

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 2 (1911)
Heft: 8

Artikel: Der internationale Wert der elektromotorischen Kraft des Weston-Normalelements
Autor: Gerwer, Fr.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059646>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen „Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz“ sowie „Jahresheft“ und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften sind zu richten an die

Redaktion: Ing.-Consulent Dr. W. Kummer,
Mythenstrasse 15, Zürich II (Telephon 5806)

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den

Verlag: Fachschriften-Verlag A.-G., Zürich
Bahnhofstrasse 61, Zürich I (Telephon 6741)

Est publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la „Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse“, ainsi que l'„Annuaire“.

Toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ sont à adresser à la

Rédaction: Ing.-Conseil Dr. W. Kummer
Mythenstrasse 15, Zurich II (Téléphone 5806)

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les insertions sont à adresser à

l'éditeur: Fachschriften-Verlag A.-G., Zurich
Bahnhofstrasse 61, Zurich I (Téléphone 6741)

II. Jahrgang
II^e Année

Bulletin No. 8

August 1911
Août

Der internationale Wert der elektromotorischen Kraft des Weston-Normalelementes.¹⁾

Von *Fr. Gerwer*, Oberingenieur, Zürich.

Nach Art. 13 des Bundesgesetzes über Mass und Gewicht vom 24. Juni 1909²⁾ gilt in der Schweiz als gesetzliche Messeinheit der elektromotorischen Kraft das internationale Volt. Es ist diese Einheit definiert als „die unveränderliche Spannungsdifferenz, welche zwischen den Endpunkten eines von elektromotorischer Kraft freien Leiters vom Widerstande eines internationalen Ohm (Art. 11) dauernd wirkend, einen unveränderlichen Strom gleich einem internationalen Ampère (Art. 12) erzeugt“. Die elektromotorische Kraft wird also durch das Ohmsche Gesetz aus den beiden andern Einheiten definiert.

Zufolge der grossen, mit viel Zeitaufwand verbundenen Schwierigkeit, genaue dynamometrische oder silbervoltametrische Messungen, im Gegensatz zu Strommessungen mittels Normalwiderständen, auszuführen, hat sich für die Messung von elektromotorischen Kräften von jeher das Bedürfnis nach einer direkten, unveränderlichen, stets zur Verfügung stehenden und stets reproduzierbaren praktischen Einheit, deren Wert in internationalen Volt bekannt ist, geltend gemacht. Die deutsche Gesetzgebung hat dem Gebrauche von Normalelementen in Art. 8 des Gesetzes über elektrische Masseinheiten Rechnung getragen: „Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt hat für die Ausgabe amtlich beglaubigter Widerstände und galvanischer Normalelemente zur Ermittlung der Stromstärken und Spannungen Sorge zu tragen.“ Das früher im Gebrauch gewesene, in den gesetzlichen Bestimmungen einiger Länder bis heute noch stehengebliebene Clark-Element wurde allmählich im praktischen Gebrauche durch das konstantere, seit 1892 in den Handel gekommene Weston-Element verdrängt, welches seinerseits nun wieder zu dem international angenommenen Weston-Normalelement geführt hat.

Bis Ende des Jahres 1910 aber waren für den Wert der elektromotorischen Kraft dieses Elementes in den verschiedenen Ländern verschiedene Werte im Gebrauch:

¹⁾ Nach Veröffentlichungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, des Bureau of Standards und nach „Unités électriques“ von Baillehache.

²⁾ Bulletin 1910, Seite 40.

in den Vereinigten Staaten von Amerika	1,019126	int. Volt bei 20 ⁰ C.
in Deutschland	1,0186	int. Volt bei 20 ⁰ C.
in England	1,0184	int. Volt bei 20 ⁰ C.

Obschon diese Verschiedenheiten im allgemeinen keine allzugrossen Unbequemlichkeiten mit sich brachten, so konnten doch namentlich bei Präzisionsmessungen lästige Irrtümer und Konsequenzen eintreten, die sich recht fühlbar machten und eine Einigung als sehr wünschenswert erscheinen liessen.

Im Laufe der Jahre war das Weston-Element immer mehr und mehr verbessert worden und durch eine bedeutende Summe wissenschaftlicher, von den Staatslaboratorien Amerikas, Englands, Deutschlands und Frankreichs geleisteter Arbeit ist es gelungen, nach bestimmt festgestellten Vorschriften Elemente herzustellen, deren elektromotorische Kräfte um nicht mehr als einige Hunderttausendstel von einander abweichen und die längere Zeit genügend unveränderlich bleiben. Dies ermöglichte nun, dass auf Veranlassung des 1908 an einer Konferenz in London ernannten internationalen Komitees für elektrische Einheiten¹⁾ im Frühjahr 1910 zu Washington gemeinsam von Vertretern der genannten Staatslaboratorien silbervoltametrische Messungen stattfanden, auf Grund deren von dem internationalen Komitee für die elektromotorische Kraft des mit normalem Merkursulfat beschickten, nach den von der internationalen Konferenz 1908 zu London gegebenen Vorschriften mit Cadmium-Sulfatkristallen im Ueberschuss hergestellten *Weston-Normalelementes* der Wert

$$E = 1,01830 \text{ int. Volt bei } 20^0 \text{ C.}$$

vom 1. Januar 1911 ab zur Annahme empfohlen wurde.

Die elektromotorische Kraft des Weston-Normalelementes mit gesättigter Cadmium-Sulfatlösung ist etwas von der Temperatur abhängig. Es ist für die zwischen der elektromotorischen Kraft E_t und der Temperatur t geltende Beziehung die folgende Formel vereinbart worden:

$$E_t = E_{20} - 0,0000406 (t - 20^0) - 0,00000095 (t - 20)^2 + 0,00000001 (t - 20)^3$$

in welcher Formel E_{20} den Wert der elektromotorischen Kraft bei 20⁰ bedeutet.

Das von der „Weston Electrical Instrument Co.“ gelieferte, bei 4⁰ gesättigte und daher bei Zimmertemperatur ungesättigte Quecksilber-Cadmium-Element hat einen kleineren Temperaturkoeffizienten, welcher innerhalb der gewöhnlich vorkommenden Temperaturen vernachlässigt werden darf.

Der Wert 1,01830 int. Volt wird für das Weston-Normalelement von den Staatslaboratorien Amerikas (Bureau of Standards), Englands (National Physical Laboratory), Deutschlands (Physikalisch Technische Reichsanstalt) und Frankreichs (Laboratoire central d'Electricité) seit 1. Januar 1911 offiziell benutzt.

Die Eichstätte des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins gebraucht, um wie bisher in Uebereinstimmung mit den Normalien der Physikalisch Technischen Reichsanstalt zu bleiben — die Schweiz besitzt bis heute noch keine diesbezüglichen gesetzlichen Bestimmungen — ebenfalls diesen Wert. Sie lässt ihre Weston-Normalelemente von Zeit zu Zeit durch die Reichsanstalt nachkontrollieren.

Wie oben mitgeteilt, bestehen in den Mittelwerten der elektromotorischen Kräfte der von den verschiedenen Ländern hergestellten und aufbewahrten Weston-Normalelemente nur geringfügige Abweichungen, etwa zwei Hunderttausendstel. Es muss daher diese elektromotorische Kraft als genügend gleichmässig reproduzierbar angesehen werden, und ist man berechtigt, anzunehmen, dass auf lange Zeit hinaus der Wert 1,01830 int. Volt beibehalten werden wird. Sollte sich auch die numerische Grösse des absoluten Wertes mit der Verfeinerung der absoluten Messmethoden etwas ändern, so würde dadurch doch bloss das Verhältnis zwischen dem absoluten und dem internationalen Wert berührt, nicht aber der letztere selbst, und dieser Verhältniswert dient nur zu den nicht oft vorkommenden Reduktionen auf absolutes Mass.

¹⁾ Nicht zu verwechseln mit der neuen permanenten Internationalen Kommission mit Sitz in London.

Es ist daher auf internationaler Basis für das internationale Volt ein dauernder, reproduzierbarer Wert geschaffen; durch die gemeinschaftliche Arbeit der einzelnen Staatslaboratorien untereinander ist weiter auch das Mittel zur fortlaufenden Kontrolle und Aufrechterhaltung des angenommenen Wertes gewährleistet.

Es dürfte bei dieser Gelegenheit für dem Messfache Fernerstehende wohl ein Interesse haben und zur Ergänzung der gemachten Ausführungen dienen, einen kurzen Blick über die historische Entwicklung der heute geltenden elektrischen Grundeinheiten — des internationalen Ohm, Ampère und Volt — zu werfen. Wenn dies hier, der Kürze halber, auch nur in Form einer chronologischen Aufzählung der einzelnen Etappen geschehen kann, so gibt diese doch schon ein kleines Bild der enormen Arbeitsleistung und Schwierigkeiten, aber auch der grossen Bedeutung, die diesen internationalen Festlegungen beizumessen ist und von Anfang an beigemessen wurde.

Bis 1881 existierten keine internationalen Vereinbarungen. Jedes Land hatte seine eigenen Einheiten, die zum Teil sehr willkürlich waren, zum Teil aber auch schon auf dem C. G. S.-System beruhten und den heutigen Einheiten entsprachen. Für die elektromotorische Kraft z. B. finden wir in England das Volt = 10^8 C. G. S., in Deutschland, Frankreich und auch teilweise in England für den praktischen Gebrauch das Daniell (1,079 Volt), seltener die Gaugainsche thermo-elektrische Einheit

$$\frac{Bi - Cu}{0 - 100} = 0,00547 \text{ Volt.}$$

Am 16. September 1881 wurde anlässlich der damaligen ersten internationalen elektrischen Ausstellung in Paris der erste internationale elektrische Kongress eröffnet. Seine Hauptaufgabe bildete die Regelung der elektrischen Masseinheiten. Hinsichtlich der drei Grundeinheiten führte er zu den folgenden Resolutionen: Für das elektrische Masssystem wird das elektromagnetische angenommen; als Einheiten des Widerstandes und der elektromotorischen Kraft (Ohm und Volt) werden die teilweise schon im Gebrauche befindlichen Werte 10^9 bzw. 10^8 C. G. S. adoptiert; die Einheit Ohm soll durch eine Quecksilbersäule von 1 mm^2 Querschnitt bei 0° C. dargestellt werden, deren Länge durch eine internationale Kommission bestimmt werden soll; das Ampère ist die Einheit der Stromstärke, die durch den Strom, der durch ein Volt in dem Widerstand 1 Ohm erzeugt wird, gegeben ist und demnach die Grösse 10^{-1} C. G. S. hat.

Im Jahre 1882 nahm die eben erwähnte internationale Kommission ihre Arbeiten auf. Sie hatte also die Länge des Quecksilberfadens bei 1 mm^2 Querschnitt und 0° C. für 1 Ohm gleich 10^9 C. G. S. zu bestimmen. Die damals von verschiedenen Forschern ermittelten Werte gingen ziemlich weit auseinander: 104,67 bis 107,10 cm. Um zu einem befriedigenden Resultate zu gelangen, mussten neue Versuche organisiert werden, auf die wir hier nicht eintreten können. Um aber eine kleine Idee der enormen Schwierigkeiten, die das Problem involvierte, zu erhalten, erwähnen wir, dass z. B., nachdem die französische Regierung diejenigen Regierungen, die Vertreter in die Kommission sandten, eingeladen hatte, sich an den absoluten Massbestimmungen von Widerstandsnormalen zu beteiligen, die Regierung der Vereinigten Staaten von Amerika die Summe von Fr. 625 000 zur Verfügung stellte und ausserhalb von Baltimore an einem vom Verkehr abgelegenen, störenden Einflüssen entzogenen Orte ein eigenes, speziell für diese Messungen eingerichtetes Haus baute.

Auf Grund der nun in den verschiedenen Ländern vorgenommenen Arbeiten, beschloss die internationale Konferenz in Paris im Jahre 1884 als „*legales Ohm*“ den Widerstand eines Quecksilberfadens von *106 cm Länge* und 1 mm^2 Querschnitt bei 0° C. zu bezeichnen. Die französische Regierung wurde ersucht, die andern Regierungen einzuladen, diese Einheit zu sanktionieren, und es wurde empfohlen, primäre Quecksilbernormale herzustellen und gleichzeitig für den praktischen Gebrauch sekundäre Normale aus festen Metallegierungen zu schaffen, die von Zeit zu Zeit mit den ersteren zu vergleichen sind. Im fernern wurde das Ampère als 10^{-1} C. G. S. definiert und das Volt als die elektromotorische Kraft, die in einem legalen Ohm ein Ampère erzeugt. (Man vergleiche diese Definitionen mit denjenigen des Kongresses von 1881.)

Das „legale Ohm“ erhielt in keinem Lande gesetzliche Wirkung. Es fehlte von Anfang an nicht an Stimmen, die den Wert 106 cm als etwas zu klein betrachteten.

In Frankreich wurden im Jahre 1884 nach dem legalen Ohm vier Quecksilber-Normale hergestellt, die in der Ecole des Télégraphes in Paris aufbewahrt sind. Es ist bemerkenswert, dass der Mittelwert des Widerstandes dieser Normale sich den neuesten Messungen zufolge nicht verändert hat. Die Genauigkeit dieser Quecksilber-Normale wird zu zwei Hunderttausendstel angegeben.

Die Einheit des Stromes 10^{-1} C. G. S. lässt sich praktisch nicht verwirklichen und es wurden die voltametrischen Methoden benützt. Die Zahl 1,118 Milligramm Silber per Ampèresekunde oder Coulomb war schon im Jahre 1884 ziemlich genau bekannt, die Angaben variierten zwischen 1,1156 bis 1,1192, ihr Mittel ist bei 1,1178.

Die Definitionen der „legalen Einheiten“ vom Jahr 1884 blieben während zehn Jahren unverändert. Auch der zweite internationale Kongress in Paris vom Jahre 1889 änderte nichts daran. Ein wichtiger Schritt vorwärts erfolgte erst durch den dritten internationalen Kongress in Chicago vom Jahre 1893, an dem die Aufstellung der „internationalen Einheiten“: Ohm, Ampère, Volt, Coulomb, Farad, Henry, Joule und Watt erfolgte. Hier interessieren bloss die drei erstern. Ohne den Wortlaut ihrer Definitionen zu geben, möge doch der Hauptinhalt erwähnt sein. Das internationale Ohm wurde bestimmt als Widerstand einer Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge von konstantem Querschnitt und einer Masse von 14,4521 gr bei 0° C.; das internationale Ampère als eine Grösse 10^{-1} C. G. S. (dieselbe ist genügend genau dargestellt durch den Strom, der pro Sekunde 0,001118 gr Silber aus einer wässerigen Silbernitdrahtlösung ausscheidet); das internationale Volt als die elektromotorische Kraft, die in einem internationalen Ohm eine internationale Ampère erzeugt (dasselbe ist genügend genau dargestellt durch den $\frac{1000}{1434}$ -ten Teil der elektromotorischen Kraft der Clarkschen Zelle bei 15° C.).

Nicht alle an dem Kongress von Chicago vertretenen Nationen erliessen gesetzliche Bestimmungen über elektrische Masseinheiten und keine Nation hielt sich genau an die gegebenen Definitionen. Die Vereinigten Staaten von Nordamerika, die die Definitionen dieses Kongresses fast unverändert annahmen, legiferierten am 12. Juli 1894; Kanada folgte am 23. Juli 1894, England im August 1894, Frankreich 1896 und Deutschland 1898, später kamen Oesterreich 1900, Belgien 1903 und die Schweiz am 24. Juni 1909.

Es würde für unsere Zwecke zu weit führen, die verschiedenen gesetzlichen Definitionen untereinander zu vergleichen, wir heben nur hervor, dass in Deutschland als Wert der elektromotorischen Kraft der Clarkschen Zelle 1,4328 statt 1,434 Volt im Gebrauche war. Der vierte internationale Kongress, der 1900 in Paris stattfand, sowie der fünfte in St. Louis vom Jahr 1904 nahmen an den 1893 angenommenen Definitionen des Ohm, Ampère und Volt keine Aenderungen vor. Der letztere Kongress betonte jedoch auf das Nachdrücklichste die Notwendigkeit der Uebereinstimmung der elektrischen Einheiten und der bezüglichen Gesetzgebungen in allen Ländern und war der Ansicht, dass diese Fragen am besten von einer internationalen, die in Betracht kommenden Regierungen repräsentierenden Kommission behandelt werden könnten.

Im Oktober 1905 fand in Berlin auf Einladung der Physikalisch Technischen Reichsanstalt eine internationale Konferenz über elektrische Masseinheiten statt. Die Veranlassung hierzu war eine von der Delegiertenkammer in St. Louis angenommene Resolution, nach welcher eine internationale Kommission zur Neuregelung der internationalen Vereinbarungen über elektrische Masseinheiten eingesetzt werden sollte. Es schien wünschenswert, dass dieser Kommission vorzulegende Programm vorher vorzubereiten.

Die dann im Oktober 1908 durch die Britische Regierung einberufene internationale Konferenz für elektrische Einheiten und Normale unterschied zwischen den auf das absolute Maassystem C. G. S. bezogenen Einheiten Ohm = 10^9 , Ampère = 10^{-1} und Volt = 10^8 C. G. S. und denjenigen Einheiten, die in einer für elektrische Messzwecke genügend genauen Annäherung diese theoretischen Werte praktisch darstellen, das internationale Ohm, das internationale Ampère und das internationale Volt.

Die Definitionen dieser internationalen Einheiten sind in Art. 11, 12 und 13 des Eidgenössischen Bundesgesetzes über Mass und Gewicht vom 24. Juni 1909 wiedergegeben.

Die theoretischen Definitionen stehen wissenschaftlich fest und bedürfen keiner gesetzlichen Anerkennung.

An Stelle des 1893 adoptierten Clark-Elementes wurde das Weston-Normalelement, welches sich in der Zwischenzeit als geeigneter erwiesen hatte, empfohlen, und es wurde für dasselbe vorläufig der Wert 1,0184 internationale Volt bei 20⁰ C. fixiert.

Im fernern handelte es sich darum, die Misstände zu beseitigen, die durch die in einigen Ländern nach den Definitionen von Chicago getroffene gesetzliche Annahme von drei Grundeinheiten, die durch das Ohmsche Gesetz schon miteinander verbunden sind (Quecksilbereinheit, Voltametrische Einheit des Stromes und Wert der Clark-Zelle), entstanden waren. Es stellte sich bald durch sorgfältige silbervoltametrische Messungen heraus, dass der für das Clark-Element angenommene Wert 1,434 Volt bei 15⁰ C. um etwa 0,1 % zu gross ist.

Im weitern handelte es sich darum, einheitliche Gesetzgebungen anzubahnen, Ausführungsbestimmungen für die Herstellung der Einheiten festzusetzen und Schritte zu beraten, um die praktische Uebereinstimmung der gesetzlichen Normale der verschiedenen Länder in Zukunft zu sichern.

Als bester Weg zur Erhaltung der Uebereinstimmung der Einheiten wurde die Errichtung eines internationalen elektrischen Laboratoriums, mit der Aufgabe, die internationalen elektrischen Normale aufzubewahren und zu erhalten, in Vorschlag gebracht. Ausserdem empfahl die Konferenz die Ernennung einer permanenten internationalen Kommission für elektrische Normale nach dem Muster des entsprechenden Komitees der Meterkonvention. Mittlerweile wurde eine fünfzehngliedrige internationale Kommission ernannt, um die Arbeiten weiter zu führen. In dieser Kommission sind folgende Länder vertreten: Deutschland, England, Amerika, Japan, Frankreich, Russland, Belgien, Holland, Oesterreich, Italien und die Schweiz.

Diese Kommission betätigte sich bei den Zusammenstellungen über die von den verschiedenen Staatslaboratorien ausgearbeiteten Methoden für die Realisierung des internationalen Ohm und Ampère, sowie der Herstellung des Weston-Normalelementes und veranlasste auf die Initiative des „Bureau of Standards“ in Washington, gemeinschaftliche experimentelle Arbeiten von Vertretern der Staatslaboratorien von Amerika, Deutschland, England und Frankreich mit dem Ziele, die bezüglich des Silbervoltameters und des Weston-Normalelementes zwischen den verschiedenen Beobachtern noch bestehenden Differenzen aufzuklären bezw. zu beseitigen.

Zur Durchführung der nötigen Versuche stellte das „Bureau of Standards“ in Washington seine Laboratorien zur Verfügung. An den Untersuchungen nahmen zwei Vertreter des „Bureau of Standards“ und je ein Vertreter der „Physikalisch Technischen Reichsanstalt“, des „National Physical Laboratory“ und des „Laboratoire central d'Electricité“ teil. Die Kosten für die europäischen Vertretungen wurden in generöser Weise durch das „American Institute of Electrical Engineers“, die „National Electric Light Association“, die „Association of Edison Illuminating Companies“ und die „Illuminating Engineering Society“ bestritten.

Wie eingangs erwähnt, wurde der Wert der elektromotorischen Kraft des Weston-Normalelementes zu 1,01830 internationale Volt bei 20⁰ C. festgesetzt und die Strom- und Spannungsmessungen, erstere in Verbindung mit Normalwiderständen, beruhen seit 1. Januar 1911 auf diesem Werte.

