Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 27 (1949)

Heft: 6

Artikel: Zur Einführung des Giorgi-Systems = L'introduction du système d'unités Giorgi

Autor: König, H. / Krondl, M. / Landolt, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-876404

BERN, den 1. XII. 1949 № 6 JAHRGANG - ANNÉE - ANNO XXVII

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER SCHWEIZERISCHEN POST-, TELEGRAPHEN- UND TELEPHONVERWALTUNG

BULLETIN TECHNIQUE/BOLLETTINO TECNICO

PUBLIÉ PAR L'ADMINISTRATION DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES SUISSES

PUBBLICATO DALL'AMMINISTRAZIONE DELLE POSTE, DEI TELEGRAFI E DEI TELEFONI SVIZZERI

Zur Einführung des Giorgi-Systems

Bericht des Fachkollegiums 24 des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees (CES).

Bearbeiter: *H. König, M. Krondl* und *M. Landolt.*

L'introduction du système d'unités Giorgi

Rapport du Comité Technique 24 du Comité Electronique Suisse (CES).

Elaboré par: *H. König, M. Krondl* et *M. Landolt*

621.317.081

Die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) hat im Jahre 1935 nach dem Vorschlag von Giorgi ein auf dem Meter, dem Kilogramm-Masse, der Sekunde und auf einer elektrischen Einheit aufgebautes Maßsystem angenommen und es zu Ehren des Initianten als Giorgi-System bezeichnet.

Das Fachkollegium 24 des CES hat das neue Maßsystem eingehend studiert. Das CES, bzw. der Vorstand des SEV, befürwortet die allgemeine Einführung des Giorgi-Systems und überdies den Übergang auf die rationale Schreibweise, welche die Form der Grundgesetze des elektromagnetischen Feldes den Vorstellungen der Nahewirkungstheorie besser anpasst.

Der folgende Aufsatz stellt den ganzen Fragenkomplex zusammenfassend dar, ohne zu sehr auf die Feinheiten der Umrechnungstechnik einzugehen. Die Redaktion hofft, durch den Abdruck des Berichtes, der erstmals im Bulletin SEV 1949, Nr. 15, S. 461...474, erschien, der Sache zu dienen und zur Verbreitung des Giorgi-Systems innerhalb der Verwaltung beizutragen.

En 1935, la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) a adopté le système d'unités de mesure proposé par Giorgi et basé sur le mètre, le kilogramme-masse, la seconde et une unité électrique. Elle a décidé de l'appeler système Giorgi, en l'honneur de son promoteur.

Le Comité Technique 24 du CES a procédé à une étude détaillée de ce nouveau système. Le CES et le Comité de l'ASE préconisent l'introduction générale du système Giorgi et, en outre, l'adoption de la forme rationalisée des équations, qui permet d'exprimer les lois fondamentales du champ électromagnétique d'une manière plus conforme à la conception de l'action de champ.

Le présent rapport est un exposé général du nouveau système d'unités de mesure, sans cependant entrer trop dans les subtilités des calculs de conversion. La rédaction espère que la reproduction de ce rapport, qui a déjà paru dans le bulletin de l'A.S.E., n° 15, pages 461...474, contribuera à faire connaître le système Giorgi et à le répandre dans l'administration des PTT.

1. Einleitung

Wer im Gebiet der Elektrotechnik rechnet, stösst sich immer wieder daran, dass mehrere verschiedene Maßsysteme nebeneinander im Gebrauche stehen, nämlich das System der praktischen elektrotechnischen Einheiten, dann das sogenannte technische Maßsystem und schliesslich die drei CGS-Systeme.

Das System der praktischen elektrotechnischen Einheiten umfasst die allgemeinbekannten Einheiten Volt, Ohm, Ampère, Coulomb, Joule, Watt, Farad, Henry und Weber. Zum sogenannten technischen Maßsystem gehören die Einheiten Meter, Kilogramm(-Kraft), Sekunde und deren Zusammensetzungen. Die drei CGS-Systeme überdecken sich teilweise. Gemeinsam sind der Zentimeter, das Gramm(-Masse), die Sekunde, das Dyn und das Erg. Die elektrischen und die magnetischen Einheiten sind im elektrostatischen und im elektromagnetischen CGS-System verschieden. Die Einheiten des Gaußschen oder gemischten CGS-Systems decken

1. Préambule

Quiconque doit procéder à des calculs dans le domaine de l'électrotechnique se heurte constamment au fait qu'il existe actuellement plusieurs systèmes d'unités de mesure en usage, à savoir le système pratique d'unités électriques, le système technique ou des mécaniciens et, enfin, trois principaux systèmes C. G. S.

Le système pratique d'unités électriques englobe les unités bien connues: volt, ohm, ampère, coulomb, joule, watt, farad, henry et weber. Au système technique, qui est un système incomplet, appartiennent les unités fondamentales: mètre, kilogramme-force, seconde, ainsi que toutes les unités qui dérivent de leur combinaison. Quant aux trois principaux systèmes C. G. S., ils se chevauchent partiellement, car ils comportent en commun le centimètre, le gramme-masse, la seconde, la dyne et l'erg. Les unités électriques et les unités magnétiques sont différentes selon qu'il s'agit du système sich im elektrischen Teil mit den Einheiten des elektrostatischen CGS-Systems und im magnetischen Teil mit den Einheiten des elektromagnetischen CGS-Systems; dafür tritt dann in vielen Gleichungen die universelle Konstante c auf. Die magnetischen Einheiten Gauss, Maxwell, Oersted und Gilbert gehören zum elektromagnetischen und zum Gaußschen CGS-System. Die übrigen elektrischen und magnetischen Einheiten der CGS-Systeme haben keine Namen, was oft unpraktisch ist. Die schwerfälligen und undurchsichtigen Ausdrücke, wie z. B. $cm^{\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$ (Einheit der Spannung im elektrostatischen CGS-System), welche man erhält, wenn man die elektrischen und die magnetischen CGS-Einheiten durch die Grundeinheiten Zentimeter, Gramm und Sekunde ausdrückt, sind nicht beliebt. Man empfindet es auch als störend, dass die elektrischen und magnetischen Grössen in den drei CGS-Systemen je zwei verschiedene Dimensionen haben.

Zum Glück gibt es einen Ausweg aus diesem Wirrwarr: Schon im Jahre 1901 zeigte *Giorgi*[1]), dass man die Gruppe der praktischen elektrotechnischen Einheiten Volt, Ampère, Ohm usw. leicht zu einem auch die Mechanik umfassenden vollständigen Maßsystem ausbauen kann, wenn man den Meter als Längeneinheit hinzunimmt. Die praktischen elektrotechnischen Einheiten sind alle kohärent[2]), das heisst, sie sind durch Gleichungen von der Form

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Volt} \cdot 1 \text{ Ampère},$$

$$1 \text{ Ohm} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ampère}},$$

also — nach angelsächsischem Sprachgebrauch — durch Eins-zu-Eins-Beziehungen miteinander verbunden[3]). Das Ampère und das Coulomb schliessen die Sekunde als kohärente Zeiteinheit ein. Durch das Hinzunehmen des Meters als Längeneinheit ergibt sich als kohärente Masseneinheit das Kilogramm. Alle diese längst eingeführten Einheiten sind die Einheiten des neuen Maßsystems, das Giorgi vorgeschlagen hat. Nur für die Kraft und den Druck ergeben sich neue Einheiten. Das lässt sich nicht vermeiden. Sie treten einerseits an die Stelle des Dyns und des Dyns pro Quadratzentimeter im CGS-System und anderseits an die Stelle des Kilogramm-Kraft und des Kilogramm-Kraft pro Quadratmeter des technischen Maßsystems. Damit verschwindet die Zweideutigkeit des bisherigen Kilogramm-Begriffs, der sich bald auf das Vielfache der Masseneinheit Gramm, bald auf die Einheit der Kraft bezieht.

An der Vollversammlung der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) vom Juni 1935, die in Scheveningen und in Brüssel stattfand, hat

[1]) Atti dell'Associazione Elettrotecnica Italiana, vol. 5 (1901), p. 402 (heute: L'Elettrotecnica). — Il Nuovo Cimento, vol. 48 (1902), p. 11.

[2]) cohaerere (lat.) = zusammenhängen.

[3]) Im Sinne der Gruppentheorie bilden sie, mit der Multiplikation als Verknüpfung, eine Gruppe.

électrostatique C. G. S. ou du système électromagnétique C. G. S. Les unités du système de Gauss, qui est un système C. G. S. mixte, concordent dans la partie électrique avec les unités du système électrostatique C. G. S. et, dans la partie magnétique, avec celle du système électromagnétique C. G. S. Par contre, la constante universelle c figure dans de nombreuses équations. Les unités magnétiques: gauss, maxwell, oersted et gilbert, font partie aussi bien du système électromagnétique C. G. S. que du système mixte de Gauss. Les autres unités électriques et magnétiques des systèmes C. G. S. ne possèdent pas de nom, ce qui est parfois un inconvénient. En outre, lorsqu'il s'agit d'exprimer les unités électriques et magnétiques C. G. S. au moyen des unités fondamentales (centimètre, gramme et seconde), on obtient des expressions alourdies et compliquées, telles que $cm^{\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$ (unité de tension dans le système électrostatique C. G. S.), qui sont peu appréciées. Enfin, les grandeurs électriques et magnétiques possèdent chacune deux dimensions différentes dans les trois systèmes C. G. S., ce qui est une complication de plus.

Il existe heureusement une possibilité de sortir de cet embarras: En 1901 déjà, *Giorgi*[1]) démontra qu'en ajoutant le mètre comme unité de longueur, le groupe des unités électriques pratiques (volt, ampère, ohm, etc.) peut aisément devenir un système d'unités de mesure complet, utilisable également par les mécaniciens. Les unités électriques pratiques sont toutes cohérentes, c'est-à-dire qu'elles sont liées par des équations ayant la forme de

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ volt} \cdot 1 \text{ ampère},$$

$$1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampère}},$$

relations que les Anglo-Saxons nomment «one-to-one relations»[2]). L'ampère et le coulomb comportent la seconde comme unité de temps cohérente. Avec l'adjonction du mètre comme unité de longueur, le kilogramme devient l'unité cohérente de masse. Toutes ces unités, qui sont en usage depuis fort longtemps, sont comprises dans le nouveau système d'unités de mesure proposé par Giorgi. De nouvelles unités n'interviennent que pour la force et la pression. Il est impossible de les éviter, car elles doivent remplacer la dyne et la dyne par centimètre carré du système C. G. S., ainsi que le kilogramme-force et le kilogramme-force par mètre carré du système technique. On supprime de cette manière la double signification du terme kilogramme, celui-ci désignant tantôt le multiple de l'unité de masse, le gramme, et tantôt l'unité de force.

A son assemblée plénière de 1935, qui se tint à Schéveningue et à Bruxelles, le Comité d'action de

[1]) Atti dell'Associazione Elettrotecnica Italiana, vol. 5 (1901). p. 402 (actuellement: L'Elettrotecnica). — Il Nuovo Cimento, vol. 48 (1902), p. 11.

[2]) Basées sur la multiplication, ces unités constituent un groupe, conformément à la théorie des groupes.

das Comité d'Action der CEI dem von Prof. Giorgi vorgeschlagenen Maßsystem zugestimmt und beschlossen, es Giorgi-System zu nennen[4]).

Das Fachkollegium 24 des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees (CES) hat das neue Masssystem geprüft. Es beantragte dem CES, das Giorgi-System dem SEV und damit der Fachwelt zu empfehlen. Ferner schlug es vor, beim Uebergang zum Giorgi-System gleichzeitig zur sogenannten rationalen Schreibweise der Gleichungen des elektromagnetischen Feldes überzugehen. Das CES hat am 23. Februar 1949, der Vorstand des SEV am 15. Juli 1949 diesen Anträgen zugestimmt und die vorliegende Veröffentlichung gutgeheissen.

Die Einheiten des Giorgi-Systems sind fast alle schon allgemein eingeführt, ja, einige davon, nämlich das Ohm, das Ampère, das Volt und das Watt, ferner der Meter, das Kilogramm(-Masse) und die Sekunde sind schon im Bundesgesetz über Mass und Gewicht als gesetzliche Einheiten vorgeschrieben. Das Giorgi-System bietet so viele Vorteile, dass es als geeignet erscheint, in der Wissenschaft und in der Technik die CGS-Systeme und das sogenannte technische Maßsystem zu verdrängen. Die vielen Volt- und Ampèremeter und viele andere Messinstrumente, die im Laufe der Zeit in ungezählten Mengen über den ganzen Erdball verbreitet wurden, sind die Wegbereiter des Giorgi-Systems. Die Zahl seiner Anhänger nimmt rasch zu.

2. Erläuterung des Giorgi-Systems

2-1. Die beiden Haupteigenschaften des Giorgi-Systems

Die beiden folgenden Eigenschaften zeichnen das Giorgi-System aus:

a) Das Giorgi-System, das alle praktischen elektrotechnischen Einheiten enthält, ist ein sogenanntes absolutes Maßsystem, denn es ist an Einheiten der Länge, der Masse und der Zeit angeschlossen.

b) Das Giorgi-System weist *vier* Grundeinheiten auf. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die Einheiten der Grössen des elektromagnetischen Feldes in einfachster Weise durch Potenzprodukte der Grundeinheiten auszudrücken, wobei nur ganzzahlige Exponenten auftreten. Ferner verschwindet das Nebeneinander je einer elektromagnetischen und einer elektrostatischen Einheit; denn diese Zweispurigkeit ist dadurch bedingt, dass die CGS-Systeme in ihrer ursprünglichen Form nur drei Grundeinheiten kennen.

Giorgi hat gleichzeitig mit seinem Maßsystem auch die Rationalisierung der Formeln des elektromagnetischen Feldes empfohlen. Diese besteht darin, dass einerseits der irrationale Kugelfaktor 4π (Kugeloberfläche $= 4\pi r^2$) in jenen Formeln verschwindet, bei denen die Vorstellung der Kugel nicht passt, und dass anderseits dieser Faktor in

[4]) Commission Electrotechnique Internationale: Compte-rendu des Réunions, tenues en juin 1935 à Schéveningue-Bruxelles, R. M. 138, p. 2.

la Commisssion Electrotechnique Internationale (CEI) avait approuvé le système d'unités de mesure proposé par le professeur Giorgi et décidé de l'appeler système Giorgi[3]).

Le Comité Technique 24 du Comité Electrotechnique Suisse (CES) a étudié soigneusement ce nouveau système. Il a proposé au CES de recommander le système Giorgi à l'ASE et, par conséquent, aux électriciens. Il propose en outre d'adopter, par la même occasion, la notation rationnelle des équations du champ électromagnétique. Le CES a approuvé ces propositions le 23 février 1949. Le Comité de l'ASE en a fait de même le 15 juillet 1949 et a décidé la publication du présent rapport.

Les unités du système Giorgi sont presque toutes déjà introduites d'une manière générale et quelques-unes d'entre elles, notamment l'ohm, l'ampère, le volt et le watt, de même que le mètre, le kilogramme masse et la seconde, sont des unités légales d'après la loi fédérale sur les poids et mesures. Le système Giorgi présente de si nombreux avantages, qu'il paraît apte à remplacer les systèmes C. G. S. et le système technique, aussi bien dans le domaine de la science que dans celui de la technique. Cette substitution est d'ailleurs grandement facilitée par l'existence des nombreux voltmètres, ampèremètres et autres appareils de mesure en usage constant dans le monde entier. Les partisans du système Giorgi sont de plus en plus nombreux.

2. Exposé du système Giorgi

2-1. Les deux caractéristiques essentielles du système Giorgi

Le système Giorgi a les caractéristiques suivantes:

a) Le système Giorgi, qui comporte toutes les unités électriques pratiques, est un système de mesure dit absolu, car il est lié aux unités de longueur, de masse et de temps.

b) Le système Giorgi comporte *quatre* unités fondamentales, ce qui permet d'exprimer de la manière la plus simple les unités des grandeurs du champ électromagnétique par des produits de puissances des unités fondamentales, et uniquement avec des exposants entiers. De plus, il élimine la coexistence d'une unité électromagnétique et d'une unité électrostatique, dualité qui est due au fait que les systèmes C. G. S. ne comportaient, à l'origine, que trois grandeurs fondamentales.

En proposant son nouveau système d'unités de mesure, Giorgi recommandait également la «rationalisation» des équations du champ électromagnétique. Cette «rationalisation» consiste, d'une part, à éliminer le facteur irrationnel 4π (surface d'une sphère $= 4\pi r^2$) dans toutes les équations où l'angle solide n'entre pas en ligne de compte, et, d'autre part, à conserver ce facteur dans les équations où

[3]) Commission Electrotechnique Internationale: Compte rendu des Réunions, tenues en juin 1935 à Schéveningue-Bruxelles, R. M. 138, p. 2.

jenen Formeln auftritt, bei denen die Kugel nach heutiger Auffassung, die auf der Nahewirkungstheorie fusst, massgebend ist. Beispiel: Coulombsches Anziehungsgesetz.

In den drei folgenden Abschnitten werden die beiden Haupteigenschaften des Giorgi-Systems und die Rationalisierung kurz dargelegt.

2-2. Der Anschluss der praktischen elektrotechnischen Einheiten an Einheiten der Länge, der Masse und der Zeit

Eine Grösse, die sowohl zum Bereich der Elektrizitätslehre, als auch zum Bereich der Mechanik gehört, ist die Energie. Ihre Einheiten bilden deshalb eine Brücke zwischen den praktischen elektrotechnischen Einheiten und den Einheiten der Mechanik. Die praktische elektrotechnische Einheit der Energie ist das Joule; das Erg ist dagegen die zugehörige CGS-Einheit. Bekanntlich sind diese beiden Einheiten durch die Gleichung

$$1\ \mathrm{J} = 10^7\ \mathrm{erg}\ ^{5)} \qquad (1)$$

miteinander verbunden. Für das Erg gilt:

$$1\ \mathrm{erg} = \frac{\mathrm{g} \cdot \mathrm{cm}^2}{\mathrm{s}^2}. \qquad (2)$$

Für die Einheiten der gesuchten Erweiterung der Gruppe der praktischen elektrotechnischen Einheiten verwenden wir das in eckige Klammern gesetzte Symbol der betreffenden Grösse. So schreiben wir $[m]$ und $[l]$ für die gesuchte Einheit der Masse m und der Länge l. Die Zeiteinheit ist wie im CGS-System die Sekunde s. Analog zu (2) gilt dann die Einheitengleichung

$$1\ \mathrm{J} = \frac{[m] \cdot [l]^2}{\mathrm{s}^2}. \qquad (3)$$

Mit Hilfe der Ansätze

$$[m] = 10^{\mu}\ \mathrm{g} \text{ und } [l] = 10^{\lambda}\ \mathrm{cm} \qquad (4), (5)$$

kann man die gesuchten Einheiten der Masse und der Länge durch die entsprechenden Einheiten Gramm und Zentimeter des CGS-Systems ausdrücken. Setzt man nun (2) und (3) in (1) ein, und berücksichtigt man die Ansätze (4) und (5), so erhält man

$$\frac{10^{\mu}\ \mathrm{g} \cdot (10^{\lambda}\ \mathrm{cm})^2}{\mathrm{s}^2} = 10^7 \frac{\mathrm{g} \cdot \mathrm{cm}^2}{\mathrm{s}^2}. \qquad (6)$$

Kürzt man, so bleibt

$$10^{\mu} \cdot 10^{2\lambda} = 10^7 \qquad (7)$$

übrig, und hieraus folgt für die Exponenten, wie *Ascoli*[6]) schon im Jahre 1904 gezeigt hat, die Gleichung

$$\mu + 2\lambda = 7. \qquad (8)$$

Es gibt unendlich viele Wertepaare von μ und λ, welche die Gleichung (8) befriedigen. Praktisch

[5]) Wir rechnen mit den absoluten, nicht mit den in der Schweiz noch bis zum 31. Dezember 1949 in Kraft stehenden internationalen Werten der praktischen elektrotechnischen Einheiten; deshalb benötigen wir den Korrekturfaktor 1,00019 nicht.

[6]) Transactions of the International Electrical Congress, vol. 1, p. 134, St. Louis, 1904.

la symétrie sphérique intervient, selon la conception moderne de l'action de champ, entendue par opposition à celle de l'action à distance. Exemple: loi d'attraction de Coulomb.

Dans les trois paragraphes suivants, nous exposerons brièvement les deux caractéristiques essentielles du système Giorgi et la rationalisation.

2-2. Le rattachement des unités électriques pratiques aux unités de longueur, de masse et de temps

L'énergie est une grandeur qui appartient à la fois au domaine de l'électricité et à celui de la mécanique. Ses unités constituent donc un pont entre les unités électriques pratiques et les unités mécaniques. En électricité, l'unité pratique de l'énergie est le joule, tandis que l'erg est l'unité correspondante des systèmes C. G. S. On sait que ces deux unités sont liées par la relation

$$1\ \mathrm{J} = 10^7\ \mathrm{ergs}\ ^{4)}. \qquad (1)$$

Pour l'erg, la définition est

$$1\ \mathrm{erg} = 1 \frac{\mathrm{g} \cdot \mathrm{cm}^2}{\mathrm{s}^2}. \qquad (2)$$

Pour les unités destinées à étendre dans le sens recherché le groupe des unités électriques pratiques, nous utilisons le symbole de la grandeur considérée, placé entre crochets. Ainsi nous écrivons $[m]$ et $[l]$ pour les unités cherchées de masse m et de longueur l. L'unité de temps est la seconde s, comme dans le système C. G. S. D'une manière analogue à la définition (2), on a l'équation aux unités

$$1\ \mathrm{J} = \frac{[m] \cdot [l]^2}{\mathrm{s}^2}. \qquad (3)$$

En posant

$$[m] = 10^{\mu}\ \mathrm{g} \text{ et } [l] = 10^{\lambda}\ \mathrm{cm} \qquad (4), (5)$$

on peut exprimer ces unités de masse et de longueur en fonction des unités correspondantes du système C. G. S., le gramme et le centimètre. En introduisant les expressions (2) et (3) dans la relation (1) et en tenant compte de (4) et (5), on a

$$\frac{10^{\mu}\ \mathrm{g} \cdot (10^{\lambda}\ \mathrm{cm})^2}{\mathrm{s}^2} = 10^7 \frac{\mathrm{g} \cdot \mathrm{cm}^2}{\mathrm{s}^2}, \qquad (6)$$

et, en simplifiant,

$$10^{\mu} \cdot 10^{2\lambda} = 10^7. \qquad (7)$$

Pour les exposants, on obtient l'équation

$$\mu + 2\lambda = 7 \qquad (8)$$

comme *Ascoli*[5]) l'avait déjà indiqué en 1904. Il existe une infinité de valeurs jumelées μ et λ qui satisfont l'équation (8). En pratique, seuls entrent en ligne de compte des nombres entiers, qui donnent des valeurs ni trop grandes, ni trop petites pour les deux unités. Un choix de solutions est indiqué au tableau I.

[4]) Nous calculons avec les valeurs absolues des unités électriques pratiques et non pas avec les valeurs internationales, qui, en Suisse, sont encore en vigueur jusqu'au 31 décembre 1949. Nous n'avons donc pas besoin du facteur de correction 1,00019.

[5]) Transactions of the International Electrical Congress, vol. 1, p. 134, Saint-Louis, 1904.

kommen nur ganzzahlige Lösungen in Frage, und nur solche, die nicht zu grosse und nicht zu kleine Werte für die beiden Einheiten ergeben. Eine Auswahl von Lösungen ist in Tabelle I zusammengestellt.

Die Zusammenstellung lässt erkennen, dass das beste der auf das Joule abgestimmten Maßsysteme offensichtlich das Giorgi-System ist. Mit dem Meter und dem Kilogramm weist es eine günstig liegende Längeneinheit und eine ebenfalls günstig liegende Masseneinheit auf.

Längeneinheit (l) und Masseneinheit (m) verschiedener Maßsysteme

Tabelle I

λ	μ	$[l]$	$[m]$	Maßsystem
—1	9	10^{-1} cm = 1 mm	10^9 g = 10^6 kg	—
0	7	10^0 cm = 1 cm	10^7 g = 10^4 kg	Mie [7])
1	5	10^1 cm = 1 dm	10^5 g = 100 kg	—
2	3	10^2 cm = 1 m	10^3 g = 1 kg	Giorgi [1])
3	1	10^3 cm = 10 m	10^1 g = 10 g	—
4	—1	10^4 cm = 100 m	10^{-1} g = 0,1 g	—
5	—3	10^5 cm = 1 km	10^{-3} g = 1 mg	—
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
9	—11	10^9 cm = 10^4 km (= Erdquadrant)	10^{-11} g	Maxwell [8])

Als abgestimmte Krafteinheit [F] des Giorgi-Systems ergibt sich die Kraft, die der Masse 1 kg die Beschleunigung 1 m/s² erteilt:

$$[F] = \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 1000\,\mathrm{g}\cdot\frac{100\ \mathrm{cm}}{\mathrm{s}^2} = 10^5\ \mathrm{dyn}. \qquad (9)$$

Für die neue Krafteinheit wurden der Name Newton und das Symbol N eingeführt. Es gilt demnach

$$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 10^5\ \mathrm{dyn}. \qquad (10)$$

Die Beziehungen, welche zwischen dem Newton und der heute in der Praxis gebrauchten Krafteinheit kg*[9]) bestehen, sind folgende:

$$1\ \mathrm{kg}^* = 9{,}81\ \mathrm{N} \qquad (11)$$
$$1\ \mathrm{N} = 0{,}102\ \mathrm{kg}^*. \qquad (12)$$

Die Krafteinheit Newton und deren Zusammensetzungen sind die einzigen wirklich neuen Einheiten, die das Giorgi-System bringt.

Die Leistungseinheit des Giorgi-Systems ist natürlich das Watt, das sich längst eingeführt hat.

Weitere Angaben über Einheiten macht Abschnitt 3.

2-3. Vier Grundeinheiten

Das Giorgi-System baut sich auf vier Grundeinheiten auf, z. B. aus der Längeneinheit Meter, der

[7]) *Mie, G.:* Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus, Stuttgart, 1910.

[8]) *Maxwell, J. C.:* A treatise on electricity and magnetism, London 1873. Maxwell erwähnt im Art. 629, dass der Gruppe der praktischen elektrotechnischen Einheiten die Längeneinheit 10^7 Meter und die Masseneinheit 10^{-11} Gramm zugrunde liegen. Seine Bemerkung beruht auf der Voraussetzung, dass für die Permeabilität des Vakuums die Masszahl 1 ist (im nichtrationalisierten Definitionssystem).

[9]) Wir schreiben kg*, um so die Krafteinheit des technischen Maßsystems von der Masseneinheit kg zu unterscheiden. Es gilt bekanntlich 1 kg* = 9,81 kgm/s².

Ce tableau permet de constater que le meilleur des systèmes d'unités de mesure basé sur le joule est manifestement le système Giorgi. Avec le mètre et le kilogramme, il présente une unité le longueur favorablement située, ce qui est également le cas pour l'unité de masse.

Unité de longueur (l) et unité de masse (m) dans différents systèmes d'unités de mesure

Tableau I

λ	μ	$[l]$	$[m]$	Système
—1	9	10^{-1} cm = 1 mm	10^9 g = 10^6 kg	—
0	7	10^0 cm = 1 cm	10^7 g = 10^4 kg	Mie [6])
1	5	10^1 cm = 1 dm	10^5 g = 100 kg	—
2	3	10^2 cm = 1 m	10^3 g = 1 kg	Giorgi [1])
3	1	10^3 cm = 10 m	10^1 g = 10 g	—
4	—1	10^4 cm = 100 m	10^{-1} g = 0,1 g	—
5	—3	10^5 cm = 1 km	10^{-3} g = 1 mg	—
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
9	—11	10^9 cm = 10^4 km (= quadrant terrestre)	10^{-11} g	Maxwell [7])

Comme unité cohérente de force [F] du système Giorgi, on a la force qui donne une accélération de 1 m/s² à une masse de 1 kg, soit

$$[F] = \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 1000\ \mathrm{g}\cdot\frac{100\ \mathrm{cm}}{\mathrm{s}^2} = 10^5\ \mathrm{dynes}. \qquad (9)$$

Le nom de newton et le symbole N ont été introduits pour la nouvelle unité de force. On a donc

$$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 10^5\ \mathrm{dynes}. \qquad (10)$$

Les relations entre le newton et l'unité de force kg*[8]) utilisée actuellement en pratique sont

$$1\ \mathrm{kg}^* = 9{,}81\ \mathrm{N} \qquad (11)$$
$$1\ \mathrm{N} = 0{,}102\ \mathrm{kg}^*. \qquad (12)$$

L'unité de force, le newton, et ses dérivées sont les seules unités vraiment nouvelles qu'apporte le système Giorgi.

L'unité de puissance du système Giorgi est évidemment le watt, qui est depuis fort longtemps en usage.

D'autres indications à propos des unités figurent au chapitre 3.

2-3. Quatre unités fondamentales

Le système Giorgi a quatre unités fondamentales à sa base, par exemple l'unité de longueur, le mètre,

[6]) *Mie, G.:* Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus, Stuttgart, 1910.

[7]) *Maxwell, J. C.:* A treatise on electricity and magnetism, London 1873. Au paragraphe 629, Maxwell indique que le groupe des unités électriques pratiques est basé sur l'unité de longueur de 10^7 mètres et l'unité de masse de 10^{-11} grammes. Sa remarque repose sur la supposition que la perméabilité du vide est égale à 1 (dans le système de définitions non rationalisé).

[8]) Nous écrivons kg*, afin de distinguer l'unité de force du système technique d'unités de mesure, de l'unité de masse, qui s'écrit kg. Comme on le sait, 1 kg* = 9,81 kgm/s².

Masseneinheit Kilogramm, der Zeiteinheit Sekunde und einer elektrischen oder magnetischen Einheit. Die erwünschten Folgen der Hinzunahme einer vierten Grundeinheit sind, dass bei den Grössen der Elektrizitätslehre das Nebeneinander einer elektromagnetischen und einer elektrostatischen Einheit verschwindet und dass, mindestens bei geeigneter Auswahl der vier Grundeinheiten, einfache ganzzahlige Exponenten in den Einheitsgleichungen auftreten. Die Permeabilität und die Dielektrizitätskonstante des leeren Raumes werden zu dimensionsbehafteten Grössen; man darf sie nicht mehr willkürlich gleich 1 setzen, wie das die CGS-Systeme voraussetzen (vgl. 2-4).

Das System der Giorgi-Einheiten ist an vier Stellen an die Natur angeschlossen. Der Meter, das Kilogramm, die Sekunde und das Henry pro Meter sind nämlich durch die vier folgenden Definitionen festgelegt:

1. Der Meter ist bestimmt durch die Länge bei 0° C des internationalen Prototyps M, aufbewahrt im internationalen Bureau für Mass und Gewicht in Sèvres.
2. Das Kilogramm wird dargestellt durch die Masse des internationalen Prototyps K, aufbewahrt im internationalen Bureau für Mass und Gewicht in Sèvres.
3. Die Sekunde ist der 86 400ste Teil des mittleren Sonnentages.
4. Die Einheit der Permeabilität, das Henry pro Meter ist in rationaler Darstellung das $10^7/4\pi$fache, in klassischer Darstellung das 10^7fache der Permeabilität des leeren Raums.

Für zwei der genannten Einheiten sind somit eigentliche Prototypen geschaffen worden; für zwei weitere Einheiten werden durch die Definitionen 3 und 4 dem mittleren Sonnentag und dem leeren Raum je die Rolle eines Prototyps zugewiesen. Man kann alle Einheiten des Giorgi-Systems ableiten, indem man die vier durch die Prototypen festgelegten Einheiten in geeigneter Weise miteinander multipliziert und dividiert, und indem man sie potenziert und radiziert. Man bezeichnet diese vier Einheiten in diesem Zusammenhang als Grundeinheiten, aus welchen man alle übrigen Einheiten des Giorgi-Systems erzeugen kann. Es bestehen indessen noch viele andere Möglichkeiten für die Auswahl von vier voneinander unabhängigen Grundeinheiten, aus denen sich alle übrigen ableiten lassen. Ein solches System von vier Grundeinheiten wird hier als Quadrupel von Grundeinheiten bezeichnet[10]). Die bekanntesten Grundeinheiten-Quadrupel sind in Tabelle II zusammengestellt.

Das Quadrupel *a* ist das Quadrupel der Prototypen; es führt in den Ausdrücken der zusammengesetzten

[10]) Im Sinne der Gruppentheorie ist ein Grundeinheiten-Quadrupel ein System von vier unabhängigen Elementen, aus dem man alle übrigen Elemente der Gruppe durch Multiplikation und Division erzeugen kann.

l'unité de masse, le kilogramme, l'unité de temps, la seconde et une unité électrique ou magnétique. Le but proposé par l'adjonction d'une quatrième unité fondamentale est d'éliminer, pour les grandeurs utilisées en électricité, la présence simultanée d'une unité électromagnétique et d'une unité électrostatique, et de plus, de n'avoir affaire qu'à des exposants entiers dans les équations d'unités, au moins pour un choix approprié des quatre unités fondamentales. La perméabilité et la constante diélectrique du vide deviennent des grandeurs affectées d'une dimension et l'on ne peut plus les égaler arbitrairement à 1, comme le supposent les systèmes C. G. S. (voir sous 2-4).

Le système des unités Giorgi est relié par quatre points à la nature. Le mètre, le kilogramme, la seconde et le henry par mètre sont en effet fixés par les définitions ci-après:

1° Le mètre est la longueur définie à la température de 0° C par le prototype international M, qui est conservé au Bureau international des poids et mesures, à Sèvres.

2° Le kilogramme est défini par la masse du prototype international K, qui est conservé au Bureau international des poids et mesures, à Sèvres.

3° La seconde est la 86 400e partie du jour solaire moyen.

4° L'unité de perméabilité, le henry par mètre, est égale à $10^7/4\,\pi$ fois la perméabilité du vide, en notation rationnelle, et à 10^7 fois cette perméabilité, en notation classique.

Pour deux des unités ci-dessus mentionnées, il existe donc des prototypes; pour les deux autres, le jour solaire moyen et le vide jouent respectivement le rôle de prototypes, selon les définitions 3° et 4°. Toutes les unités du système Giorgi peuvent être obtenues par multiplication ou division appropriées des quatre unités définies par les prototypes, de même que par élévation de puissances ou extraction de racines. C'est la raison pour laquelle ces quatre unités sont dites fondamentales. Il existe toutefois de nombreuses possibilités pour le choix de quatre unités fondamentales indépendantes, dont toutes les autres unités peuvent être dérivées. Un tel système comportant quatre unités fondamentales est ce que nous appelons un quadruplet[9]). Les quadruplets de ce genre les plus connus sont indiqués au tableau II. Le quadruplet *a* est celui des prototypes; les unités qui en dérivent présentent des exposants fractionnaires. Tous les autres quadruplets indiqués dans le tableau conduisent uniquement à des exposants

[9]) Conformément à la théorie des groupes, un quadruplet d'unités fondamentales est un système de quatre éléments indépendants, dont on peut tirer tous les autres éléments du groupe par multiplication ou division.

Die bekanntesten Quadrupel von Grundeinheiten

Tabelle II

Quadrupel	1. Grund-einheit	2. Grund-einheit	3. Grund-einheit	4. Grund-einheit
a	m	kg	s	H/m
b	m	kg	s	Ω
c	m	kg	s	C
d	m	kg	s	A
e	m	V	s	A
f	m	Wb	s	C

Einheiten auf gebrochene Exponenten. Alle übrigen genannten Quadrupel führen ausschliesslich auf ganzzahlige Exponenten. *Giorgi*[11]) hat insbesondere das Quadrupel *b* empfohlen. Für das Bundesgesetz über Mass und Gewicht ist das Quadrupel *d* vorgesehen. Das Quadrupel *f* wurde von *Kalantaroff*[12]) angegeben. In Tabelle VI von Abschnitt 3 wird das Quadrupel *e* verwendet, da es für die zusammengesetzten Einheiten auf besonders einfache Ausdrücke führt.

2-4. *Die Rationalisierung*

Der Zweck der Rationalisierung[13]) ist die Gewinnung einer besonderen Schreibweise der Gesetze des elektromagnetischen Feldes, bei welcher der Kugelfaktor 4π nur in jenen Formeln auftritt, die einen mit der Vorstellung der Kugel verbundenen Zusammenhang wiedergeben. Die altgewohnte, klassische Schreibweise der Formeln erfüllt diese Bedingung nicht; der Faktor 4π erscheint oft in Formeln, in denen weder die Kugeloberfläche noch der Kreisumfang stehen sollten. Hier zwei Beispiele:

1. Beispiel. Ein Kondensator besteht aus zwei ebenen Platten von der Fläche *A*, die durch eine Isolierschicht der Dicke δ getrennt sind. ε ist die Dielektrizitätskonstante. Dann gilt für die Kapazität des Kondensators in der klassischen Schreibweise

$$\mathrm{C} = \frac{\varepsilon\,\mathrm{A}}{4\pi\delta}. \qquad (13)$$

2. Beispiel. Sind an einer Stelle des Feldes die elektrische Feldstärke *E*, die elektrische Verschiebung *D*, die magnetische Induktion *B* und die magnetische Feldstärke *H* vorhanden, so ist die auf das Volumen bezogene Energie (Energiedichte), klassisch geschrieben,

$$\mathrm{w} = \frac{\mathrm{ED}}{2\cdot 4\pi} + \frac{\mathrm{BH}}{2\cdot 4\pi}. \qquad (14)$$

Anderseits fehlt der Faktor 4π in der klassischen Schreibweise der Formeln oft dort, wo die Vorstellung der Kugel ihn verlangt. Dies zeigen zwei weitere Beispiele:

11) *Giorgi, G.*: Memorandum sur le système M. K. S. d'unités pratiques, p. 16. Commission Electrotechnique Internationale, London 1934.

12) Revue Générale de l'Electricité, t. 25(1929), p. 235.

13) Das Wort «Rationalisierung» geht zurück auf *O. Heaviside* (Electromagnetic Theory, vol. 1, p. 116, London 1893). Heaviside stellt der alten, irrationalen Schreibweise der Formeln eine neue, rationale gegenüber.

Quadruplets d'unités fondamentales les plus connus

Tableau II

Quadruplet	Première unité fondamentale	Deuxième unité fondamentale	Troisième unité fondamentale	Quatrième unité fondamentale
a	m	kg	s	H/m
b	m	kg	s	Ω
c	m	kg	s	C
d	m	kg	s	A
e	m	V	s	A
f	m	Wb	s	C

entiers. *Giorgi*[10]) recommandait en particulier le quadruplet *b*. Le quadruplet *d* est choisi dans la loi fédérale sur les poids et mesures. Le quadruplet *f* a été préconisé par *Kalantaroff*[11]). Dans le tableau VI, au chapitre 3, nous avons utilisé le quadruplet *e*, car il conduit à des expressions particulièrement simples pour les unités dérivées.

2-4. *La rationalisation*

Le but de la rationalisation[12]) est d'obtenir une notation des lois du champ électromagnétique, dans laquelle le facteur d'angle solide 4π n'apparaît que dans les formules où la symétrie sphérique intervient. L'ancienne notation classique ne répond pas à cette exigence, car le facteur 4π intervient souvent dans des formules où il n'est question ni de la surface d'une sphère, ni de la circonférence d'un cercle. En voici deux exemples:

Premier exemple. Un condensateur est constitué par deux plaques planes d'une surface *A*, séparées par une couche isolante d'épaisseur δ. ε est la constante diélectrique. En notation classique, la capacité du condensateur s'écrit

$$C = \frac{\varepsilon A}{4\pi\delta}. \qquad (13)$$

Deuxième exemple. Si, en un point du champ, l'intensité du champ électrique est *E*, le déplacement électrique *D*, l'induction magnétique *B* et l'intensité du champ magnétique *H*, l'énergie rapportée au volume (densité d'énergie) s'écrit, en notation classique

$$w = \frac{ED}{2\cdot 4\pi} + \frac{BH}{2\cdot 4\pi}. \qquad (14)$$

En revanche, le facteur 4π ne figure souvent pas, en notation classique, dans des formules où les considérations géométriques font intervenir la sphère. En voici deux exemples:

10) *Giorgi, G.*: Mémorandum sur le système M. K. S. d'unités pratiques, p. 16. Commission Electrotechnique Internationale, Londres 1934.

11) Revue Générale de l'Electricité, t. 25 (1929), p. 225.

12) Le mot «rationalisation» est dû à *O. Heaviside* (Electromagnetic Theory, vol. 1, p. 116, London 1893), qui proposa une nouvelle notation «rationnelle» des formules, en lieu et place de l'ancienne notation «irrationnelle».

3. Beispiel. Die Kapazität eines Kondensators, der aus einer Kugel vom Radius r und einer unendlich fernen Ebene besteht, ist in klassischer Darstellung

$$C = \varepsilon r. \tag{15}$$

4. Beispiel. Im Zentrum einer Kugel vom Radius r sitzt die Ladung Q. Dann ist die Verschiebung an der Oberfläche der Kugel nach der klassischen Auffassung

$$D = \frac{Q}{r^2}. \tag{16}$$

Der Grund dafür, dass der Faktor 4π an der unrichtigen Stelle auftritt, liegt darin, dass die klassische Schreibweise der Formeln des elektromagnetischen Feldes auf den beiden Coulombschen Gesetzen

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon r^2} \quad \text{und} \quad F = \frac{m_1 m_2}{\mu r^2} \tag{17}$$

beruht. Diese beiden Gesetze bringen die Vorstellungen der Fernwirkungstheorie zum Ausdruck: Die ausgeübte Kraft nimmt ab mit dem Quadrat der Entfernung der beiden auf Distanz aufeinander einwirkenden Ladungen. Nach der heutigen Auffassung, die auf der Nahewirkungstheorie basiert, spielt bei dieser Kraftwirkung die Vorstellung der Kugel eine ausschlaggebende Rolle: Die eine Ladung ist die Quelle eines sich nach allen Richtungen gleichmässig ausbreitenden Verschiebungsflusses. Im Abstand r von der Ladung besteht eine Verschiebung, die man erhält, indem man den Verschiebungsfluss durch die Kugeloberfläche dividiert. Nach Massgabe der Dielektrizitätskonstanten erzeugt die Verschiebung eine elektrische Feldstärke, und diese ist massgebend für die Kraft auf die zweite Ladung. Die rationale Schreibweise berücksichtigt diese Vorstellung; sie ist der Nahewirkungstheorie angepasst.

Das Ziel der Rationalisierung ist nun insbesondere das, mit einem Minimum von Aenderungen eine Schreibweise der Formeln zu erhalten, die den Vorstellungen der Nahewirkungstheorie angemessen ist. Ein Mittel, das dieses Ziel zu erreichen gestattet, ist eine neue Definition mehrerer Grössen[14]). Dort, wo die klassische und die rationale Definition einer Grösse sich unterscheiden, kennzeichnen wir die klassische Grösse durch ′, wir schreiben also z. B. H' für die klassische und H für die rational definierte magnetische Feldstärke. An sich wäre es zweckmässig, die beiden verschiedenen Grössen durch verschiedene Buchstabensymbole auseinanderzuhalten. Giorgi hat dies ursprünglich vorgeschlagen[1]), sein Rat wurde aber nicht befolgt.

[14]) Die Frage der Rationalisierung ist eine Frage der Gleichungsformen, aber die Darstellung des Ueberganges von klassisch zu rational kann verschiedenartig gedeutet werden, z. B. als Transformation der Grössen und der Grössengleichungen oder als Transformation der Masszahlen-Gleichungen und der Einheiten. Für die vorliegende mehr systematische als historische Darstellung wurde die erstgenannte Deutungsart gewählt.

Troisième exemple. La capacité d'un condensateur constitué par une sphère de rayon r et un plan situé à une distance infinie s'exprime, en notation classique, par

$$C = \varepsilon r. \tag{15}$$

Quatrième exemple. Au centre d'une sphère de rayon r se trouve une charge Q. En notation classique, le déplacement à la surface de la sphère s'exprime par

$$D = \frac{Q}{r^2}. \tag{16}$$

La raison pour laquelle le facteur 4π apparaît à l'endroit incorrect provient de ce que, en notation classique, les formules du champ électromagnétique sont basées sur les deux lois de Coulomb

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon r^2} \quad \text{et} \quad F = \frac{m_1 m_2}{\mu r^2} \tag{17}$$

Ces deux lois expriment la conception de l'action à distance: la force exercée diminue avec le carré de la distance séparant les deux charges agissant directement l'une sur l'autre. Selon la conception actuelle, qui est basée sur la théorie de l'action de champ, la sphère joue un rôle prépondérant: l'une des charges engendre un flux de déplacement qui se propage d'une manière régulière dans toutes les directions. A une distance r de la charge, le déplacement est égal au flux divisé par la surface de la sphère. Ce déplacement provoque une intensité de champ électrique qui dépend de la constante diélectrique; cette intensité détermine la force agissant sur l'autre charge. La notation rationalisée tient compte de cette conception de l'action de champ.

Le but de la rationalisation est, en particulier, d'obtenir avec le moins possible de modifications une notation des équations qui soit adaptée à la conception moderne de l'action de champ. Un moyen d'atteindre ce but consiste à donner à plusieurs grandeurs une nouvelle définition[13]). Lorsque la définition rationnelle d'une grandeur diffère de la définition classique, nous écrivons un accent à la suite du symbole de la définition classique, par exemple H' pour l'intensité du champ magnétique en notation classique et H en notation rationalisée. Il serait évidemment préférable, comme le proposait Giorgi[1]), d'utiliser des symboles littéraux différents pour l'une et l'autre des notations, mais cette proposition n'a pas été adoptée.

[13]) La question de la rationalisation est une question de forme des équations, mais le passage de la notation classique à la notation rationalisée peut être interprété de diverses manières; par exemple comme transformation des grandeurs et des équations aux grandeurs, ou comme transformation des équations aux mesures et aux unités. Pour le présent exposé, qui est plus systématique qu'historique, nous avons adopté la première de ces interprétations.

Zusammenstellung der wichtigsten Grössen des elektromagnetischen Feldes, die nach rationaler und nach klassischer Definition verschieden sind

Rationale Grössen tragen keinen Index, z. B. H
Klassische Grössen tragen einen Index, z. B. H'

Tabelle III

Elektrische Grössen	Magnetische Grössen
Dielektrizitätskonstante des Vakuums: $\varepsilon_0 = 8{,}85 \frac{\text{pF}}{\text{m}}$	Permeabilität des Vakuums: $\mu_0 = \frac{4\pi}{10} \frac{\mu\text{H}}{\text{m}} = 1{,}257 \frac{\mu\text{H}}{\text{m}}$
$\varepsilon_0' = 111{,}2 \frac{\text{pF}}{\text{m}}$	$\mu_0' = 0{,}1 \frac{\mu\text{H}}{\text{m}}$
$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi} \varepsilon_0'$	$\mu_0 = 4\pi \mu_0'$
$\varepsilon_0 \mu_0 = \varepsilon_0' \mu_0' = \frac{1}{c^2}$	
Elektrische Verschiebung: $D = \frac{1}{4\pi} D'$	Magnetische Feldstärke: $H = \frac{1}{4\pi} H'$
Verschiebungsfluss: $\Psi = \frac{1}{4\pi} \Psi'$	Magnetische Menge: $m = 4\pi m'$
	Magnetisierung: $J = 4\pi J'$
Elektrische Suszeptibilität: $\varkappa_e = \frac{1}{4\pi} \varkappa_e'$	Magnetische Suszeptibilität: $\varkappa_m = \frac{1}{4\pi} \varkappa_m'$

Tabelle III stellt die wichtigsten Grössen zusammen, die sich nach der rationalen und der klassischen Auffassung unterscheiden. Analog gibt Tabelle IV die wichtigsten der nach den beiden Auffassungen verschieden lautenden Formeln.

Zusammenstellung der wichtigsten Formeln des elektromagnetischen Feldes in rationaler und in klassischer Schreibweise

Tabelle IV

Nr.	Rationale Schreibweise	Klassische Schreibweise
1	$D = \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{Q}{A}$	$D' = \frac{Q}{r^2} = \frac{4\pi Q}{A}$
2	$\Psi = Q$	$\Psi' = 4\pi Q$
3	$\oint H \, ds = N I$	$\oint H' \, ds = 4\pi N I$
4	$D = \varepsilon_0 E + P$	$D' = \varepsilon_0' E + 4\pi P$
5	$B = \mu_0 H + J$	$B = \mu_0' H' + 4\pi J'$
6	$\varkappa_m = \mu_r - 1$	$\varkappa_m = \frac{\mu_r - 1}{4\pi}$
7	$\varkappa_e = \varepsilon_r - 1$	$\varkappa_e' = \frac{\varepsilon_r - 1}{4\pi}$
8	$w = \frac{E D}{2} + \frac{H B}{2}$	$w = \frac{E D'}{8\pi} + \frac{H' B}{8\pi}$
9	$F = \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon_0 4\pi r^2}$	$F = \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon_0' r^2}$
10	$dH = I \frac{\sin\alpha}{4\pi r^2} ds$	$dH' = I \frac{\sin\alpha}{r^2} ds$
11	$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}$	$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0' \mu_0'}$

Liste des grandeurs les plus importantes du champ électromagnétique qui diffèrent selon que la notation est classique ou rationalisée

Les grandeurs rationalisées n'ont pas d'accent, p. ex. H
Les grandeurs classiques sont suivies d'un accent, p. ex. H'

Tableau III

Grandeurs électriques	Grandeurs magnétiques
Constant diélectrique au vide: $\varepsilon_0 = 8{,}85 \frac{\text{pF}}{\text{m}}$	Perméabilité du vide: $\mu_0 = \frac{4\pi}{10} \frac{\mu\text{H}}{\text{m}} = 1{,}257 \frac{\mu\text{H}}{\text{m}}$
$\varepsilon_0' = 111{,}2 \frac{\text{pF}}{\text{m}}$	$\mu_0' = 0{,}1 \frac{\mu\text{H}}{\text{m}}$
$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi} \varepsilon_0'$	$\mu_0 = 4\pi \mu_0'$
$\varepsilon_0 \mu_0 = \varepsilon_0' \mu_0' = \frac{1}{c^2}$	
Déplacement électrique: $D = \frac{1}{4\pi} D'$	Intensité du champ magnétique: $H = \frac{1}{4\pi} H'$
Flux de déplacement électrique: $\Psi = \frac{1}{4\pi} \Psi'$	Quantité magnétique: $m = 4\pi m'$
	Intensité d'aimantation $J = 4\pi J'$
Susceptibilité électrique: $\varkappa_e = \frac{1}{4\pi} \varkappa_e'$	Susceptibilité magnétique: $\varkappa_m = \frac{1}{4\pi} \varkappa_m'$

Le tableau III indique les principales grandeurs qui diffèrent selon que la notation est classique ou rationalisée. De même, le tableau IV indique les formules les plus importantes qui diffèrent selon les deux notations.

Liste des formules les plus importantes du champ électromagnétique en notation rationalisée et en notation classique

Tableau IV

N°	Notation rationalisée	Notation classique
1	$D = \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{Q}{A}$	$D' = \frac{Q}{r^2} = \frac{4\pi Q}{A}$
2	$\Psi = Q$	$\Psi' = 4\pi Q$
3	$\oint H \, ds = N I$	$\oint H' \, ds = 4\pi N I$
4	$D = \varepsilon_0 E + P$	$D' = \varepsilon_0' E + 4\pi P$
5	$B = \mu_0 H + J$	$B = \mu_0' H' + 4\pi J'$
6	$\varkappa_m = \mu_r - 1$	$\varkappa_m' = \frac{\mu_r - 1}{4\pi}$
7	$\varkappa_e = \varepsilon_r - 1$	$\varkappa_e' = \frac{\varepsilon_r - 1}{4\pi}$
8	$w = \frac{E D}{2} + \frac{H B}{2}$	$w = \frac{E D'}{8\pi} + \frac{H' B}{8\pi}$
9	$F = \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon_0 4\pi r^2}$	$F = \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon_0' r^2}$
10	$dH = I \frac{\sin\alpha}{4\pi r^2} ds$	$dH' = I \frac{\sin\alpha}{r^2} ds$
11	$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}$	$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0' \mu_0'}$

3. Tafeln der Einheiten des Giorgi-Systems

3-1. Die Giorgi-Einheiten der Mechanik

Die Gesamtheit der Giorgi-Einheiten der Mechanik baut sich auf aus den drei Grundeinheiten m (Meter), kg (Kilogramm-Masse) und s (Sekunde). In Tabelle V sind die zu den verschiedenen Grössen der Mechanik gehörenden Giorgi-Einheiten aufgeführt, ferner die CGS-Einheiten und die Einheiten des technischen Maßsystems. Schliesslich sind die Umrechnungsfaktoren k und k_t angegeben, mit denen man die Masszahl einer in Giorgi-Einheiten ausgedrückten Grösse multiplizieren muss, um die Masszahl für die Einheiten des CGS-Systems oder die Masszahl im technischen Maßsystem zu erhalten. Es gelten somit folgende Beziehungen:

$$\text{CGS-Masszahl} = k \cdot \text{Giorgi-Masszahl} \quad (18)$$

$$\text{technische Masszahl} = k_t \cdot \text{Giorgi-Masszahl} \quad (19)$$

$$\text{technische Masszahl} = \frac{k_t}{k} \cdot \text{CGS-Masszahl} \quad (20)$$

(20) ist eine Folge von (18) und (19). Aus diesen drei Gleichungen kann man sofort die drei umgekehrten Beziehungen ablesen.

Drückt man eine und dieselbe Grösse durch verschiedene Einheiten aus, so verhalten sich bekanntlich die hiezu nötigen Masszahlen umgekehrt wie die Einheiten. Man kann ebenso gut sagen, dass sich die Einheiten umgekehrt wie die Masszahlen verhalten. Den Masszahlengleichungen (18) bis (20) entsprechen demnach folgende Einheitengleichungen:

$$\text{CGS-Einheit} = \frac{1}{k} \cdot \text{Giorgi-Einheit} \quad (21)$$

$$\text{technische Einheit} = \frac{1}{k_t} \cdot \text{Giorgi-Einheit} \quad (22)$$

$$\text{technische Einheit} = \frac{k}{k_t} \cdot \text{CGS-Einheit}. \quad (23)$$

Auch hier gelten natürlich die Umkehrungen.

Beispiel: Möchte man einen Druck von 1000 Newton pro Quadratmeter in das technische Maßsystem umschreiben, so wird man (19) benützen. Die Giorgi-Masszahl ist laut Angabe 1000. Aus der Tabelle V findet man für k_t den Wert 0,102. Setzt man beide Zahlen in (19) ein, so erhält man:

$$\text{technische Masszahl} = 0{,}102 \cdot 1000 = 102.$$

Unter Verwendung der Druckeinheit kg*/m² des technischen Maßsystems findet man somit für den gesuchten Druck 102 kg*/m².

3-2. Die Giorgi-Einheiten des elektromagnetischen Feldes

Man muss hier sorgfältig zwischen dem elektromagnetischen CGS-System (CGSm) und dem elektrostatischen CGS-System (CGSs) unterscheiden. Im Gaußschen System fallen die Einheiten der magnetischen Grössen mit den CGSm-Einheiten zusammen, und ebenso decken sich die Einheiten der elektrischen Grössen mit den CGSs-Einheiten. Das technische Maßsystem braucht hier nicht weiter berücksichtigt

3. Tableaux des unités du système Giorgi

3-1. Les unités Giorgi de la mécanique

Toutes les unités Giorgi de la mécanique sont basées sur les trois unités fondamentales: m (mètre), kg (kilogramme-masse) et s (seconde). Le tableau V indique les unités Giorgi qui correspondent aux différentes grandeurs de la mécanique, ainsi que les unités C. G. S. et celles du système technique. Il indique également les facteurs de conversion k et k_t par lesquels il y a lieu de multiplier la mesure d'une grandeur indiquée en unités Giorgi, pour obtenir sa mesure en unités C. G. S. ou en unités du système technique. On a donc les relations suivantes:

$$\text{mesure en unités C. G. S.} = k \cdot \text{mesure Giorgi} \quad (18)$$

$$\text{mesure en unités techniques} = k_t \cdot \text{mesure Giorgi} \quad (19)$$

$$\text{mesure en unités techniques} = \frac{k_t}{k} \cdot \text{mesure en unités C. G. S.} \quad (20)$$

La relation (20) découle des relations (18) et (19). Les trois relations inverses ressortent immédiatement de ces trois relations.

Si l'on exprime une même grandeur par des unités différentes, les mesures se comportent à l'inverse des unités, ou, réciproquement, les unités se comportent à l'inverse des mesures. Les équations aux mesures (18) à (20) correspondent donc aux équations aux unités suivantes:

$$\text{unité C. G. S.} = \frac{1}{k} \cdot \text{unité Giorgi} \quad (21)$$

$$\text{unité technique} = \frac{1}{k_t} \cdot \text{unité Giorgi} \quad (22)$$

$$\text{unité technique} = \frac{k}{k_t} \cdot \text{unité C. G. S.} \quad (23)$$

Les relations inverses entrent également en ligne de compte.

Exemple: Pour exprimer une pression de 1000 newtons par mètre carré en unités du système technique, on utilisera la relation (19). La mesure Giorgi est 1000. Dans le tableau V, on trouve pour k_t la valeur 0,102. En introduisant ces deux nombres dans la relation (19), il vient:

$$\text{Mesure en unités techniques} = 0{,}102 \cdot 1000 = 102.$$

L'unité de pression du système technique étant 1 kg*/m², la pression cherchée est donc 102 kg*/m².

3-2. Les unités Giorgi du champ électromagnétique

Il y a lieu de distinguer soigneusement le système électromagnétique C. G. S. (E. M. C. G. S.) du système électrostatique C. G. S. (E. S. C. G. S.). Dans le système de Gauss, les unités des grandeurs magnétiques correspondent aux unités E. M. C. G. S., de même que les unités des grandeurs électriques correspondent aux unités E. S. C. G. S. Quant au système technique d'unités de mesure, il n'entre pas en ligne de compte, puisqu'il ne comporte pas d'unités

Giorgi-Einheiten der Mechanik [1]) — *Unités mécaniques Giorgi* [1])

Tabelle — *Tableau* V

Nr. *N°*	Grösse — *Grandeur* Name — *Nom*	Grösse — *Grandeur* Symbol *Symbole*	Giorgi-Einheit *Unité Giorgi* Name *Nom*	Giorgi-Einheit *Unité Giorgi* Symbol *Symbole*	CGS-Einheit *Unité C. G. S.* Symbol *Symbole*	Technische Einheit *Unité technique* Symbol *Symbole*	Umrechnungsfaktoren *Facteurs de conversion* k	Umrechnungsfaktoren *Facteurs de conversion* k_t	Bemerkung *Remarques*
1	Länge *longueur*	l	Meter *Mètre*	m	cm	m	10^2	1	
2	Fläche *surface*	A	—	m^2	cm^2	m^2	10^4	1	
3	geometrisches Trägheitsmoment *moment d'inertie géométrique*	J	—	m^4	cm^4	m^4	10^8	1	
4	Widerstandsmoment *moment résistant*	W	—	m^3	cm^3	m^3	10^6	1	
5	Volumen *volume*	V	—	m^3	cm^3	m^3	10^6	1	
6	Masse *masse*	m	Kilogramm *Kilogramme*	kg	g	$\frac{kg^* s^2}{m}$	10^3	$\frac{1}{9{,}81}$	
7	Dichte, spezifische Masse *masse spécifique*	ϱ	—	$\frac{kg}{m^3}$	$cm^{-3}\,g$	$\frac{kg^* s^2}{m^4}$	10^{-3}	$\frac{1}{9{,}81}$	
8	Massenträgheitsmoment *moment d'inertie (dynamique)*	J	—	$m^2 kg$	$cm^2\,g$	$m\,kg^* s^2$	10^7	$\frac{1}{9{,}81}$	Schwungmoment: technische Masszahl von $GD^2 = 4 \cdot$ Giorgi-Masszahl von J *Moment de giration: mesure en unités techniques de* $GD^2 = 4 \cdot$ *mesure Giorgi de* J
9	Zeit *temps*	t	Sekunde *Seconde*	s	s	s	1	1	
10	Geschwindigkeit *vitesse*	v	—	$\frac{m}{s}$	$cm\,s^{-1}$	$\frac{m}{s}$	10^2	1	
11	Drehzahl *fréquence de rotation*	n	—	$\frac{1}{s}$	s^{-1}	$\frac{1}{s}$	1	1	$\frac{1}{s} = 1\,\frac{U.}{s} = 60\,\frac{U.}{m}$ $\frac{e}{s} = 1\,\frac{t}{s} = 60\,\frac{t}{m}$
12	Frequenz *fréquence*	f	Hertz	Hz	s^{-1}	$\frac{1}{s}$	1	1	1 Hz = 1/s
13	Kreisfrequenz *pulsation*	ω	—	$\frac{1}{s}$	s^{-1}	$\frac{1}{s}$	1	1	
14	Kraft *force*	F	Newton	N	$cm\,g\,s^{-2}$ dyn	kg*	10^5	$\frac{1}{9{,}81}$	$1\,N = 1\,\frac{mkg}{s^2}$
15	Gewicht *poids*	G	Newton	N	$cm\,g\,s^{-2}$ dyn	kg*	10^5	$\frac{1}{9{,}81}$	$\frac{1}{9{,}81} \approx 0{,}102$
16	spezifisches Gewicht *poids spécifique*	γ	—	$\frac{N}{m^3}$	$cm^{-2} g\,s^{-2}$	$\frac{kg^*}{m^3}$	1	$\frac{1}{9{,}81}$	
17	Druck *pression*	p	—	$\frac{N}{m^2}$	$cm^{-1} g\,s^{-2}$	$\frac{kg^*}{m^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	$1\,\frac{N}{m^2} = 1{,}02 \cdot 10^{-5}\,\frac{kg^*}{cm^2}$
18	Zug- oder Druckspannung *tension (ou contrainte) de traction ou de compression*	σ	—	$\frac{N}{m^2}$	$cm^{-1} g\,s^{-2}$	$\frac{kg^*}{m^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	

[1]) CGS-Masszahl = $k \cdot$ Giorgi-Masszahl

technische Masszahl = $k_t \cdot$ Giorgi-Masszahl

technische Masszahl = $\frac{k_t}{k} \cdot$ CGS-Masszahl

CGS-Einheit = $\frac{1}{k} \cdot$ Giorgi-Einheit

technische Einheit = $\frac{1}{k_t} \cdot$ Giorgi-Einheit

technische Einheit = $\frac{k}{k_t} \cdot$ CGS-Einheit

[1]) *mesure en unités C. G. S.* = $k \cdot$ *mesure Giorgi*

mesure en unités techniques = $k_t \cdot$ *mesure Giorgi*

mesure en unités techniques = $\frac{k_t}{k} \cdot$ *mesure en unités C. G. S.*

unité C. G. S. = $\frac{1}{k} \cdot$ *unité Giorgi*

unité technique = $\frac{1}{k_t} \cdot$ *unité Giorgi*

unité technique = $\frac{k}{k_t} \cdot$ *unité C. G. S.*

Giorgi-Einheiten der Mechanik [1]) — *Unités mécaniques Giorgi* [1])

Fortsetzung zu Tabelle V
Suite du tableau V

Nr. *N°*	Grösse — *Grandeur*		Giorgi-Einheit *Unité Giorgi*		CGS-Einheit *Unité C. G. S.*	Technische Einheit *Unité technique*	Umrechnungsfaktoren *Facteurs de conversion*		Bemerkung *Remarques*
	Name — *Nom*	Symbol *Symbole*	Name *Nom*	Symbol *Symbole*	Symbol *Symbole*	Symbol *Symbole*	k	k_t	
19	Schub- oder Torsionsspannung *tension (ou contrainte) de cisaillement ou de torsion*	τ	—	$\frac{N}{m^2}$	$cm^{-1} g s^{-2}$	$\frac{kg^*}{m^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	
20	Elastizitätsmodul *module d'élasticité*	E	—	$\frac{N}{m^2}$	$cm^{-1} g s^{-2}$	$\frac{kg^*}{m^2}$	10	9,81	
21	Dehnungskoeffizient *coefficient d'allongement*	α	—	$\frac{m^2}{N}$	$cm\, g^{-1} s^2$	$\frac{m^2}{kg^*}$	10^{-1}	$\frac{1}{9{,}81}$	
22	Schubmodul *module de torsion (ou de cisaillement)*	G	—	$\frac{N}{m^2}$	$cm^{-1} g s^{-2}$	$\frac{kg^*}{m^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	
23	Drehmoment *moment (d'un couple)*	M	—	Nm	$cm^2 g s^{-2}$	m kg*	10^7	$\frac{1}{9{,}81}$	
24	Energie, Arbeit *énergie, travail*	W	Joule	J	$cm^2 g s^{-2}$ erg	m kg*	10^7	$\frac{1}{9{,}81}$	1 J = 1 Ws
25	Leistung *puissance*	P	Watt	W	$cm^2 g s^{-3}$	$\frac{m\, kg^*}{s}$	10^7	9,81	

zu werden; es kennt nämlich keine Einheiten für die Grössen des elektromagnetischen Feldes, denn es ist bei weitem kein vollständiges Maßsystem.

In Tabelle VI sind die zu den verschiedenen Grössen des elektromagnetischen Feldes gehörenden Giorgi-Einheiten aufgeführt, ferner die CGSm- und die CGSs-Einheiten. Schliesslich sind die Umrechnungsfaktoren k_m und k_s angegeben, welche man für folgende Umrechnungen braucht:

$$\text{CGSm-Masszahl} = k_m \cdot \text{Giorgi-Masszahl} \quad (24)$$

$$\text{CGSs-Masszahl} = k_s \cdot \text{Giorgi-Masszahl} \quad (25)$$

$$\text{CGSs-Masszahl} = \frac{k_s}{k_m} \cdot \text{CGSm-Masszahl.} \quad (26)$$

Natürlich gelten auch die drei Umkehrungen.

Für die Grössen des elektromagnetischen Feldes bestehen zwischen den Einheiten der verschiedenen Maßsysteme keine einfachen Zusammenhänge; es wird deshalb empfohlen, auf das Umrechnen der Einheiten zu verzichten[15]). Aus diesem Grunde werden hier keine den Gleichungen (21) bis (23) entsprechenden Einheiten-Beziehungen angegeben[16]).

[15]) Wie ein Blick auf die Kolonnen des CGSm- und der CGSs-Einheiten der Tabelle VI zeigt, haben die Einheiten der in beiden Systemen gleichbenannten Grösse verschiedene Dimensionen. Die beiden Einheiten lassen sich demnach nicht durch einen aus einer reinen Zahl bestehenden Faktor miteinander verbinden. — Die praktischen elektrotechnischen Einheiten, welche zugleich die Giorgi-Einheiten sind, waren ursprünglich (Internationaler elektrotechnischer Kongress, Paris 1881) als reine Vielfache der CGSm-Einheiten gedacht. Heute werden sie aber aus vier Grundeinheiten zusammengesetzt. Sie sind damit vierdimensional geworden und können nicht mehr durch reine Zahlenfaktoren aus den dreidimensionalen CGSm-Einheiten abgeleitet werden.

[16]) Aus denselben Erwägungen wurde in der Publikation Nr. 192 des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins «Regeln und Leitsätze für Buchstabensymbole und Zeichen» zwischen solche Einheiten verschiedener Maßsysteme, die sich zwar entsprechen, die aber dimensionell nicht gleichwertig sind, das Zeichen $\triangleq$ (entspricht) statt des Zeichens = (gleich) gesetzt.

pour les grandeurs du champ électromagnétique, étant donné que ce n'est pas un système complet.

Le tableau VI indique les unités Giorgi qui correspondent aux différentes grandeurs du champ électromagnétique, ainsi que les unités E. M. C. G. S. et les unités E. S. C. G. S. Il indique également les facteurs de conversion k_m et k_s qui servent aux conversions suivantes:

$$\text{mesure en unités E.M.C.G.S.} = k_m \cdot \text{mesure Giorgi} \quad (24)$$

$$\text{mesure en unités E.S.C.G.S.} = k_s \cdot \text{mesure Giorgi} \quad (25)$$

$$\text{mesure en unités E.S.C.G.S.} = \frac{k_s}{k_m} \cdot \text{mesure en unités E.M.C.G.S.} \quad (26)$$

Les relations inverses entrent également en ligne de compte.

Il n'existe pas de relations simples, pour les grandeurs du champ électromagnétique, entre les unités des divers systèmes d'unités de mesure. Il est donc recommandé de renoncer à une transformation d'unités[14]). Pour cette raison, nous n'indiquerons pas les relations d'unités qui correspondent aux relations (21) à (23) [15]).

[14]) Dans les colonnes des unités E. M. C. G. S. et E. S. C. G. S. du tableau VI, on constate que les unités de grandeurs ayant la même dénomination dans les deux systèmes ont des dimensions différentes. Les deux unités ne peuvent donc pas être reliées par un facteur constitué par un nombre pur. — Au début (Congrès Electrotechnique International, Paris 1881), les unités électriques pratiques qui étaient également les unités Giorgi furent considérées comme des multiples purs des unités E. M. C. G. S. De nos jours, elles ont pour base quatre unités fondamentales. Elles sont devenues des unités à quatre dimensions et ne peuvent plus être dérivées par des facteurs numériques purs en partant des unités E. M. C. G. S. tridimensionnelles.

[15]) Pour ce même motif, dans la Publication n° 192 de l'Association Suisse des Electriciens: «Règles et recommandations pour les symboles littéraux et signes», on a indiqué le signe $\triangleq$ (correspond à) et non pas le signe = (égal) entre les unités des différents systèmes d'unités de mesure qui correspondent, mais qui n'ont pas les mêmes dimensions.

Giorgi-Einheiten der Grössen der Elektrizitätslehre [1]) — *Unités électriques Giorgi* [1])

Tabelle — *Tableau* VI

Nr. N°	Grösse — *Grandeur*		Giorgi-Einheit *Unité Giorgi*			Elektromagn. CGS-Einheit *Unité E.M.C.G.S.*	Elektrostatische CGS-Einheit *Unité E.S.C.G.S.*	Umrechnungsfaktoren *Facteurs de conversion*	
	Name — *Nom*	Symbol *Symbole*	Name *Nom*	Symbol *Symbole*	Aus m, s, V, A zusammengesetztes Symbol *Symbole composé de m, s, V, A*	Symbol *Symbole*	Symbol *Symbole*	k_m	k_s
1	Elektrizitätsmenge *quantité d'électricité*	Q	Coulomb	C	As	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	10^{-1}	$3 \cdot 10^{9}$
2	Verschiebungsfluss *flux de déplacement électrique*	Ψ	Coulomb	C	As	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$4\pi \cdot 10^{-1}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^{9}$
3	(elektrische) Verschiebung *déplacement électrique*	D	—	$\frac{C}{m^2}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$4\pi \cdot 10^{-5}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^{5}$
4	Flächendichte der (elektr.) Ladung *densité électrique superficielle*	σ	—	$\frac{C}{m^2}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	10^{-5}	$3 \cdot 10^{5}$
5	räumliche Dichte der elektr. Ladung *densité électrique volumique*	ϱ	—	$\frac{C}{m^3}$	$\frac{As}{m^3}$	$cm^{-\frac{5}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	10^{-7}	$3 \cdot 10^{3}$
6	Stromstärke, Strom *intensité de courant, intensité, courant*	I	Ampère	A	A	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	10^{-1}	$3 \cdot 10^{9}$
7	Stromdichte *densité de courant*	S	—	$\frac{A}{m^2}$	$\frac{A}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	10^{-5}	$3 \cdot 10^{5}$
8	Spannung, Potentialdifferenz *tension, différence de potentiel*	U	Volt	V	V	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	10^{8}	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-2}$
9	elektromotorische Kraft *force électromotrice*	E	Volt	V	V	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	10^{8}	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-2}$
10	(elektrisches) Potential *potentiel (électrique)*	V	Volt	V	V	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	10^{8}	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-2}$
11	elektrische Feldstärke *intensité du champ électrique*	E	—	$\frac{V}{m}$	$\frac{V}{m}$	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	10^{6}	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-4}$
12	(Ohmscher) Widerstand *résistance (non inductive)*	R	Ohm	Ω	$\frac{V}{A}$	$cm\ s^{-1}$	$cm^{-1}\ s$	10^{9}	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
13	spezifischer Widerstand *résistivité*	ϱ	—	Ωm	$\frac{Vm}{A}$	$cm^2\ s^{-1}$	s	10^{11}	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-9}$
14	Leitwert *conductance*	G	—	$\frac{1}{\Omega}$	$\frac{A}{V}$	$cm^{-1}\ s$	$cm\ s^{-1}$	10^{-9}	$3^2 \cdot 10^{11}$
15	Leitfähigkeit *conductivité*	γ	—	$\frac{1}{\Omega m}$	$\frac{A}{Vm}$	$cm^{-2}\ s$	s^{-1}	10^{-11}	$3^2 \cdot 10^{9}$
16	Kapazität *capacité*	C	Farad	F	$\frac{As}{V}$	$cm^{-1}\ s^2$	cm	10^{-9}	$3^2 \cdot 10^{11}$
17	Dielektrizitätskonstante *constante diélectrique*	ε	—	$\frac{F}{m}$	$\frac{As}{Vm}$	$cm^{-2}\ s^2$	1	$4\pi \cdot 10^{-11}$	$4\pi \cdot 3^2 \cdot 10^{9}$
18	relative Dielektrizitätskonstante *constante diélectrique relative*	ε_r	1	1	1	1	1	1	1

[1]) CGSm-Masszahl = k_m · Giorgi-Masszahl
CGSs-Masszahl = k_s · Giorgi-Masszahl
CGSs-Masszahl = $\frac{k_s}{k_m}$ · CGS$_m$-Masszahl

[1]) mesure en unités E. M. C. G. S. = k_m · mesure Giorgi
mesure en unités E. S. C. G. S. = k_s · mesure Giorgi
mesure en unités E. S. C. G. S. = $\frac{k_s}{k_m}$ · mesure en unités E. M. C. G. S.

Giorgi-Einheiten der Grössen der Elektrizitätslehre [1]) — *Unités électriques Giorgi* [1])

Fortsetzung Tabelle VI
Suite Tableau VI

Nr. N°	Grösse — *Grandeur*: Name — *Nom*	Grösse — *Grandeur*: Symbol *Symbole*	Giorgi-Einheit *Unité Giorgi*: Name *Nom*	Giorgi-Einheit *Unité Giorgi*: Symbol *Symbole*	Giorgi-Einheit *Unité Giorgi*: Aus m, s, V, A zusammengesetztes Symbol *Symbole composé de m, s, V, A*	Elektromagn. CGS-Einheit *Unité E.M.C.G.S.*: Symbol *Symbole*	Elektrostatische CGS-Einheit *Unité E.S.C.G.S.*: Symbol *Symbole*	Umrechnungsfaktoren *Facteurs de conversion*: k_m	Umrechnungsfaktoren *Facteurs de conversion*: k_s
19	dielektrische Polarisation *polarisation diélectrique*	P	—	$\frac{C}{m^2}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	10^{-5}	$3 \cdot 10^5$
20	piezoelektrischer Modul *module piézo-électrique*	d	—	$\frac{C}{m^2}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$4\pi \cdot 10^{-5}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^5$
21	Induktionsfluss *flux d'induction (magnétique)*	Φ	Weber	Wb	Vs	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Maxwell	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	10^8	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-2}$
22	Induktion (magnetische) *induction (magnétique)*	B	—	$\frac{Wb}{m^2}$	$\frac{Vs}{m^2}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Gauss	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	10^4	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$
23	magnetische Feldstärke *intensité du champ magnétique*	H	—	$\frac{A}{m}$	$\frac{A}{m}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Oersted	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$4\pi \cdot 10^{-3}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^7$
24	Permeabilität *perméabilité*	μ	—	$\frac{H}{m}$	$\frac{Vs}{Am}$	1	$cm^{-2} s^2$	$\frac{1}{4\pi} \cdot 10^7$	$\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{3^2} \cdot 10^{-13}$
25	relative Permeabilität *perméabilité relative*	μ_r	—	1	1	1	1	1	1
26	Magnetisierungsstärke *intensité d'aimantation*	J	—	$\frac{Wb}{m^2}$	$\frac{Vs}{m^2}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$\frac{1}{4\pi} \cdot 10^4$	$\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$
27	Suszeptibilität *susceptibilité (magnétique)*	$\varkappa$	—	1	1	1	1	$\frac{1}{4\pi}$	$\frac{1}{4\pi}$
28	Durchflutung *solénation, (excitation totale)*	Θ	Ampère	A	A	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	10^{-1}	$3 \cdot 10^9$
29	magnetomotorische Kraft *force magnétomotrice*	F	Ampère	A	A	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Gilbert	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$4\pi \cdot 10^{-1}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^9$
30	magnetische Spannung *différence de potentiel magnétique*	U	Ampère	A	A	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Gilbert	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$4\pi \cdot 10^{-1}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^9$
31	magnetisches Potential *potentiel magnétique*	V	Ampère	A	A	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Gilbert	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$4\pi \cdot 10^{-1}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^9$
32	magnetischer Widerstand *réluctance*	R	—	$\frac{1}{H}$	$\frac{A}{Vs}$	cm^{-1}	$cm\, s^{-2}$	10^{-9}	$3^2 \cdot 10^{11}$
33	magnetischer Leitwert *perméance*	Λ	Henry	H	$\frac{Vs}{A}$	cm	$cm^{-1} s^2$	10^{-9}	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
34	(Selbst-) Induktivität *inductance (propre), coefficient d'induction propre ou de self-induction*	L	Henry	H	$\frac{Vs}{A}$	cm	$cm^{-1} s^2$	10^9	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
35	Gegeninduktivität *inductance mutuelle*	M	Henry	H	$\frac{Vs}{A}$	cm	$cm^{-1} s^2$	10^9	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
36	Reaktanz, Blindwiderstand *réactance*	X	Ohm	Ω	$\frac{V}{A}$	$cm\, s^{-1}$	$cm^{-1} s$	10^9	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
37	Impedanz, Scheinwiderstand *impédance*	Z	Ohm	Ω	$\frac{V}{A}$	$cm\, s^{-1}$	$cm^{-1} s$	10^9	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
38	Admittanz, Scheinleitwert *admittance*	Y	—	$\frac{1}{\Omega}$	$\frac{A}{V}$	$cm^{-1} s$	$cm\, s^{-1}$	10^{-9}	$3^2 \cdot 10^{11}$

Giorgi-Einheiten der Grössen der Elektrizitätslehre [1]) — *Unités électriques Giorgi* [1])

Fortsetzung Tabelle VI
Suite Tableau VI

Nr. N°	Grösse — *Grandeur*: Name — *Nom*	Grösse — *Grandeur*: Symbol *Symbole*	Giorgi-Einheit *Unité Giorgi*: Name *Nom*	Giorgi-Einheit *Unité Giorgi*: Symbol *Symbole*	Giorgi-Einheit *Unité Giorgi*: Aus m, s, V, A zusammengesetztes Symbol *Symbole composé de m, s, V, A*	Elektromagn. CGS-Einheit *Unité E.M.C.G.S.*: Symbol *Symbole*	Elektrostatische CGS-Einheit *Unité E.S.C.G.S.*: Symbol *Symbole*	Umrechnungsfaktoren *Facteurs de conversion*: k_m	Umrechnungsfaktoren *Facteurs de conversion*: k_s
39	Suszeptanz, Blindleitwert *susceptance*	B	—	$\frac{1}{\Omega}$	$\frac{A}{V}$	$cm^{-1}\,s$	$cm\,s^{-1}$	10^{-9}	$3^2 \cdot 10^{11}$
40	Wirkleistung *puissance active*	P	Watt	**W**	VA	$cm^2\,g\,s^{-3}$	$cm^2\,g\,s^{-3}$	10^7	10^7
41	Blindleistung *puissance réactive*	Q	Var	**Var**	VA	$cm^2\,g\,s^{-3}$	$cm^2\,g\,s^{-3}$	10^7	10^7
42	Scheinleistung *puissance apparente*	S	—	**VA**	VA	$cm^2\,g\,s^{-3}$	$cm^2\,g\,s^{-3}$	10^7	10^7
43	Wirkenergie *énergie active*	W	Joule	**J**	VAs	$cm^2\,g\,s^{-2}$	$cm^2\,g\,s^{-2}$	10^7	10^7
44	Blindenergie *énergie réactive*	W_q	—	**Var·s**	VAs	$cm^2\,g\,s^{-2}$	$cm^2\,g\,s^{-2}$	10^7	10^7
45	Scheinenergie *énergie apparente*	W_s	—	**VAs**	VAs	$cm^2\,g\,s^{-2}$	$cm^2\,g\,s^{-2}$	10^7	10^7

Die in der Kolonne der Umrechnungsfaktoren k_s auftretenden Zahlen 3 und 9 ($= 3^2$) hängen mit der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zusammen, und zwar liegt ihnen der Wert $3 \cdot 10^8$ m/s zu Grunde. Für höchste Präzision ist jedoch mit $2{,}997\,96 \cdot 10^8$ m/s zu rechnen; dementsprechend ist dann 3 durch 2,997 96 und 9 durch 8,987 8 zu ersetzen.

1. Beispiel: Möchte man die Koerzitivkraft von Permalloy, die 0,03 Oersted beträgt, in Giorgi-Einheiten angeben, so entnimmt man der Tabelle VI den entsprechenden Umrechnungsfaktor. Man findet unter Nr. 23: $k_m = 4\pi \cdot 10^{-3}$. Damit wird nach (24)

$$\text{CGSm-Masszahl} = 4\pi \cdot 10^{-3} \cdot \text{Giorgi-Masszahl}$$

und

$$\text{Giorgi-Masszahl} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-3}} \cdot \text{CGSm-Masszahl} =$$

$$= \frac{1000}{4\pi} \cdot 0{,}03 \approx 80 \cdot 0{,}03 = 2{,}4.$$

Somit ist die Koerzitivkraft von Permalloy im Giorgi-System 2,4 A/m.

2. Beispiel: Es soll gezeigt werden, wie man das Durchflutungsgesetz aus dem CGSm-System ins Giorgi-System transformieren kann. Als CGSm-Masszahlengleichung geschrieben lautet das Durchflutungsgesetz

$$\oint \{H_m\} \{ds_m\} = 4\pi N \{I_m\} \text{ [17]}).$$

Mit Hilfe der Umrechnungsfaktoren für die Feldstärke, das Wegelement und die Stromstärke, die

[17]) H_m in geschweifter Klammer bedeutet die Masszahl von H_m im CGS-System, usw.

Les nombres 3 et 9 ($= 3^2$) qui figurent dans la colonne des facteurs de transformation k_s sont en relation avec la vitesse de la lumière dans le vide et sont basés sur la valeur de $3 \,.\, 10^8$ m/s. Pour les calculs de très haute précision, il faut toutefois se baser sur la valeur de $2{,}997\,96 . 10^8$ m/s, et remplacer dans ce cas 3 par 2,997 96 et 9 par 8,987 8.

Premier exemple: Pour indiquer en unités Giorgi la force coercitive du Permalloy, qui est de 0,03 oersted, on doit tout d'abord rechercher dans le tableau VI le facteur de conversion correspondant. A la rubrique n° 23, on trouve $k_m = 4\pi \cdot 10^{-3}$. Selon la relation (24), on a

$$\text{mesure en unités E.M.C.G.S.} = 4\pi \cdot 10^{-3} \cdot \text{mesure Giorgi et}$$

$$\text{mesure Giorgi} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-3}} \cdot \text{mesure en unités}$$

$$\text{E.M.C.G.S.} = \frac{1000}{4\pi} \cdot 0{,}03 \approx 80 \cdot 0{,}03 = 2{,}4.$$

Ainsi, dans le système Giorgi, la force coercitive du Permalloy est égale à 2,4 A/m.

Deuxième exemple: Comment peut-on transporter le théorème d'Ampère du système E. M. C. G. S. au système Giorgi. L'équation aux mesures de ce théorème s'écrit, dans le système E. M. C. G. S.:

$$\oint \{H_m\} \{ds_m\} = 4\pi N \{I_m\} \text{ [16]}).$$

A l'aide des facteurs de conversion de l'intensité du champ, de l'élément de chemin et de l'intensité du

[16]) H_m entre accolades est la mesure de H_m dans le système E. M. C. G. S., etc.

man unter Nr. 23 von Tabelle VI, Nr. 1 von Tabelle V und Nr. 6 von Tabelle VI findet, kommt man nach (21) und (24) auf die folgenden drei Gleichungen:

$$\{H_m\} = 4\pi \cdot 10^{-3}\,\{H\}\ ^{18)}$$
$$\{s_m\} = 10^{2}\,\{s\}$$
$$\{I_m\} = 10^{-1}\,\{I\}$$

Setzt man ein, so erhält man

$$\int \{H\}\,\{\mathrm{d}s\}\,4\pi \cdot 10^{-3} \cdot 10^{2} = 4\pi N\,\{I\}\,10^{-1}$$

oder

$$\oint \{H\}\,\{\mathrm{d}s\} = N\,\{I\}$$

Ersetzt man diese Masszahlen-Gleichung durch die Grössengleichung, so wird schliesslich

$$\oint H\mathrm{d}s = NI.$$

4. Praktische Anwendung des Giorgi-Systems

4-1. Allgemeines

Der Aufwand zum Erlernen des Giorgi-Systems ist gering und lohnt sich in sehr kurzer Zeit. Man muss sich hauptsächlich einprägen, dass die neun praktischen elektrotechnischen Einheiten (V, A, W, J, Ω, Wb, C, H, F) und die drei mechanischen Einheiten (m, s, kg) Bestandteile des Giorgi-Systems bilden, welches man zuverlässig im ganzen Bereich der Mechanik, Elektrizitätslehre und der Elektrotechnik nach einfachen Grundgesetzen ohne parasitäre Zahlenfaktoren anwenden kann (für die Grundgesetze des elektromagnetischen Feldes siehe Tab. IV, linke Spalte). Weiter muss man sich die neue Krafteinheit, das Newton $\left(1\,\mathrm{N} = 1\,\frac{\mathrm{kgm}}{\mathrm{s}^2} = \frac{\text{Kilogramm-Kraft}}{9{,}81}\right)$, und die Werte der Permeabilität und der Dielektrizitätskonstante des leeren Raumes merken:

$$\mu_0 = 1{,}257\,\frac{\mu\mathrm{H}}{\mathrm{m}} \qquad \varepsilon_0 = 8{,}85\,\frac{\mathrm{pF}}{\mathrm{m}}$$

Es empfiehlt sich, einige Beispiele durchzurechnen, um mit dem Giorgi-System vertraut zu werden. Wie aus den Beispielen ersichtlich ist, haben viele Giorgi-Einheiten handliches Ausmass, aber man kann nicht erwarten, dass man ohne die von den Giorgi-Einheiten dezimal abgeleiteten Einheiten auskommt. Man wird z. B. wie bisher für Drähte die Querschnitte, Stromdichten, spezifischen Widerstände und Leitwerte auf mm² und nicht auf m² beziehen. Die Umrechnung auf dezimal abgeleitete Einheiten ist unter *4-3* dargestellt.

4-2. Einfache Beispiele

a) Kapazität. Die Formel für die Kapazität eines ebenen Kondensators lautet

$$C = \frac{A\,\varepsilon_r\,\varepsilon_0}{\delta}.$$

[18]) H in geschweifter Klammer bedeutet die Masszahl von H im Giorgi-System, usw.

courant, qui sont indiqués respectivement aux rubriques n° 23 du tableau VI, n° 1 du tableau V et n° 6 du tableau VI, les relations (21) et (24) conduisent aux trois équations suivantes:

$$\{H_m\} = 4\pi \cdot 10^{-3}\,\{H\}\ ^{17)}$$
$$\{s_m\} = 10^{2}\,\{s\}$$
$$\{I_m\} = 10^{-1}\,\{I\}.$$

En introduisant ces expressions, on a

$$\int \{H\}\,\{\mathrm{d}s\}\,4\pi \cdot 10^{-3} \cdot 10^{2} = 4\pi N\,\{I\}\,10^{-1},$$

ou

$$\oint \{H\}\,\{\mathrm{d}s\} = N\,\{I\}.$$

En substituant à cette équation aux mesures l'équation aux grandeurs, on a finalement

$$\oint H\mathrm{d}s = NI.$$

4. Application pratique du système Giorgi

4-1. Généralités

Le système Giorgi s'apprend facilement et s'avère en très peu de temps avantageux. Il faut surtout bien se rappeler que les neuf unités électriques pratiques (V, A, W, J, Ω, Wb, C, H, F) et les trois unités mécaniques (m, s, kg) sont des éléments du système Giorgi, que l'on peut utiliser d'une manière certaine dans tout le domaine de la mécanique, de l'électricité et de l'électrotechnique, à l'aide de lois fondamentales simples, sans coefficients parasites (pour les lois fondamentales du champ électromagnétique, voir tableau IV, colonne de gauche). En outre, il faut songer à la nouvelle unité de force, le newton $\left(1\,\mathrm{N} = 1\,\frac{\mathrm{kgm}}{\mathrm{s}^2} = \frac{\text{kilogramme-force}}{9{,}81}\right)$, et aux valeurs de la perméabilité et de la constante diélectrique du vide:

$$\mu_0 = 1{,}257\,\frac{\mu\mathrm{H}}{\mathrm{m}}, \qquad \varepsilon_0 = 8{,}85\,\frac{\mathrm{pF}}{\mathrm{m}}.$$

Il est recommandable de se familiariser avec le système Giorgi au moyen de quelques exemples de calcul. Les exemples montrent que de nombreuses unités Giorgi possèdent des grandeurs adaptées aux besoins courants; toutefois, les multiples et sous-multiples des unités Giorgi apparaissent dans bien des cas. C'est ainsi que, comme par le passé, on rapportera au mm² et non au m² les sections, densités de courant, résistivités et conductances de fils. La conversion en unités décimales dérivées est indiquée au paragraphe *4-3*.

4-2. Exemples simples

a) Capacité. La formule de la capacité d'un condensateur plan est

$$C = \frac{A\,\varepsilon_r\,\varepsilon_0}{\delta}.$$

[17]) H entre accolades est la mesure de H dans le système Giorgi, etc.

Für einen Papier-Kondensator sei $A = 10\,\mathrm{m}^2$; $\varepsilon_r = 4$; $\delta = 0{,}1$ mm $= 10^{-4}$ m. ε_0 ist bekanntlich $= 8{,}85\,\frac{\mathrm{pF}}{\mathrm{m}} = 8{,}85\,\frac{10^{-12}\,\mathrm{F}}{\mathrm{m}}$. Nun wird

$$C = \frac{10 \cdot 4 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}}{10^{-4}}\,\mathrm{F} = 3{,}54 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} = 3{,}54\,\mu\mathrm{F}.$$

b) Magnetische Kraft. Die magnetische Kraft zwischen zwei parallelen Leitern ist

$$F = I\,l\,B = \frac{I^2\,l\,\mu_0}{2\,\pi\,r}.$$

Wie gross ist die Kraft zwischen zwei Sammelschienen bei der Entfernung $r = 0{,}2$ m, pro 1 m Länge, wenn sie von einem Kurzschlußstrom $I = 20\,000$ A durchflossen werden?

$$F = \frac{4 \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 1{,}257 \cdot 10^{-6}}{2\,\pi \cdot 0{,}2}\,\mathrm{N} = 400\,\mathrm{N}.$$

Wer sich nicht an die neue Krafteinheit gewöhnt hat, rechnet das Newton in Kraftkilogramm um; es ist

N = 0,102 kg* (s. Tab. V, Ziff. 14),

also wird $F = 400$ N $= 40{,}8$ kg*.

c) Bahngleichung eines Elektrons. Ein Beispiel, in dem elektrische Kraft, magnetische Kraft und Massenträgheit vorkommt: Ein Teilchen mit der Masse m und der Ladung e besitzt nach Durchfliegen einer elektrischen Spannung U im Vakuum die kinetische Energie

$$W = \frac{1}{2}\,m\,v^2 = U\,e.$$

Fliegt dieses Teilchen in ein magnetisches Feld B senkrecht zu den Feldlinien, so wird es auf eine Kreisbahn abgelenkt, auf der die Zentripetalkraft gleich der magnetischen Kraft ist:

$$\frac{m\,v^2}{r} = v\,e\,B.$$

Aus beiden Gleichungen erhält man für den Radius

$$r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2\,U\,m}{e}}.$$

Das Teilchen sei ein Elektron von der Masse $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg und der Ladung $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C; die durchflogene Spannung sei $U = 1000$ V, die Induktion sei $B = 0{,}01\,\frac{\mathrm{Wb}}{\mathrm{m}^2}$. Dann wird

$$r = \frac{1}{0{,}01}\sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}}}\,\mathrm{m} = 1{,}065 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m} = 1{,}065\,\mathrm{cm}.$$

4-3. Beispiele mit dezimal abgeleiteten Einheiten

a) Allgemeine Regel. Zur Umrechnung von Masszahlen und zur Ableitung von Masszahlengleichungen für dezimal von den Giorgi-Einheiten abgeleitete Einheiten gelten die bekannten Regeln[19]). Sie sollen hier kurz wiederholt und an einigen Beispielen erläutert werden.

[19]) s. *Landolt, M.*: Grösse, Masszahl und Einheit. Zürich, 1943. S. 21.

Pour un condensateur au papier, admettons que $A = 10\,\mathrm{m}^2$, $\varepsilon_r = 4$, $\delta = 0{,}1$ mm $= 10^{-4}$ m. Comme on le sait, $\varepsilon_0 = 8{,}85\,\frac{\mathrm{pF}}{\mathrm{m}} = 8{,}85\,\frac{10^{-12}\,\mathrm{F}}{\mathrm{m}}$.

On a donc:

$$C = \frac{10 \cdot 4 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}}{10^{-4}}\,\mathrm{F} = 3{,}54 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} = 3{,}54\,\mu\mathrm{F}.$$

b) Force magnétique. La force magnétique entre deux conducteurs parallèles est

$$F = I\,l\,B = \frac{I^2\,l\,\mu_0}{2\,\pi\,r}.$$

Quelle est la grandeur de cette force entre deux barres omnibus écartées de $r = 0{,}2$ m, par mètre de longueur, lorsqu'elles sont parcourues par un courant de court-circuit $I = 20\,000$ A?

$$F = \frac{4 \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 1{,}257 \cdot 10^{-6}}{2\,\pi \cdot 0{,}2}\,\mathrm{N} = 400\,\mathrm{N}.$$

Les personnes qui ne sont pas encore familiarisées avec la nouvelle unité de force, peuvent convertir le newton en kilogramme-force:

N = 0,102 kg* (voir tableau V, chiffre 14).

On a donc $F = 400$ N $= 40{,}8$ kg*.

c) Equation de la trajectoire d'un électron. Exemple où figurent la force électrique, la force magnétique et l'inertie. Après avoir traversé une tension électrique U dans le vide, l'énergie cinétique d'une particule de masse m et de charge e est:

$$W = \frac{1}{2}\,m\,v^2 = U\,e.$$

Si cette particule traverse un champ magnétique B perpendiculairement aux lignes de force, elle est déviée sur une trajectoire circulaire, où la force centripète est égale à la force magnétique:

$$\frac{m\,v^2}{r} = v\,e\,B.$$

De ces deux équations, on tire le rayon

$$r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2\,U\,m}{e}}.$$

Si la particule est un électron de masse $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg et de charge $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, la tension traversée $U = 1000$ V et l'induction $B = 0{,}01\,\frac{\mathrm{Wb}}{\mathrm{m}^2}$, on a

$$r = \frac{1}{0{,}01}\sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}}}\,\mathrm{m} = 1{,}065 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m} = 1{,}065\,\mathrm{cm}.$$

4-3. Exemples comportant multiples et sous-multiples des unités

a) Règle générale. Pour convertir les mesures et établir des équations aux mesures pour les unités décimales dérivées des unités Giorgi, il existe des règles bien connues[18]), que nous allons résumer et que nous illustrerons par quelques exemples.

[18]) cf. *Landolt, M.*: Grandeur, mesure et unité, Bruxelles et Paris, 1947, p. 25.

Um aus einer Grössengleichung die auf bestimmte Einheiten zugeschnittene Grössengleichung zu gewinnen, hat man in den am häufigsten vorkommenden Fällen lediglich folgende Operationen vorzunehmen:

1. Erweitern mit den gegebenen und verlangten Einheiten.
2. Ordnen, so dass die gewünschten Masszahlen in der Form von Quotienten $\left(\frac{\text{Grösse}}{\text{Einheit}}\right)$ erscheinen, ein zusammengesetzter Faktor auftritt und die verlangte Einheit der Unbekannten den Schluss bildet.
3. Ausrechnen des zusammengesetzten Faktors (reine Zahl).

b) Magnetische Spannung im Luftspalt. Die für die Berechnung von magnetischen Kreisen sehr häufig gebrauchte Formel für die magnetische Spannung U_m im Luftspalt δ soll in möglichst bequeme Form gebracht werden, und zwar soll B in $\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$, δ in mm und U_m in A ausgedrückt werden. Die Grössengleichung lautet:

$$U_m = \frac{B}{\mu_0}\delta.$$

1. Erweitern:

$$U_m = \frac{B}{\mu_0}\delta \cdot \frac{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\cdot\text{mm}\cdot\text{A}}{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\cdot\text{mm}\cdot\text{A}}.$$

2. Ordnen:

$$U_m = \frac{B}{\text{Wb/m}^2}\cdot\frac{\delta}{\text{mm}}\cdot\frac{1}{\mu_0}\cdot\frac{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\text{mm}}{\text{A}}\cdot\text{A}.$$

3. Ausrechnen: Man setzt den Wert von μ_0 ein, ersetzt die Einheit Wb/m² und die Einheit H/m durch die Einheiten V, s, A und m (s. Tabelle VI, Nr. 22 und 24, Kolonne 6), und man benützt die Einheitengleichung 1 mm = 10^{-3} m. So findet man für den zusammengesetzten Faktor

$$\frac{1}{\mu_0}\frac{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\text{mm}}{\text{A}} = \frac{\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}\cdot 10^{-3}\,\text{m}}{1{,}257\frac{\mu\text{H}}{\text{m}}\cdot\text{A}} = \frac{\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}\cdot 10^{-3}\,\text{m}}{1{,}257\cdot 10^{-6}\frac{\text{Vs}}{\text{Am}}\text{A}}.$$

Nach Kürzen und Ausrechnen erhält man für den zusammengesetzten Faktor schliesslich die reine Zahl 796. Das gesuchte Ergebnis lautet daher

$$U_m = \frac{B}{\text{Wb/m}^2}\cdot\frac{\delta}{\text{mm}}\cdot 796\,\text{A},$$

oder, als Masszahlengleichung geschrieben,

$$U_m = 796\,B\,\delta \approx 800\,B\,\delta. \qquad (27)$$

(B in Wb/m², δ in mm, U_m in A)

c) Die Leitfähigkeit des Kupfers $\gamma = 56\,\frac{\text{m}}{\Omega\,\text{mm}^2}$ soll in der Giorgi-Einheit $\frac{1}{\Omega\,\text{m}}$ ausgedrückt werden.

Pour passer d'une équation aux grandeurs à une équation adaptée à des unités déterminées, il suffit dans la plupart des cas de procéder aux opérations suivantes:

1° *multiplier* et *diviser* le second membre par les unités choisies;

2° *ordonner* le second membre de manière à faire apparaître sous la forme de quotients (grandeur/unité) les mesures des grandeurs connues, à faire intervenir un facteur composé et à écrire enfin l'unité au moyen de laquelle on désire mesurer la grandeur inconnue;

3° *calculer* le facteur composé qui est un nombre pur.

b) Différence de potentiel magnétique dans un entrefer. La formule de la différence de potentiel magnétique U_m dans un entrefer, qui est très souvent utilisée pour le calcul de circuits magnétiques, doit être amenée sous une forme aussi commode que possible, où B soit exprimé en $\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$, δ en mm et U_m en A. L'équation aux grandeurs est

$$U_m = \frac{B}{\mu_0}\delta.$$

1° Multiplier et diviser:

$$U_m = \frac{B}{\mu_0}\delta \cdot \frac{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\cdot\text{mm}\cdot\text{A}}{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\cdot\text{mm}\cdot\text{A}}.$$

2° Ordonner:

$$U_m = \frac{B}{\text{Wb/m}^2}\cdot\frac{\delta}{\text{mm}}\cdot\frac{1}{\mu_0}\cdot\frac{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\text{mm}}{\text{A}}\cdot\text{A}.$$

3° Calculer: On introduit la valeur de μ_0, substitue aux unités Wb/m² et H/m les unités V, s, A et m (voir tableau VI, chiffres 22 et 24, colonne 6) et applique la relation d'unités 1 mm = 10^{-3}m. On obtient ainsi pour le facteur composite

$$\frac{1}{\mu_0}\frac{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\text{mm}}{\text{A}} = \frac{\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}\cdot 10^{-3}\,\text{m}}{1{,}257\frac{\mu\text{H}}{\text{m}}\cdot\text{A}} = \frac{\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}\cdot 10^{-3}\,\text{m}}{1{,}257\cdot 10^{-6}\frac{\text{Vs}}{\text{Am}}\text{A}}.$$

Après réduction et calcul, on obtient finalement le nombre pur 796. Le résultat cherché est donc

$$U_m = \frac{B}{\text{Wb/m}^2}\cdot\frac{\delta}{\text{mm}}\cdot 796\,\text{A},$$

ou, écrit sous forme d'équation aux mesures,

$$U_m = 796\,B\,\delta \approx 800\,B\,\delta \qquad (27)$$

(B en Wb/m², δ en mm, U_m en A).

c) La *conductivité* du cuivre $\gamma = 56\,\frac{\text{m}}{\Omega\,\text{mm}^2}$ doit être exprimée en unité Giorgi $\frac{1}{\Omega\,\text{m}}$. En appliquant

Mit der Einheitengleichung 1 mm² = 10^{-6} m² erhält man unmittelbar

$$\gamma = 56 \frac{\mathrm{m}}{\Omega\,\mathrm{mm}^2} = 56 \frac{\mathrm{m}}{\Omega\,10^{-6}\,\mathrm{m}^2} = 56 \cdot 10^6 \frac{1}{\Omega\,\mathrm{m}}.$$

4-4. Beispiele aus dem Elektromaschinenbau

Man kann sagen, dass in der Berechnung elektrischer Maschinen und Transformatoren schon seit langem überwiegend Giorgi-Einheiten verwendet werden, denn die praktischen Einheiten V, A, W, Ω, J usw. gehören ja zum Giorgi-System. Andere Einheiten werden heute hauptsächlich noch verwendet bei der Berechnung

1. von Drehmomenten und Massenkräften: das Kilogramm-Kraft,

2. von magnetischen Kreisen: das Maxwell und das Gauss.

Das Umstellen auf die alleinige Anwendung des Giorgi-Systems sollte keine grossen Schwierigkeiten bereiten und wird nur Vorteile bieten.

a) Massenträgheitsmoment. Eine Maschine soll ein *Massenträgheitsmoment* J = 200 kgm² in 10 s auf n = 960 U./m beschleunigen. Das dazu benötigte *Drehmoment* ist

$$M = J \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}, \text{ dabei ist } \omega = \frac{960}{60} \cdot 2\pi \frac{1}{\mathrm{s}} = 100 \frac{1}{\mathrm{s}};$$

es wird also

$$M = \frac{100}{10} \cdot 200\,\mathrm{Nm} = 2000\,\mathrm{Nm}.$$

Die maximale *Leistung,* die beim Erreichen der vollen Drehzahl auftritt, ist

$$P_{max} = M \cdot \omega = 2000 \cdot 100\ \mathrm{W} = 200\ \mathrm{kW}.$$

Die *kinetische Energie* ist

$$W = \frac{J\,\omega^2}{2} = 200 \cdot \frac{100^2}{2}\,\mathrm{J} = 10^6\,\mathrm{J} = 1000\,\mathrm{kWs}.$$

Heute ist es üblich, die träge Masse der rotierenden Maschinen als Schwungmoment GD^2 (G = Gewicht in kg*, D = Trägheitsdurchmesser in m) anzugeben. Laut Tab. V, Nr. 8, ist die technische Masszahl von GD^2 gleich der vierfachen Giorgi-Masszahl von J, so dass eine Umrechnung sehr einfach ist. Für das obige Beispiel ist

$$J = 200\ \mathrm{kgm}^2;\ GD^2 = 800\ \mathrm{kg}^*\ \mathrm{m}^2.$$

b) Berechnung magnetischer Kreise. In der Berechnung magnetischer Kreise elektrischer Maschinen und Transformatoren führt die Anwendung des Giorgi-Systems im allgemeinen zu bequemen Masszahlen; die praktisch vorkommenden Induktionen sind

im Luftspalt B = (0,5...1) Wb/m²,
im Eisen B = (1...3) Wb/m².

Die Abmessungen elektrischer Maschinen werden in Zeichnungen und Wicklungsangaben immer in Millimetern angegeben. Die Umrechnung auf Meter und die Ausrechnung der Querschnitte, magnetischen Induktionen und Flüsse im Giorgi-System führt zu bequemeren Masszahlen als im CGS-System.

la relation aux unités 1 mm² = 10^{-6} m², on obtient immédiatement

$$\gamma = 56 \frac{\mathrm{m}}{\Omega\,\mathrm{mm}^2} = 56 \frac{\mathrm{m}}{\Omega\,10^{-6}\mathrm{m}^2} = 56 \cdot 10^6 \frac{1}{\Omega\,\mathrm{m}}.$$

4-4. Exemples tirés de la construction des machines électriques

Pour le calcul des machines et transformateurs électriques, les unités Giorgi sont en fait utilisées d'une manière générale depuis fort longtemps déjà, car les unités pratiques V, A, W, Ω, J, etc., font partie du système Giorgi. De nos jours, d'autres unités sont utilisées pour le calcul de

1° couples et forces massiques: le kilogramme-force,

2° circuits magnétiques: le maxwell et le gauss. L'application exclusive du système Giorgi ne donne donc pas lieu, dans ce domaine, à de bien grandes difficultés et ne présente que des avantages.

a) Moment d'inertie dynamique. Une machine doit accélérer à n = 960 t./m en 10 s un *moment d'inertie* J = 200 kgm². Le *moment* du couple nécessaire est:

$$M = J \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}, \text{ dont } \omega = \frac{960}{60} \cdot 2\pi \frac{1}{\mathrm{s}} = 100 \frac{1}{\mathrm{s}}.$$

On a donc

$$M = \frac{100}{10} \cdot 200\,\mathrm{Nm} = 2000\,\mathrm{Nm}.$$

La *puissance* maximum atteinte à pleine vitesse de rotation est

$$P_{max} = M \cdot \omega = 2000 \cdot 100\ \mathrm{W} = 200\ \mathrm{kW}.$$

L'*énergie cinétique* est

$$W = \frac{J\,\omega^2}{2} = 200 \cdot \frac{100^2}{2}\,\mathrm{J} = 10^6\,\mathrm{J} = 1000\,\mathrm{kWs}.$$

Actuellement, on a l'habitude de désigner par moment de giration GD^2 (G = poids en kg*, D = diamètre d'inertie en m) l'inertie des machines tournantes. Selon le tableau V, n° 8, la mesure en unités techniques du GD^2 est égale à quatre fois la mesure Giorgi de J, de sorte que la conversion est très simple. Dans l'exemple considéré, on a

$$J = 200\ \mathrm{kgm}^2 \text{ et } GD^2 = 800\ \mathrm{kg}^*\mathrm{m}^2.$$

b) Calcul de circuits magnétiques. Pour le calcul des circuits magnétiques de machines et transformateurs électriques, l'application du système Giorgi conduit généralement à des mesures commodes. Les inductions usuelles sont

dans l'entrefer B = 0,5 ... 1 Wb/m²,
dans le fer B = 1 ... 3 Wb/m².

Sur les dessins et les schémas de bobinage de machines électriques, les mesures sont toujours indiquées en mm. La conversion en mètres et le calcul des sections, inductions magnétiques et flux, conduisent, avec le système Giorgi, à des mesures plus commodes qu'avec les systèmes C. G. S. Pour le

Für die sehr häufig vorkommende Berechnung der magnetischen Spannung U_m in einem Luftspalt werden wir mit Vorteil die im Beispiel *b* von *4-3* abgeleitete Masszahlen-Gleichung benützen:

$$U_m \approx 800\ B\ \delta$$

(B in Wb/m², δ in mm, U_m in A)

Die magnetischen Spannungen der Eisenwege rechnet man nach der Masszahlen-Gleichung

$$U_m = H\ l$$

(H in A/mm, l in mm, U_m in A)

Man entnimmt l direkt der Zeichnung in mm und H aus der Magnetisierungskurve in A/mm. Die bisher verwendeten Magnetisierungskurven müssen nicht umgezeichnet werden, es genügt, die Bezifferung durch Verschieben des Kommas entsprechend zu ändern.

c) Ein *Drehstromturbogenerator* mit der Scheinleistung 40 000 kVA, der Drehzahl 3000 U./m, der Spannung eines Wicklungsstranges $\frac{10\,500}{\sqrt{3}} =$ 6060 V und der Frequenz 50 Hz[20]) wird vereinfacht nachgerechnet. Die Abmessungen der Maschine sind: Bohrung $d = 1000$ mm. Eisenbreite $l = 3000$ mm, Luftspalt $\delta = 35$ mm. Für sinusförmige Feldverteilung und die angenommene Luftinduktion $B = 0{,}7$ Wb/m² ist der magnetische Fluss

$$\Phi = \frac{B\,l\,d}{p} = \frac{0{,}7 \cdot 3 \cdot 1}{1}\ \mathrm{Wb} = 2{,}1\ \mathrm{Wb}.$$

Für die Windungszahl pro Wicklungsstrang $N = 14$, den Wicklungsfaktor $k_w = 0{,}92$ ist die induzierte Spannung

$$U_i = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \cdot \Phi \cdot N \cdot k_w = 222 \cdot 2{,}1 \cdot 14 \cdot 0{,}92\ \mathrm{V} = 6060\ \mathrm{V}.$$

Die magnetische Spannung im Luftspalt ist nach Gl. (27)

$$U_m = 800\,B \cdot \delta'\ \mathrm{A} = 800 \cdot 0{,}7 \cdot 38{,}5\ \mathrm{A} = 21\,800\ \mathrm{A},$$

wo $\delta' = \delta \cdot k_c$, k_c = Carterscher Faktor $= 1{,}1$.

d) Die Verwendung der Einheiten Maxwell und Gauss. Trotz der Vorteile des Giorgi-Systems für die Berechnung magnetischer Kreise wird man in der Praxis wahrscheinlich noch längere Zeit die altgewohnten CGSm-Einheiten Maxwell und Gauss benützen. (Gilbert und Oersted wurden im Elektromaschinenbau nicht verwendet.) Man kann sie als dezimal von den Giorgi-Einheiten abgeleitete Einheiten auffassen[21]):

1 Maxwell = 10^{8} Wb; 1 Gauss = 10^{-4} Wb/m².

Für die Berechnung der magnetischen Spannung im Luftspalt tritt dann z. B. an die Stelle der Masszahlen-Gleichung $U_m \approx 800\ B\ \delta$ (Beispiel *b* von *4-3*) die längst bekannte Masszahlen-Gleichung

$$U_m \approx 0{,}8\ B\ \delta$$

(B in Gauss, δ in mm, U_m in A).

[20]) *Liwschitz, M.:* Die elektrischen Maschinen, Leipzig und Berlin 1934, Bd. III, S. 270.

[21]) Die ursprünglich dreidimensionalen CGSm-Einheiten werden dadurch vierdimensional, ähnlich wie alle praktischen elektrotechnischen Einheiten (siehe Fussnote 15).

calcul très fréquent de la différence de potentiel magnétique U_m dans un entrefer, on appliquera avantageusement l'équation aux mesures indiquées au chapitre 4-3:

$$U_m \approx 800\ B\ \delta$$

(B en Wb/m², δ en mm, U_m en A).

Les différences de potentiel magnétique dans le fer se calculent à l'aide de l'équation aux mesures

$$U_m = H\ l$$

(H en A/mm, l en mm, U_m en A).

La longueur l est tirée directement du dessin, en mm, et l'intensité H s'obtient d'après la courbe aimantation, en A/mm. Les courbes utilisées jusqu'ici n'ont pas besoin d'être modifiées, car il suffit de corriger les chiffres en déplaçant la virgule.

c) Un *turboalternateur triphasé* d'une puissance apparente de 40 000 kVA, d'une vitesse de 3000 t./m, d'une tension par groupe d'enroulement de $\frac{10\,500}{\sqrt{3}} = 6060$ V et d'une fréquence de 50 Hz [19]) sera recalculé d'une manière simple. Les dimensions de cette machine sont: diamètre intérieure du stator $d = 1000$ mm, largeur du fer $l = 3000$ mm, entrefer $\delta = 35$ mm. Si la répartition du champ est sinusoïdale et l'induction dans l'air $B = 0{,}7$ Wb/m², le flux magnétique est

$$\Phi = \frac{B\,l\,d}{p} = \frac{0{,}7 \cdot 3 \cdot 1}{1}\ \mathrm{Wb} = 2{,}1\ \mathrm{Wb}.$$

Pour un nombre de spires $N = 14$ par groupe d'enroulement et un facteur de bobinage $k_w = 0{,}92$, la tension induite est

$$U_i = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \cdot \Phi \cdot N \cdot k_w = 222 \cdot 2{,}1 \cdot 14 \cdot 0{,}92\ \mathrm{V} = 6060\ \mathrm{V}.$$

La différence de potentiel magnétique dans l'entrefer est, selon l'équation (27):

$$U_m = 800\,B \cdot \delta'\ \mathrm{A} = 800 \cdot 0{,}7 \cdot 38{,}5\ \mathrm{A} = 21\,800\ \mathrm{A},$$

où $\delta' = \delta \cdot k_c$, k_c = facteur de Carter $= 1{,}1$.

d) Utilisation des unités maxwell et gauss. Malgré les avantages que présente le système Giorgi pour le calcul des circuits magnétiques, il est probable que les praticiens utiliseront longtemps encore les unités E. M. C. G. S. maxwell et gauss. (Le gilbert et l'oersted n'ont jamais été utilisés dans le domaine de la construction des machines électriques.) On peut les considérer comme des unités décimales dérivées des unités Giorgi[20]):

1 maxwell = 10^{-8} Wb; 1 gauss = 10^{-4} Wb/m².

Pour le calcul de la différence de potentiel magnétique dans l'entrefer, l'équation aux mesures $U_m \approx 800\ B\ \delta$ (exemple *b* du chapitre 4-3) sera, par exemple, remplacée par l'équation bien connue

$$U_m \approx 0{,}8\ B\ \delta$$

(B en gauss, δ en mm, U_m en A).

[19]) *Liwschitz, M.:* Die elektrischen Maschinen, Leipzig und Berlin, 1934, Bd. III, p. 270.

[20]) Les unités E. M. C. G. S. tridimensionnelles deviennent, de ce fait quadridimensionnelles, comme toutes les unités électriques pratiques (voir note 14).

Bei der Berechnung von Induktivitäten, magnetischen Kräften, Massenkräften und von Pendelungen elektrischer Maschinen ist es vorteilhaft, immer auf das Giorgi-System überzugehen.

5. Die gegenwärtige Verwendung des Giorgi-Systems

Es ist zu erwarten, dass das Giorgi-System im Sinne des Beschlusses des CEI vom Jahr 1935 in den nächsten Jahren von den *elektrotechnischen Verbänden* verschiedener Länder ähnlich wie vom «Schweizerischen Elektrotechnischen Komitee» (bzw. vom SEV) angenommen und empfohlen wird. So hat sich z. B. bereits «The Institute of Radio Engineers» in den USA zugunsten des rationalisierten Giorgi-Systems entschieden [49] [22]).

Die «Union de physique pure et appliquée» hat an der Generalversammlung in Amsterdam im Juli 1948 einmütig beschlossen, dem «Comité international des poids et mesures» für internationale Beziehungen das Giorgi-System zu empfehlen. Über die Rationalisierung wurde allerdings nichts vereinbart und den Pysikern frei gelassen, weiter das CGS-System zu benützen.

In den *Lehrbüchern* der letzten Jahrzehnte kann man bezüglich der elektrischen und magnetischen Maßsysteme folgende Kategorien unterscheiden:

1. Werke, die an den klassischen CGS-Maßsystemen der Elektrizitätslehre festhalten, z. B. [1] bis [6] [22]).

2. Die meisten deutschen elektrotechnischen und physikalischen Lehrbücher der letzten Jahrzehnte, so z. B. [10] bis [19], verwenden rationale Grössengleichungen und das Miesche Maßsystem[23]), daneben aber auch die Einheiten Maxwell, Gauss und Kilogramm-Kraft. Diese Kategorie der deutschen Lehrbücher hat den Boden für das rationale Giorgi-System vorbereitet. Das Miesche System hat jedoch eine ungeeignete Einheit der Masse (10 000 kg) und der Induktion ($10\,000 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 10^8$ Gauss), und es ist zu hoffen, dass es bald dem international angenommenen Giorgi-System Platz macht.

3. In der letzten Zeit sind bereits Lehrbücher erschienen, die ausschliesslich das Giorgi-System verwenden, z. B. [20] bis [23]. Andere Lehrbücher der letzten Jahre verwenden das Giorgi-System wenigstens neben anderen Maßsystemen oder erläutern es ausführlich, z. B. [30] bis [35].

In [40] bis [49] sind einige allgemeine Veröffentlichungen über das Giorgi-Maßsystem zusammengestellt, in denen meistens weitere bibliographische Angaben zu finden sind.

[22]) s. Literaturverzeichnis am Ende.

[23]) s. *2-2* weiter vorne, und Fussnote 7.

Pour le calcul d'inductances, de forces magnétiques, de forces massiques et du pompage de machines électriques, il est toujours plus avantageux d'appliquer le système Giorgi.

5. L'utilisation actuelle du système Giorgi

Il est probable que, conformément à la décision de la CEI de 1935, le système d'unités de mesure Giorgi sera admis et recommandé par les *associations électrotechniques* des différents pays, comme cela est le cas pour le «Comité Electrotechnique Suisse» et l'«Association Suisse des Electriciens». C'est ainsi que l'«Institute of Radio Engineers» aux Etats-Unis s'est prononcé en faveur du système Giorgi rationalisé [49] [21]).

L'«Union de Physique pure et appliquée» a décidé à l'unanimité, lors de son assemblée générale d'Amsterdam, en juillet 1948, de recommander au «Comité International des Poids et Mesures» d'appliquer le système Giorgi dans ses relations internationales. Il n'a toutefois pas été pris de décision quant à la rationalisation et les physiciens ont la faculté de continuer à utiliser les systèmes C. G. S.

Dans les *manuels d'enseignement* de ces dernières décennies, on distingue les catégories suivantes:

1° Ouvrages qui s'en tiennent aux systèmes C. G. S. classiques de l'électricité, par exemple [1] à [6][21]).

La plupart des manuels d'électrotechnique et de physique allemands, par exemple [10] à [19], utilisent des équations aux grandeurs rationalisées et le système Mie[22]), mais également le maxwell, le gauss et le kilogramme-force. Cette catégorie de manuels a préparé le terrain pour le système Giorgi rationalisé. Le système Mie possède toutefois une unité de masse (10 000 kg) et une unité d'induction ($10\,000 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 10^8$ gauss) peu appropriées. Il faut donc espérer qu'il sera bientôt remplacé par le système Giorgi, internationalement adopté.

3° Certains manuels récents utilisent uniquement le système Giorgi, par exemple [20] à [23]. D'autres manuels, de ces dernières années, utilisent le système Giorgi à côté d'autres systèmes, ou l'expliquent d'une manière détaillée, [30] à [35].

Les rubriques [40] à [49] se rapportent à quelques-unes des publications relatives au système d'unités de mesure Giorgi; celles-ci renferment également d'autres indications bibliographiques.

[21]) Voir la bibliographie à la fin du présent rapport.

[22]) Voir chapitre 2-2 et note 6.

Bibliographie *)

Lehrbücher, welche die klassischen CGS-Maßsysteme verwenden

Manuels d'enseignement, qui utilisent les systèmes C. G. S. classiques

[1] *W. Michael:* Theorie der Wechselstrommaschinen, Leipzig und Berlin, 1937.
[2] *J. Hak:* Eisenlose Drosselspulen, Leipzig, 1938.
[3] *F. Rutgers:* Vereinfachte theoretische Grundlagen der angewandten Elektrotechnik, Zürich, 1939.
[4] *F. Kohlrausch:* Praktische Physik, Bd. 1 und 2, Leipzig und Berlin, 1943.
[5] *G. Bruhat:* Electricité, Paris, 1947.
[6] *Ch. A. Coulson:* Electricity, Edinburgh, 1948.

Lehrbücher (und Normen), welche rationale Grössengleichungen und das Mie'sche Maßsystem verwenden

Manuels d'enseignement et Normes, qui utilisent les équations de grandeurs rationalisées et le système Mie

[10] *DIN 1313:* Schreibweise physikalischer Gleichungen, Nov. 1931.
[11] *R. Richter:* Elektrische Maschinen, Bd. I—IV, Berlin, 1924—1936.
[12] *A. Thomälen:* Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik, Berlin, 1929.
[13] *A. Fraenckel:* Theorie der Wechselströme, Berlin, 1930.
[14] *M. Landolt:* Komplexe Zahlen und Zeiger in der Wechselstromlehre, Berlin, 1936.
[15] *R. Tomaschek:* Grimsehls Lehrbuch der Physik, Bd. II, Leipzig und Berlin, 1943.
[16] *J. Wallot:* Einführung in die Theorie der Schwachstromtechnik, Berlin, 1943.
[17] *K. Küpfmüller:* Einführung in die theoretische Elektrotechnik, Berlin, 1941.
[18] *T. Bödefeld—H. Sequenz:* Elektrische Maschinen, Wien, 1945.
[19] *E. Dünner:* Einführung in die Elektrotechnik, Zürich, 1947.

Lehrbücher, welche bereits ausschliesslich das Giorgi-System verwenden

Manuels d'enseignement, qui utilisent déjà exclusivement le système Giorgi

[20] *R. W. Pohl:* Einführung in die Elektrizitätslehre, Berlin, 1941.
[21] *J. A. Stratton:* Electromagnetic Theory, New York and London, 1941.
[22] *G. M. Pestarini:* Elettromecanica, vol. 1, Roma, 1946.
[23] *C. Rimini:* Elementi di elettrotecnica generale, Bologna, 1948.

*) Es werden jeweils nur Beispiele aus den letzten Jahrzehnten, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, angeführt.

Lehrbücher (und Normen), welche das Giorgi-System neben anderen Maßsystemen verwenden oder ausführlich erläutern

Manuels d'enseignement et Normes, qui utilisent également le système Giorgi à côté d'autres systèmes ou l'expliquent d'une manière détaillée

[30] *G. Joos:* Lehrbuch der theoretischen Physik, Leipzig, 1942.
[31] *G. Oberdorfer:* Lehrbuch der Elektrotechnik, Bd. I, München und Berlin, 1944.
[32] *Massachusets Institute of Technology:* Electric Circuits, New York and London, 1946.
[33] *T. F. Wall:* Principles of Electrical Engineering, London, 1947.
[34] *M. D. Papin, J. Vallot:* Métrologie générale, Paris, 1946.
[35] *DIN 1939:* Magnetische Einheiten, Juli 1946.

Spezielle Veröffentlichungen über das Giorgi-System enthalten) meistens weitere bibliographische Angaben)

Publications concernant spécialement le système Giorgi (renferment généralement encore d'autres références bibliographiques)

[40] *G. Giorgi:* Mémorandum sur le système M. K. S. d'unités pratiques, Commission Electrotechnique Internationale, Londres, 1934.
[41] *A. K. Kennelly:* IEC Adopts MKS System of Units, Electr. Engng., 1935, p. 1373.
[42] *A. K. Kennelly — E. Brylinsky:* Adoption par la CEI du système Giorgi d'unités MKS, Bull. Soc. franç. Electr". 1936, p. 47.
[43] *A. K. Kennelly — M. Landolt:* Die Annahme des Giorgischen Maßsystems durch die CEI, Bull. ASE 1947, p. 17.
[44] *G. Giorgi:* La métrologie électrique nouvelle et la construction du système électrotechnique absolu M. K. S., Rev. gén. Electr. t. 42 (1937), p. 99.
[45] *E. Bodea:* Giorgis rationales MKS-Maßsystem mit Dimensionskohärenz für Mechanik, Elektromagnetik, Thermik und Atomistik, Basel, 1949.
[46] *M. P. Grivet:* Le système d'unités Giorgi dans ses rapports avec la tradition, la pratique et l'enseignement. Bull. Soc. franç. Electr". 1947, p. 594.
[47] *W. de Groot:* Die Entstehungsgeschichte des Giorgi-Systems der elektrischen Einheiten. Philips Techn. Rundschau 1948, S. 54.
W. de Groot: La genèse du système d'unités électriques dit de Giorgi, Rev. techn. Philips 1948, p. 55.
[48] *E. Cornelius:* Das rationalisierte Giorgi-System mit absoluten Volt und Ampère in der Elektrotechnik. Philips Techn. Rundschau 1948, S. 79.
E. Cornelius: Le système rationalisé de Giorgi à volt et ampère absolus en électrotechnique. Rev. techn. Philips 1948, p. 79.
[49] *S. A. Shelkunoff:* «The End Is in Sight.» (Recommandation du système Giorgi rationalisé par l'IRE, c'est-à-dire The Institute of Radio Engineers, U. S. A.) Proc. IRE 1948, p. 827.

*) Cette bibliographie n'indique, à titre d'exemple, que quelques-uns des ouvrages publiés ces dernières décennies. Elle n'a pas la prétention d'être complète.