Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 40 (1949)

Heft: 15

Artikel: Zur Einführung des Giorgi-Systems

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

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060671

Zur Einführung des Giorgi-Systems

Bericht des Fachkollegiums 24 des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees (CES)
Bearbeiter: *H. König, M. Krondl* und *M. Landolt*

621.317.081

Die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) hat im Jahr 1935 nach dem Vorschlag von Giorgi ein auf dem Meter, des 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.

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.

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 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 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 Übergang zum Giorgi-System gleichzeitig zur sogenannten ratio-

[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.

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

nalen Schreibweise der Gleichungen des elektromagnetischen Feldes überzugehen. Das CES hat in 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 ursprüglichen Form nur drei Grundeinheiten kennen.

Giorgi hat gleichzeitig mit seinem Maßsystem auch die Rationalisierung der Formeln des elektromagnetischen Felds 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 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

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

miteinander verbunden. Für das Erg gilt:

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

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

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

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

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

Kürzt man, so bleibt

$$10^{\mu}\cdot 10^{2\lambda} = 10^7 \tag{7}$$

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

$$\mu + 2\,\lambda = 7. \tag{8}$$

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

[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.

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:

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

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

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

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

$$1\ \text{kg}^* = 9{,}81\ \text{N} \qquad (11)$$

$$1\ \text{N} = 0{,}102\ \text{kg}^*. \qquad (12)$$

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 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 86400ste 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 10^7-fache 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.

Die bekanntesten Quadrupel von Grundeinheiten

Tabelle II

Quadrupel	1. Grundeinheit	2. Grundeinheit	3. Grundeinheit	4. Grundeinheit
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

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

[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 zu Grunde 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.

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

[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.

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

$$C = \frac{\varepsilon A}{4\pi\delta}. \tag{13}$$

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,

$$w = \frac{E\,D}{2\cdot 4\pi} + \frac{B\,H}{2\cdot 4\pi}. \tag{14}$$

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:

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 Änderungen 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 Buchstaben-Symbole auseinander zu halten. Giorgi hat dies ursprünglich vorgeschlagen [1]), sein Rat wurde aber nicht befolgt.

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

[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.

[14]) Die Frage der Rationalisierung ist eine Frage der Gleichungsformen, aber die Darstellung des Überganges 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.

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	$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}$	$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0' \mu_0'}$

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:

$$\text{CGS-Masszahl} = k \cdot \text{Giorgi-Masszahl} \tag{18}$$

$$\text{technische Masszahl} = k_t \cdot \text{Giorgi-Masszahl} \tag{19}$$

$$\text{technische Masszahl} = \frac{k_t}{k} \cdot \text{CGS-Masszahl} \tag{20}$$

(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:

$$\text{CGS-Einheit} = \frac{1}{k} \cdot \text{Giorgi-Einheit} \tag{21}$$

$$\text{technische-Einheit} = \frac{1}{k_t} \cdot \text{Giorgi-Einheit} \tag{22}$$

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

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 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:

$$\text{CGSm-Masszahl} = k_m \cdot \text{Giorgi-Masszahl} \tag{24}$$

$$\text{CGSs-Masszahl} = k_s \cdot \text{Giorgi-Masszahl} \tag{25}$$

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

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 wurden 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.

Giorgi-Einheiten der Mechanik [1])

Tabelle V

Nr.	Grösse: Name	Grösse: Symbol	Giorgi-Einheit: Name	Giorgi-Einheit: Symbol	CGS-Einheit: Symbol	Technische Einheit: Symbol	Umrechnungsfaktoren: k	Umrechnungsfaktoren: k_t	Bemerkung
1	Länge *longueur*	l	Meter	**m**	cm	m	10^2	1	
2	Fläche *surface*	A	—	**m²**	cm²	m²	10^4	1	
3	geometrisches Trägheitsmoment *moment d'inertie géométrique*	J	—	**m⁴**	cm⁴	m⁴	10^8	1	
4	Widerstandsmoment *moment résistant*	W	—	**m³**	cm³	m³	10^6	1	
5	Volumen *volume*	V	—	**m³**	cm³	m³	10^6	1	
6	Masse *masse*	m	Kilogramm	**kg**	g	$\frac{\text{kg* s}^2}{\text{m}}$	10^3	$\frac{1}{9{,}81}$	
7	Dichte, spezif. Masse *masse spécifique*	ϱ	—	$\frac{\textbf{kg}}{\textbf{m}^3}$	$\text{cm}^{-3}\,\text{g}$	$\frac{\text{kg* s}^2}{\text{m}^4}$	10^{-3}	$\frac{1}{9{,}81}$	
8	Massenträgheitsmoment *moment d'inertie (dynamique)*	J	—	**m² kg**	cm² g	m kg* s²	10^7	$\frac{1}{9{,}81}$	Schwungmoment: technische Masszahl von $G\,D^2$ = 4 · Giorgi-Masszahl von J
9	Zeit *temps*	t	Sekunde	**s**	s	s	1	1	
10	Geschwindigkeit *vitesse*	v	—	$\frac{\textbf{m}}{\textbf{s}}$	cm s^{-1}	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	10^2	1	
11	Drehzahl *fréquence de rotation*	n	—	$\frac{\textbf{1}}{\textbf{s}}$	s^{-1}	$\frac{1}{\text{s}}$	1	1	$\frac{1}{\text{s}} = 1\,\frac{\text{U.}}{\text{s}} = 60\,\frac{\text{U.}}{\text{m}}$
12	Frequenz *fréquence*	f	Hertz	**Hz**	s^{-1}	$\frac{1}{\text{s}}$	1	1	1 Hz = 1/s
13	Kreisfrequenz *pulsation*	ω	—	$\frac{\textbf{1}}{\textbf{s}}$	s^{-1}	$\frac{1}{\text{s}}$	1	1	
14	Kraft *force*	F	Newton	**N**	cm g s^{-2} dyn	kg*	10^5	$\frac{1}{9{,}81}$	$1\text{ N} = 1\,\frac{\text{mkg}}{\text{s}^2}$
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	—	$\frac{\textbf{N}}{\textbf{m}^3}$	$\text{cm}^{-2}\,\text{g s}^{-2}$	$\frac{\text{kg*}}{\text{m}^3}$	1	$\frac{1}{9{,}81}$	
17	Druck *pression*	p	—	$\frac{\textbf{N}}{\textbf{m}^2}$	$\text{cm}^{-1}\,\text{g s}^{-2}$	$\frac{\text{kg*}}{\text{m}^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	$1\,\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1{,}02\cdot 10^{-5}\,\frac{\text{kg*}}{\text{cm}^2}$
18	Zug- oder Druckspannung *tension (ou contrainte) de traction ou de compression*	σ	—	$\frac{\textbf{N}}{\textbf{m}^2}$	$\text{cm}^{-1}\,\text{g s}^{-2}$	$\frac{\text{kg*}}{\text{m}^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	
19	Schub- oder Torsionsspannung *tension (ou contrainte) de cisaillement ou de torsion*	τ	—	$\frac{\textbf{N}}{\textbf{m}^2}$	$\text{cm}^{-1}\,\text{g s}^{-2}$	$\frac{\text{kg*}}{\text{m}^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	

[1]) CGS-Masszahl = k · Giorgi-Masszahl

technische Masszahl = k_t · Giorgi-Masszahl

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

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

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

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

Giorgi-Einheiten der Mechanik [1]) Fortsetzung zu Tabelle V

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

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

$$\oint \{H_m\}\,\{ds_m\} = 4\,\pi\,N\,\{I_m\}\ ^{17})$$

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

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

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

Setzt man ein, so erhält man

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

oder

$$\oint \{H\}\,\{ds\} = N\,\{I\}$$

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

$$\oint H ds = NI.$$

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

Giorgi-Einheiten der Grössen der Elektrizitätslehre [1]

Tabelle VI

Nr.	Grösse: Name	Grösse: Symbol	Giorgi-Einheit: Name	Giorgi-Einheit: Symbol	Giorgi-Einheit: Aus m,s,V,A, zusammengesetztes Symbol	Elektromagn. CGS-Einheit: Symbol	Elektrostatische CGS-Einheit: Symbol	Umrechnungsfaktoren: k_m	Umrechnungsfaktoren: 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	—	$\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{m^2}}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$4\pi \cdot 10^{-5}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^{5}$
4	Flächendichte der (elektr.) Ladung *densité électrique superficielle*	σ	—	$\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{m^2}}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	10^{-5}	$3 \cdot 10^{5}$
5	räumliche Dichte der elektr. Ladung *densité électrique volumique*	ϱ	—	$\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{m^3}}$	$\frac{As}{m^3}$	$cm^{-\frac{5}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	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	—	$\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{m^2}}$	$\frac{A}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	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	—	$\frac{\mathbf{V}}{\mathbf{m}}$	$\frac{V}{m}$	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	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	—	$\mathbf{\Omega m}$	$\frac{Vm}{A}$	$cm^{2}\ s^{-1}$	s	10^{11}	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-9}$
14	Leitwert *conductance*	G	—	$\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{\Omega}}$	$\frac{A}{V}$	$cm^{-1}\ s$	$cm\ s^{-1}$	10^{-9}	$3^2 \cdot 10^{11}$
15	Leitfähigkeit *conductivité*	γ	—	$\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{\Omega m}}$	$\frac{A}{Vm}$	$cm^{-2}\ s$	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	—	$\frac{\mathbf{F}}{\mathbf{m}}$	$\frac{As}{Vm}$	$cm^{-2}\ s^{2}$	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
19	dielektrische Polarisation *polarisation diélectrique*	P	—	$\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{m^2}}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	10^{-5}	$3 \cdot 10^{5}$
20	piezoelektrischer Modul *module piézo-électrique*	d	—	$\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{m^2}}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$4\pi \cdot 10^{-5}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^{5}$

[1]) CGSm-Masszahl $= k_m \cdot$ Giorgi-Masszahl

CGSs-Masszahl $= k_s \cdot$ Giorgi-Masszahl

CGSs-Masszahl $= \frac{k_s}{k_m} \cdot$ CGS_m-Masszahl

Giorgi-Einheiten der Grössen der Elektrizitätslehre [1])

Fortsetzung zu Tabelle VI

Nr.	Grösse		Giorgi-Einheit			Elektromagn. CGS-Einheit	Elektrostatische CGS-Einheit	Umrechnungsfaktoren	
	Name	Symbol	Name	Symbol	Aus m,s,V,A, zusammengesetztes Symbol	Symbol	Symbol	k_m	k_s
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	—	$\mathbf{\frac{Wb}{m^2}}$	$\frac{Vs}{m^2}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ 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	—	$\mathbf{\frac{A}{m}}$	$\frac{A}{m}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ 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	—	$\mathbf{\frac{H}{m}}$	$\frac{Vs}{Am}$	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	—	$\mathbf{\frac{Wb}{m^2}}$	$\frac{Vs}{m^2}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$\frac{1}{4\pi} \cdot 10^4$	$\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$
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	—	$\mathbf{\frac{1}{H}}$	$\frac{A}{Vs}$	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	—	$\mathbf{\frac{1}{\Omega}}$	$\frac{A}{V}$	$cm^{-1} s$	$cm\ s^{-1}$	10^{-9}	$3^2 \cdot 10^{11}$
39	Suszeptanz, Blindleitwert *susceptance*	B	—	$\mathbf{\frac{1}{\Omega}}$	$\frac{A}{V}$	$cm^{-1} s$	$cm\ s^{-1}$	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

Giorgi-Einheiten der Grössen der Elektrizitätslehre [1]) Fortsetzung zu Tabelle VI

Nr.	Grösse		Giorgi-Einheit			Elektromagn. CGS-Einheit	Elektrostatische CGS-Einheit	Umrechnungsfaktoren	
	Name	Symbol	Name	Symbol	Aus m,s,V,A, zusammengesetztes Symbol	Symbol	Symbol	k_m	k_s
43	Wirkenergie *énergie active*	W	Joule	J	VAs	cm² g s⁻²	cm² g s⁻²	10⁷	10⁷
44	Blindenergie *énergie réactive*	W_q	—	Var·s	VAs	cm² g s⁻²	cm² g s⁻²	10⁷	10⁷
45	Scheinenergie *énergie apparente*	W_s	—	VAs	VAs	cm² g s⁻²	cm² g s⁻²	10⁷	10⁷

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

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

Für einen Papier-Kondensator sei $A = 10\ \mathrm{m}^2$; $\varepsilon_r = 4$; $\delta = 0{,}1\ \mathrm{mm} = 10^{-4}\ \mathrm{m}$. 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 $F = 400\ \mathrm{N} = 40{,}8$ 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.

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

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

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

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

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

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

es wird also

$$M = \frac{100}{10}\cdot 200\ \text{Nm} = 2000\ \text{Nm}$$

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

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

Die *kinetische Energie* ist

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

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

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

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. 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

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

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

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

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

$U_m = 800\ B \cdot \delta'\text{A} = 800 \cdot 0{,}7 \cdot 38{,}5\ \text{A} = 21\,800\ \text{A}$,
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]):

$$1\ \text{Maxwell} = 10^{-8}\ \text{Wb};\quad 1\ \text{Gauss} = 10^{-4}\ \text{Wb/m}^2.$$

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)

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 zu Gunsten 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 Physikern 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.

Literaturverzeichnis zu 5 [24])

Lehrbücher, welche die klassischen CGS-Maßsysteme verwenden

[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 Miesche Maßsystem verwenden

[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.

[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).
[22]) s. Literaturverzeichnis am Ende.
[23]) s. 2-2 weiter vorne, und Fussnote 7.
[24]) Es werden jeweils nur Beispiele aus den letzten Jahrzehnten, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, angeführt.

[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

[20] *R. W. Pohl:* Einführung in die Elektrizitätslehre, Berlin, 1941.

[21] *J. A. Stratton:* Electromagnetic Theory, New York und London, 1941.

[22] *G. M. Pestarini:* Elettromecanica, Vol. 1, Roma, 1946.

[23] *C. Rimini:* Elementi die elettrotecnica generale, Bologna, 1948.

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

[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 1339:* Magnetische Einheiten, Juli 1946.

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

[40] *G. Giorgi:* Mémorandum sur le système M.K.S. d'unités pratiqués, Commission Electrotechnique Internationale, London 1934.

[41] *A. K. Kennelly:* IEC Adopts MKS System of Units, Electr. Engng. 1935, S. 1373.

[42] *A. K. Kennelly—E. Brylinsky:* Adoption par la CEI du système Giorgi d'unités MKS, Bull. Soc. franç. Electr". 1936, S. 47.

[43] *A. K. Kennelly—M. Landolt:* Die Annahme des Giorgischen Maßsystems durch die CEI, Bull. SEV 1937, S. 17.

[44] *G. Giorgi:* La métrologie électrique nouvelle et la construction du système électrotechnique absolu M.K.S. Revue Gén. d'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, S. 594.

[47] *W. de Groot:* Die Entstehungsgeschichte des Giorgi-Systems der elektrischen Einheiten. Philips Techn. Rundschau 1948, S. 54.

[48] *E. Cornelius:* Das rationalisierte Giorgi-System mit absoluten Volt und Ampère in der Elektrotechnik, Philips Techn. Rundschau 1948, S. 79.

[49] *S. A. Shelkunoff:* «The End Is in Sight», (Empfehlung des rationalen Giorgi-Systems durch IRE, d. h. The Institute of Radio Engineers, USA), Proc. IRE 1948, p. 827.

Ergebnisse der Konferenzen von Kopenhagen und Mexiko

Vortrag, gehalten an der 8. Schweizerischen Tagung für elektrische Nachrichtentechnik am 24. Juni 1949 in Bern,

von *E. Metzler*, Bern

061.3 : 621.396 (489 + 72)

Damit die drahtlosen Dienste der Nationen unter sich und nebeneinander ungestört arbeiten können ist eine planvolle, internationale Regelung der Frequenzbenützung unerlässlich. Diesen Zwecken dient eine seit Kriegsende ununterbrochene Konferenztätigkeit im Rahmen der Union Internationale des Télécommunications. Im vorliegenden Referat orientiert der Chef der schweizerischen Delegationen an den internationalen Konferenzen von Kopenhagen (für die Neuordnung im europäischen Rundspruch) und Mexiko (für den internationalen Rundspruch auf kurzen Wellen) über die Ergebnisse dieser Tagungen. Die Bedeutung des an keine geographischen Grenzen gebundenen Radiorundspruchs als Hilfsmittel der nationalen und internationalen Politik hat die Lösung der gestellten Aufgaben bedeutend erschwert.

Seule une réglementation internationale de l'utilisation des fréquences, basée sur un plan systématique, peut permettre aux services radio des nations de remplir leur mission sans se gêner les uns les autres. Les conférences organisées par l'Union Internationale des Télécommunications et qui se succèdent sans interruption depuis la fin de la guerre poursuivent l'étude de cette question. Dans l'article ci-dessus, le chef des délégations suisses aux conférences internationales de Copenhague (pour la réorganisation de la radiodiffusion européenne) et de Mexico (pour la radiodiffusion internationale sur ondes courtes) commente les résultats de ces deux réunions. La portée de la radiodiffusion n'étant pas limitée par les frontières géographiques, l'importance de son rôle politique national et international a rendu très difficile la recherche d'une solution des problèmes posés.

Einleitung

Wenn die letzten Kriegsjahre einerseits den drahtlosen Diensten einen gewaltigen Auftrieb gaben und neue Anwendungsgebiete der Hertzschen Wellen entstehen liessen, so muss man sich anderseits nicht wundern, wenn gleichzeitig in der Benützung der Wellenbänder zum Teil chaotische Zustände überhand nahmen. Die straffe internationale Regelung und Zusammenarbeit ist aber gerade auf diesem Gebiet eine unbedingte Notwendigkeit.

So kam es, dass bereits 1947 in Atlantic City eine von fast allen Nationen der Erde beschickte Konferenz zusammentrat, um die Ordnung in den Wellenbändern durch eine neue Verteilung unter die 23 drahtlosen Dienste wieder herzustellen, bzw. vorzubereiten. Aus Zweckmässigkeitsgründen teilte man die Welt in drei Regionen ein (Fig. 1). Innerhalb der Region 1 bemerkt man besonders abgegrenzt die sogenannte «Zone européenne», die schon seit langem besteht und seinerzeit mit besonderer Rücksicht auf den wichtigen europäischen Rundspruch geschaffen wurde.

Das in Atlantic City bearbeitete Frequenzspektrum erstreckt sich von 10 kHz (30000 m) bis hinauf zu 30 000 MHz (0,01 m). Das ganze Frequenzband ist entsprechend den drei Weltregionen eingeteilt, und man unterscheidet zwischen regionaler und weltweiter Zuteilung, wobei einzelne regionale Bänder unter sich noch verschiedenen Diensten angehören können.

Zur rationelleren Ausnützung des Frequenzraumes wurde das bisherige System der Frequenznotifizierung beim Bureau der Union Internationale des Télécommunications (UIT) aufgegeben und der