induktionsmotor-Zähler mit einem ergänzten Mikrorechner. Bei Landis & Gyr war dieser in die Zählerkappe integriert worden und verfügte anders als der Heliowatt-Zähler bereits über ein LCD-Display. Gegenüber der Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der LCD bestand bei den Herstellern und Anwendern zunächst Misstrauen. Das zusätzliche Vorhandensein des Rollenzählwerks als Back-Up für die kWh-Messwerte wurde deshalb gefordert. Die Firma Heliowatt (№ 59) hatte sich sogar bewusst für LED statt LCD entschieden, und die Anzeige wurde nur bei Anblinken des optischen Sensors aktiviert, um die Lebensdauer der Elektronik zu erhöhen.

Mitte: Im Betrieb stellte sich dann heraus, dass das doppelte Vorhandensein einer Anzeige auch Nachteile hatte: Die mechanisch über das Rollenzählwerk registrierten kWh und die elektronischen, durch Impulszählung ermittelten kWh-Messwerte wichen wegen der unterschiedlichen Arbeitsweise der Mechanik und der Elektronik bei bestimmten Betriebsbedingungen mitunter voneinander ab. Das führte zu Diskussionen, welcher der Zählerstände denn nun der korrekte sei. Bei größeren Messzeiträumen und kWh-Werten spielte der Unterschied keine wesentliche Rolle, bei kleineren konnte es problematisch werden. Die Firma Landis &



Patent für Taste ohne Gehäusedurchbruch und mechanischen Schalter – Basis für die optische Taste von Landis & Gyr [Patent EP 200592]

Gyr war dann so kühn, Hybrid-Zähler anzubieten, bei denen das Rollenzählwerk weggelassen wurde. Es gab jetzt eine eindeutige Anzeige: Die elektronische.

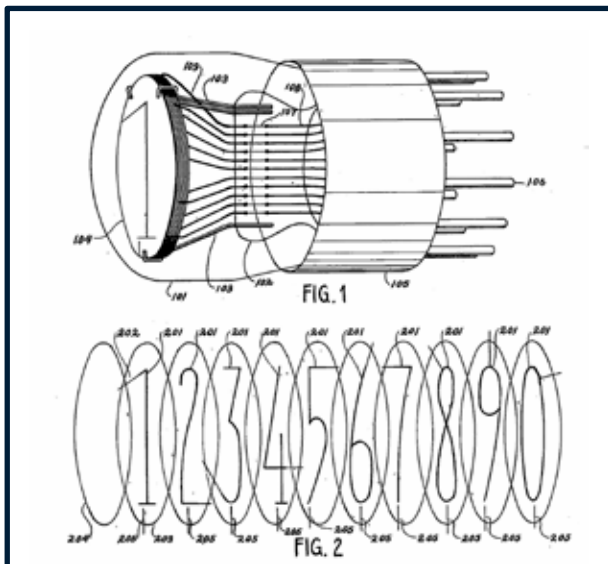
Bei diesen Zählern wurden auch neuartige Bedienelemente ausprobiert: Bei den Hybrid-Zählern erwiesen sich zunehmend mechanische Tasten

als Problem, weil sie einen Durchbruch durch die Zählerkappe erforderlich machten und das Gehäuseinnere somit nicht mehr hermetisch gegen Staub, Feuchte, statische Entladungen und Hochspannungsdurchschläge und geschützt war. Außerdem erforderten die Tasten das Ausüben von mechanischem Druck auf das Gehäuse, was sich nachteilig auf die Lebensdauer der Elektronik auswirkte. Bei den neuartigen Bedienelementen gab es nun ersatzweise eine „Tastmulde“ mit Lichtschranke. Wurde der Finger in die Mulde gelegt, unterbrach er einen Lichtstrahl und der gewünschte Tast-Impuls wurde ausgelöst. Durchgesetzt hat sich dieses Konzept nicht.

Rechts: In einem dritten Schritt setzte man die Kappe mit dem Mikrorechensystem dann auch auf Zähler, die über ein elektronisches Messwerk verfügten, sodass der Zähler jetzt vollständig elektronisch funktionierte. Damit waren dann auch die zunehmend heftig geführten Debatten beendet, welche Nachprüffristen („Eichgültigkeitsdauern“) für die Hybrid-Zähler gelten sollten. Die einschlägigen, gesetzlichen Vorschriften sahen nämlich wegen des unterschiedlichen Alterungsverhaltens von Mechanik und Elektronik für Induktionsmotor-Zähler 16 und für die vollständig elektronischen Zähler nur 8 Jahre vor. Vollelektronische Zähler hatten unbestritten eine nur 8-jährige Eichgültigkeitsdauer.

61 AEG: Vorführ-Zähler (Ende 1960er)

Auf dem Boden der Vitrine ist mit dem Exponat № 61 eine spezielle Form eines frühen elektronischen Zählers ausgestellt: Ein sogenannter Vorführ-Zähler. Diese Geräte wurden für Vorführküchen, Schulen, Messen und andere kommerzielle Verwendungen von der Firma AEG verkauft. Mess-

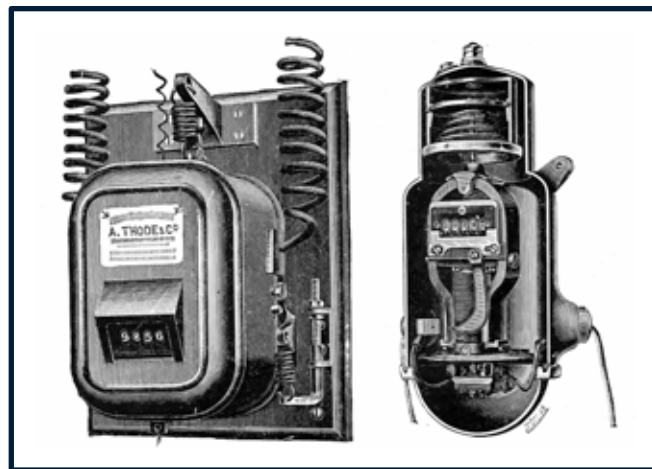


Aus dem Patent für „NIXI“-Röhren [Patent US 2142106]

beginn und -ende wurden durch einen elektrischen Kontakt ausgelöst. Frühere Modelle arbeiteten noch mit Zeigerzählwerk. Die in den 60er und 70er Jahren aufkommende Nixie-Röhren-Technik ermöglichte dann erstmals digitale Anzeigen mit gegenüber den Zeigern besserer Auflösung und einfacherer Ablesbarkeit. Das Patent für die Anzeige-Röhre stammt bereits aus den 1930er Jahren. „NIXI“ steht für „Numeric Indicator eXperimental No. 1“

62 DZG: Statischer Zähler für die Bahn (Mitte 1960er)

Die Geräte in der Vitrine 29 zeigen die wichtigsten Meilensteine in der Entwicklungsgeschichte der elektronischen Elektrizitätszähler in Deutschland. Das Elektrizitätszähler-Kabinett verfügt dazu über deutlich weniger Exponate als im Fall der mechanischen und chemischen Messgeräte. Tatsächlich gibt es im Fall der Elektronik deutlich weniger an Konstruktionskunst visuell zu bestaunen. Das Zeigen von Dingen hat hier eine andere Wirkung als im Fall der feinwerktechnischen Baukunst z. B. eines Aronschen Doppelpendel-Zählers. Dennoch ist diese Vitrine wichtig, da sie zeigt, wie die Entwicklung der Elektrizitätszählertechnik nach rund 150 Jahren auf eine gewisse evolutionäre Ebene eingebogen ist.



Mechanischer Zähler für Straßenbahnen (nicht in der Ausstellung) [7]

Die ersten Entwicklungen für Abrechnungszähler mit elektronischen Messwerken erfolgten bei deutschen Herstellern in den 1960er Jahren. Anstoß gaben Anwendungsfälle bei der Messung von Elektrizität zur Versorgung der Lokomotiven auf den Bahntrassen. Die Zähler sollten dazu in der Lage sein, sowohl bei 50 Hz (der normalen Netzspannungsfrequenz) wie auch bei 16 2/3 Hz (der Frequenz der Oberleitungsspannung) richtig messen zu können.

Wünschenswert war auch der Einsatz direkt auf der Lokomotive, um den Energieverbrauch einzelner Fahrzeuge ermitteln zu können. Mechanische Zähler waren wegen ihrer Erschütterungsempfindlichkeit dafür nur bedingt geeignet. Erfahrungen mit speziellen Bahnfahrzeug-Zählern zur Verwendung auf Schienenfahrzeugen gab es bereits seit Anfang des 20ten Jahrhunderts.

In „statischen“ Zählern, also Zählern ohne Rotor wurde nun die Chance gesehen, genauere Messergebnisse zu erreichen. Die Firma Deutsche Zähler-Gesellschaft Nachf. A. Stepper & Co entwickelte erste Prototypen mit einem elektronischen Multiplizierwerk nach einem Patent des PTB-Wissenschaftlers und späteren PTB-Vizepräsidenten H.-J. Schrader. Kernstück der Schaltung war eine Multiplizierschaltung mit Thermistoren, angelehnt an ein Patent des Engländers William Du Bois Duddell (1872-1917). Er war auf die Idee gekommen, für die Multiplikation binomische Formeln nach dem Prinzip „ $4ab = (a+b)^2 - (a-b)^2$ “ anzuwenden. Die Schaffung der erforderlichen thermischen Stabilität im Zählergehäuse erwies sich allerdings als schwierig. Von dem Bahnstrom-Zähler sind soweit bekannt nur einige Prototypen gebaut worden. Für Labor-Normalmessgeräte und selbst für das nationale Normal für die elektrische Leistung der PTB wurde das Duddell-Prinzip allerdings unter Verwendung von Thermokonvertern bis Anfang des 21ten Jahrhunderts erfolgreich eingesetzt.

63 Zähler mit Time-Division-Multiplizierer (Ende 1960er)

In den 1960er Jahren gab es große Fortschritte auf dem Gebiet der Mikroelektronik und der integrierten Schaltkreise. Zugunsten des Einsatzes dieser Komponenten wurde das Konzept der thermischen Multiplikation für Abrechnungszähler nicht weiterverfolgt. Elektronische Zähler als künftiger Ersatz für die Motorzähler waren zu der Zeit ein in der Metrologie intensiv beforschtes Thema. In der PTB entstanden erste Prototypen ab Ende der 1960er Jahre. Das Exponat № 63 ist ein dinglicher Zeuge aus dieser Zeit.

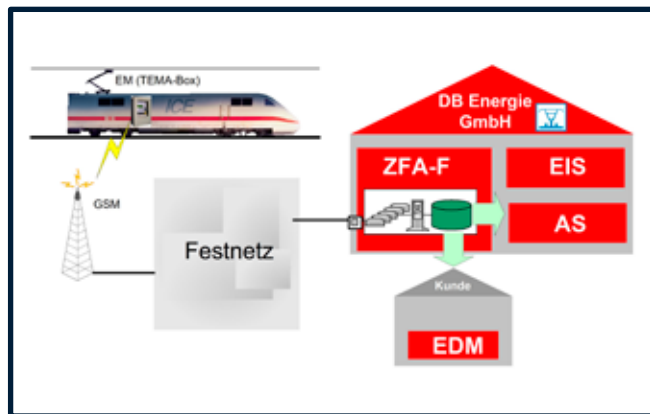
Als analoges Multiplizierverfahren wurde in dem Zähler ein sogenanntes Impulsbreiten-Impulshöhen-Multiplikationsverfahren verwendet. Zahlreiche Varianten dieses damals u. a. auch in Analogrechnern von Satelliten eingesetzten „Time-Division-Prinzips“ wurden für die Verwendung in Elektrizitätszählern getestet. Das Grundprinzip ist dabei stark vereinfacht in etwa Folgendes: Die Impulsbreite eines Rechtecksignals wird vom Signal des Multiplikanden so moduliert, dass sie zu dessen Augenblickswert proportional ist. Dieses Rechtecksignal amplituden-moduliert dann das Multiplikatorsignal. So entstehen Folgen von Pulsen, deren Flächengröße proportional zum Produkt aus Multiplikand und Multiplikator ist. Bei der Anwendung im Zähler ist der Multiplikand ein von der Messspannung und der Multiplikator ein vom Messstrom abgeleitetes Signal. Die Impulsfolgen mit ihren produktproportionalen Rechtecken wurden dann über einen Tiefpass auf einen Spannungsfrequenzwandler geleitet. Dessen Ausgangsimpulse schalte-

ten schließlich einen Schrittmotor zum Antrieb des kWh-Zählwerks.

Der große Vorteil des Time-Division-Prinzips liegt darin, dass es vergleichsweise unempfindlich ist gegen die Alterung und das Driften von Bauteil-Parametern. Ein besonders wichtiger Aspekt, da sich die damals kommerziell zur Verfügung stehenden Halbleiterschaltungen noch in einer frühen Entwicklungsphase befanden und entsprechende Unzulänglichkeiten aufwiesen. Die geringe Abhängigkeit der Richtigkeit des Multiplizierergebnisses von schwankenden Bauteil-Parametern, aber auch die erreichbare gute Linearität sorgten dafür, dass in den 1970er Jahren schließlich alle elektronischen Zähler eine Variante dieses Konzeptes zum Multiplizieren nutzen.

64 DB/EMH: TEMA-Box für Lokomotiven (2010er)

Wie zum Exponat № 62 erläutert, war in Deutschland der erste Anwendungsfall für elektronische Zähler die Messung von Bahnstrom. Die Ausstattung von Lokomotiven mit Elektrizitätszählern erhielt dann Ende der 2000 Jahre neue, starke Impulse. In nahezu allen europäischen Ländern setzten sich bei denen Bahnen Bestrebungen durch, die Aufgaben des Betriebes des Schienennetzes, der Energieversorgung und der Fahrzeuge organisatorisch voneinander zu trennen und wenigstens teilweise zu privatisieren. Damit entstand zumindest innerhalb der Europäischen Gemeinschaft die Situation, dass Lokomotiven privater Fahrzeugbetreiber über die Ländergrenzen hinweg verkehrten und aus Oberleitungen fremder Unternehmen die Energie zum Fahren entnahmen. Die Europäische Kommission wurde aktiv. Eine Richtlinie wurde veröffentlicht, die zum Ziel hatte, das Messen und Abrechnen von Energie für Lokomotiven zu harmonisieren. Es folgte die Wiederaufnahme von Arbeiten an der Normenreihe zur Norm EN50463-1 „Railway applications – Energy measurement on board trains“. Sie sollte die Anforderungen der EU-Richtlinie konkretisieren.

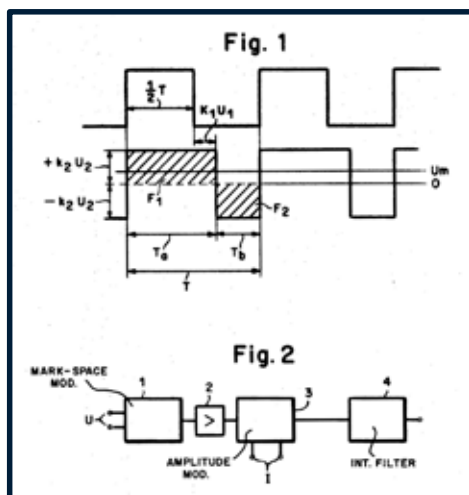


Prinzip der On-Board-Energiemessung auf Lokomotiven mit einer „TEMA-Box“ [aus einem Werbeprospekt der Firma ITF-EDV GmbH 2005]

Die Deutsche Bahn setzte zu dieser Zeit bereits mobile Messeinrichtungen auf Lokomotiven ein. Sie führten die Bezeichnung „TEMA-Box“ und verfügten neben einem GPS-Empfänger zur Lokalisierung des Fahrzeugs über einen sogenannten „Lastgang-Zähler“ der Firma EMH. Diese Zähler zeichneten die Verbräuche in konstanten Zeitabständen zusammen mit den Ortsdaten in einem Speicher des Zählers auf. In regelmäßigen Abständen wurden die Daten über ein Mobil-Telefon-Modul in der TEMA-Box („Traktions-Energie-Messung und Abrechnung“) an das Energieversorgungsunternehmen übertragen. Dieses Konzept fand dann auch Eingang in die neue Version der Normenreihe EN50463. Praktisch alle Elektrolokomotiven auf dem Schienennetz der Deutschen Bahn verfügen heute über eine TEMA-Box entsprechend dem Exponat № 64 oder eine kompatible Einrichtung. Die in den aktuellen Versionen der TEMA-Box verbauten Zähler verfügen über eine weitere Besonderheit: Sie sind in der Lage, nicht nur bei den Bahnfrequenzen 16 2/3 Hz und 50 Hz, sondern auch bei Gleichstrom innerhalb der Fehlergrenzen richtig zu messen. Auf diese Weise können die Lokomotiven bei Überschreitung der Ländergrenzen im Bahnnetz jedes europäischen Landes richtig messen, ohne dass die Messbox ausgetauscht werden muss.

65 Landis & Gyr: Hochpräzisionszähler (Anfang 1970er)

Anfang der 1970er Jahre gelang es der Firma Landis & Gyr als Erster für einen elektronischen Zähler zu Abrechnungszwecken die Bauartzulassung der PTB zu erhalten. In dieser Zeit gab es einen intensiven Wettbewerb insbesondere zwischen der Firma Landis & Gyr und der Firma Siemens, die ihre Zulassung nur wenig Tage später als Landis & Gyr ausgestellt bekam. In beiden Fällen handelte es sich um sogenannte Hochpräzisionszähler der Klasse 0,5S. Beide arbeiteten nach dem



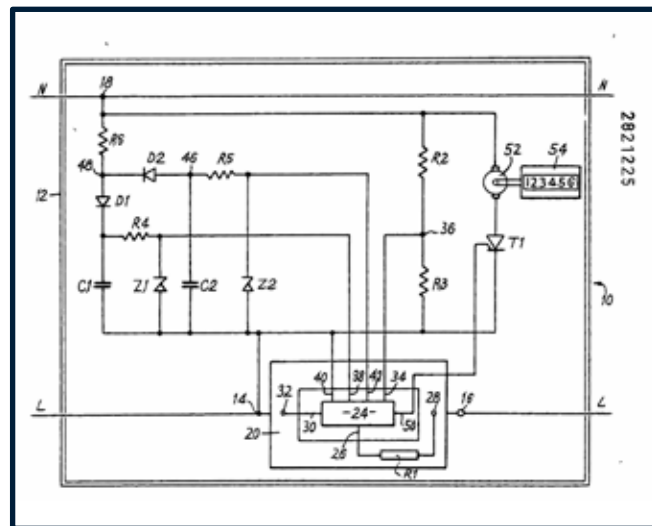
Prinzip des Time-Division- oder Mark-Space-Multiplizierers am Beispiel der erfolgreichen Variante von Jakob de Vries (Landis & Gyr) [Patent DE 1591963]

Time-Division-Prinzip (siehe № 63). Die Messunsicherheit für die gemessenen kWh war erheblich geringer als die von Motorzählern. Der Einsatzbereich lag bei Kunden mit sehr großen Energieverbräuchen wie z. B. Fabriken, wo die Genauigkeit wegen der Geldwertigkeit von Messabweichungen eine besonders wichtige Rolle spielt. Allerdings mussten die Anwender in Kauf nehmen, dass die eichrechtlichen Vorschriften für die elektronischen Zähler mangels Erfahrungen mit dieser Technologie ein häufigeres Nachprüfen der Geräte forderten als für die Motorzähler.

Tatsächlich war auch die Firma Landis & Gyr bei ihren Geräten schnell mit Verbesserungsbedarf konfrontiert: Ursprünglich sollte eine transparente Zählerkappe den Blick in das moderne Innere der Geräte ermöglichen. Dann zeigten sich Probleme mit elektromagnetischen Störungen. Zur Abhilfe wurden die Acrylglasschrauben erfolgreich von innen mit einer leitenden Schirm-Schicht besprüht. Moderne, elektronische Zählertechnik gab es jetzt durch das Zählergehäuse nicht mehr zu sehen, dafür aber besseren Schutz gegen Störungen. Das Exponat №65 ist ein Exemplar aus dieser Pionierzeit.

66 Schlumberger: Haushaltszähler mit Shunt (Mitte 1980er)

In Deutschland war das Interesse an elektronischen Zählern als Alternative zu den unschlagbar zuverlässigen Induktionsmotor-Zählern für die Anwendung in den Haushalten bei allen Marktakteuren wenig ausgeprägt. Eine höhere Genauigkeit als die 2-3% der Motorzähler schien nicht erforderlich. Für elektronische Zusatzfunktionen oder Fernauslesefähigkeit wurde unter Abwägung der Vor- und Nachteile elektroni-



Aus dem Schlumberger-Enertec-Patent: Zähler mit Shunt [Patent DE 2821225]

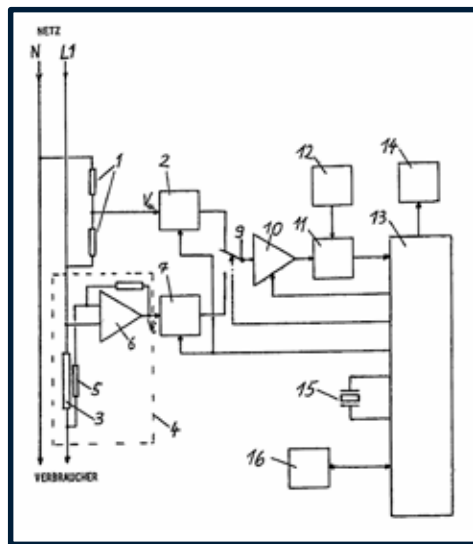
scher Geräte kein Bedarf gesehen. Eine andere Situation war in Frankreich vorzufinden. Während die deutschen Motorzähler-Hersteller zu den Weltmarktführern gehörten, gab es in Frankreich eine derartige Industrie fast gar nicht, dafür aber starke Elektronik-Unternehmen. Das staatliche Energieversorgungsunternehmen EDF „Électricité de France“ entschloss sich vor diesem Hintergrund, schrittweise in den Haushalten die Motorzähler durch elektronische Geräte zu ersetzen. Die Geräte sollten dann auch mit einer gewissen „Intelligenz“ ausgestattet werden, die die Fernsteuerung von Lasten, kompliziertere Tarifierungen und Fernauslesungen ermöglichte. Die deutsche Branche beobachtete mit Interesse diese Gehversuche auf dem neuen Terrain, das heute „Smart Metering“ genannt wird.

Den ersten Zuschlag zur Lieferung geeigneter Zähler erhielt der in Frankreich gegründete Großkonzern Schlumberger, der im Jahre 1970 den Zähler-Hersteller CDC Compagnie des Compteurs übernommen hatte. Das Exponat № 66 ist ein Exemplar aus dieser Produktion. Es handelt sich dabei um einen Wechselstromzähler, der die Stromstärke an der Verbrauchsstelle über einen Mess-Widerstand („Shunt“) ermittelte. Die deutsche Branche stand dieser Lösung zunächst sehr kritisch gegenüber: Shunts waren aus verschiedenen, elektrotechnischen Gründen für die Verwendung in Drehstrom-Zählern nicht ohne Weiteres geeignet. Drehstrom-Anschlüsse sind aber in Deutschland anders als in Frankreich auch in den Haushalten weit verbreitet. Hinzu kam, dass es der Firma Schlumberger gelungen war, sich einen „Stromzähler mit Shunt“ patentieren zu lassen. Wer also keine Lizenz-Abhängigkeit von diesem Konkurrenten wollte, musste nach anderen Lösungen suchen.



67 Sauter: Modularer Stecksocket-Zähler (Ende 1980er)

Ein zweites Standbein zur Umsetzung seiner Ideen für mehr Funktionalität von Zählern (siehe № 66) schuf sich die EDF durch finanzielle Unterstützung des und Kooperation mit dem Schweizer Hersteller Sauter in Basel. Die Firma hatte sich über viele Jahrzehnte als besonders erfolgreich und innovativ in der Entwicklung von Fernsteuer-Technik in Bereich Energieversorgung erwiesen.



Brückner/Sauter:
Modularer,
steckbarer Zähler
mit Shunt
[Patent DE 3414520]

Die Entwickler bei Sauter schufen nach den Vorgaben der EDF ein Produkt, das über mehrere visionäre Merkmale verfügte. Der Zähler wurde unter dem Spitznamen „Der Blaue“ bekannt. Die Farbe hatte er auf Wunsch der EDF erhalten, die den Tarif, für den die Zähler verwendet werden sollten, „Tarif Bleu“ getauft hatte.

Zu den besonderen Eigenschaften gehörten ein in das Gehäuse integriertes, fernsteuerbares Lastschalt-Relais, Fernauslesbarkeit, elektronische Manipulationserkennung, ein modulares Gehäuse-Aufbau und ein Stecksocket für das Zählermodul, um dieses ohne Werkzeuge auswechseln zu können. Bei Analyse der aktuellen Situation betreffend „Smart Metering“ in Deutschland findet sich vieles der damaligen EDF/Sauter-Ideen in der heutigen Technik wieder.

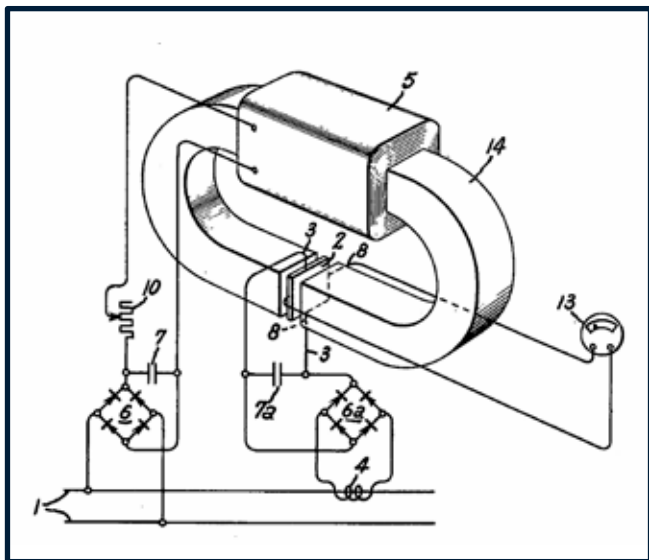
Der Schweizer Sauter-Konkurrent, die erheblich größere und mächtigere Firma Landis & Gyr, besaß zu der damaligen Zeit einen ca. 36-prozentigen Anteil an Sauter. Deren Angebot, die Anteile gegen die Rechte am „Blauen“ zu tauschen, lehnte Landis & Gyr ab. Die EDF bestellte bei Sauter nur eine vergleichsweise kleine Menge der „Blauen“ für Feldversuche. Die großen Volumenverträge für den Tarif Bleu wurden schließlich nicht mit Sauter, sondern mit der Firma

Landis & Gyr abgeschlossen, nachdem diese ihren Innovationsrückstand gegenüber Sauter aufgeholt hatte. Sauter musste die Produktion des „Blauen“ 1992 schließlich einstellen. Auch der von Sauter stark umworbene deutsche Markt war damals noch nicht bereit für das fortschrittliche Produkt, von dem das Exponat № 67 ein Exemplar zeigt.

68 Landis & Gyr: Zähler mit DFS (Anfang 1990er)

In den 1980ern und 90ern galt die Firma Landis & Gyr als Weltmarktführer unter den Zählerherstellern. Mit Spannung wurde also erwartet, welche Technologie ein erster elektronischer Zähler dieser Firma für die Anwendung in Haushalten verwenden würde.

Eine besondere Herausforderung bestand in einem Alternativ-Sensor zum Shunt. Auch in dem „Blauen“ (Exponat № 67) wurde ein



Beispiel einer frühen Idee eines Zählers mit Hall-Element aus dem Jahre 1950 (nicht in der Ausstellung) [Patent US 2585707]

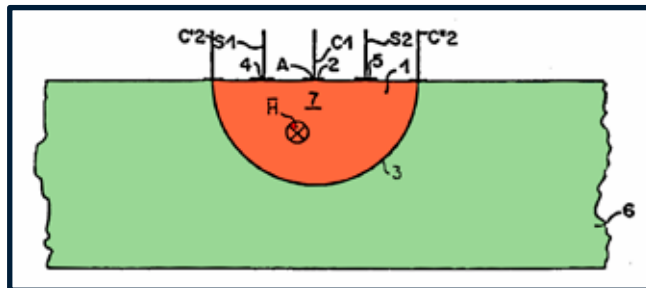
Shunt eingesetzt. Allerdings war auch dieser Zähler nur für Wechselstromnetze vorgesehen. Wer Drehstromzähler entwickeln wollte, versuchte, wie zu Exponat № 66 bereits erläutert, vor allem wegen technischer Hürden die Shunt-Technik zu vermeiden. Gesucht wurden Lösungen, bei denen, wie es technisch genannt wird, der Messstrom „potenzialfrei“ gemessen werden konnte. Potenzialfrei bedeutet dabei, dass es keinen direkten elektrischen Kontakt zwischen dem den Messstrom führenden Leiter einerseits und der elektronischen Messschaltung andererseits gibt.

Die Firma Landis & Gyr entschied sich zur Lösung der Aufgabe für den Einsatz eines selbstentwickelten Sensors auf der Basis des sogenannten Hall-Effektes. Dieser Effekt erhielt seinen Namen nach seinem Entdecker, dem amerikanischen Physiker Edwin Herbert Hall (1855-1938). Hall entdeckte in den 1880er Jahren, dass Elektronen, die durch einen Festkörper fließen, durch ein äußeres Magnetfeld von ihrer Bahn abgelenkt werden können und so eine Spannung erzeugt werden kann.

Eine technische Nutzung des Effektes in größerem Rahmen begann erst im 20ten Jahrhundert, als künstliche Halbleiter mit hoher Elektronenbeweglichkeit zur Verfügung standen.

Lässt man für die Messung der elektrischen Leistung einen von der Mess-Spannung abgeleiteten, kleinen Strom durch den Hall-Chip fließen und lässt den Mess-Strom durch eine Spule fließen, die ein auf den Chip wirkendes Magnetfeld erzeugt, entsteht über dem Chip ein Spannungsabfall, der dem Produkt aus Mess-Spannung und Mess-Strom proportional ist. Eine solche Anordnung wird auch „Hall-Multiplizierer“ genannt. Er hat einerseits den Vorteil, ohne elektronische Multiplizierschaltung ein Produkt aus zwei Größen zu bilden. Andererseits ermöglicht er die erwünschte potenzialfreie Messung des Stromes. Patente für Elektrizitätszähler mit Hall-Multiplizierern wurden bereits in den 1950er und 1960er Jahren angemeldet.

In der Theorie waren Hall-Multiplizierer ideal zur Realisierung elektronischer Zähler. In der Praxis gab es einige Schwierigkeiten zu überwinden. Vor allem gegen die zeitliche Instabilität des Halbleiter-Materials und gegen Störungen durch äußere Felder mussten Mittel gefunden werden. Die Firma Landis & Gyr entwickelte dazu eine spezielle Ausgestaltung eines Hall-Multiplizierers, der ein sogenanntes „Vertical-Hall-Element“ zur Anwendung brachte – eine bahnbrechende Erfindung des Landis & Gyr-Mitarbeiters und späteren Professors Radivoje Popovic. Diese speziellen Hall-Elemente konnten zusammen mit integrierten Schaltkreisen in eine monoli-



Aus dem Patent für das Vertical Hall Element: Alle Anschlusskontakte befinden sich in einer Ebene und ermöglichen so die einfache Integration des Hall-Elementes (rot) in eine Halbleiterschicht (grün) [Patent EP 148330]

thische Hybridschaltung integriert werden, die den Namen „Direct-Field-Sensor“ oder „DFS“ erhielt.

Das Exponat № 68 zeigt ein für Messe-Zwecke zerlegtes, frühes Muster eines Zählers mit DFS. Außerdem ist ein in Acrylglas eingeschmolzener DFS zu sehen. Diese Teile wurden gerne als Werbegeschenke abgegeben. Das Unternehmen war zu Recht stolz auf die hauseigene Halbleiter-Sensor-Entwicklung, die bis in die heutige Zeit in in Verwendung befindlichen Zählern vorzufinden ist.

69 VALMET: Haushalt-Drehstrom-Zähler (Anfang 1990er)

Ein weiterer wichtiger Meilenstein auf dem Weg der deutschen Energieversorgungsbranche hin zur Verwendung elektronischer Zähler auch im Haushaltsbereich war Anfang der 1990er Jahre der von der finnischen Firma VALMET OY vorgestellte, elektronische Drehstromzähler. Die Firma hatte in ihren ersten Haushalt-Drehstromzählern zur Erfassung des Messstromes ohne Bedenken sogenannte Ringkern-Präzisionsstromwandler eingesetzt. Dabei war übersehen worden, dass diese Technik für die Verwendung in Haushaltszählern ohne technische Modifikationen nicht geeignet war. Der Grund: Elektrische Verbraucher in den Niederspannungsnetzen können den Laststrom so in seiner Form verzerren, dass der Laststrom nicht nur Wechselstrom, sondern auch Gleichstromanteile enthält. Solche Gleichströme aber magnetisieren übliche Stromwandler in einer derart schädlichen Weise, dass sie nicht mehr richtig funktionieren. Die VALMET-Entwickler hatten diesen Effekt nicht bedacht.

Obleich große Stückzahlen bereits produziert und vermarktet waren, musste ein Redesign erfolgen. Für die ganze Zählerbranche, die sich bei der Entwicklung von massenproduktionstauglichen Haushaltszählern um die Wende von den 1980ern zu den 1990ern noch in einer Lernphase befand, war das gleichfalls eine heilsame Lehre. Der Wettbewerb um das beste Konzept für einen potenzialfrei, über einen weiten Bereich linear messenden und kostengünstig in der Massenproduktion herstellbaren Stromsensor bekam durch das VALMET-Trauma nochmals einen starken Impuls.

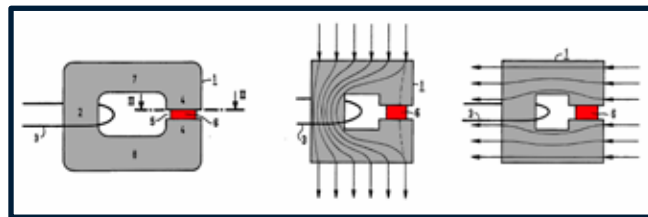
In den frühen 1990er Jahren trennte sich VALMET vom Zählergeschäft. Es wurde unter dem Namen Enermet OY weitergeführt. Die Firma Enermet war mit ihren korrigierten Drehstromzähler-Konstruktionen dann anfänglich durchaus erfolgreich. Für den deutschen Markt wurde in Duisburg eine Tochterfirma mit neuer, eigener Fabrik errichtet. Die Erwartungen an die Nachfrage nach elektronischen Zählern in Deutschland erwiesen sich allerdings mittelfristig als zu optimistisch. Im Jahr 2006 wurde die gesamte Enermet OY von Landis & Gyr übernommen.

70 Erste Haushaltszähler-Zulassung (1991)

Um die Wende von den 1980ern zu den 1990ern setzte eine heftige Konkurrenz zwischen den Zählerherstellern ein, wem es gelingen würde, als erster eine behördliche Zulassung für einen elektronischen Haushaltszähler erwirken. Das sollte dann der Startschuss zur Ablösung der Induktionsmotor-Zähler sein. Dabei traten auch neue Unternehmen, wie die Firma EMH (siehe № 64) in den Wettbewerb ein. Letztlich hatte aber ein Traditionsunternehmen die Nase vorn, die Firma Siemens in Nürnberg.

Das Exponat № 70 repräsentiert ein Exemplar aus der ersten zugelassenen Baureihe. Dabei zielten die Geräte auf einen speziellen Anwendungsfall ab: Das Anfang der 1990er Jahre von Bund und Ländern ausgerufene „1000-Dächer-Programm“. Ziel war, durch staatliche Zuschüsse zum Bau von Solaranlagen auf Dächern von Privathäusern anzureizen. Gefordert wurde dabei, die Energieflüsse für Bezug und Lieferung getrennt zu messen und zu tarifieren. Diese Aufgabe hätte mit einem Motorzähler nur mit großem Aufwand gelöst werden können. Dafür gab es Konzepte, bei denen die Rotoren mit Impulsgebern ausgestattet waren, die die Drehrichtung erkennen und die Impulsfolgen auf getrennte Ausgänge ausgeben konnten. Das funktionierte nach demselben Prinzip, wie die Drehrichtungserkennung in den damals noch üblichen, mit gummierten Kugeln arbeitenden Computer-Mäuse. Allerdings war man bei der Zähleraufgabe für das 1000-Dächer-Programm an einem Punkt angekommen, wo die Verwendung von vollständig elektronischen Zählern näher lag als die von Motorzählern.

Als potenzialfreie Strom-Sensoren wurden in den Siemens-Zählern sogenannte Gegeninduktivitäten eingesetzt. Ein transformatorisches Prinzip, bei dem die Magnetkreise große Luftspalte aufweisen und so die schädliche Magnetisierung, wie sie zu Exponat № 69 beschrieben wurde, vermieden wird. Verschiedene Varianten des Gegeninduktivitätsprinzips wurden dann auch von zahlreichen anderen Herstellern für die potenzialfreie Strommessung verwendet.

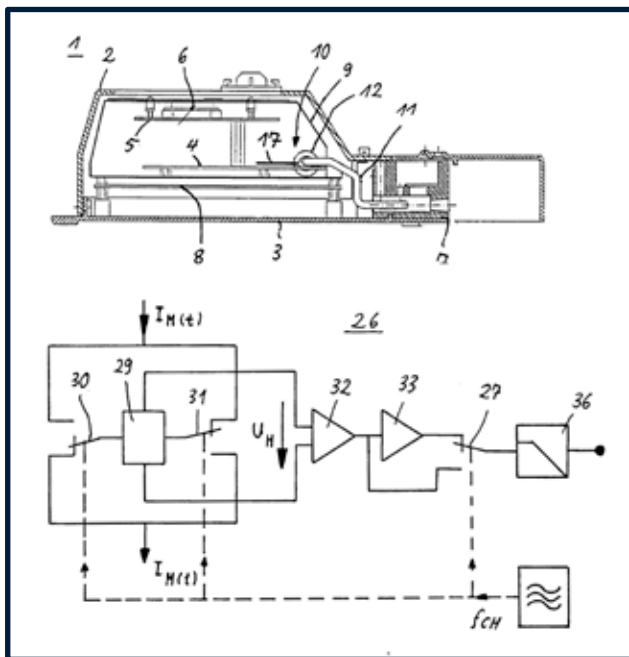


Der Induktive Stromsensor des ersten von der PTB mit Bauartzulassung ausgestatteten Haushaltszählers.

Um das Produkt aus Stromsignal und Spannungssignal zu bilden, setzte Siemens analoge Multiplizierer ein, mit denen die Firma bei ihren bereits im Angebot befindlichen Zählern für die industriellen Anwendungen schon gute Erfahrungen gemacht hatte. Digitales Multiplizieren, also das einfache Verrechnen von Ausgangsdaten aus kommerziellen Analog-Digital-Wandler-Chips, kam damals wegen der noch zu hohen Kosten für solche Bauteile in erforderlicher Qualität noch nicht Frage.

71 EMH: Prototyp Multifunktionszähler (Anfang 1990er)

Die Firma EMH in Brackel bei Hamburg wurde 1984 gegründet. Zu Beginn ging es um die Entwicklung und Produktion von Prüfmitteln für Elektrizitätszähler. Der Gründer, P. Scheew, war ein begeisterter Elektronik-Entwickler. Ihn störte zunehmend die von ihm so empfundene Widersinnigkeit der Kombination aus Elektronik und Elektromechanik der sogenannten „Hybrid-Zähler“ (siehe Exponate



Aus dem Scheew/EMH-Patent → Multifunktionszähler mit Hall-Sensor [Patent DE 4028614]

№ 59 und 60). Ihm fiel eine solche Haltung leichter als der etablierten deutschen Zählerindustrie, deren Haupteinnahmen immer noch mit den unverwüthlichen Induktionsmotor-Zählern erwirtschaftet wurden. 1990 meldete er ein erstes Gebrauchsmuster für eine eige-

ne Konstruktion eines vollelektronischen Zählers an, der sowohl für den gewerblichen und industriellen Bereich, wie auch für Haushalte geeignet sein sollte. Ein eigenes Unternehmen für die Herstellung von Abrechnungszählern wurde ausgegründet.

Das Messwerk des Scheew-Zählers arbeitete mit Standard-Hall-Elementen, deren für die Anwendung in Zählern relevanten Unzulänglichkeiten durch geschickte Fehlerkompensationsschaltungen beseitigt wurden. Das integrierte Mikrorechnersystem konnte flexibel für verschiedene Tarifwerksfunktionen programmiert werden.

Das Exponat № 71 ist ein Prototyp des für die Entwicklungsgeschichte der Elektrizitätsmesstechnik in Deutschland wichtigen Zählers. Das Gerät zeigte dem Wettbewerb, dass eine neue Zeit anbricht und die etablierten Unternehmen sich auf eine erforderliche Transformation weg vom Schwerpunkt Motorzähler würden einstellen müssen.

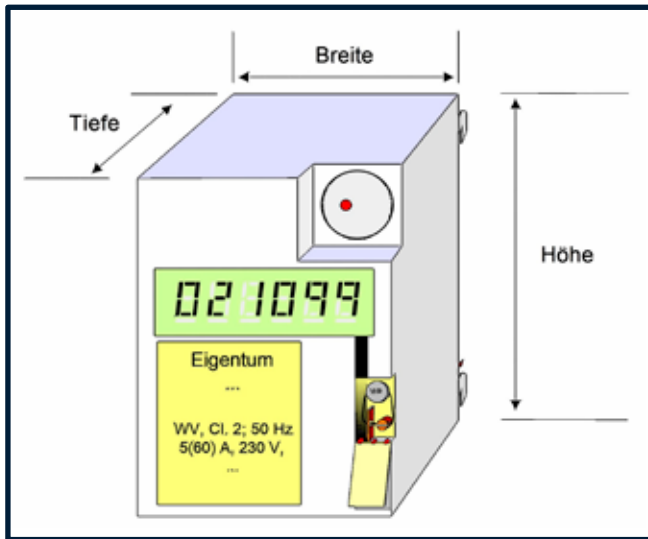
Als zusätzlicher Beschleuniger der Aufbruchsstimmung zum Ende der 1980er, Anfang der 1990er Jahre wirkte zudem die Ende 1989 veröffentlichte Novelle der Bundestarifordnung Elektrizität BTOELT. In ihr schrieb der Staat den Energieversorgungsunternehmen zwingend vor, Tarife mit Leistungspreisanteil anzubieten. Die Leistung sollte als Arbeit je 15 Minuten oder je 96 Stunden gemessen werden. Die Zähler, die mittlere Leistungen über 96 Stunden ermitteln können sollten, führten die Kurzbezeichnung LZ-96-Zähler. Solche komplizierten Zähler ließen sich sinnvoll nicht mehr mechanisch realisieren. Der Umstieg auf Hybrid-Zähler oder vollelektronische Zähler mit integrierten Mikrorechnern wurde so indirekt erzwungen. Es gab umfangreiche Debatten um diese nicht allen sinnvoll erscheinenden 96-Stundentarife.

72 VDE-FNN: Steckbarer Haushaltszähler (Mitte 2000er)

Nach der Zulassung der Siemens-Zähler folgten in den 1990er Jahren weitere Zulassungen für Haushaltszähler anderer Hersteller. Die Marktkräfte sorgten allerdings nicht für eine Verdrängung der Motorzähler im Haushaltsbereich. Bei der Kosten/Nutzen-Abwägung zwischen dem fortgesetzten Einsatz von Motorzählern und der Einführung elektronischer Geräte fiel bei den meisten Energieversorgungsunternehmen die Entscheidung zugunsten der Motorzähler. Elektronische Geräte wurden dagegen zunächst nur in Feldversuchen eingesetzt. Eine große Vielfalt und Unterschiedlichkeit im Aufbau, der Handhabung und der Schnittstellenfunktionalität entwickelte sich bis zur Jahrhundertwende. Die Hersteller- und Anwenderverbände beschlossen deshalb, zu versuchen, etwas mehr Einheitlichkeit, Ordnung und Richtung in die Sache zu bringen.

Eine führende Rolle dabei übernahm der Leiter der Zählerabteilung des damals noch existierenden Dortmunder Versorgungsriesen „VEW Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG“, L. Enning. Er lud am 6./7. Juni 2005 in Dortmund zu einem großen Branchen-

treffen mit Herstellern von Zählern und Zäblerschränken, Energieversorgungsunternehmen und Behörden ein. Brainstorming in Arbeitsgruppen brachten neuartige Konzepte hervor. In einigen Folgesitzungen wurde die Entwicklung eines Branchen-Standards initiiert, repräsentiert vor allem durch die VDN-Lastenhefte eHZ und 3.HZ. Revolutionär dabei war das Stecksockel-Konzept: Das Anspruchsvolle der Zählerkontaktierung wurde in den Zäblerschrank verlagert. Der Zähler selbst verfügte nur über einfache Kontaktmesser. Gehäusemaße, Anordnung des Displays und der optischen Schnittstelle wurden standardmäßig vorgeschrieben.



Etwas Neues wurde erschaffen → Konzeptskizze des Standardzählers „eHZ“ [Wisny, M.: VDN-Lastenheft Elektronische Haushaltszähler, Vers. 1.01, 2004]

Die Designer der Hersteller mussten versuchen, durch Nuancen in der Gehäuseausgestaltung sich von anderen unterscheidbar zu machen. Auch die Anforderung an die Software der Geräte wurde in VDN-Lastenheften spezifiziert (nach der Umfirmierung des Verbandes: FNN-Lastenhefte). Schnittstellenprotokolle sowie Anzeige- und Bedienkonzept sollten bei allen Herstellern einheitlich sein.

Das Exponat № 72 zeigt exemplarisch einen eHZ-Zähler. Mechanische Tasten fehlen. Die Fortschaltung des Displays erfolgt mittels Lichtimpulsen über einen optischen Sensor – die alte Heliowatt-Idee (Exponat № 59). Die Lichttaste ist umständlich, weil ihre Betätigung die Verwendung technischer Hilfsmittel erfordert. Zähler sind in Miethäusern allerdings häufig in verschlossenen Zäblerschränke mit Schauscheibe eingebaut. Hier ist die optische Lösung gegenüber der mechanischen Taste im Vorteil.

73 VDE-FNN: Gateway-Vorläufer MUC (Mitte 2000er)

Die steckbaren eHZ- und die auf die alten Zählertafeln als Ersatz für die Motorzähler montierbaren 3.HZ-Zähler nach den neuen FNN-Lastenheften konnten in zwei Betriebsarten geschaltet werden: In den EDL21-Modus und den EDL40-Modus. Das Akronym EDL und die Zahlen 21 und 40 nahmen Bezug auf die Paragraphen 21 und 40 des damals geltenden Energiewirtschaftsgesetzes, kurz EnWG. Das EnWG fungierte auch als nationale Umsetzung der Europäischen Richtlinie 2006/32/EG über Energieeffizienz und Energiedienstleistungen und legte in den §21 und §41 gewisse Mindestanforderungen an die Elektrizitätsmessung fest.



Der EDL21-Zähler war ein mehr oder weniger einfacher Doppeltarif-Zähler ohne Fernauslesung. Der EDL40 bildete demgegenüber zusammen mit einem weiteren durch FNN-Lastenheft spezifizierten Gerät mit der Bezeichnung MUC ein Messsystem. Das Multi-Utility-Communication-Gerät, von dem Exponat № 73 ein Exemplar repräsentiert, hatte vor allem folgende Aufgaben:

- Auslesen von Datenströmen aus dem EDL40-Zähler und Kommunikation dieser Daten in das Weitverkehrsnetz, vorzugsweise über ein Telefonmodem.
- Bereitstellung einer Schnittstelle für die Stromkunden, um diese die Nutzung der Daten aus dem Zähler zu ermöglichen.
- Schnittstelle zur Fernsteuerung von abschaltbaren Lasten beim Stromkunden.

Der Zähler erzeugte Zeitreihen aus kWh-Messwerten, die in konstanten Zeitabständen erfasst und mit einer Zeitsignatur versehen waren. Die Zeitreihen wurden als kryptografisch gesicherte Datenreihen an den MUC-Controller weitergeben. Dieser leitete die Daten dann in standardisierter Form an die Energielieferanten weiter. Dort sollten die Zeitreihen je nach Versorgungsvertrag zur Abrechnung verschiedenen Tarifzonen zugeordnet werden können. Die neue Grundphilosophie war also: Das Tarifieren soll nicht mehr im Messgerät vor Ort an der Messstelle erfolgen, sondern im Interesse größerer Flexibilität beim Versorgungsunternehmen. Die im Eichrecht zuständigen, behördlichen Stellen einschließlich der PTB trugen diesen Ansatz mit und stellten eine im Sinne des Eichrechts vertrauenswürdige Software kostenlos öffentlich bereit, mit der die Daten aus den EDL-Zählern mit ihrem kryptografischen Schutz und die Tarifierung überprüft werden konnten. Die Standardisierungsarbeiten des Verbandes VDE-FNN unter Beteiligung der Behörden hatten diese Vorgehensweise möglich gemacht.

Das EDL40-System zielte vor allem auf den Haushaltskundenbereich ab. Für den Sektor Industrie- und Gewerbekunden hatte der VDE-FNN ein sehr ähnliches Konzept entwickelt, das zunächst auf den Namen tLZ (taktischer Lastgang-Zähler), dann auf den Namen SyM2 getauft wurde.

Anfang des 21ten Jahrhunderts endete zunehmend die Pionierzeit der elektronischen Zähler. Als Stromsensoren hatten sich gute Lösungen auf der Basis von Induktion, Hall-Effekt und Shunt herauskristallisiert. Beim Multiplizieren und Integrieren von Strom und Spannung erfolgte zunehmend der Übergang zum Einsatz handelsüblicher Analog-Digitalwandler und Mikrorechner-Technologien.



74/75 Intelligentes Messsystem (Anfang 2010er)

Anfang der 2010er Jahre entschied sich die Bundesregierung, in die Aktivitäten der privatwirtschaftlichen Selbstverwaltung zur Ausgestaltung von Smart Metering in Deutschland einzugreifen. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik BSI wurde mit der Entwicklung eines Konzeptes beauftragt, das die Themen Datensicherheit und Datenschutz besser berücksichtigen sollte, als dies beim EDL40-System gegeben zu sein schien. Eine wichtige Rolle spielte dabei die Erwartung, in der Bevölkerung durch die BSI-garantierte IT-Sicherheit Datenschutzbedenken in Zusammenhang mit Smart Metering entgegenzuwirken.

Im Prinzip übernahm das BSI in seinen Konstruktionsvorgaben in Form sogenannter „Technischer Richtlinien“ das EDL40-System-Konzept: Es sollte einen einfachen Basiszähler geben, der die Daten kryptografisch geschützt über eine getrennte Zusatzeinrichtung an die berechtigten Empfänger übermittelte. Die Zusatzeinrichtung sollte außerdem über Schnittstellen zur Steuerung abschaltbarer Lasten beim Kunden verfügen, die für die Bedienung durch Energiedienstleister und andere Berechtigte genutzt werden könnten. Bei all diesen staatlichen Vorschriften musste darauf geachtet werden, nicht mit europäischen Richtlinien zu kollidieren, die bereits europaweit gültige Anforderungen an Zähler definierten (sog. Messgeräte richtlinie MID).



Das BSI-Konzept eines Gateways als heimischer Sicherheitsanker für Smart-Metering-Systeme [Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Technische Richtlinie BSI TR-03109-1, 2024]

Die Basiszähler erhielten in den zugehörigen deutschen Rechtsvorschriften die Bezeichnung „Moderne Messeinrichtung“ und die Zusatzeinrichtungen die Bezeichnung „Smart Meter Gateway“. Das Exponat № 74 repräsentiert ein „Smart Meter Gateway“. Solche Geräte dürfen für Abrechnungszwecke nur verwendet werden, wenn sie vorher ein Sicherheitszertifikat des BSI erhalten haben.

Die Kombination aus einem „Smart Meter Gateway“ mit einer „Modernen Messeinrichtung“ bezeichnen die Gesetzes- und Verordnungstexte als „Intelligentes Messsystem“. Das Exponat № 75 repräsentiert die typische Ausführung eines „Intelligenten Messsystems“. Das Gateway ist auf einem kleinen Abschnitt einer DIN-Hutschien im „Bauch“ des Zählers montiert und über ein Kommunikationskabel mit dem Zähler sowie zur Energieversorgung mit dem Versorgungsnetz verbunden. Das Gateway verfügt über ein in das Gehäuse integriertes Telefonmodem zur Kommunikation in das Weiterverkehrsnetz. Dazu wird üblicherweise noch eine externe Antenne montiert. Bei dem Exponat wurde auf dieses verzichtet. Auf der Hutschiene ist ausreichend Platz, um dort eine Schaltbaugruppe zu montieren, die Fernsteuervorgänge unter Verwendung des sicheren Gateways ermöglicht.

Allerdings gibt es auch grundsätzliche Unterschiede beim BSI-Konzept gegenüber dem EDL40-System des FNN: Die Philosophie der BSI-Lösung besteht darin, dass das „Smart Meter Gateway“ den Sicherheitsanker des gesamten Messwerterfassungsprozesses bildet. Deshalb erfolgt die Bildung der 15-Minuten-Zeitreihen nicht mehr im Zähler, sondern im „Smart-Meter-Gateway“. Außerdem soll die Tarifierung als Standardlösung nicht beim Energieversorgungsunternehmen erfolgen, sondern dieses lässt die Tarifstruktur durch einen Gateway-Administrator an das Gateway senden, das dann damit die Bewertung der Messwerte am Ort der Messung selbst durchführt. Die Philosophie lautet: Die Daten gehören dem Kunden und es sollen so wenig Daten wie möglich vom Ort der Messung in das Weiterverkehrsnetz kommuniziert werden. Inzwischen ist dieses Konzept wieder in der Diskussion.

Das Exponat № 74/75 ist die Ausführungsvariante eines „Intelligenten Messsystems“ nach Lastenheften des VDE-FNN. Sieh bei der Beschaffung von Messtechnik daran zu orientieren, steht den Energieversorgungsunternehmen frei. So gibt es am Markt inzwischen auch baulich hiervon abweichende Lösungen. Für alle Smart Meter Gateways gilt aber: Ein rechtskonformer Einsatz erfordert ein Sicherheitszertifikat des BSI für das Gerät.

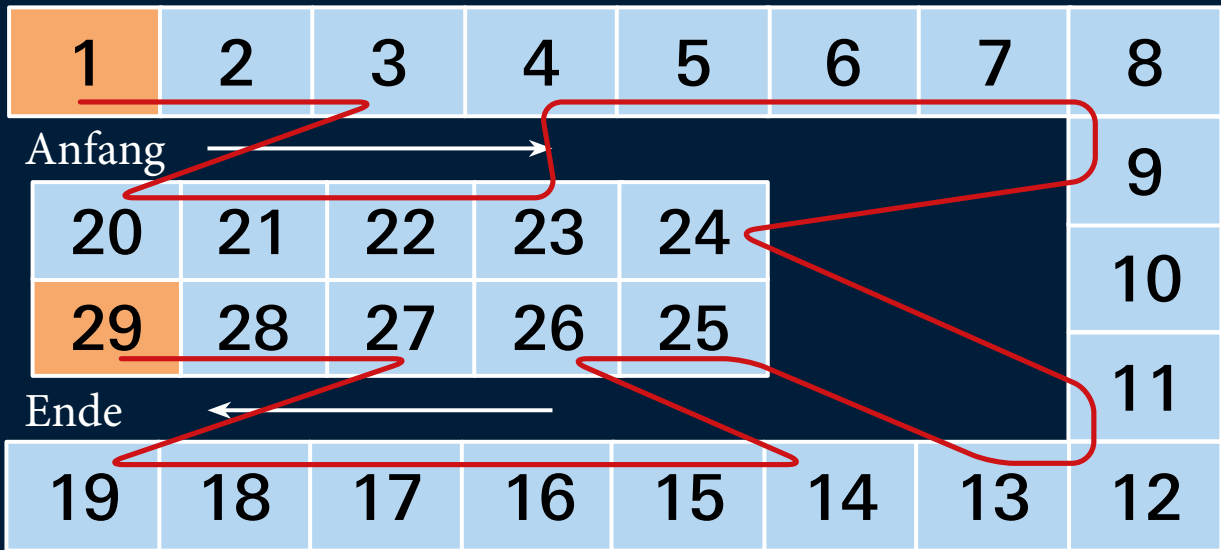
Die Entwicklung des „Smart Metering“ in Deutschland und die gesamte Genese der Zählerentwicklung seit 1881 hat mit der Festschreibung von „Moderner Messeinrichtung“, „Smart Meter Gateway“ und „Intelligentem Messsystem“ in gesetzlichen Vorschriften ein vorläufiges Plateau erreicht. Um funktionale Details wird im Strom der Zeit weiter gerungen. Ob sich an dem derzeitigen modularen Konzept aus zwei von außen betrachtet unspektakulären Kunststoff-Kästchen irgendwann etwas ändert, liegt im Dunkel der Zukunft. Im Elektrizitätszähler-Kabinett gäbe es auf jeden Fall noch eine Reserve-Vitrine.

Quellen

(Chronologisch nach dem Erscheinungsjahr)

- [1] Fodor, E.: Die elektrischen Verbrauchsmesser. A. Hartlebens Verlag, 1891
- [2] Zacharias, J.: Elektrische Verbrauchsmesser der Neuzeit. Verlag Wilhelm Knapp, 1901
- [3] Norden, K.: Elektrolytische Zähler. Verlag Wilhelm Knapp, 1908
- [4] Ziegenberg, R.: Die Elektrizitätszähler. in Heinke C.: Handbuch der Elektrotechnik, zweiter Band, sechste Abteilung, Verlag S. Hirzel, 1908,
- [5] Bohnenstengel, E.: Elektrizitätszählerkonstruktionen. Hofdruckerei Friedrich Gutsch, 1909
- [6] Ziegenberg, R.: Der Elektrizitätszähler. Verlag Herrmann Meusser, 1912
- [7] Brückmann, H.W.L.: Elektrizitätszähler für Gleich- und Wechselstrom, deren Theorie, Beschreibung und Eichung. Verlag Oskar Leiner, 1914
- [8] Königsworther, A.: Die Konstruktion und Prüfung der Elektrizitätszähler. Dr. Max Jänicke Verlagsbuchhandlung, 1914
- [9] Schmiedel, K.: Wirkungsweise und Entwurf der Motor-Elektrizitätszähler. Verlag Ferdinand Enke, 1916
- [10] Schmiedel, K.: Die Prüfung der Elektrizitäts-Zähler. Verlag Julius Springer, 1921
- [11] Möllinger, J.A.: Wirkungsweise der Motorzähler und Meßwandler. Verlag Julius Springer, 1925
- [12] Schmidt, J.: Elektrizitätszähler, Zähler-Prüfung und Zählereinrichtungen. Dr. Max Jänicke Verlagsbuchhandlung, Zwei Bände, 1925 und 1927
- [13] Brückmann, H.W.L.: Elektrizitätszähler und Wandler, deren Theorie, Beschreibung und Eichung. Verlag Oskar Leiner, 1926
- [14] Bergtold, F.: Kurzgefasstes Handbuch der Elektrizitätszählertechnik. Verlag Ferdinand Enke, 1927
- [15] Stumpner, W.: Zur Geschichte des Elektrizitätszählers. in Geschichtliche Einzeldarstellungen aus der Elektrotechnik – Band I, Verlag Julius Springer, 1928
- [16] Mirus, R.R.: Musterbetriebe Deutscher Wirtschaft, Band 9: Die Zählerfabrikation, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin. Die Organisation der AEG-Zählerfabrik. J.J. Arnd Verlag der Übersee-Post, 1929
- [17] Krukowski, W.v.: Grundzüge der Zählertechnik. Verlag Julius Springer, 1930
- [18] Wallmüller, F.: Der Elektrizitätszähler in Theorie und Praxis. Druckerei und Verlagsanstalt Norden, 1936
- [19] Ferrari, F.: Die Entwicklung der Elektrizitätszähler und ihre Verknüpfung mit der Elektrizitätswirtschaft. in Technikgeschichte, Bd. 28, VDI-Verlag, 1939
- [20] Beetz, W.: Elektrizitätszähler. Verlag Friedrich Vieweg, 1948
- [21] Paul, G.: Die Elektrizitätszähler. Frankh'sche Verlagsbuchhandlung, 1950
- [22] Pflüger, P.M.: Elektrizitätszähler, Tarifgeräte, Meßwandler, Schaltuhren. Springer Verlag, 1954
- [23] Weber, K. (Hrsg.): Elektrizitätszähler. Elitera-Verlag, 1971
- [24] Kahmann, M. (Hrsg.): Elektrische Energie Elektronisch gemessen. VDE-Verlag, 1994
- [25] Poll, H.: Der Edisonzähler. Verlag Deutsches Museum, 1995
- [26] Kahmann, M.; Zayer, P. (Hrsg.): Handbuch Elektrizitätsmesstechnik. VDE-Verlag, Zwei Auflagen 2003/2014
- [27] Arzberger, M.; Kahmann, M.; Zayer, P. (Hrsg.): Handbuch Elektrizitätsmesstechnik. VDE-Verlag, 2017
- [28] Kahmann, M.; Zayer, P. (Hrsg.): Jahrbuch Elektrizitätsmesstechnik. VDE-Verlag, EW-Verlag, VDE-Verlag, Ausgaben 2009-2013
- [29] Schneider-Winden, K.: Geschichte der Messung und Verrechnung elektrischer Arbeit in Deutschland (ca. 1880 - 1930). Diss. Universität Stuttgart 2006
- [30] Arzberger, M.; Kramny, J. (Hrsg.): Intelligente Messsysteme – Smart Metering. VDE-Verlag, 2022
- [31] Schädler, J.: Der Stromzähler – Elektrische Energie als Konsumgut, 1880-1950, Chronosverlag, 2023

Das vorliegende Begleitheft gibt Erläuterungen zu in der Entwicklungsgeschichte der Zählertechnik besonders wichtigen Exponaten. Die Abfolge der Erläuterungen geht von einem Besuch der Ausstellungsvitrinen in folgender Reihenfolge aus:



Liebe Besucherinnen und Besucher,
für Gäste mit beruflichem Hintergrund aus den
Bereichen Elektrotechnik/Zählertechnik oder
Technikgeschichte oder auch für sonst alle an mehr
Einzelheiten Interessierte empfehlen wir auch einen
Besuch der Webseite des Elektrizitätszähler-Kabinetts.



Texte: Martin Kahmann



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Bundesallee 100
38116 Braunschweig