

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 28 (1937)
Heft: 2

Artikel: Die Annahme des Giorgischen Masssystems durch di Internationale elektrotechnische Kommission
Autor: Kennelly, Arthur E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058710>

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: 25.12.2024

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:

Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:

S. A. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zurich 4
Stauffacherquai 36/40

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXVIII^e Année

N^o 2

Vendredi, 22 Janvier 1937

Die Annahme des Giorgischen Maßsystems durch die Internationale elektrotechnische Kommission.

Von Arthur E. Kennelly, Cambridge, Mass. USA,

621.317.081

übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Max Landolt, Winterthur¹⁾.

An ihrer Vollversammlung, die im Juni 1935 in Scheveningen und Brüssel abgehalten wurde und an der 15 der 25 zugehörigen Länder vertreten waren, hat die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) das Meter-Kilogramm-Sekunde- oder Giorgische Maßsystem angenommen. Nachstehend werden die wichtigsten Vorläufer dieses Entscheides aufgeführt und seine Bedeutung für die Elektrotechnik gezeigt. Seit der Abfassung der Originalarbeit haben im Zusammenhang mit der Annahme dieses Maßsystems weitere Entwicklungen stattgefunden. Hierüber orientiert der Anhang, der vom Uebersetzer auf Grund neuerer Materials zusammengestellt wurde. Der Uebersetzer fügte Anmerkungen bei, welche in Form von Fussnoten gedruckt sind.

Lors de son Assemblée Plénière, en juin 1935 à Schéveningue et à Bruxelles, à laquelle 15 des 25 pays adhérents étaient représentés, la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) a adopté le système mètre-kilogramme-seconde ou système de Giorgi. L'auteur esquisse les principales décisions qui ont précédé celle-ci et en montre l'importance pour l'électrotechnique. Depuis la rédaction de ce travail bien des choses se sont passées, ayant trait à l'adoption de ce système de mesure. L'appendice, rédigé par le traducteur sur la base des plus récentes parutions, renseigne à ce sujet. Les annotations du traducteur figurent sous forme de notes au bas des pages.

In ihrer Vollversammlung vom Juni 1935 in Scheveningen und Brüssel hat die Commission Electrotechnique Internationale (CEI)²⁾ das Giorgische oder Meter-Kilogramm-Sekunde (MKS-) Maßsystem einstimmig angenommen. Dabei waren 15 Länder durch Delegierte vertreten. Jeder Elektroingenieur sollte sich mit der Bedeutung dieses Entscheides bekannt machen. Er ersetzt in der Tat die drei gegenwärtig gebräuchlichen Systeme, nämlich das absolute elektromagnetische CGS-System, das absolute elektrostatische Maßsystem und die praktische Einheitenreihe, durch ein einziges praktisches System.

Die Grundeinheiten sind so gewählt, dass die gegenwärtige praktische Einheitenreihe oder das praktische Maßsystem nun absolut wird³⁾. Dies bringt eine grosse Vereinfachung für den Unterricht über die Einheiten und für das praktische Rechnen mit sich.

Gegenwärtig wurde die Frage der Rationalisierung noch offen gelassen. Da die Permeabilität und die Dielektrizitätskonstante (Permittivität) des

leeren Raumes⁴⁾ nun nicht länger Eins sind, wäre es leicht, ihre Werte so festzulegen, dass sie den Forderungen der Rationalisierung genügen würden, das heisst, dass der Faktor 4π nur in jene Formeln kommt, wo man ihn erwartet⁵⁾.

Seit dem internationalen elektrotechnischen Kongress von 1881 ist wohl kein Beschluss von solch internationaler Bedeutung mehr gefasst worden. Es ist der Zweck dieser Zeilen, die wichtigsten historischen Vorläufer dieses Entscheides der CEI festzuhalten, die hauptsächlichste Bedeutung für die Elektrotechnik zu zeigen und auf einige Verwicklungen hinzuweisen, die er mit sich bringen könnte. Dem vorliegenden Bericht geht natürlich das offizielle Protokoll vor, das von interessierten Lesern zuzuziehen ist⁶⁾.

⁴⁾ Für die Permeabilität μ_0 und die Dielektrizitätskonstante ϵ_0 des leeren Raumes sind im deutschen Sprachgebiet auch die Bezeichnungen Induktionskonstante II und Verschiebungskonstante Δ gebräuchlich.

⁵⁾ Ueber die rationale und die nichtrationale Schreibweise der hauptsächlichsten Gleichungen des elektromagnetischen Feldes siehe: Bull. SEV Bd. 24 (1933), S. 358. — Auf S. 359 ist in der Formel der Wellenlänge eines Schwingungskreises und in der folgenden die Lichtgeschwindigkeit besser mit c' (statt mit c) zu bezeichnen, damit sie sich von der universellen Konstanten c auch äusserlich unterscheidet.

⁶⁾ Commission Electrotechnique Internationale: Rapports des Assemblées Plénières de Juin 1935. London: General Secretary of the IEC (leihweise vom Generalsekretariat des SEV und VSE).

¹⁾ Electrical Engineering Bd. 54 (1935), S. 1373. Eine französische Uebersetzung findet sich: Bull. Soc. franç. Electr. Bd. 6 (1936), S. 47. — Die Originalarbeit enthält ein Literaturverzeichnis, das nur zum Teil in den Anmerkungen berücksichtigt worden ist.

²⁾ Bull. SEV Bd. 19 (1928), S. 313, Bd. 21 (1930), S. 415, und Bd. 22 (1931), S. 339.

³⁾ Absolut bedeutet: an Grundeinheiten der Länge, Masse und Zeit angeschlossen.

Geschichte der CGS- und der praktischen Einheiten.

Schon 1848 wurden in Deutschland Widerstandskasten hergestellt, die so kalibriert waren, dass sie dem Widerstand besonderer Längen von Telegraphendraht entsprachen. Ungefähr 1850 zeigten Gauss und Weber, wie man elektrische und magnetische Messungen in absolutem Mass machen konnte. Sie benützten zu diesem Zwecke das Millimeter-Milligramm-Sekunde-System. 1860 führte Werner Siemens seine Quecksilber-Widerstandseinheit ein, d. h. ein Glasrohr von 1 mm^2 Querschnitt und 1 m Länge, das mit reinem Quecksilber von 0° C gefüllt war.

Die British Association for the Advancement of Science (gewöhnlich mit BA abgekürzt) bestellte an ihrer Tagung in Manchester 1861 einen Ausschuss, der über Normale des Widerstandes zu berichten hatte. Dieser BA-Ausschuss wurde berühmt durch seine Pionierarbeit. Er veröffentlichte jährlich Berichte, bis 1867. Er empfahl die Annahme eines absoluten, grundlegenden Systemes wissenschaftlicher Einheiten. Nachdem er auch das Fuss-Gran-(Korn-)Sekunde-System geprüft hatte, setzte er sich für das Meter-Gramm-Sekunde-System ein. Er berechnete theoretisch und schuf praktisch angenäherte Normale, besonders für den elektrischen Widerstand, wofür Latimer Clark den Namen Ohm vorschlug. Da die absolute elektromagnetische Einheit des Widerstandes des Meter-Gramm-Sekunde-Systemes als für den praktischen Gebrauch zu klein erschien, schlug dieser Ausschuss vor, dass die praktische Einheit des Widerstandes (oder Ohm) 10^7 solcher Einheiten ausmachen sollte, da dann 10 solcher Ohm ungefähr dem Widerstand einer Meile Telegraphendrahtes des üblichen Querschnittes entsprachen. Die Telegraphie war dazumal sozusagen die einzige Anwendung der Elektrizitätslehre. Das Verlangen nach elektrischen Einheiten kam von den Telegrapheningenieuren. Da auch die elektromagnetische Einheit der elektromotorischen Kraft im Meter-Gramm-Sekunde-System, vom Standpunkt der Telegraphentechnik aus gesehen, eine sehr kleine Einheit war, wurde ein grosses Vielfaches, nämlich 10^5 , mit dem Namen Volt als praktische Einheit empfohlen, da rund 100 000 solcher Meter-Gramm-Sekunde-Einheiten ungefähr der elektromotorischen Kraft eines Daniell-Elementes gleich waren. Die Dezimalfaktoren 10^7 und 10^5 waren vollständig willkürlich und zufällig gewählt, um dem Bedarf und der Bequemlichkeit dieser besondern Anwendungen zu dienen; aber als das Volt und das Ohm einmal angenommen waren, trat ein neuer starker Einfluss in Erscheinung: nämlich die systematische Verbindung zwischen den praktischen Einheiten, auf die Weise, dass zum Beispiel das Volt, in einem Stromkreise von einem Ohm wirkend, eine praktische Einheit des Stromes ergeben sollte. Dies bedeutete, dass die übrigen praktischen Einheiten nicht länger beliebig waren, sondern sich nach den Gesetzen

der Physik in Eins-zu-Eins-Beziehungen⁷⁾ von selbst bestimmten. So zeigt die Literatur, dass der ursprüngliche Wert des Farad, wofür als praktische Einheit der Kapazität der BA-Ausschuss eine willkürliche, für die Telegraphentechnik bequeme Grösse erhalten hatte, gleich dem heutigen Mikrofarad war. Es wurde aber später, mit Rücksicht auf die systematischen Zusammenhänge, auf die heutige Grösse geändert.

Der zweite BA-Ausschuss wurde 1868 ernannt für «die Auswahl und Benennung dynamischer und elektrischer Einheiten». Er diskutierte und verglich die relativen Vorteile des CGS-, des Meter-Gramm-Sekunde-, des Fuss-Gran-Sekunde- und des Millimeter-Milligramm-Sekunde-Systems bezüglich ihrer Verwendbarkeit als umfassendes, fundamentales System, das für den Gebrauch in allen Zweigen der Wissenschaft angenommen werden könnte. Sein erster Bericht — ein wichtiges Dokument — wurde 1873 veröffentlicht. Er entschied sich nach langer Diskussion zugunsten des CGS-Systems. Ein hauptsächlich Grund für diese Auswahl war, dass von den vier in Erwägung gezogenen das CGS-System das einzige war, bei dem die Einheit der Dichte (ein Gramm pro Kubikzentimeter) der Dichte von reinem Wasser bei normaler Temperatur und normalem Druck gleich wurde. Die praktischen Einheiten (Ohm, Volt und Farad), von denen Normale bereits im praktischen Gebrauche waren, wurden von den Meter-Gramm-Sekunde-Faktoren 10^7 , 10^5 , 10^{-7} auf die entsprechenden CGS-Faktoren 10^9 , 10^8 , 10^{-9} umgeschrieben; so existieren sie heute noch. Der Bericht befürwortete drei Namen für ebensoviele CGS-Einheiten, nämlich Dyn für die Krafteinheit, Erg für die Arbeitseinheit und Erg pro Sekunde für die Leistungseinheit. Diese Namen sind auch in Gebrauch geblieben.

Obschon das CGS-System und seine beigelegten praktischen Einheiten unter Wissenschaftlern und Elektrotechnikern Anerkennung fanden, waren sie bis zum ersten elektrotechnischen Kongress in Paris 1881 nicht international vereinbart. Dieser denkwürdige Kongress adoptierte die elektromagnetischen CGS-Einheiten als grundlegende und 5 dezimal davon abgeleitete: das Ohm, das Volt, das Ampere, das Coulomb und das Farad als praktische Einheiten. Für die Herstellung eines Ohm-Normals in Form des Widerstandes einer Quecksilbersäule von 1 mm^2 Querschnitt bei normaler Temperatur und normalem Druck wurden Schritte unternommen. Die 5 praktischen Einheiten bildeten unter sich eine abgestimmte Reihe. Das CGS-System wurde so das grosse, grundlegende absolute Maßsystem für alle Messungen in allen Zweigen der Physik.

Seit 1881 wurden der praktischen elektrischen Reihe 4 weitere Einheiten angefügt: das Joule, das Watt, das Henry und das Weber, nämlich 1889,

⁷⁾ Das heisst, die restlichen praktischen Einheiten wurden auf die zwei vorhandenen *abgestimmt*, indem man die physikalischen Gleichungen als Einheitengleichungen verwendete.

1889, 1893 und 1935, bzw. die ersten 3 an internationalen elektrotechnischen Kongressen und die vierte durch die CEI ⁸⁾ in Brüssel.

Umfassendes praktisches Maßsystem.

Clerk Maxwell, der das klassische CGS-System (elektrisch und magnetisch) auf eine feste mathematische Basis gestellt hat, führte 1881 ⁹⁾ aus, dass die praktische Reihe der elektromagnetischen Einheiten im wesentlichen ein vollständiges elektromagnetisches System bildeten, in welchem der Erdquadrant (10^9 cm) die Längeneinheit, 10^{-11} Gramm die Masseneinheit und die Sekunde ($= 1/86400$ der Dauer des mittleren Sonnentages) die Zeiteinheit sind. Der numerische Wert der Permeabilität des Vakuums war in diesem QES-System (Quadrant-«Elftels»-Gramm-Sekunde) $\mu_0 = 1$, derselbe wie im magnetischen CGS-System. Diese Auffassung der praktischen Reihe als Teil eines magnetischen Massensystems war interessant, aber lediglich eine Aussage der Theorie der Einheiten. Weder Maxwell noch ein anderer Theoretiker schlugen je ernstlich vor, dass das QES-System für praktische wissenschaftliche Arbeit übernommen werden sollte, da die grundlegenden Einheiten der Länge und der Masse so ungeeignet waren. Beispielsweise würde, mit dem Ampere als Einheit des Stromes, die Einheit der Stromdichte ein Ampere pro Quadrat-Erdquadrant! Maxwells Entdeckung blieb daher eine akademische Kuriosität.

Im Jahre 1901 stellte G. Giorgi, Rom, fest ¹⁰⁾, dass, wenn der Wert der Permeabilität μ_0 des Vakuums nicht als Eins, sondern als 10^{-7} unrationalsiert oder rationalisiert als $4\pi \cdot 10^{-7}$ genommen wurde, die praktische Einheitenreihe in ein elektromagnetisches System falle, das dem QES-System gleicht, dem CGS-System parallel ist und als Längeneinheit den internationalen Meter (10^2 cm) als Masseneinheit das Kilogramm und als Zeiteinheit die Sekunde aufweist. Giorgi brachte einen Bericht über dieses neue MKS-System vor den internationalen elektrotechnischen Kongress von St. Louis des Jahres 1904. Einer seiner Kollegen, Ascoli, präsentierte dem Kongresse von St. Louis einen andern Bericht, in dem er feststellte, dass eine unendliche Zahl solcher Systeme existiere, die alle die praktische Einheitenreihe enthalten. Wenn in einem solchen System die Längeneinheit 10^l cm und die Masseneinheit 10^m Gramm sind, dann wird die Bedingungs-gleichung $2l + m = 7$. In Giorgis MKS-System waren $l = 2$ und $m = 3$, dagegen waren in Maxwells QES-System $l = 9$, $m = -11$. Unter diesen unendlich vielen möglichen Systemen, die alle die international angenommenen praktischen Einheiten

⁸⁾ Die CEI trat 1904 an die Stelle der schwerfälligen internationalen elektrotechnischen Kongresse. Bull. SEV Bd. 19 (1928), S. 313.

⁹⁾ Maxwell, James Clerk: A Treatise on Electricity and Magnetism, 2. Auflage, Art. 629. Oxford: At the Clarendon Press 1881. — Der Autor erwähnt die Jahreszahl der nach dem Tode Maxwells (1879) erschienenen 2. Auflage des Meisterwerkes.

¹⁰⁾ Atti dell'AEI 1901.

umfassten, bewahrte nur Maxwells System $\mu_0 = 1$ und nur Giorgis MKS-System enthielt die internationalen Normale der Länge und Masse, die durch das internationale Büro für Mass und Gewicht in Sèvres, im Park von St. Cloud bei Paris, aufbewahrt werden. Ueberdies bot nur Giorgis MKS-System Einheiten der Länge und der Masse, die genügend praktisch waren.

Giorgis Maßsystem fand allmählich Beachtung in der ganzen Welt. In Europa wurde es von verschiedenen Physikern übernommen ¹¹⁾. In den Vereinigten Staaten kam G. A. Campbell gut voran mit seinem «definitiven System», das sich vom Giorgi-System nur in Einzelheiten der Definition unterscheidet. Der einzige Einwand, der ernstlich gegen das MKS-System vorgebracht wurde, scheint — abgesehen von der Beanstandung, dass die Grundgleichungen des Giorgi-Systemes, vom Standpunkt der theoretischen Physik gesehen, unsymmetrisch seien — der gewesen zu sein, dass seine Einheit der Dichte das Kilogramm pro Kubikmeter ist, das 1000mal kleiner ist als die Dichte reinen Wassers unter normalen Bedingungen. Seit den jüngsten Entdeckungen des Deuteriums und des «schweren Wassers» ¹²⁾ hat jedoch das Argument des Wassers als Dicheinheit an Bedeutung verloren. Die Dichte von destilliertem Wasser als Einheit zu haben ist natürlich ein Vorteil für ein Maßsystem, dessen Preisgabe ist aber nicht verhängnisvoll. Der weit überwiegende Teil des Wassers der Erde ist Ozeanwasser, dessen Dichte sich merklich von einem Gramm pro Kubikzentimeter unterscheidet; überdies sind die Tabellen des spezifischen Gewichtes, mit dem des reinen Wassers als Einheit ¹³⁾, im MKS-System und im CGS-System dieselben und für Ingenieurzwecke sind die spezifischen Gewichte wahrscheinlich nützlicher als die absoluten Dichten.

Im oder ungefähr im Jahre 1916 tauchten Vorschläge auf, ein anderes umfassendes Maßsystem anzunehmen, das oft als «internationales System» bezeichnet wurde und auf dem Zentimeter als Längeneinheit, 10^7 Gramm (10 Tonnen) als Masseneinheit und der Sekunde als Zeiteinheit beruhte. Hier sind $l = 0$ und $m = 7$. Für dieses System wurden verschiedene Befürworter genannt, darunter Blondel, Dellinger, Bennett, Karapetoff und Mie. In diesem System würde der numerische Wert der Vakuum-Permeabilität unrationalsiert 10^{-9} , rationalisiert

¹¹⁾ Zum Beispiel: Pohl, R. W.: Einführung in die Elektrizitätslehre. Berlin: Julius Springer.

¹²⁾ Deuterium ist ein Wasserstoff-Isotop. Das Deuteriumatom (${}^2_1\text{H}$) unterscheidet sich vom gewöhnlichen Wasserstoffatom (${}^1_1\text{H}$) darin, dass es — bei gleicher Kernladung 1 (unterer Index) — die Atomgewichtszahl 2 (oberer Index) besitzt. Schweres Wasser ist das aus Deuterium (statt Wasserstoff) und Sauerstoff gebildete Wasser. Seine Dichte beträgt $1,073$ g/cm³.

¹³⁾ Der Autor definiert offensichtlich das spezifische Gewicht als Verhältnis des Gewichtes eines Stoffes zum Gewicht des gleichgrossen Volumens von reinem Wasser unter Normalbedingungen, während es sonst als Verhältnis des Gewichtes eines Stoffes bei normaler Schwere zu seinem Volumen, also als dimensionsbehaftete Grösse verstanden wird.

$4\pi \cdot 10^{-9}$. Es wurden verschiedene Berichte und zuletzt ein Buch¹⁴⁾ in diesem System gedruckt. Es beanspruchte viele Vorteile des Giorgi-Systemes. Sein hauptsächlichster Nachteil ist aber seine unbequem grosse Masseneinheit.

Magnetische Einheiten.

Mit Bezug auf die Geschichte der praktischen magnetischen Einheiten mag es hier genügen, festzustellen, dass schon 1889 der zweite internationale elektrotechnische Kongress in Paris die Annahme von Einheiten für den Induktionsfluss und die Induktion diskutierte und für beide Personennamen vorsah; doch wurde damals kein Beschluss gefasst. Aehnliche Anregungen wurden am dritten internationalen elektrotechnischen Kongress von Frankfurt 1891 gemacht, aber wieder kam kein Beschluss zustande. Am vierten internationalen elektrotechnischen Kongress in Chicago, im Jahre 1893, wurden gewisse Vorschläge des American Institute of Electrical Engineers, in der praktischen Reihe magnetische Einheiten für die magnetomotorische Kraft, den Induktionsfluss, die Induktion und den magnetischen Widerstand (Reluktanz) anzunehmen, geprüft; aber die Delegiertenkammer empfahl, dass magnetische Einheiten, ohne besondere Namen, auf das CGS-System beschränkt werden sollten.

Am fünften internationalen elektrotechnischen Kongress von 1900 in Paris wurden Namen für die magnetischen CGS-Einheiten verlangt. Es gab beträchtliche Meinungsverschiedenheiten und Diskussionen. Zum Schluss nahm der Kongress die Namen Maxwell für die CGS-Einheit des Induktionsflusses und Gauss für die CGS-Einheit der magnetischen Feldstärke H . Es bestand aber ein Missverständnis über den gefassten Beschluss; einige der anwesenden Delegierten vermuteten, dass der Name Gauss für die Induktion B angenommen worden sei¹⁵⁾. Hiernach wurde kein internationaler Beschluss über magnetische Einheiten mehr gefasst, bis die Angelegenheit im Jahre 1927 von der CEI wieder aufgegriffen wurde¹⁶⁾.

Beschlüsse der CEI und der Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (UIP) über magnetische Einheiten. Die CEI diskutierte an ihrer Zusammenkunft in Bellagio im Jahre 1927 einige Vorschläge, die sich auf magnetische Einheiten bezogen. In Anbetracht der vielen zutage tretenden Meinungsverschiedenheiten wurde ein Studienkomitee ernannt, das die Angelegenheit zu studieren und darüber Bericht zu erstatten hatte. Das Komitee, das aus Vertretern verschiedener Länder zusammengesetzt war, versuchte durch Korrespondenz zu einem Ergebnis zu kommen; aber das erwies sich als

¹⁴⁾ Der Autor erwähnt hier: Bennett, E.: A Digest of the Relations Between the Electrical Units and of the Laws Underlying the Units. Univ. of Wisconsin Bul. 1917. Aus dem deutschen Sprachgebiet könnte beispielsweise: Thomälen, Adolf: Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik, 10. Aufl., Berlin 1929, Julius Springer, erwähnt werden.

¹⁵⁾ Rev. gén. Electr. Bd. 29 (1931), S. 125...138.

¹⁶⁾ Rev. gén. Electr. Bd. 23 (1928), S. 428...432. ETZ Bd. 49 (1928), S. 161.

unmöglich wegen der wesentlichen Meinungsverschiedenheiten hinsichtlich der Bedeutung der in der magnetischen Literatur gebrauchten Benennungen und insbesondere hinsichtlich der Bedeutung des Einheitennamens Gauss. Solche Unterschiede traten nicht nur zwischen der Literatur verschiedener Länder, sondern auch zwischen verschiedenen Autoren eines Landes auf. Die Angelegenheit wurde deshalb vor die National-Komiteen der CEI gebracht und auf die Traktandenliste der nächsten CEI-Tagung in Skandinavien (1930) gesetzt.

Nach beträchtlicher Diskussion in Stockholm entschied das Komitee einstimmig, dass für elektrotechnische Zwecke die Vereinbarung getroffen werden sollte, dass im leeren Raume die Grössen Induktion B und magnetische Feldstärke H als von verschiedener Dimension betrachtet werden sollten; so dass ihr Verhältnis, die Permeabilität μ_0 des Vakuums eine dimensionsbehaftete Grösse wurde und nicht eine reine Zahl. Dieselbe Vereinbarung wurde auf die absolute Permeabilität μ eines beliebigen Stoffes angewendet; so dass seine relative Permeabilität μ/μ_0 dimensionslos, das heisst eine reine Zahl wurde. Das Komitee bezeichnete dann das Gauss als Einheit der Induktion B , bestätigte den Namen Maxwell für die Einheit des Induktionsflusses Φ und gab der Einheit der magnetischen Feldstärke H den neuen internationalen Namen Oersted, alles im CGS-System. Diese Empfehlungen wurden von der Vollversammlung der CEI zu Oslo im Juli 1930 einstimmig bestätigt¹⁷⁾. Diese Oslo-Vereinbarung stellte die grosse Mehrheit der Elektrotechniker der ganzen Welt zufrieden; aber von seiten der Physiker war die Zustimmung weniger vollständig.

Die UIP bestellte an ihrer Brüsseler Tagung im Juli 1931 ein Komitee für Symbole, Einheiten und Nomenklatur (SUN). Dieses wichtige SUN-Komitee hatte mehrere Sitzungen, die für die Physik von grossem Wert waren. Präsident ist Sir Richard Glazebrook und Sekretär ist E. Griffiths vom National Physical Laboratory. Die CEI ersuchte die UIP um die Mitarbeit des SUN-Komitees, die gewährt wurde. Das SUN-Komitee stellte einen Fragebogen über elektrische Einheiten zusammen, der an Physiker und physikalische Gesellschaften versandt wurde. Er lenkte die Aufmerksamkeit auf einige Zweideutigkeiten in der Definition grundlegender elektrischer und magnetischer Grössen und lud zur Meinungsäusserung darüber ein, wie diese Zweideutigkeiten beseitigt werden könnten, um ein internationales Uebereinkommen zu ermöglichen. Dieses gedruckte Dokument wurde durch das SUN-Komitee im Dezember 1931 herausgegeben. Die eingehenden Antworten wurden gesammelt an die UIP-Komiteen sowie an die Nationalkomiteen der CEI verteilt.

Das Studienkomitee für elektrische und magnetische Einheiten und Grössen (EMMU)¹⁸⁾ der CEI kam im September 1931 in London zusammen, um

¹⁷⁾ ETZ Bd. 51 (1930), S. 1350 u. 1418. Rev. gén. Electr. Bd. 29 (1931), S. 244, Bull. SEV Bd. 22 (1931), S. 341.

¹⁸⁾ Electric and Magnetic Magnitudes and Units.

seine Oslo-Empfehlungen vom Juli 1930 zu überprüfen. Zehn Länder waren durch Delegierte vertreten. Der Präsident und der Sekretär des SUN-Komitees wohnten bei, ebenso H. Abraham (Generalsekretär der UIP), Präsident Enström und Generalsekretär Le Maistre von der CEI. Bei dieser Zusammenkunft wurden die in Oslo hinsichtlich der magnetischen CGS-Einheiten gefassten Beschlüsse einstimmig bestätigt.

Da in der Woche vom 5. bis 12. Juli 1932 viele Physiker in Paris waren, um den Pariser internationalen elektrotechnischen Kongress 1932 zu besuchen, berief das SUN-Komitee auf den 9. Juli eine informierende Versammlung ein, um die Angelegenheiten, die im Fragebogen enthalten waren und besonders die magnetischen CGS-Einheiten zu diskutieren. Präsident Sir Richard Glazebrook war Vorsitzender und E. Griffiths Sekretär; 19 Delegierte aus acht Ländern waren anwesend. Die Beschlüsse wurden zwar nicht einstimmig, aber doch mit grosser Mehrheit angenommen. Einer der Beschlüsse betraf den Vorschlag 6: «*B* und *H* sind Grössen verschiedener Natur.» Die Oslo-Vereinbarung wurde angenommen und die CEI-Beschlüsse betreffend die magnetischen CGS-Einheiten und deren Namen wurden bestätigt. Das Giorgi-System wurde nicht besonders erwähnt, aber es wurde beschlossen: «1. Ein zu empfehlendes Maßsystem muss die 8 international anerkannten praktischen Einheiten: Joule, Watt, Coulomb, Ampere, Ohm, Volt, Farad, Henry enthalten.» Ebenso wurde beschlossen, dass in einem praktischen magnetischen Masssystem «der Faktor $4\pi/10$ ¹⁹⁾ in der Definition der magnetomotorischen Kraft erhalten sollte.» Dies besagt, dass das SUN-Komitee gegen die Rationalisierung des praktischen magnetischen Systems ist.

An der schon erwähnten Brüsseler Tagung der UIP vom Juli 1931 wurde R. A. Millikan als neuer Präsident gewählt, und es war beabsichtigt, die nächste UIP-Tagung im Juni 1933 in Chicago, gleichzeitig mit der Chicagoer Ausstellung 1933 abzuhalten. Es wurde aber für nötig befunden, diese UIP-Tagung zu verschieben; lediglich eine Tagung der amerikanischen Sektion der UIP mit einigen ausländischen Gästen wurde an deren Stelle am 24. Juni 1933 in Chicago in der Universität von Chicago abgehalten. Präsident R. A. Millikan eröffnete die Zusammenkunft. Das Programm war der Arbeit des internationalen SUN-Komitees gewidmet und es wurden sechs Berichte verhandelt, wobei E. C. Crittenden, der Vorsitzende des amerikanischen SUN-Komitees den Vorsitz führte. Die Berichte, die von R. T. Glazebrook, H. Abraham, L. Page, G. A. Campbell, H. L. Curtis und A. E. Kennelly stammten, bezogen sich auf elektrische und magnetische Grössen und auf Masssysteme. E. Bennett amtierte als Sekretär. Die Teilnehmerzahl betrug ungefähr 150, und davon betei-

¹⁹⁾ Der Faktor $1/10$ weist darauf hin, dass der Definition merkwürdigerweise eine teils auf CGS-, teils auf praktische Einheiten zugeschnittene Zahlenwertgleichung zugrunde gelegt wurde.

ligten sich schätzungsweise 30 bis 40 an den Abstimmungen. Kurz zusammengefasst, wurden folgende Beschlüsse gefasst:

1. Dass das klassische CGS-System unverändert gelassen werden sollte.
2. Dass die bestehende Reihe von praktischen Einheiten vorteilhaft zu einem vollständigen, absoluten praktischen Maßsystem ausgedehnt werden könnte, entweder durch das MKS-System oder durch das Zentimeter-10⁷ Gramm-Sekunde-System; von diesen wird das MKS-System vorgezogen.
3. Dass das amerikanische SUN-Komitee ersucht werden sollte, die Einwände gegen den Gebrauch des absoluten Ohm und den Vorteil, der durch den Gebrauch des internationalen Ohm im praktischen Maßsystem gewonnen werden könnte, zu prüfen.

Eine Zusammenkunft des EMMU-Studienkomitees der CEI wurde in Paris im Oktober 1933 abgehalten. Das Weber wurde, vorbehaltlich der Zustimmung der Nationalkomiteen, als praktische Einheit des Induktionsflusses angenommen. Die Namen Hertz und Siemens wurden als Namen der praktischen Einheiten der Frequenz und des Leitwertes gleichfalls angenommen. Die Oslo-Vereinbarung betreffend μ_0 und μ wurde wieder bestätigt. Besondere Beachtung fanden die erwähnten Beschlüsse der amerikanischen Sektion der UIP von Chicago im Juli 1933 betreffend die Ausdehnung der praktischen Einheitenreihe in ein vollständiges Masssystem. Giorgi, der als italienischer Vertreter anwesend war, gab eine kurze Uebersicht über das MKS-System. H. Abraham, Generalsekretär der UIP, der der Tagung beiwohnte, hob einige Vorteile des MKS-Systems hervor; dasselbe tat E. Brylinski, Präsident des französischen Nationalkomitees der CEI. Folgender Beschluss wurde einstimmig angenommen:

Die Sektion B des Studienkomitees Nr. 1 für Nomenklatur beschliesst, nachdem es mit grossem Interesse die Ausführungen des Herrn Giorgi über das MKS-System angehört hat und in Bestätigung des Beschlusses der amerikanischen Sektion der UIP von Chicago vom Juni 1933, die Nationalkomiteen einzuladen, ihre Meinung abzugeben über die Ausdehnung der Reihe der praktischen Einheiten, die gegenwärtig in der Elektrotechnik angewendet werden, durch ihre Einordnung in ein abgestimmtes Maßsystem, das als Grundeinheiten der Länge, Masse und Zeit den Meter, das Kilogramm und die Sekunde aufweist und als vierte Grundeinheit entweder die des Widerstandes, ausgedrückt als das genaue 10⁹-fache der elektromagnetischen CGS-Einheit, oder den entsprechenden Wert der Vakuumpermeabilität.

Diese Beschlüsse wurden zusammen mit dem Protokoll der Tagung mit dem Ersuchen um Meinungsäusserung in der üblichen Weise an alle Nationalkomiteen verteilt.

Entscheidungen der CEI an der letzten Volltagung in Scheveningen und Brüssel.

Wegen der über Einheiten zu fassenden Beschlüsse tagte das EMMU-Studienkomitee in Scheveningen unter Anwesenheit von Vertretern von 15 Ländern. Die wichtigsten Beschlüsse dieser Tagung sind in Kürze folgende:

1. Die Oslo-Vereinbarung betreffend μ_0 und μ wurde wieder bestätigt.

2. Die Annahme des Weber als Name der praktischen Einheit des Induktionsflusses Φ wurde bestätigt.

3. Die von den verschiedenen Nationalkomiteen eingegangenen Antworten betreffend die Ausdehnung der praktischen Einheitenreihe zu einem praktischen Maßsystem auf der MKS-Basis, wurden verlesen. Dann wurde die Frage der Annahme des MKS-Systemes aufgeworfen und einstimmig bejaht, mit Ausnahme von zwei Ländern, die hinsichtlich der Zweckmässigkeit der Festsetzung des Kilogramms als Grundeinheit Vorbehalte machten.

Es herrschte eine beträchtliche Meinungsverschiedenheit unter den Delegierten über die vierte Grundeinheit des Systems. Das Ohm und das Coulomb wurden vorgeschlagen²⁰⁾. Es bestand Uebereinstimmung darüber, dass eine vierte Grundeinheit nötig sei, da es möglich wäre, mit den drei Grundeinheiten Meter, Kilogramm und Sekunde eine unendliche Zahl von richtig aufgebauten elektromagnetischen Einheitenreihen zu bilden, die von der bestehenden praktischen Reihe, die man beizubehalten wünschte, abweichen. Man kam schliesslich überein, die Entscheidung über die Wahl der vierten Grundeinheit zu verschieben, bis sich eine Gelegenheit geboten habe, das Comité Consultatif d'Electricité (CCE) des Internationalen Komitees für Mass und Gewicht (CIPM)²¹⁾ in Sèvres und ebenso das SUN-Komitee der UIP zu befragen. Inzwischen wurde beschlossen, dass das neue Maßsystem «Giorgi-System» genannt werden solle. Von den verschiedenen Nationalkomiteen wurden über die Wahl der vierten Grundeinheit die Meinungen erfragt.

4. Als Beispiele für die Bildung abgeleiteter Einheiten des Systems wurden folgende einstimmig angenommen: a) das Volt pro Meter als Einheit der elektrischen Feldstärke; b) das Weber pro Quadratmeter als Einheit der magnetischen Induktion B ; c) das Joule pro Kubikmeter als Einheit der Energiedichte.

5. Die Beschlüsse, die über die praktischen Einheitenamen Hertz und Siemens an der vorangehenden Tagung in Paris gefasst worden waren, wurden bestätigt, ebenso die Wünschbarkeit der Einführung des Symbols μ_0 der Vakuumpermeabilität in jene magnetischen Formeln, in denen die Abwesenheit ein Missverständnis herbeiführen könnte. Damit wurde wieder die Oslo-Vereinbarung bestätigt.

Vorteile des Giorgi-Systems für Studierende der Elektrotechnik.

Die Tabelle I enthält eine Liste von MKS- und CGS-Einheiten und zeigt, dass, obschon das klassische CGS-System in keiner Weise verändert oder gestört worden ist, durch die Vervollständigung der praktischen Einheitenreihe in ein unabhängiges praktisches System doch folgende Vorteile erreicht werden:

1. Durch die Ausmerzung der Notwendigkeit des Auswendiglernens der Dezimalfaktoren 10^9 , 10^8 , 10^7 , 10^{-1} und 10^{-9} , die die Einheiten der beiden Systeme verbinden, entsteht eine grosse Vereinfachung. Alle praktischen Einheiten sind aufeinander abgestimmt.

2. Das MKS-System besteht für sich allein und verlangt kein begleitendes elektrostatisches Parallelsystem. Alle elektrostatischen Erscheinungen können sehr bequem durch die bestehenden elektromagnetischen praktischen Einheiten behandelt werden.

²⁰⁾ Die CEI hat das passende Vielfache der Vakuumpermeabilität μ_0 (Henry/m) aus folgenden Gründen als für die vierte Grundeinheit ungeeignet erachtet:

a) Von dieser Grösse lassen sich keine Normale herstellen.

b) Je nachdem, ob man sich für oder gegen die Rationalisierung entscheidet, erhält die Vakuumpermeabilität verschiedene Werte, nämlich $4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m oder 10^{-7} H/m.

²¹⁾ Comité International des Poids et Mesures.

3. Die Dimensionsausdrücke der Giorgi-Einheiten können, wie Giorgi und andere Autoren gezeigt haben, ohne Zuhilfenahme gebrochener Exponenten geschrieben werden²²⁾.

4. Der Gebrauch von rationalisierten oder von unrationalsierten Formeln, je nach Wahl des Autors, ist möglich, ohne dass deswegen das System zerrissen würde.

5. Es ist kein nennenswerter Wechsel in der bestehenden Literatur und Terminologie der elektrischen Stromkreise nötig. Die elektrotechnische Literatur des galvanischen Stromkreises ist ohnehin schon Giorgisch. Es wird nicht schwierig sein, die Literatur des magnetischen Kreises von den CGS- auf die MKS-Einheiten umzuformen.

6. Für fast alle praktischen Zwecke kann das MKS-System jetzt schon studiert und angewendet werden, ohne dass auf die formale Annahme der vierten, die Grundlage des Systems vervollständigenden Grundeinheit gewartet wird. Bis die Leser mit der Form der in MKS-Einheiten geschriebenen Formeln des magnetischen Kreises vertraut geworden sind, können die alten CGS-Formeln im CGS-System ohne Verwirrung beibehalten werden.

7. Es verschafft eine klare Einsicht in den Unterschied zwischen den früheren CGS-Einheiten und den praktischen Einheiten, hinsichtlich Nomenklatur und Verwendungszweck. Wenn neue CGS-Einheiten benannt werden, sollen die Namen der Einheitlichkeit halber unpersönlich sein. Ebenso sollten neue praktische Einheiten persönliche Namen erhalten, besonders die Einheiten 10, 12 und 15²⁵⁾ von Tabelle I. Ein paar unpersönliche Namen im MKS-System könnten, wenn es gewünscht wird, später in persönliche umgeändert werden²⁶⁾.

Kommentar.

Tabelle I zeigt, dass der einzige Teil des CGS-Systems, in dem Personennamen auftreten, der des magnetischen Kreises ist. Diese Abweichung geht zurück auf den Beschluss des Kongresses von Chicago von 1893, die magnetischen Einheiten aus der praktischen Einheitenreihe auszuschliessen. Die sehr grosse Zahl der Elektrotechniker der ganzen Welt wurden dadurch gezwungen, die Namen für den magnetischen Kreis, die sie so dringend brauchten, im CGS-System zu suchen. Obgleich diese Inkonsequenz bedauerlich ist, scheint es wahrscheinlich, dass sie mit Geduld und gutem Willen später überwunden werden kann.

Schaut man zurück auf den Weg der Entwicklung der Einheiten seit 1861, als der BA-Ausschuss den ersten Schritt in der Richtung nach praktischen Einheiten unternahm, so wird klar, dass ungefähr 1865, mit dem Ohm und dem Volt beginnend, die auf dem CGS-System beruhten und deren Grössen willkürlich so ausgewählt wurden, dass sie den Bedürfnissen der elektrischen Telegraphie dienten, das Ohmsche Gesetz den Weg von diesen zwei Kernen zu der abgestimmten Grösse Ampere als praktischer Einheit des Stromes festlegte. Diese drei führten dann durch andere einfache physikalische Gesetze und deren mathematische Formeln zu den

²²⁾ Baut man die Dimensionsausdrücke aus den vier Grundeinheiten auf, so gilt diese Bemerkung nur, wenn das Ampere oder das Coulomb, nicht aber das Ohm oder das passende Vielfache der Vakuumpermeabilität als vierte Grundeinheit verwendet wird.

²⁵⁾ Der Autor findet es offenbar als unerwünscht, dass der Vektor (streng genommen Tensor) Drehmoment dieselbe Einheit Joule aufweist wie die Skalare Arbeit und Energie.

²⁶⁾ Dieser letzte und der vorletzte Abschnitt gehören wohl kaum noch zu den Vorteilen, die das Giorgi-System den Studierenden bietet.

weitem Gliedern der praktischen Einheitenreihe. Nach dem Ohm und dem Volt wurde keine willkürliche Wahl mehr getroffen und die praktische Einheitenreihe bestimmte sich von selbst. Jedes neue Glied der Reihe gestaltete die Systematik zwingender und führte zum Schluss zur Vervollständigung der ganzen Reihe im Giorgi-System. Im Jahre 1935, nach einer 70jährigen Entwicklung, hat das System

schieden dagegen. Es ist klar, dass jeder Versuch, gegenwärtig im einen oder im andern Sinne eine Entscheidung zu erzwingen, die MKS-Anhänger in zwei gegnerische Lager, die Rationalisten und die Nichtrationalisten, teilen würde. Es erscheint deshalb als wünschenswert, diesen Zustand zu vermeiden und jedem Autor die Wahl freizustellen, bis die Erfahrung die Meinung in den verschiedenen Län-

Unvollständige Liste der MKS-Einheiten und der entsprechenden CGS-Einheiten ²³⁾.

Tabelle I.

Nr.	Grösse	Sym- bol ¹⁾	MKS-Einheit	CGS-Einheit	CGS-Einheiten in einer MKS- Einheit
1	Länge	<i>l</i>	Meter	Zentimeter	10 ²
2	Masse	<i>m</i>	Kilogramm	Gramm	10 ³
3	Zeit	<i>t</i>	Sekunde	Sekunde	1
4	Fläche		Quadratmeter	Quadratcentimeter	10 ⁴
5	Volumen	<i>V</i>	Kubikmeter	Kubikcentimeter	10 ⁶
6	Frequenz	<i>f</i>	Hertz	Hertz	1
7	Dichte	δ	Kilogramm pro Kubikmeter	Gramm pro Kubikcentimeter	10 ⁻³
8	Geschwindigkeit	<i>v</i>	Meter pro Sekunde	Zentimeter pro Sekunde	10 ²
9	Beschleunigung		Meter pro Quadratsekunde	Zentimtr. pro Quadratsekunde	10 ²
10	Kraft		— (Joule pro Meter)	Dyn	10 ⁵
11	spezifisches Gewicht	γ	— (Joule pro Meter pro Kubikmeter) ²⁴⁾	Dyn pro Kubikcentimeter ²⁴⁾	10 ⁻¹
12	Druck		— (Joule pro Kubikmeter)	Dyn pro Quadratcentimeter, Mikrobar	10
13	Winkel	α, β	Eins (reine Zahl)	Eins (reine Zahl)	1
14	Winkelgeschwindigkeit	ω	pro Sekunde	pro Sekunde	1
15	Drehmoment	<i>M</i>	Joule	Dyn-Zentimeter	10 ⁷
16	Trägheitsmoment	<i>J</i>	Kilogramm-Quadratmeter	Gramm-Quadratcentimeter	10 ⁷
17	Arbeit, Energie	<i>A, W</i>	Joule	Erg	10 ⁷
18	Energiedichte		Joule pro Kubikmeter	Erg pro Kubikcentimeter	10
19	Leistung	<i>P</i> ²⁾	Watt	Erg pro Sekunde	10 ⁷
20	Spannung	<i>U</i>	Volt	—	10 ³
21	Feldstärke	\mathcal{E}	Volt pro Meter	—	10 ⁶
22	Widerstand	<i>R</i>	Ohm	—	10 ⁹
23	spezifischer Widerstand	ρ	Ohm-Meter	—	10 ¹¹
24	Leitwert	<i>G</i>	Siemens	—	10 ⁻⁹
25	spezifischer Leitwert	κ	Siemens pro Meter	—	10 ⁻¹¹
26	Elektrizitätsmenge	<i>Q</i>	Coulomb	—	10 ⁻¹
27	Strom	<i>I</i>	Ampere	—	10 ⁻¹
28	Stromdichte		Ampere pro Quadratmeter	—	10 ⁻⁵
29	Kapazität	<i>C</i>	Farad	—	10 ⁻⁹
30	relative Dielektrizitätskonstante	ϵ/ϵ_0	Eins (reine Zahl)	Eins (reine Zahl)	1
31	Induktionsfluss	Φ	Weber	Maxwell	10 ⁸
32	Induktion	<i>B</i>	Weber pro Quadratmeter	Gauss	10 ⁴
33	Induktivität	<i>L</i>	Henry	—	10 ⁹
34	relative Permeabilität	μ/μ_0	Eins (reine Zahl)	Eins (reine Zahl)	1

¹⁾ Diese Kolonne ist mit Rücksicht auf im Gange befindliche Arbeiten unvollständig ausgefüllt.
²⁾ In der deutschen Literatur N.

das Stadium der internationalen Anerkennung erreicht. Unter ungünstigen Bedingungen hätte diese Zeit viel länger sein können.

In bezug auf die Rationalisierung oder Nicht-rationalisierung des MKS-Systems zeigten Diskussionen in den CEI- und UIP-Komiteen in den letzten Jahren, dass über diese Fragen grosse Meinungsverschiedenheiten bestehen. Im EMMU-Studienkomitee bestand eine grosse Mehrheit für die Rationalisierung, im SUN-Komitee war die Mehrheit ent-

dern sich auskristallisieren lässt. Die klassischen elektrischen und magnetischen Systeme von Maxwell sind unrationalisiert, während die Heaviside-Lorentz-Abart rationalisiert ist. Der Vorteil der Rationalisierung wäre, dass das MKS-System dadurch einfacher, logischer und abgestimmt würde ²⁷⁾. Es spricht viel dafür, dass man die Polstärke mit dem Induktionsfluss übereinstimmen lassen sollte, so dass ein Pol von einem Weber einen Induktionsfluss von einem Weber und eine Ladung von einem Coulomb einen Verschiebungsfluss von einem Coulomb entstehen lässt. Tabelle II zeigt, dass schon genügend

²³⁾ Die in der Originalarbeit enthaltene Tabelle wurde gekürzt und nach Möglichkeit den schweizerischen Verhältnissen angepasst.

²⁴⁾ Der Autor führt das spezifische Gewicht als reine Zahl auf, vgl. ¹³⁾.

²⁷⁾ Hier würden die Nichtrationalisten dem Autor wohl nicht unbedingt zustimmen.

praktische Internationale Einheiten vorhanden sind, um allen wichtigen Einheiten des rationalisierten magnetischen Kreises Namen geben zu können; dabei sind allerdings einige zusammengesetzt. Dagegen scheint es nötig zu sein, für die Bedürfnisse des unrationalisierten Kreises eine Reihe neuer internationaler Namen zu schaffen ²⁸⁾. Giorgi selbst schlug sein System (1901...1904) im Sinne einer

das CGS-System der Wissenschaft während vieler Jahre trotz des Zentimeters ausgezeichnete Dienste geleistet.

Bevor genügend Zeit verstrichen ist, um die Meinungen des CIPM und der UIP in der Frage der Wahl der vierten Grundeinheit für das MKS-System zu erhalten, wäre es eigenbrötlerisch, seine Ansichten über diesen Punkt zu äussern. Es mag aber er-

Elektrische und magnetische MKS-Einheiten, die von der aufgeschobenen Frage der Rationalisierung betroffen werden ²³⁾.

Tabelle II.

Nr.	Grösse	Symbol	Name der rationalisierten MKS-Einheit
35	Verschiebungsfluss	ψ	Coulomb
36	Verschiebung	ϑ	Coulomb pro Quadratmeter
37	Dielektrizitätskonstante des Vakuums, Verschiebungskonstante	ϵ_0	Farad pro Meter
38	magnetische Spannung	V	Ampere ²⁹⁾
39	magnetische Feldstärke	H	Ampere pro Meter
40	Permeabilität des Vakuums, Induktionskonstante	μ_0	Henry pro Meter .
41	magnetischer Widerstand, Reluktanz	R_m	Ampere pro Weber
42	Polstärke	m	Weber
43	magnetisches Moment	\mathfrak{M}	Weber-Meter
44	Magnetisierungsstärke	\mathfrak{S}	Weber pro Quadratmeter

Für die unrationalisierten MKS-Einheiten wurden keine Namen gewählt ²⁸⁾.

Numerische Werte der Vakuumkonstanten im MKS-System, rationalisiert und unrationalisiert ²³⁾.

Tabelle III.

Nr.	Grösse	Symbol	Rationalisiert	Unrationalisiert
37	Dielektrizitätskonstante des Vakuums, Verschiebungskonstante	ϵ_0	$10^7/4\pi c^2 = 8,854 \cdot 10^{-12}$	$10^7/c^2 = 1,113 \cdot 10^{-10}$
40	Permeabilität des Vakuums, Induktionskonstante	μ_0	$4 \pi \cdot 10^{-7} = 1,257 \cdot 10^{-6}$	10^{-7}

Der Wert der Ausbreitungsgeschwindigkeit c der elektromagnetischen Wellen wurde hier zu $2,998 \cdot 10^8$ m/s genommen, der von c^2 zu $8,988 \cdot 10^{16}$ (m/s)².

Wegen der möglichen kleinen Abweichung zwischen den Normalen einiger Grössen und ihrem theoretischen Sollwert (von einigen Einheiten auf 10 000) könnte die künftige Annahme der zur Vervollständigung der Grundlage des MKS-Systems dienenden vierten Grundeinheit die numerischen Konstanten von Tabelle III leicht beeinflussen.

Empfehlung rationalisiert vor. Dagegen wäre andererseits der Nachteil der Rationalisierung der, dass in den betroffenen Gebieten der Parallelismus mit dem klassischen CGS-System, aus dem es hervorgegangen ist, gebrochen würde.

In bezug auf die Grundlage des MKS-Systems wurde von verschiedenen Autoren festgestellt, dass es ein Makel des Systems sei, im Kilogramm eine Grundeinheit mit Vorsatz zu besitzen ³⁰⁾. Der MKS-Meter ist sicher dem CGS-Zentimeter vorzuziehen; aber das MKS-Kilogramm ist dem CGS-Gramm unterlegen. Idealerweise sollten die Grundeinheiten eines Maßsystems vorsatzfrei sein. Gleichwohl hat

²⁸⁾ Die Rationalisierung oder Nichtrationalisierung ist wohl weniger eine Frage der Einheiten als eine Frage der Definitionen. In den beiden Fällen erhalten zwei sich um den Faktor 4π unterscheidende Grössen denselben Namen und dasselbe Buchstabensymbol.

²⁹⁾ In der Originalarbeit steht in Tabelle II überall Ampere-Windung statt Ampere.

³⁰⁾ Dem Kilogramm ist ausserdem noch vorzuwerfen, dass es in technischen Kreisen fast durchwegs als Krafteinheit aufgefasst wird. Um dauernde Verwechslungen zu vermeiden, wäre der Masseneinheit des Giorgi-Systems ein neuer Name zu geben.

laubt sein, heute schon festzustellen, dass es, welche vierte Grundeinheit zur Aufrichtung des Giorgi-Systems auch immer gewählt werden mag, sehr wünschbar ist, dass alle praktischen Einheiten der Ohm-Volt-Ampere-Reihe für Physiker und Techniker identisch sein sollen. Es wäre sicher ein grosses Missgeschick für die ganze wissenschaftliche Welt, wenn es infolge der Verwendung einer Normalohmspule oder eines Normalkondensators nach beispielsweise 20 Jahren nötig wäre, zu fragen, ob diese für einen Physiker oder für einen Elektrotechniker normal war. Ein geringfügiges Versehen bei der Festsetzung der vierten Grundeinheit könnte leicht zu einer solchen Unstimmigkeit führen.

Anhang ³¹⁾.

Seit die Originalarbeit im August 1935 geschrieben worden war, wurden die Antworten der für die Auswahl der vierten Grundeinheit angefragten Organisationen, des Comité International des Poids et

³¹⁾ Dieser Teil der Uebersetzung ist gegenüber der Originalarbeit stark gekürzt und auf den gegenwärtigen Zeitpunkt nachgeführt.

Mesures (CIPM) und der Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (UIP), festgelegt.

Die CIPM tagte vom 1. bis 8. Oktober 1935 in Paris-Sèvres. Sie genehmigte dabei einen Bericht ihres Studienausschusses für Elektrizität (CCE)³²⁾. Dessen wesentliche Stellen lauten³³⁾:

Der Studienausschuss glaubt zuerst bemerken zu müssen, dass eine grosse Mehrheit seiner anwesenden Mitglieder der Meinung Ausdruck gegeben hat, dass die Verbindung zwischen den mechanischen und den elektrischen Einheiten hergestellt werden sollte, indem man dem, was man Permeabilität des leeren Raumes zu nennen übereingekommen ist, den Wert 10^{-7} in einem nicht rationalisierten MKS-System, oder $4\pi \cdot 10^{-7}$ in einem rationalisierten System erteilt.

Auf die Bemerkung, dass die Form, in der die Frage gestellt worden ist, die Auswahl auf eine der sieben praktischen Einheiten: Coulomb, Ampere, Volt, Ohm, Henry, Farad, Weber beschränke, war der Ausschuss einstimmig der Ansicht, dass die Wahl nur auf das Ampere, definiert als der zehnte Teil der elektromagnetischen CGS-Einheit des Stromes oder auf das Ohm, definiert als das 10fache der elektromagnetischen Einheit des Widerstandes, entfallen könne, wobei sich diese beiden Grössen mit den beiden oben genannten Werten 10^{-7} oder $4\pi \cdot 10^{-7}$ in Uebereinstimmung befinden.

Endgültig hat sich der Ausschuss mit der schwachen Mehrheit von 4 Stimmen, gegen 3, die dem Ampere zufließen, und bei 1 Stimmenthaltung, zugunsten des Ohms ausgesprochen.

In der folgenden Sitzung hat Herr Sears dem Ausschuss folgendes Schriftstück unterbreitet:

1. Die elektromagnetische Theorie führt auf die Beziehung $A^2 = \mu_0 \epsilon_0 c^2$ ³⁴⁾ zwischen den darin vorkommenden Grössen; dabei bedeuten:

c die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen im Vakuum,

μ_0 die Permeabilität des Vakuums,

ϵ_0 die Dielektrizitätskonstante des Vakuums (Permittivität),
A einen konstanten Faktor.

Um ein vollständiges Maßsystem der elektrischen Einheiten zu bekommen, muss man willkürlich die Werte von zwei der drei Grössen *A*, μ_0 und ϵ_0 festlegen. Die dritte wird dann durch obige Beziehung ebenfalls festgelegt.

2. Die Grössen der elektrischen Einheiten desjenigen Masssystems, dessen Annahme die Generalkonferenz von 1933 sanktioniert hat, sind identisch mit denjenigen praktischen Einheiten, die vom klassischen Maßsystem Maxwells, genannt CGS-System, abgeleitet sind.

3. Diese Systeme sind im wesentlichen auf der Annahme eines konstanten Wertes für die Permeabilität des Vakuums begründet; dieser Wert ist im Maßsystem von Maxwell zahlenmässig gleich 1. Für das nicht rationalisierte MKS-System sollte diese Permeabilität den Wert 10^{-7} und für das rationalisierte MKS-System den Wert $4\pi \cdot 10^{-7}$ haben. In jedem dieser Systeme ist der Faktor *A* als rein numerische Konstante genommen, der man den Wert 1 erteilt; deshalb kommt er in den Gleichungen nicht mehr vor. Die wichtigsten Einheiten dieser zwei MKS-Systeme wären dann gleich denen des praktischen Systems, dessen Annahme die Generalkonferenz von 1933 sanktioniert hat.

4. Die verschiedenen elektrischen Einheiten können alle aus dieser Auffassung abgeleitet werden mit Hilfe von Gleichungen, die die Gesetze der Physik zum Ausdruck bringen und mit passend gewählten Konstanten. Im Prinzip hat keine dieser Einheiten eine Vorzugsstellung gegenüber den andern.

³²⁾ Comité Consultatif d'Electricité.

³³⁾ Comité International des Poids et Mesures: Procès-verbaux des séances, deuxième série, tome XVII, session de 1935, S. 95. Paris: Gauthier-Villars 1935.

³⁴⁾ Siehe z. B.: Kohlrausch, F.: Praktische Physik, 17. Aufl., herausgegeben von F. Henning, S. 9. Leipzig und Berlin: B. G. Teubner 1935.

5. Die für die wichtigsten Einheiten angenommenen Definitionen könnten die folgenden sein:

a) *Ampere*. Das Ampere ist der unveränderliche Strom, der, wenn er in zwei parallelen, geradlinigen, unendlich langen, in 1 Meter Abstand voneinander im Vakuum angeordneten Leitern fliesst, zwischen diesen Leitern eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ MKS-Einheiten pro Meter Länge hervorbringt.

b) *Coulomb*. Das Coulomb ist die Elektrizitätsmenge, die in jeder Sekunde durch einen Strom von ein Ampere transportiert wird.

c) *Volt*. Das Volt ist die elektrische Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten eines leitenden Drahtes, der einen Strom von ein Ampere führt, wenn die zwischen den zwei Punkten frei werdende Leistung eine MKS-Leistungseinheit (Watt) ist.

d) *Ohm*. Das Ohm ist der elektrische Widerstand zwischen zwei Punkten eines Leiters, wenn eine unveränderliche Potentialdifferenz von ein Volt, die zwischen den Punkten angebracht ist, in diesem Leiter einen Strom von ein Ampere erzeugt, wobei der Leiter nicht der Sitz einer elektromotorischen Kraft sein darf.

e) *Weber*. Das Weber ist der Induktionsfluss, der, einen aus einer Windung bestehenden Stromkreis durchdringend, dort eine elektromotorische Kraft von einem Volt erzeugen würde, wenn man ihn in einer Sekunde durch gleichmässige Abnahme auf Null sinken liesse.

f) *Henry*. Das Henry ist die Induktivität eines geschlossenen Stromkreises, in dem eine elektromotorische Kraft von ein Volt erzeugt wird, wenn der elektrische Strom, der im Stromkreis fliesst, sich gleichmässig um ein Ampere pro Sekunde verändert.

g) *Farad*. Das Farad ist die elektrische Kapazität eines Kondensators, zwischen dessen Belägen eine elektrische Potentialdifferenz von ein Volt auftritt, wenn er mit der Elektrizitätsmenge eines Coulomb geladen ist.

6. Diese Einheiten können folgendermassen abgeleitet werden:

Ampere	A	Ampere	A
Coulomb	C	Ampere-Sekunde	As
Volt	V	Watt pro Ampere	WA ⁻¹
Ohm	Ω	Volt pro Ampere	VA ⁻¹
Weber	Wb	Volt-Sekunde	Vs
Henry	H	Volt-Sekunde pro Ampere	VsA ⁻¹
Farad	F	Ampere-Sekunde pro Volt	V ⁻¹ sA
	³⁵⁾		³⁵⁾

7. Für die laufende Praxis der Laboratoriumsmessungen sind zum mindesten zwei Bezugs-Grundnormale nötig, die unter den verschiedenen Einheiten zweckmässig gewählt werden müssen. Die zwei Bezugssysteme sollten das Ohm und das Volt sein, von denen das erste in Form von Spulen, das zweite in Form von Westonelementen verwirklicht ist.

8. Für theoretische Fragen, wie die die Einheiten verbindenden Dimensionsgleichungen, erscheint als geeigneter Ausgangspunkt für die Ableitung des ganzen Systems der elektromagnetischen Einheiten das Ampere, das sich durch einfache Beziehungen unmittelbar ebensogut an die Grundeinheiten des Systems als auch an die andern elektrischen und magnetischen Einheiten anschliesst und das überdies den Vorteil hat, in den Dimensionsgleichungen gebrochene Exponenten zu vermeiden. Unter diesem Gesichtspunkt sollte das Ampere als vierte Grundeinheit, die zur Vervollständigung des MKS-Systems der elektromagnetischen Einheiten nötig ist, bevorzugt werden.

Dieses Schriftstück hat beim Studienausschuss eine einstimmig günstige Aufnahme gefunden. Er beschloss, es dem internationalen Komitee für Mass und Gewicht zu übermitteln, immerhin ohne es als nötig zu erachten, auf den Beschluss des Vortages zurückzukommen.

Das SUN-Komitee der UIP hat die Frage der vierten Grundeinheit in der Zwischenzeit ebenfalls studiert und der CEI die erbetene Antwort er-

³⁵⁾ In dieser Kolonne stehen in der Originalarbeit statt der Einheiten- die Grössensymbole.

teilt³⁶⁾. Das Komitee hat unter anderem einer von Dr. Abraham, Sekretär der UIP, vorgelegten Resolution folgenden Inhalts zugestimmt:

In Anbetracht, das die elektromagnetischen Einheiten des praktischen Systems anlässlich ihrer Schöpfung als genaue dezimale Vielfache der elektromagnetischen CGS-Einheiten definiert worden sind,

in Anbetracht, dass diese ursprünglichen Definitionen mehr experimentelle Genauigkeit und grössere Sicherheit bieten als Definitionen, die, sei es auf der Aufbewahrung gewisser Normale, sei es auf besondern Verfahren beruhen (Quecksilbersäulen, Elektrolyse),

äussert das Komitee die Meinung:

Es besteht keine Veranlassung, die ursprünglichen Definitionen der elektrischen Einheiten des praktischen Systems abzuändern, Definitionen, die für diese Einheiten genaue dezimale Vielfache der Einheiten des elektromagnetischen CGS-Systems als Werte festlegen.

Das Schreiben endet mit folgender Zusammenfassung:

In Beantwortung der Anfrage der CEI empfiehlt deshalb das SUN-Komitee, dass die «vierte Einheit» im MKS-System 10^{-7} Henry pro Meter sein möge, der Wert (im rationalisierten Maßsystem wird er $4\pi \cdot 10^{-7}$) nämlich, der in diesem System der Vakuumpermeabilität zugeschrieben wird³⁷⁾.

Die gegenwärtige Lage ist damit etwa folgende: Das Giorgi-System ist von der CEI einstimmig angenommen worden. Es ist aber noch nicht festgesetzt, welches seine vierte Grundeinheit ist. Die angefragten Komiteen des CIPM und der UIP haben vorgeschlagen, die Vakuumpermeabilität zur Vollständigkeit der Grundlagen zu verwenden. Die CEI hat diese dagegen als für die vierte Grundeinheit ungeeignet erachtet. Aus einigen vorliegenden Äusserungen³⁸⁾ geht hervor, dass eine Reihe von Physikern noch heute nicht damit einverstanden ist, dass man aus rein praktischen Erwägungen, nämlich um — ohne Störung der Symmetrie der Gleichungen des elektrischen und des magnetischen Feldes — die Mehrdimensionalität vieler Grössen zu beseitigen, eine vierte Grundeinheit (Dimension) einführen will.

Die Vorteile des Giorgi-Systems können erst dann wirksam zur Geltung kommen, wenn es allgemein

³⁶⁾ Unveröffentlichter Brief von Sir R. T. Glazebrook, Präsident des SUN-Komitees, vom 30. 11. 35.

³⁷⁾ Diese Stelle ist offenbar so aufzufassen, dass das SUN-Komitee die Permeabilität als vierte Grundgrösse und das H/m (Henry pro Meter) als vierte Grundeinheit empfiehlt. Im nichtrationalisierten System ist dann $\mu_0 = 10^{-7}$ H/m, im rationalisierten System $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

angewendet wird. Zur Zeit stellt das neue Masssystem noch insofern eine Mehrbelastung dar, als es zu den bekannten Systemen noch neu hinzutritt. An seine allgemeine Verwendung ist wohl erst dann zu denken, wenn es einmal auf sichern Füßen steht und fertig ausgebaut ist. Die verschiedenen internationalen Organe erweisen der Gesamtheit aller, die mit elektrischen und magnetischen Einheiten zu tun haben, einen grossen Dienst, wenn sie das Giorgi-System nun rasch vollenden. Hiezu sind vor allem folgende Entscheidungen zu treffen:

1. Die vierte Grundeinheit ist auszuwählen. Mit Rücksicht auf die bequeme Verbindung mit den andern Einheiten und die Einfachheit der Dimensionsausdrücke eignet sich besonders das Ampere als vierte Grundeinheit.

2. Das vierte Grundnormal ist zu definieren. Hiefür eignet sich mit Rücksicht auf die Konstanz wohl nur die Vakuumpermeabilität, obwohl eine starke Gruppe das internationale Ohm vorzieht. Diese befindet sich im Widerspruch mit der Generalkonferenz für Mass und Gewicht, die 1933 beschlossenen hat, die praktischen Einheiten von den internationalen Normalen zu lösen und ihnen die absoluten, das heisst die auf dem elektromagnetischen CGS-System fussenden Werte zu erteilen³⁹⁾. Ein interessanter Vermittlungsvorschlag von Hans König⁴⁰⁾ will der Vakuumpermeabilität den Wert $\mu_0 =$

$\frac{4\pi}{1,000500} 10^{-7}$ ⁴¹⁾ erteilen, damit das hievon abgeleitete absolute Ohm gleich dem heutigen internationalen Ohm wird und die heutigen Ur-Widerstands-Normale ihren Nennwert behalten können. Eine voraussichtlich auf den Widerstand der Physiker und Nichtrationalisten stossende Folge dieser Festsetzung ist, dass die neuen absoluten praktischen Einheiten, entgegen der ursprünglichen Definition, nicht mehr ganzzahlige Vielfache der CGS-Einheiten sind.

3. Die Krafteinheit ist zu benennen. Die Krafteinheit wird so häufig gebraucht, dass der zusammengesetzte Name Joule pro Meter ($= 10^5$ Dyn \approx 102 Gramm-Kraft) nicht genügen kann.

³⁸⁾ Siehe Anm. 33, S. 323 der Procès-verbaux³³⁾, ferner: Rev. gén. Electr. Bd. 39 (1936), S. 751 u. 752.

³⁹⁾ Bulletin SEV Bd. 27 (1936), S. 589.

⁴⁰⁾ Bulletin SEV Bd. 27 (1936), S. 621.

⁴¹⁾ Den Rationalisten würde der rationale Wert $1,256000 \cdot 10^{-6}$ H/m wohl als zweckmässiger erscheinen.

Direktes Messen von Vektoren und Ortskurven der Wechselstromtechnik.*)

Von M. Kronld, Brünn.

621.317.6

Es wird eine Messmethode und ein Messgerät zur direkten Messung und photographischen Aufnahme von Vektoren und Ortskurven der Wechselstromtechnik beschrieben. Mit dem gleichen Messgerät können auch allgemein Abhängigkeitskurven zweier elektrischer oder nichtelektrischer Grössen aufgenommen werden. An einigen Beispielen werden die Vorzüge dieser Messmethoden für Demonstrationen beim Unterricht, für Forschung sowie für laufende Messungen in Versuchsstätten gezeigt.

L'auteur décrit une méthode et un instrument pour la mesure directe et l'enregistrement photographique de vecteurs et de lieux géométriques dans la technique du courant alternatif. Avec le même instrument on peut aussi enregistrer, d'une manière générale, des relations entre deux grandeurs électriques ou non électriques. Quelques exemples démontrent les avantages de cette méthode pour l'enseignement (démonstrations), pour les recherches et pour les mesures courantes dans les stations d'essai.

*) Vorgetragen am 9. Oktober 1936 im Tschechoslowakischen Elektrotechnischen Verein in Brünn.