

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
<b>Band:</b>	27 (1936)
<b>Heft:</b>	22
<b>Artikel:</b>	Ueber ein praktisches absolutes System, welches einen reibungslosen Uebergang von den bisherigen internationalen Einheiten zu den absoluten Einheiten gewährleistet
<b>Autor:</b>	König, Hans
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-1061522">https://doi.org/10.5169/seals-1061522</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

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

# SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

## REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

## VERLAG UND ADMINISTRATION:

A.-G. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zürich 4  
Stauffacherquai 36/40

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXVII. Jahrgang

Nº 22

Mittwoch, 28. Oktober 1936

## Ueber ein praktisches absolutes System, welches einen reibungslosen Uebergang von den bisherigen internationalen Einheiten zu den absoluten Einheiten gewährleistet.

Von Hans König, Bern.

(Mitteilung aus dem Eidg. Amt für Mass und Gewicht.)

621.317.081

Der Beschluss der Generalkonferenz für Mass und Gewicht, in absehbarer Zeit von den internationalen zu den absoluten Einheiten überzugehen, stösst in den Kreisen der Elektrotechniker auf begründeten Widerstand.

Der Grundgedanke des Uebergangs zu den absoluten Einheiten im Sinne einer Zugrundelegung von elementaren Natureigenschaften als Naturmassen ist theoretisch wohl begründbar; er kann und soll daher beibehalten werden. Hingegen muss der Grundsatz, dass die Einheiten reine Zehnerpotenzen der alten elektromagnetischen CGS-Einheiten (Permeabilität des leeren Raumes  $\mu_0 = 1$  gesetzt) sein sollen, fallen gelassen werden, weil er theoretisch keinen Gewinn bringt und zu praktischen Unzukämmlichkeiten führen würde.

Es wird gezeigt, dass z. B. die Definition

$$[\mu] = 1,000\,500 \cdot 10^7 \cdot \mu_0$$

für die vierte und im Sinne von Giorgi letzte frei wählbare Einheit allen theoretischen und praktischen Anforderungen genügt. Ferner wird gezeigt, dass z. B. die oft erörterte Frage, ob das Ohm als vierte Einheit geeigneter sei als das Ampère, irreführend und den Vereinheitlichungsbestrebungen direkt schädlich sein kann, wenn sie vom unrichtigen Standpunkt aus behandelt wird.

Gemäss den neuesten Absolutmessungen ist der Zusammenhang zwischen internationalen und absoluten Einheiten bis auf vier Dezimalen genau der folgende<sup>1)</sup> <sup>2)</sup>:

1 internationales Ampere	= 0,9999 absolute Ampere
1 » Coulomb	= 0,9999 » Coulomb
1 » Ohm	= 1,0005 » Ohm
1 » Volt	= 1,0004 » Volt
1 » Henry	= 1,0005 » Henry
1 » Farad	= 0,9995 » Farad
1 » Weber	= 1,0004 » Weber
1 » Watt	= 1,0003 » Watt

«International» bedeutet: Bezogen auf die Definition des Ohm und Ampere durch Quecksilbersäule und Silberäquivalent; «absolut» (im engeren Sinne

<sup>1)</sup> Procès-verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures, Session de 1935. Resolutionen: S. 74 ff.; sie sind wiedergegeben in der sub<sup>2)</sup> aufgeführten Mitteilung des Amtes für Mass und Gewicht.

<sup>2)</sup> Ueber die Frage betreffend die Einführung der absoluten elektrischen Einheiten, erschienen im Bull. SEV 1936, Nr. 21, S. 589.

La décision prise par la Conférence Générale des Poids et Mesures de substituer, dans un délai assez rapproché, les unités absolues aux unités internationales se heurte à certaines résistances motivées de la part des électrotechniciens.

Au point de vue théorique, l'idée de passer aux unités absolues en se basant sur les propriétés naturelles élémentaires servant de mesures naturelles est parfaitement fondée; elle peut et doit être maintenue. Par contre, il faudrait supprimer le principe selon lequel les unités doivent être des puissances décimales exactes des anciennes unités électromagnétiques CGS (perméabilité du vide  $\mu_0 = 1$ ), car il n'apporterait aucun avantage théorique et conduirait à des inconvénients d'ordre pratique.

L'auteur démontre que la définition

$$[\mu] = 1,000\,500 \cdot 10^7 \cdot \mu_0$$

pour la quatrième unité — qui est, selon Giorgi, la dernière qui peut être choisie à volonté — satisfait à toutes les exigences théoriques et pratiques. Il montre en outre que la question souvent débattue de savoir si l'ohm est mieux approprié que l'ampère comme quatrième unité peut être une source d'erreurs et mettre réellement en danger les tentatives d'unification, lorsqu'elle est mal interprétée.

des Wortes) bedeutet: Abgeleitet aus dem Maxwell'schen CGS-System (Voraussetzung über die Permeabilität des leeren Raumes:  $\mu_0 = 1$ ) mittels Faktoren, welche Zehnerpotenzen mit ganzzahligen Exponenten sind.

Das Bestreben der Generalkonferenz für Mass und Gewicht, auf 1. Januar 1940 zu den absoluten Einheiten überzugehen<sup>1)</sup> <sup>2)</sup>, auf der andern Seite der in den Reihen der Praktiker sich gegen die praktische Änderung des Ohmwertes richtende, immer stärker werdende Widerstand<sup>3)</sup> <sup>4)</sup>, haben nun eine äußerst kritische Situation geschaffen<sup>5)</sup>.

<sup>3)</sup> Procès-verbaux I. c. S. 331, 338, 344, 360.

<sup>4)</sup> Physikalische Zeitschrift Bd. 36, 819, 1935.

<sup>5)</sup> Wir zitieren wörtlich eine im Anschluss an einen Vortrag von Sommerfeld von Wallot gemachte Diskussionsbemerkung<sup>4)</sup>: «... Die Generalkonferenz für Mass und Gewicht hat 1933 nur das eine beschlossen, die internationalen Einheiten völlig abzuschaffen und die Einheiten Ampere, Volt, Watt usw. von einem noch zu bestimmenden Zeitpunkt ab nicht den dezimalen Vielfachen der elektromagnetischen

**Entweder:** Der Uebergang zum absoluten System vollzieht sich vollständig, indem alle neuen Präzisionswiderstände (die Selbstinduktionen und Kapazitäten spielen nur eine untergeordnete Rolle) in absoluten Ohm ( $= 10^9$  elektromagn. CGS-Einheiten) abgeglichen werden. Dann hat man auf Jahrzehnte hinaus verschiedene Widerstände nebeneinander — ein Zustand, den wir entgegen der beschwichtigenden Resolution 3<sup>1)</sup> <sup>2)</sup> des Comité International als äusserst unangenehm erachten.

**Oder:** Man vermeidet diesen Zustand, indem man die neuen Widerstände stillschweigend in bisherigen int. Ohm abgleicht. Dann entsteht eine Situation, die, wie wohl nicht näher ausgeführt zu werden braucht, viel schlimmer ist als die bisherige.

**Oder:** Die Abgleichung neuer Widerstände erfolgt offiziell derart, dass der Absolutwert den Nennwert um einen konventionell festzusetzenden Betrag (ca.  $1/2$  Promille) übersteigt. Dieses Vorgehen würde den Uebergang zu den absoluten Einheiten zu einer Formalität stempeln und keinen grossen Fortschritt gegenüber dem jetzigen Zustand darstellen.

Die letztgenannten beiden Möglichkeiten bedeuten eine schwere Gefährdung des Gedankens der internationalen Vereinheitlichung und damit auch der Autorität der Generalkonferenz.

Es dürfte aber möglich sein, einen Weg anzugeben, der gestattet, einerseits der Tendenz des Uebergangs zu den absoluten Einheiten Rechnung zu tragen und anderseits den Wechsel im Ohmwert um  $1/2$  Promille zu vermeiden — unseres Erachtens der einzige Weg, den Grundgedanken der bisherigen Beschlüsse der Generalkonferenz mit den berechtigten Wünschen der Praktiker in Einklang zu bringen, und zwar würde derselbe darin bestehen, dass ein Giorgi-System mit vier Einheiten zugrunde gelegt wird, wobei als vierte Einheit eine Permeabilität gewählt wird:

$$\text{Vierte Einheit: } [\mu] = p\mu_0 \\ (\mu_0 = \text{Permeabilität des leeren Raumes})$$

wobei  $p$  beispielsweise konventionell  $= 1,000\,500 \cdot 10^7$  gesetzt wird. Dieses System betrachten wir als «absolut» im weitern Sinne des Wortes, so gut wie man das sog. MKS-System mit  $\mu_0 = 10^{-7}$  heutzutage ebenfalls allgemein als absolut im weitern Sinne des Wortes auffasst.

Natürlich ist eine Einigung auf eine solche Lösung nicht möglich, ohne dass von beiden Seiten gewisse Opfer gebracht werden, die aber zum grös-

sten Teil nur im Fallenlassen von Vorurteilen bestehen.

Einheiten zu nähern, sondern sie als solche dezimale Vielfache geradezu zu definieren. Dieser Entscheidung, die nach allem, was man hört, als eine endgültige anzusehen ist (die Generalkonferenz wird erst 1939 wieder zusammentreten), sind jahrelange Verhandlungen vorausgegangen; dabei ist von deutscher Seite immer wieder darauf hingewiesen worden, dass die Änderung unnötig sei, keinen irgendwie wesentlichen Vorteil, aber die erheblichen Nachteile mit sich bringe, auf die auch Herr Emde mit Recht aufmerksam macht. Leider sind alle Bemühungen umsonst gewesen, und es kann sich daher nach meiner Meinung für uns nur noch darum handeln, uns mit der vollendeten Tatsache, so gut es eben geht, abzufinden.»

Nach einigen einführenden Bemerkungen über die Punkte, in denen Praktiker und Theoretiker sich entgegenkommen sollten, sowie besonders über die Fragen, in denen Missverständnisse als Hindernisse auf dem Weg zur Abklärung entgegenzustehen scheinen, werden wir versuchen, den gemeinsamen guten Kern aller Bestrebungen herauszuschälen und zu zeigen, dass auch die Hinzunahme der Forderung, dass der Uebergang ohne störende Auswirkung sich vollziehen soll, kein ernsthaftes Hindernis bildet, indem es sich herausstellen wird, dass der angedeutete Ausweg durchaus nicht nur als unbefriedigende Kompromisslösung anzusehen ist.

So einfach das Problem der Schaffung eines einheitlichen Systems auch zu sein scheint, birgt es doch in sich eine Reihe von Schwierigkeiten, die in der verhältnismässig grossen Zahl von den verschiedensten Zwecken dienenden Möglichkeiten der Gruppierung der Einheiten begründet sind. Gerade diese Mannigfaltigkeit an Möglichkeiten ist eine gefährliche Quelle von Missverständnissen, und wenn wir uns im vorliegenden Memorandum vor gelegentlichen Wiederholungen nicht gescheut haben, so geschah es, um dieselben tunlichst auszuschalten.

Diejenigen, welche die Wahl des internationalen Mittelwertes der vermutlichen Werte als definitive Widerstandseinheit befürworten, pflegen festzustellen, dass sowohl beim Meter als auch beim Kilogramm die ursprüngliche Definition ohne Nachteil habe fallen gelassen werden können und dass dies auch für das Ohm zutreffen dürfte. Diese Auffassung ist durchaus abwegig. Alle heute in Frage kommenden sog. absoluten Systeme enthalten eine Annahme über die Permeabilität  $\mu_0$  des leeren Raumes.  $\mu_0$  ist zwar nur ein Spezialfall der allgemeinen Grösse  $\mu$ , aber er ist ein Spezialfall von so überragender Bedeutung, dass man füglich sagen kann: Die Natur bietet uns hier selbst ein Naturmass, das für das ganze elektromagnetische Naturgeschehen charakteristisch ist, denn wir kennen nur einen leeren Raum. Demgegenüber erscheinen die Länge des Erdmeridians und das spezifische Gewicht des Wassers ihres individuellen Charakters wegen als theoretisch uninteressant. Dass diese zwei Grössen nicht mehr die gesetzliche Grundlage bilden, verschmerzt jedermann leicht.

Wir haben damit die Grundfrage aufgeworfen: Welches ist eigentlich der Leitgedanke, der uns bei der Wahl der Einheiten [nicht der Normale (Etagons)!] führen soll? Doch sicher die Tendenz, das Veränderliche auf das Konstante zurückzuführen. Das bedeutet: Eine minimale Zahl von als grundlegend und einfach erkannten Natureigenschaften dimensionell als Ausgangspunkt zu wählen und ihnen größenmässig durch Festsetzung ebensovieler Zahlen Masscharakter zu erteilen.

Wie treu wir diesem Prinzip, Naturbeziehungen und Naturmasse als Grundlage zu wählen, sind, weil es den eigentlichen Kern unserer berechtigten

Vorliebe für die sog. absoluten Systeme ausmacht, geht aus folgendem hervor. Auch der extremste Praktiker hat keine Freude an einer Gleichung:  $1 \text{ el. Watt} = 1,0003 \text{ mech. Watt}$ . Wir sind alle einig, dass die Grundeigenschaft der Natur, elektromagnetische Energieformen aufzuweisen, darin zum Ausdruck kommen sollte, dass das elektrische Energiemass mit dem mechanischen identisch gesetzt wird. Es wird auch niemandem einfallen, in der bekannten Maxwellschen Beziehung

$$c = A / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$$

$c$  = Geschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen,  
 $\epsilon_0$  = Dielektrizitätskonstante des leeren Raumes,  
 $\mu_0$  = Permeabilität des leeren Raumes,  
 $A$  = Ein konstanter, vom Aufbau des Systems abhängiger Faktor,

den Zahlenwert der Grösse  $c$  und damit ein elektrisches Geschwindigkeitsmass zu definieren, welches mit dem mechanischen Geschwindigkeitsmass nicht identisch ist<sup>6)</sup>). Es ist uns eben ein Bedürfnis, die Tatsache, dass es elektromagnetische Grössen gibt, die wir mit mechanischen Grössen identifizieren dürfen, als Fundamenteigenschaften der Natur definiertsmässig zum Ausdruck bringen, indem wir die Ueberbrückungsfaktoren gleich 1 wählen. Hier wird also der Grundgedanke der Einreichung von Fundamentalbeziehungen in das Einheitensystem in reinster Form durchgeführt. Warum sollen wir nicht konsequenterweise auch in allen Fällen, wo es sich nicht wie im obigen Fall um die *Einsparung*, sondern um die eigentliche *Wahl* von Einheiten handelt, Naturmasse als Ausgangspunkte wählen? Wenn wir für den weiteren Aufbau des Systems verlangen, das System solle ein absolutes sein, so meinen wir in erster Linie damit, dass die Beschreibung der kinematischen Eigenschaften der Natur, die räumliche und zeitliche Ausdehnung, durch Wahl einer Einheitslänge und einer Einheitszeit, sowie diejenige der dynamischen Eigenschaften durch Wahl einer Masseneinheit in Angriff genommen werden solle. Nach Maxwell, bzw. Giorgi reicht neben der Annahme  $A = 1$  die Einbeziehung einer elektromagnetischen Eigenschaft in das Einheitensystem zu dessen Vervollständigung aus.

Nun dürfen wir einzig von der Sekunde zur Not sagen, dass ihr ein Naturmass zugrunde liege, wobei wir aber nicht vergessen dürfen, dass die Dauer des mittleren Sonnentages im Rahmen des Weltgeschehens sicher nur etwas Zufälliges ist. Das Bestreben, den Meter in Lichtwellenlängen auszudrücken, erfolgt nicht zuletzt aus der Erkenntnis heraus, dass das System Cadmiumatom-leerer Raum ein einfacheres System ist als ein Platiniridiumstab. Wir sind hier auf dem besten Wege, die durch das Normal (Etalon) definierte Einheit durch ein Naturmass zu verdrängen. Ein Naturmass als Ersatz

<sup>6)</sup> Es handelt sich hier wohlgemerkt nicht um die Frage, ob  $c$  gleich der Lichtgeschwindigkeit sei, bzw. ob Licht elektromagnetischer Natur sei, sondern um die Frage, ob man die Grösse  $A / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$  als einer mechanischen Geschwindigkeit vollkommen äquivalent ansehen wolle oder nicht.

für das Kilogramm kann zur Zeit nicht angegeben werden. Es ist wahr: Die sog. absoluten Systeme sind nicht sehr «absolut»; aber der Umstand, dass wir insbesondere beim Meter und beim Kilogramm den Naturmassgedanken noch nicht durchgeführt haben, ist kein Grund, bei der Wahl der vierten Einheit sich nicht grösste Mühe zu geben, dem bewährten Grundsatz nachzuleben.

Das Argument, dass z. B.  $\mu_0$  vom Standpunkte einer umfassenden physikalischen Theorie aus interstellar nicht als Konstante aufzufassen sei, ist kein Grund, den leeren Raum als definierendes Element durch ein unendlich viel problematischeres Gebilde, eine Sammlung von Manganindrähten, zu ersetzen.

Die in Kreisen der Praktiker leider weit verbreitete unausgesprochene Ansicht, beim Uebergang zu den sog. Einheiten das Naturmassprinzip in Anwendung bringen zu wollen, sei eine theoretische Marotte, die sich nur entwicklungsgeschichtlich begründen lasse, wird dem Wesen der Sache sicher nicht gerecht.

Wenn wir diese altbekannten Ueberlegungen hier aufgreifen, so geschieht dies in erster Linie, um zu zeigen, wie *ausserordentlich eng verwandt die von Giorgi verfochtene Idee eines einheitlichen Systems mit vier Einheiten mit dem von der Generalkonferenz beschlossenen Uebergang zu den absoluten Einheiten ist*. Es scheint dies nicht unnötig zu sein, da namhafte Physiker unsere Aufgabe darin sehen, eine elektromagnetische Eigenschaft, z. B.  $\mu_0$ , in einer vorher festgesetzten Einheit genau zu messen. Wenn man bisher das Problem, vom theoretischen Standpunkt aus beurteilt, auf den Kopf gestellt hat, indem man die Permeabilität des leeren Raumes in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Quecksilbers untersucht hat, so lässt sich dies damit rechtfertigen, dass die Absolutgenauigkeit der Widerstandsbestimmungen lange Zeit nicht für alle praktischen Zwecke ausgereicht hat, was aber schon heute und um so mehr noch im Jahre 1940 nicht mehr der Fall ist.

Wallot<sup>7)</sup> hat mit Recht darauf hingewiesen, dass viele Unklarheiten von der ungenügenden Unterscheidung zwischen den Aufgaben, die die Normale (Etalons) einerseits, die Einheiten anderseits zu erfüllen haben, herrühren. Vor allem möchten wir betonen, dass die vielvertretene Auffassung, dass die Einheit zweckmässig unmittelbar durch ein Hauptnormal dargestellt werden solle, dem Wesen des Begriffs der Einheit nicht gerecht wird und die Freiheit in der Wahl der Einheit unnötigerweise beeinträchtigt. Wir brauchen uns nur selbst zu beobachten: Alles was uns als Zufälligkeit erscheint (z. B. eine Längenausdehnung des Meters), suchen wir durch eine Korrektur zu beseitigen, mit andern Worten: Wir suchen hinter dem Etalon etwas Abstraktes, die Einheit, für welche wir strenge Beziehungen aufstellen und die wir als konstant ansehen möchten. Die Gegensätzlichkeit der Aufgaben

<sup>7)</sup> Procès-verbaux I. c. S. 352.

liegt damit offen zutage. Der Praktiker muss fordern, dass die Einheiten so gewählt werden, dass die daraus abgeleiteten Normalen allen (sinnvollen) Anforderungen der angewandten Präzisionsmess-technik genügen. Die Entscheidung jedoch, was «konstant» ist, und damit was zur Einheitenwahl herangezogen werden kann, ist Aufgabe des Theoretikers. Die Einheitenwahl vollzieht sich derart, dass dem Theoretiker nichts anderes übrigbleibt, als eine gewisse Eigenschaft vorläufig als konstant anzunehmen (eventuell unter Anbringung von Korrekturen). Die Einheitenwahl ist also in hohem Masse eine Angelegenheit der *Interpretation*. Eine Veränderung im System festzustellen, bedeutet das Feststellen der Änderung einer oder mehrerer Einheiten. Eine solche ist für die ganze Physik umwälzend und bedingt eine Revision der Theorie. Die ausschliesslich vom Praktiker auszuwählenden Normalen (Etalons) dagegen sind von vornherein als veränderlich anzusehen; ihre Änderungen bieten kein grundsätzliches Interesse.

Ein System, in dem lauter Naturmasse vorkommen würden, wie die Lichtgeschwindigkeit oder die Permeabilität des leeren Raumes, würde sicher den Theoretiker befriedigen, den Praktiker jedoch sicher zunächst nicht; dieser muss sich aber zufrieden geben, wenn man ihm mit genügender Genauigkeit hieraus abgeleitete Endmasse, Zeitzeichen und Spulen liefern kann. Natürlich wird man die Einheit nicht absichtlich von anderer Art wählen als die gebräuchlichen Etalons. Es ist daher ganz nahe liegend, das Ohm als vierde Einheit vorzuschlagen. Man wird aber eine Wesensverschiedenheit befürworten, wenn man damit besondere Klarheit in das System bringen kann, ein Fall, der unseres Erachtens gerade in bezug auf den Widerstand als Normal einerseits, die Permeabilität als vierde Einheit anderseits vorzuliegen scheint.

Bevor man jedoch näher auf die Wahl der vierten Einheit eintreten kann, muss man sich eingehend Rechenschaft geben über einen Punkt, der für die richtige Einstellung zur Idee des Absolutsystems sehr wesentlich ist, nämlich auf die Frage der Rolle des leeren Raumes als Normalmedium. Es hat lange Zeit gedauert, bis die Erkenntnis, dass die Permeabilität des leeren Raumes als eine physikalische Grösse anzusehen sei, Allgemeingut geworden ist. Es ist ein grosses Verdienst von Giorgi, die hinter der harmlosen Gleichung  $\mu_0 = 1$  verborgene vierte Einheit ans Licht gezogen zu haben. Die Unterdrückung der Dimension der Permeabilität in den Dimensionalausdrücken hat, streng genommen, zu Unkorrektheiten geführt. Auf den Normalspulen liest man die Aufschrift: «1 Henry», ohne Angabe über das Normalmedium, in dem die Spule verwendet werden muss, um wirklich 1 Henry darzustellen! Man hat eben vergessen, dass zur Verwirklichung einer Selbstinduktion nicht nur das geometrische Gebilde, sondern auch das elektromagnetisch wirksame Medium gehört. *Das Normalmedium bildet im absoluten System in jeder spezifisch elektrischen Grösse das konkrete elektrische Fundament.*

Es ist daher ausserordentlich bedauerlich, dass die CEI (Commission Electrotechnique Internationale) in Scheveningen (1935)<sup>8)</sup> ausgerechnet diese Grösse ihres «abstrakten» Charakters wegen von der engen Auswahl ausgeschlossen hat.

Der Umstand, dass in jeder spezifisch elektrischen Grösse die Bedeutung des Mediums direkt oder indirekt zum Ausdruck gebracht werden muss, hat zur Folge, dass die Entscheidung, ob die Permeabilität oder z. B. der Widerstand als (absolute) vierte Einheit gewählt werden sollen, für die Praxis ohne die geringsten Konsequenzen ist, weil in jeder absoluten Ohmbestimmung die Unsicherheit in der Verwirklichung der Permeabilitätseinheit direkt eingeht. Daher ist die Frage, ob einer «konkreten» ( $R$ ) oder einer «abstrakten» Grösse der Vorzug gegeben werden soll, ausschliesslich *theoretischer* Natur. Ihre Beantwortung wird sich ganz nach dem begrifflichen Ziel richten müssen, das man mit einer besondern Ueber- und Unterordnung der Einheiten erreichen will. Wir werden unten hierauf zurückkommen.

Die obigen Ueberlegungen sind an die Spitze unserer Betrachtungen gestellt worden, weil sie unabhängig sind von jeder Annahme über die den Einheiten zuzuordnenden Zahlenwerte. Nun soll diese Frage unter dem Gesichtswinkel der Vermeidung von praktischen Unzukömmlichkeiten beim Einheitenwechsel behandelt werden.

Wir haben versucht, zu zeigen, dass der Angel-punkt für den Zusammenschluss der Bestrebungen der Generalkonferenz für Mass und Gewicht und der CEI in der Einigung über die Permeabilität des leeren Raumes liegen muss<sup>9)</sup>). Setzt man für die Einheit der Permeabilität

$$[\mu] = p \mu_0^{10}) \\ p \text{ z. B.} = 1\,000\,500 \cdot 10^7$$

so ist die Gefahr der Ohmänderung behoben, da  
1 (definitives) Ohm =

$$[R] = [\mu] \cdot \frac{[m]}{[s]} = 1,000\,500 \cdot 10^7 \mu_0 [m^1 s^{-1}]$$

wird. Die Zahl 1,000 500 wählen wir hier, um möglichst deutlich ihren definitorischen Charakter zum Ausdruck zu bringen. Jede Zahl zwischen 1,000 450 und 1,000 500 ist dem wahrscheinlichen Wert des Verhältnisses zwischen absolutem und bisherigem int. Ohm nahe genug, um die Besorgnisse der Praktiker zu zerstreuen.

Bevor wir zu dieser Wahl theoretisch Stellung nehmen, sei kurz auf die praktische Auswirkung derselben eingegangen. Die Hinzunahme der allgemein als selbstverständlich erachteten Forderung

<sup>8)</sup> Ein Artikel über das Giorgi-System wird nächstens hier erscheinen.

<sup>9)</sup> Procès-verbaux I. c. S. 207, 352.

<sup>10)</sup> Allgemeiner:  $[\mu] = \frac{b}{4\pi} p \mu_0$ ,  
 $b = 4\pi$  in der nicht rationalen,  $b = 1$  in der rationalen (die Faktoren  $4\pi$  in den Feldgleichungen vermeidend) Darstellung [vgl. Kohlrausch 17. Auflage (1935), S. 9].

1 el. Watt = 1 mech. Watt = 1 [ $\text{m}^2 \text{kg}^1 \text{s}^{-3}$ ]  
hat zur Folge, dass

$$\begin{aligned} 1 (\text{definitives}) \text{ Volt} &= \\ 1,000\,250 \cdot 10^8 \text{ bisherige CGS-Einheiten}, \\ 1 (\text{definitives}) \text{ Amp.} &= \\ 0,999\,750 \cdot 10^{-1} \text{ bisherige CGS-Einheiten} \end{aligned}$$

beträgt. Die geringe Änderung gegenüber bisher hat, abgesehen von der Änderung der Aufschriften, auf den Westonelementen und Normalwiderständen keine praktischen Folgen. Der Tatsache, dass die Genauigkeit von Relativmessungen grösser ist als diejenige der Absolutmessungen, wird durch Unterscheidung zwischen interner und externer Genauigkeit Rechnung getragen. Dies sei am Beispiel der Widerstandsmessung näher erläutert:

Die Gebrauchsnormale der Industrie werden in den Staatslaboratorien in Ohm geeicht, unter Angabe einer von der Generalkonferenz festzusetzenden absoluten Unsicherheit, gegenwärtig  $\pm 2 \cdot 10^{-5}$  (extern). Die Hauptnormale der Staatslaboratorien werden in Sèvres verglichen, indem die Abweichung des vermutlichen auf 6 bis 7 Dezimalen genau anzugebenden Wertes vom internationalen Mittelwert aller (konkurrenzfähigen) vermutlichen Werte bestimmen und eine diesbezügliche Korrektur ihres vermutlichen Wertes vorgesehen wird<sup>11)</sup>. Der internationale Mittelwert bildet das zwischen den periodischen Absolutbestimmungen ausgleichende Element. Staatslaboratorien, welche Absolutmessungen ausführen können, teilen dem Zentrallaboratorium in Sèvres den Quotienten aus dem gefundenen Absolutwert und dem internationalen Mittelwert, unter Angabe der absoluten Messgenauigkeit (einige  $10^{-5}$ ) mit. Im Falle einer eindeutigen Abweichung des Mittelwertes der (konkurrenzfähigen) Quotienten von der Zahl 1 wird die Generalkonferenz anordnen, dass auf sämtlichen Prüfscheinen eine entsprechende Basisänderung (sprunghafte Änderung des internationalen Mittelwertes) zu vermerken sei.

Es ist wohl überflüssig, den experimentellen Aufbau für das Volt und das Ampere ebenso ausführlich zu erläutern.

Dass sowohl Theoretiker wie Praktiker sich auf den Standpunkt stellen, dass wenn irgend möglich die praktischen Einheiten des definitiven Systems unmittelbar gleich den absoluten abgeleiteten Einheiten dieses Systems sein sollen, mit andern Worten, dass wenn irgend möglich<sup>12)</sup> innerhalb des Einheitensystems (Grundeinheiten plus abgeleitete Einheiten; von den technischen Multiplen der verschiedenen Einheiten sprechen wir hier nicht) weder Zehnerpotenzen noch irgendwelche andere Faktoren auftreten sollen, ist vollständig in der Ordnung.

Ganz anders ist es jedoch in bezug auf den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Systemen. Wir möchten aufs schärfste Stellung nehmen gegen die Forderung, das definitive System müsse zahlen-

mässig mit dem bisherigen elektromagnetisch-praktischen System zusammenfallen, weil diese Forderung auf einer falschen Problemstellung beruht. So kühn diese Behauptung auch klingt — so einfach ist sie zu begründen:

Die Beziehung zum elektromagnetisch-praktischen System ist für den Praktiker von ganz untergeordneter Bedeutung, weil ja dasselbe zusammen mit dem bisherigen internationalen System aus der Praxis verdrängt und durch das definitive (zugleich praktische, absolute und internationale) System ersetzt werden soll. Spätere Generationen sollen dem (die Grundlage des bisherigen elektromagnetisch-praktischen Systems bildenden) bisherigen elektromagnetisch-absoluten System ( $\mu_0 = 1$ ) keine grössere Bedeutung beimessen als das elektrostatisch-absolute System ( $\epsilon_0 = 1$ ) sie heutzutage besitzt. Diese beiden Systeme sollen nur in den ausführlicheren Lehr- und Handbüchern als gleichberechtigte theoretische Möglichkeiten Erwähnung finden. Sie sollten alle beide bei internationalen Vereinheitlichungsbestrebungen ausser acht gelassen werden, im Gegensatz zum Gaußschen System, dessen Harmonie und bezaubernde Schönheit niemand bestreitet und das man gerne als das den Zwecken der theoretischen Physik am besten dienende System offiziell empfehlen wird. Die einzige Forderung, die also allenfalls aufgestellt werden könnte, ist diejenige des möglichst einfachen Zusammenhangs zwischen dem Gaußschen ( $\mu_0 = 1, \epsilon_0 = 1$ ) und dem definitiven System ( $[\mu] = p \mu_0$ ; abgeleitet:  $[\epsilon] = [\text{m}^2 \text{s}^{-2} [\mu]^{-1}] = p^{-1} \mu_0^{-1} [\text{m}^2 \text{s}^{-2}]$ ). Dieser Zusammenhang ist in seinen wesentlichen Zügen ein gegebener, denn das auf Grund symmetrischer Voraussetzungen über  $\epsilon_0$  und  $\mu_0$  aufgebaute Gaußsche System ist ein Fünf-Einheiten-System mit einem Ueberbrückungsfaktor  $c$ , den das definitive praktische Vier-Einheiten-System nicht aufweisen wird und der eine noch genau zu messende Eigenschaft des leeren Raumes darstellt. Dieser Faktor erscheint in den meisten Umrechnungsfaktoren, welche entsprechende Einheiten der beiden genannten Systeme ineinander überführen. Der Zusammenhang ist also sehr lose; seine begriffliche Festsetzung ist wohl Sache der Theorie, zahlenmässig jedoch ist er als Messergebnis zu betrachten. Ob nun beispielsweise in der Zahl

$$\left. \frac{\epsilon_0}{[\epsilon]} \right|_{\text{definitiv}} = \frac{p}{c^2 [\text{m}^2 \text{s}^2]}, \text{ welche den Zahlenwert der Di-}$$

elektrizitätskonstante des leeren Raumes im  $p \mu_0$ -System und damit wegen  $[\epsilon]|_{\text{Gauss}} = \epsilon_0|_{\text{Gauss}} = 1$  den Umrechnungsfaktor für die Dielektrizitätskonstante angibt,  $p$  von der Form  $10^7$  oder  $(4\pi)^{-1} \cdot 10^7$  oder  $1,000\,500 \cdot 10^7$  ist, scheint uns ganz unwichtig, da der Betrag von  $c$  (Lichtgeschwindigkeit) ohnehin eine nicht-ganze Zahl ist. Ganzzahligkeit des Exponenten bringt theoretisch nicht den geringsten Vorteil, eine Abweichung hiervon nicht den geringsten praktischen Nachteil. Von diesem Standpunkt aus betrachtet wäre es sogar besser gewesen, wenn sich  $p$  nicht nur um  $1/2$  Promille, sondern z. B. um 50 % von der reinen Zehnerpotenz unterschieden

<sup>11)</sup> Procès-verbaux 1. c. S. 94.

<sup>12)</sup> Bei der Induktion wird man sich damit abfinden müssen, dass die primäre abgeleitete Einheit = 1 Weber/ $1 \text{ m}^2 = 10^4$  Gauss wird.

hätte, weil dadurch ein Unterschied, den wir ohnehin begrifflich festhalten müssen, zahlenmäßig deutlicher in Erscheinung getreten wäre.

Diese letzte Bemerkung ist natürlich nicht so zu verstehen, dass man meinen könnte, durch die Wahl  $[\mu] = p \mu_0$ ,  $p \neq 10^7$  sei das Bestreben, die internationalen den elektromagnetisch-praktischen Einheiten möglichst anzugeleichen, nachträglich als unnötig erklärt worden. Dass eine solche Auffassung ganz falsch wäre, erhellt aus folgender Ueberlegung. Gesetzt der Fall, im Jahre 1893 (Chicago), bzw. 1908 (London) sei das Ampere richtig, das Ohm absolut genommen um 1 % falsch gewählt worden. Dann wären, absolut genommen, auch das Volt und das elektrische Watt um 1 % falsch. Ein Uebergang von diesem falschen internationalen Watt zum absoluten Watt würde im günstigsten Fall (Beibehaltung des falschen Ohmwertes) zur Folge haben, dass Volt und Ampere um  $\frac{1}{2} \%$  geändert werden müssten! Also sowohl die messtechnischen wie die organisatorischen Bestrebungen bis zum Jahre 1908 kommen voll zur Auswirkung. Von den seitherigen Bestrebungen gilt genau das gleiche, nur interpretieren wir sie anders als üblich. *p ist nicht eine Zahl, die wir bis zum Jahre 1940 so genau wie möglich messen müssen, sondern eine für alle Zeiten feste Zahl in der Nähe eines bereits jetzt schon für die gesamte Praxis genügend genau ( $2 \cdot 10^{-5}$ ) bestimmten Faktors.* Die geänderte Auffassung wirkt sich nur in der Art der Angabe der Messergebnisse aus, auf die Durchführung der absoluten Anschlussmessungen nicht.

Nun steht obiger Nachweis, dass ein  $(MKS\mu)$ -System mit  $[\mu] = p \mu_0$  als vierte Einheit als gemeinsames Ziel aller Bestrebungen betrachtet werden könnte, in bedauerlichem Gegensatz zur Stellungnahme der Praktiker, wonach  $\mu$  nicht als Grundgrösse in Betracht fallen soll. Es scheint nicht leicht zu sein, einen vermittelnden Ausweg zu finden. Wir werden versuchen, an Hand einer systematischen Diskussion aller bei der Wahl der vierten Einheit in Frage kommenden Gesichtspunkte einen solchen Ausweg anzugeben, der im wesentlichen in einer schärferen Fassung des Systembegriffs und einer Unterordnung der abgeleiteten Einheiten-Umgruppierungen unter das  $(MKS\mu)$ -System besteht.

Die Wahl der vierten Einheit richtet sich vollständig nach der Aufgabe, die die gesuchte Einheitengruppierung (wir vermeiden hier absichtlich den Ausdruck System) erfüllen soll. Man kann die Auffassung vertreten:

a) Die Gruppierung soll, den Zwecken der *theoretischen Physik* dienend, die Harmonie in der Struktur möglichst in den Vordergrund stellen (*theoretisches Lehrsystem*).

b) Die Gruppierung soll, den Zwecken der *theoretischen Elektrotechnik* dienend, vom Prinzip der vier Einheiten ausgehend, den begrifflichen Aufbau möglich klar und frei von Willkür zum Ausdruck bringen (*praktisches elektromagnetisches Lehrsystem*).

c) Die Gruppierung soll, den Bedürfnissen der *praktischen Elektrotechnik* dienend, vom Prinzip der vier Einheiten ausgehend, eine möglichst einfache Beschreibung der praktisch

wichtigen Zusammenhänge gestatten (*beschreibende Gruppierung*).

d) Die Gruppierung soll den *experimentellen* von den grossen Laboratorien vorgenommenen *Anschluss* an die mechanischen Einheiten widerspiegeln (*Anschlussgruppierung*).

e) Die Gruppierung soll, den Zwecken der *praktischen Messtechnik* dienend, angeben, wie irgendeine Einheit aus den austauschbaren Normalen abzuleiten ist (*Austauschgruppierung*).

Die Frage der rationellen Einheiten sei hier nicht berührt, da sie unabhängig vom hier interessierenden Problemkreis behandelt werden kann.

In bezug auf d) kann man folgendermassen argumentieren: Falls erwartet werden muss, dass auf absehbare Zeit hinaus die erreichbare Absolutgenauigkeit bei einer elektro-kinematischen (d. h. neben der Permeabilität nur die Länge und die Zeit enthaltenden) Grösse ( $R, L, C$ ) höher ist als bei einer elektro-dynamischen (den Kraft- oder Energiebegriff enthaltenden) Grösse ( $I, U, Q$  usw.), so sollte die vierte Einheit der erstgenannten Gruppe entnommen werden, da die Absolutgenauigkeit irgend einer von der Einheit abgeleiteten Grösse geringer ist als die Anschlussgenauigkeit der Einheit. Falls man also das Ampere auf  $1 \cdot 10^{-4}$  absolut-genau als vierte Einheit wählt, so ist bereits die Aussage, ein Widerstand sei auf  $2 \cdot 10^{-5}$  absolut-genau bestimmbar, ein begrifflicher Verstoss gegen den Einheitscharakter des Ampere, weil sich eine solche Aussage auf Einheiten, die hinter dem Ampere stehen, stützen muss. In diesem Sinn ist das Ampere als Grundeinheit ungeeignet.

Das Interessante ist nun, dass diese Argumentation, die wir hier anführen, weil sie manchen veranlassen mag, die Entscheidung zwischen Ohm und Ampere zugunsten des Ohm zu fällen, einen Schlag ins Wasser bedeutet. Denn man darf nicht vergessen, dass im Giorgi-System nur eine Einheit zur Wahl freisteht, während man neben der absoluten Widerstandsmessung als experimentelles Äquivalent für den Grundsatz der Gleichwertigkeit von elektrischer und mechanischer Energie (oder Kraft) eine absolute Strommessung vornehmen muss. Die erwähnte Argumentation befürwortet implizite Gruppierung d) oder e), welche aber beide der Giorgischen Bedingung, nur vier Grundeinheiten aufzuweisen, widersprechen.

Es ist ausserordentlich wichtig, dass man sich klar macht, dass die Diskussion über die vierte Einheit *nur auf der Basis der Forderungen b) oder c)* stattfinden kann, da, wie früher bereits erwähnt wurde, a) ebenfalls grundsätzlich nicht in Frage kommt.

In bezug auf b) besteht kein Zweifel, dass ein Vielfaches der Permeabilität des leeren Raumes die gegebene Einheit ist; denn durch diese Wahl wird jede Willkür vermieden; Unklarheiten und Unkorrektheiten sind durch die explizite Nennung der Permeabilität als physikalischer Grösse mit eigener Dimension ausgeschlossen und der Grundforderung, wonach in einem theoretisch befriedigenden System die Einheiten durch Natureigenschaften definiert sein sollen, Genüge geleistet. Vom Standpunkt b)

aus wäre die Wahl irgendeiner andern spezifisch elektrischen Grösse als vierte Einheit zu beanstanden, weil die MKS-Definition dieser Einheit die Definition der Permeabilitätseinheit enthalten müsste.

Die Stellungnahme der Praktiker, die ihren Ausdruck in der Ausscheidung von  $\mu$  aus der engen Auswahl gefunden hat, ist wohl nicht nur als eine Verwechslung der einer Einheit und einem Normal zu übertragenden Funktionen aufzufassen, sondern sie zeigt, dass die Ziele *b*) und *c*) sich offenbar widersprechen. In den Kreisen der Praktiker scheint der Wunsch zu bestehen, nicht eine Grösse mit *fundamentaler* Bedeutung wie  $\mu$ , sondern eine solche mit *zentraler* Bedeutung an die Spitze der Einheitengruppe zu stellen. In dieser Beziehung dürfte eine dynamische Grösse wie der Strom *I*, die sowohl zur Basis als auch zu den übrigen Grössen der *b*)-Gruppierung in einfachen Beziehungen steht und gebrochene Potenzen in den Dimensionalgleichungen vermeidet<sup>13)</sup>, eher geeignet sein als etwa der Widerstand *R*. Man sollte sich aber nicht zu viel Mühe geben, ein schönes Aufbauschema zu suchen, weil *alle beschreibenden Gruppierungen (Typus c) mit Willkür behaftet und daher niemals allen genähm sind*.

Der Uebergang zu den absoluten Einheiten ist notwendigerweise mit einer Annahme über eine elektrische Eigenschaft des leeren Raumes verbunden. Da nun dieser Uebergang in gleichem Masse der praktischen wie der theoretischen Abklärung der Sachlage dienen soll, und ein getrennter Aufbau des praktischen definitiven Systems einerseits durch die Generalkonferenz, anderseits durch die CEI im Interesse der Einheitlichkeit unbedingt vermieden werden sollte, liegt es nahe, *sowohl die Bestrebungen der CEI als auch diejenigen der Generalkonferenz auf die gemeinsame Formel b) zu bringen*. Welcher Zahlenwert der Permeabilität des leeren Raumes zugeordnet werden soll, ist zunächst gleichgültig; Hauptsache ist, dass wenigstens in den Lehrbüchern der Elektrotechnik und allen elektrotechnischen Originalarbeiten *ein* System vorherrscht. Im Interesse der Erreichung dieses Ziels empfiehlt es sich, die *Zielsetzung c) als der Zielsetzung b) untergeordnet zu betrachten* und die Anwendung des Systembegriffes auf die Gruppierungen *a*) und *b*) zu beschränken. Den Gruppierungen *d*) und *e*) empfiehlt es sich, in noch höherem Masse als der Gruppierung *c*) den Systemcharakter abzusprechen. Wir wollen mit dieser durch *Verschärfung des Systembegriffs* ermöglichten Unterscheidung folgendes zum Ausdruck bringen:

*Merkmal des Systems* ist die im Rahmen eines höheren Prinzips möglichst willkürfreie *Ueberordnung* gewisser Einheiten. Betrachtet man sowohl die übergeordneten wie die abgeleiteten Einheiten als auch die Kombinationen von solchen als gleichberechtigt, so kann man unter ihnen nach speziellen, im Vergleich zu den für den Systembegriff charakteristischen Prinzipien *untergeordneten Ge-*

*sichtspunkten innerhalb dieser Einheiten-Gesamtheit eine Umgruppierung (nach Art einer Koordinatentransformation) vornehmen*, wobei die Auswahl der an die Spitze zu stellenden Einheiten willkürlich (wie bei *c*), oder dem Tatbestand entsprechend wie bei *d*) und *e*), erfolgen soll. Als höhere Prinzipien würden wir nur dasjenige der Symmetrie [welches zum Gaußschen System *a*) führt] und dasjenige der minimalen Einheitenzahl (Giorgi) anerkennen.

Selbstverständlich haben alle hier besprochenen Systeme und Gruppierungen absoluten Charakter.

Noch einige Bemerkungen über die dem Praktiker als Etalon am nächsten liegende Grösse, dem Widerstand. Giorgis Plan war, 1) mit einem Minimum von elektrischen Fundamentalgrössen auszukommen und 2) dem Widerstandsetalon Einheitscharakter zuzuerkennen<sup>14)</sup>. Es ist nun zweifellos eigenartig: Diejenige Grösse, die man gefühlsmässig am ehesten als geeignete vierte Einheit glaubt ansehen zu können, wird durch die konsequente Verfolgung des Absolutprinzips und des Prinzips der minimalen Einheitenzahl mehr und mehr ihrer privilegierten Stellung enthoben und stellt sich schliesslich vom Standpunkt der Forderung *b*) als weniger geeignet als  $\mu$ , vom Standpunkt der Forderung *c*) als (vermutlich) weniger geeignet als *I* heraus, und nicht zuletzt erweckt das Ohm als Grundeinheit den falschen Eindruck, als solle es sich um eine Gruppierung im Sinne von *d*) oder *e*) handeln, was ja, wie wir sahen, nicht möglich ist. Dazu kommt noch folgendes: Wollte man die Aenderung um  $1/2$  Promille in der Widerstandseinheit vermeiden und die Permeabilität ihrer Vorrangstellung entheben und in den Hintergrund treten lassen, so müsste die Definition z. B. der Widerstandseinheit äquivalent

$$[R] = 1,000\,500 \cdot 10^7 \cdot \mu_0 [\text{m}^1 \text{s}^{-1}], \quad \mu_0 = 1$$

sein. Diese Einheit dürfte man in den MKS $\Omega$ -Dimensionalausdrücken nicht einsetzen, trotzdem sie selbst Meter und Sekunde dimensionell enthält, weil sonst sämtliche spezifisch elektrischen Grössen nicht nur durch reine Zehnerpotenzen, sondern auch durch Potenzen des Faktors 1,000 500 mit den MKS-Einheiten verbunden würden.

Um diesen bei der Einsetzung auftretenden Schönheitsfehler zu beseitigen, müsste man, analog wie es bei der Schaffung des bisherigen MKS-Systems geschehen ist,  $\mu_0 = 10^{-7}/p$  setzen, d. h. den lästigen Faktor *p* der Permeabilität des leeren Raumes aufzubürden, oder mit andern Worten: explizit ein Permeabilitätsmass definieren. Dann aber hätte die Definition des Ohm wieder die Gestalt

$$[R] = [\text{m}^1 \text{s}^{-1} [\mu]^1], \quad [\mu] = p \mu_0$$

womit der abgeleitete Charakter wieder voll zum Ausdruck gebracht ist. *Das Bestreben, eine Ohmänderung zu vermeiden, lässt sich also mit der Wahl des Ohm als vierte Einheit nicht in befriedigender Weise vereinigen*.

<sup>13)</sup> Procès-verbaux l. c. S. 99.

<sup>14)</sup> Procès-verbaux l. c. S. 331.

Indem wir den Inhalt der vorstehenden Ausführungen zusammenfassen, ergibt sich für den Aufbau des vorgeschlagenen Systems folgende *Begründung*:

*Forderung der minimalen Zahl von Einheiten.* Bei voller Anerkennung der auf der Symmetrie beruhenden Schönheiten des Gaußschen Systems, auf welches man wohl stets zurückgreifen wird, wenn man sich die Struktur des elektromagnetischen Geschehens vor Auge führen will, besteht ein berechtigtes Bedürfnis, für die Praxis ein absolutes einheitliches (im Sinne von: praktisch nicht nötige Doppelprüfungen vermeidendes) System mit einer minimalen Anzahl von Einheiten zu schaffen (Giorgi). Entsprechend der Tatsache, dass im täglichen Leben die strömende, nicht die ruhende Elektrizität im Vordergrund des Interesses steht, wird man einem System vom elektromagnetischen Typus den Vorzug geben.

*Beseitigung des Ueberbrückungsfaktors A.* Da der in der Maxwellschen Beziehung  $c = A / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$  auftretende Ueberbrückungsfaktor  $A$  eine Folge des doppelten, d. h. auf unabhängiger Wahl von  $\epsilon_0$  und  $\mu_0$  beruhenden Aufbaues ist, muss man unbedingt danach trachten, dieses Wahrzeichen der Doppelprüfung durch die Annahme  $A$  dimensionslos = 1 zu unterdrücken. Damit ist die problematischste, mehr als alle andern von der Interpretation abhängige Grösse der Elektrizitätslehre beiseite geschafft.

*Beseitigung des Ueberbrückungsfaktors für die Energie (Leistung).* Bringt man die Tatsache, dass in der Elektrodynamik eine Grösse auftritt, die mit mechanischer Leistung als gleichwertig betrachtet werden kann, durch die Weglassung eines Ueberbrückungsfaktors zwischen elektrischem und mechanischem Watt zum Ausdruck, so reduziert sich die Zahl der freien Einheiten auf vier.

*Permeabilität als vierte Grundgrösse des absoluten (MKS $\mu$ )-Systems.* Da zur Zeit kein Grund ist, von Länge, Masse und Zeit als mechanischen Grundgrössen, im besondern von Meter, Kilogramm und Sekunde als Einheiten abzuweichen, bleibt eine spezifisch elektrische Grösse zur Wahl frei. Der Umstand, dass in allen elektro-mechanischen Beziehungen das Medium als Zwischenglied zwischen elektrischem (magnetischem) und mechanischem Probenkörper auftritt, hat zur Folge, dass das Medium massbestimmend für alle spezifisch elektrischen und magnetischen Grössen wird. Man hat daher keinen Anlass, etwas anderes als die Permeabilität als elektrische Grundgrösse herauszuheben.

*Leerer Raum als Normal-Medium.* Als elektrisches Normal bietet uns die Natur den leeren Raum.

*Wahl der Einheit.* Als Einheit [ $\mu$ ] der Permeabilität empfiehlt es sich, z. B. das  $1,000\,500 \cdot 10^7$ fache der Permeabilität  $\mu_0$  des leeren Raumes zu wählen. Für die Einheit [ $\mu$ ] sollten ein Name und ein Symbol geprägt werden.

*Erläuterungen.* Das Verhältnis  $p = 1,000\,500 \cdot 10^7$  ist ein Analogon zur Zahl 1 : 86 400 in der Defini-

tion der Sekunde und der Verhältniszahl zwischen Meter (als Normal aufgefasst) und Wellenlänge der roten Cadmiumlinie (als Naturlängenmass aufgefasst). Eine allfällige Ganzzahligkeit des Potenzexponenten würde weder Vor- noch Nachteile bieten.  $p$  taucht nur in den Lehrbüchern, den Originalarbeiten über absolute Anschlussmessungen und im internen Verkehr zwischen den Staatslaboratorien auf.

*Abgeleitete Einheiten.* Die meisten abgeleiteten Einheiten der Praxis (Ohm, Henry, Farad, Ampere, Volt, Coulomb, Weber) sind unmittelbar gleich den entsprechenden absoluten (MKS $\mu$ )-Einheiten.

*Reibungsloser Uebergang zu den absoluten Einheiten.* Als besonderer Vorteil dieses Systems sei erwähnt, dass sich derart absolut abgeglichene Widerstände von in der bisherigen Weise international abgeglichenen um Beträge von nicht mehr als etwa  $1/40$  Promille unterscheiden.

*Zeitpunkt des Uebergangs zu den absoluten Einheiten.* Da die bei Widerstandsmessungen erreichte Absolutgenauigkeit von  $2 \cdot 10^{-5}$  für alle Zwecke der angewandten Präzisionsmesstechnik ausreicht, braucht man mit dem Uebergang zu den absoluten Einheiten nur noch zu warten, bis die absoluten Strommessungen mit solcher Genauigkeit durchführbar sind, dass Westonelemente mit einer allen Zwecken der angewandten Präzisionsmesstechnik genügenden Absolutgenauigkeit verteilt werden können.

*Externe Genauigkeit.* Sämtliche Angaben von Eichwerten erfolgen in absoluten Werten (begründete Sonderwünsche vorbehalten), unter Angabe einer von der Generalkonferenz periodisch festzusetzenden *Mindest-Unsicherheit* im Absolutwert (zur Zeit z. B.  $2 \cdot 10^{-5}$  beim Ohm).

*Interne Genauigkeit.* Der Austausch der Erfahrungen innerhalb eines Institutes und zwischen dem Bureau International in Sèvres und den nationalen Laboratorien erfolgt unter Angabe der erheblich genaueren Relativwerte. Diese Relativwerte (d. h. die Aufschriften auf den Normalen) ändern sich sprunghaft um kleine, in der angewandten Präzisionsmesstechnik stets vernachlässigbare, im Laufe der Jahre immer kleiner werdende Beträge, die ebenfalls periodisch von der Generalkonferenz festgesetzt werden.

*Gemeinsames Vorgehen der Generalkonferenz und der CEI.* Das (MKS $[\mu]$ )-System sollte als das gemeinsame Ergebnis der Bestrebungen der Generalkonferenz für Mass und Gewicht und der CEI das einzige dem Praktiker offiziell empfohlene System sein, weil nur dann ein wirklich grosser Fortschritt gegenüber dem bisherigen Stand der Frage der Vereinheitlichung erreicht werden kann. Die beschreibende Gruppierung, z. B. mit dem Ampere als Ausgangseinheit, sollte als eine für besondere Zwecke praktische aus dem (MKS $[\mu]$ )-System abgeleitete, d. h. demselben untergeordnete Möglichkeit gekennzeichnet werden.