

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 29 (1938)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Die Mindestzahl der bei Untersuchung der elektrostatischen, magnetostatischen und elektromagnetischen Erscheinungen erforderlichen willkürlichen Einheiten  
**Autor:** Andronescu, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059385>

### **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:** 17.02.2026

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

$$D = KP = Kp\Sigma f = 0,015 \cdot 863 \cdot 4 \cdot 0,5 \cong 26 \text{ cm.}$$

Die zusätzliche Ausbiegung gegenüber Anfangslage misst  $26 - 12 = 14$  cm. Die Beanspruchung wächst demzufolge bei der genannten Zustandsänderung für die besprochene Leitung von 4 auf  $8,63 \text{ kg/mm}^2$  statt auf 14,3 bei starren Tragwerken.

Im folgenden soll diese rechnerische Ableitung mit besonderen Tragwerken aus armiertem Beton in Beziehung gebracht werden, zu welchem Zweck das elastische Verhalten bei Betonmasten der Herstellungsmethode, System GRZ, untersucht worden

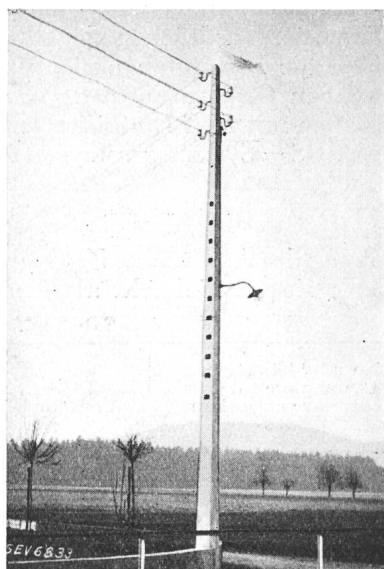


Fig. 2.

Winkelpunkt einer  
Leitung mit elast.  
Träger.

ist<sup>2)</sup>. Es wurde mit einem bestimmten Typ ein Biegeversuch durchgeführt, aus dem die Beziehung zwischen Spitzenzug und Deformation  $D = K P$ , sowie die elastische Linie entnommen werden konnte. Andererseits lautet die Differenzialgleichung der elastischen Linie für einen eingespannten Balken:

$$y'' = \frac{1}{\varrho} = \frac{M_x}{J_x \cdot E} = \frac{M_x \cdot \frac{J_0}{J_x}}{J_0 \cdot E}.$$

Hierin ist nur das  $E$  unbekannt. Mit Hilfe der graphischen Methode nach dem Satz von Mohr wird aus der Differenzialgleichung eine Seillinie zeichnerisch ermittelt, die sich mit der in der Biege-

<sup>2)</sup> E. Camenzind, Armierte Betonmaste, Bull. SEV 1936, Nr. 5, S. 135.

## Die Mindestzahl der bei Untersuchung der elektrostatischen, magnetostatischen und elektromagnetischen Erscheinungen erforderlichen willkürlichen Einheiten.<sup>1)</sup>

Von P. Andronescu, Bukarest.

621.317.081

Es wird gezeigt, dass die neuzeitliche Behauptung «man hätte ein Maßsystem nur mit vier willkürlichen Einheiten» ein Irrtum ist, welcher darauf beruht, dass bedauerlicherweise die Universalkonstante «c» nicht Gemeingut der Ingenieure geworden ist.

<sup>1)</sup> Eingereicht am 23. 12. 36.

probe gefundenen elastischen Linie decken muss. Diese Übereinstimmung zwischen der experimentell gegebenen und der abgeleiteten Kurve wurde erzielt, indem man probeweise verschiedene Werte von  $E$  einsetzte (Änderung der Poldistanz  $J_0 \cdot E$ ). Das  $E$ , das aus diesem Verfahren resultiert, gibt den effektiven, für Eisen und Beton kombinierten Wert des betreffenden Mastes an, woraus sich der Einzelwert für Beton, wenn jener für Eisen bekannt ist, ableiten lässt.

Diese einmaligen Untersuchungen für einen bestimmten Masttyp liefern die Grundlagen, gestützt

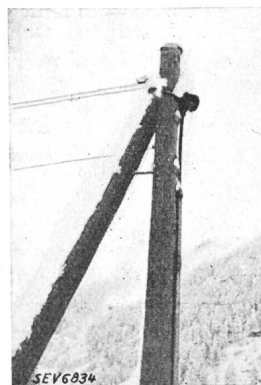


Fig. 3.

Ein starker Schneeeinsatz auf der Leitung hat die Isolatorenstütze abgebogen und dadurch wurde die Spannweite bei gleichbleibender Drahtlänge um einige cm verkürzt und der Leiterzug reduziert.

auf welche die Elastizität  $d = K \cdot p$  für andere Typen vorausbestimmt werden kann, wenn die verschiedenen Trägheitsmomente, die längs des Balkens nicht gesetzmässig zu variieren brauchen, bekannt sind.

### Schlussfolgerungen.

Für Weitspannleitungen, wo als Tragwerke Gittertürme aus Eisen verwendet werden, bietet das vorliegende rechnerische Verfahren kein aktuelles Interesse. Es ist aber von praktischer Bedeutung bei Stark- und Schwachstromnetzen, wo bei Abspann-, Abzweig-, Kabelüberführungs- und Winkelpunkten in Regelleitungen keine Anker oder Streben zur Verwendung kommen. Durch Einsetzen von Leitungsträgern mit geeigneter Elastizität wird gegenüber starren Trägern die maximale Zugbeanspruchung der Leiter für kritische Zustände vermindert. Infolge dieser Reduktion der Zugspannung muss durch genügende Distanzierung eine Berührung der Leiter infolge Schwingungen durch Wind vermieden werden und ist die Erhöhung des Durchhanges nur soweit zulässig, dass der erforderliche Abstand vom Boden gewährleistet bleibt.

On prétend aujourd'hui que «notre système d'unités repose sur quatre unités arbitraires». Or cela est faux et l'erreur provient de ce que les ingénieurs ne se sont malheureusement pas encore tous familiarisés avec la constante universelle «c».

Die Zahl der Dimensionen kann fünf, vier oder drei werden, je nachdem man die Universalkonstante « $c$ » aus den Maxwell'schen Gleichungen eliminiert oder nicht und die Grössen  $\varepsilon_0$  und  $\mu_0$  als mit Dimensionen behaftet oder als dimensionslos betrachtet.

Die Zahl der willkürlichen Einheiten bleibt aber unverändert, nämlich fünf.

Man erkennt heute zwar, dass die Grösse  $c$  (Universalkonstante genannt) in den Maxwell'schen Gleichungen als ein nötiger Bestandteil angesehen werden muss, wenn die elektrischen und magnetischen Einheiten unabhängig von einander festgesetzt sind. Jedoch wird behauptet, dass  $c$  eine Abkürzung des Ausdruckes  $V_0 \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$  bedeutet und infolgedessen die Mindestzahl der willkürlichen Einheiten nicht grösser als vier sein kann.

Im folgenden soll der Nachweis erbracht werden, dass die Mindestzahl der willkürlichen Einheiten nicht vier, sondern fünf ist.

Aus Tabelle I folgt: *Erstens*: Zur Untersuchung des elektrostatischen Feldes und des magnetostatischen Feldes der permanenten Magnete sind 10 un-

Les dimensions peuvent être au nombre de cinq, quatre ou trois suivant que l'on élimine ou pas la constante « $c$ » des équations de Maxwell ou que l'on attribue ou non des dimensions aux grandeurs  $\varepsilon_0$  et  $\mu_0$ .

Le nombre des unités arbitraires reste le même, soit cinq, indépendamment du choix des dimensions.

Wenn man die Dielektrizitätskonstante in  $\varepsilon$  und die Permeabilität in  $\mu$  dimensioniert, dann folgt, dass die Dimensionen sämtlicher elektrischen und magnetischen Grössen durch die Dimensionen der fünf oben festgelegten Einheiten ausgedrückt werden können. Doch ist zu beachten, dass die Dimension  $\varepsilon$  nicht in den Dimensionsausdrücken der magnetischen Grössen sowie die Dimension  $\mu$  nicht in denjenigen der elektrischen Grössen auftritt. Man erhält somit ein Maßsystem mit fünf Einheiten und fünf Dimensionen, das CGS $_{\varepsilon\mu}$ -System genannt werden soll<sup>2)</sup>.

Im folgenden soll gezeigt werden, dass die Grösse  $c$  nicht als eine Abkürzung des Ausdruckes  $V_0 \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$  angesehen werden darf; sie ist vielmehr als eine

Tabelle I.

Die unabhängigen Gleichungen des elektrostatischen Feldes	Die Grössen	Die unabhängigen Gleichungen des magnetostatischen Feldes des permanenten Magnetes	Die Grössen	Die unabhängigen Gleichungen des elektromagnetischen Feldes	Die Grössen
$\mathfrak{D} = \varepsilon \mathfrak{E}$	$\mathfrak{D}, \mathfrak{E}, \varepsilon$	$\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H} + \mathfrak{M}$	$\mathfrak{B}, \mathfrak{H}, \mu$	$j = \lambda \mathfrak{E}$	$j, \lambda$
$\int (\mathfrak{E} d\mathfrak{l}) = V_1 - V_2$	$\mathfrak{l}, V$	$\int (\mathfrak{H} d\mathfrak{l}) = V_{H1} - V_{H2}$	$\mathfrak{l}, V_H$	$\int (j d\mathfrak{s}) = \frac{\partial Q}{\partial t} = i$ <sup>1)</sup>	$i$
$\int (\mathfrak{D} d\mathfrak{s}) = 4\pi Q$	$Q$	$\int (\mathfrak{B} d\mathfrak{s}) = \Phi$	$\Phi$	$c \oint (\mathfrak{H} d\mathfrak{l}) = 4\pi i$	$c$
$\frac{1}{8\pi} (\mathfrak{D} \mathfrak{E}) = F_{se} \text{ Dyn/cm}^2$	$\mathfrak{F}$	$\frac{1}{8\pi} (\mathfrak{B} \mathfrak{H}) = F_{sm} \text{ Dyn/cm}^2$	$\mathfrak{F}$	$c \oint (\mathfrak{E} d\mathfrak{l}) = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}$	
$\mathfrak{F} = m \mathfrak{b}$	$m$	$\mathfrak{F} = m \mathfrak{b}$	$m$		
$\mathfrak{b} = \frac{d^2 \mathfrak{l}}{dt}$	$\mathfrak{b}, t$	$\mathfrak{b} = \frac{d^2 \mathfrak{l}}{dt}$	$\mathfrak{b}, t$		

<sup>1)</sup> Die obige Gleichung bildet das Ergebnis der folgenden Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\partial e}{\partial t} + (\nabla \cdot e v) = 0$$

wo:  $e$  die elektrische Raumdicke und  $e v = j$  die Dichte der elektrischen Strömung darstellen.

abhängige Gleichungen mit 15 Grössen vorhanden. Also müssen fünf Einheiten willkürlich festgelegt werden. Normalerweise werden folgende Grundeinheiten angenommen: cm, g, s,  $\varepsilon_0 = 1$ ,  $\mu_0 = 1$ . *Zweitens*: Beim Uebergang zur Untersuchung des elektromagnetischen Feldes ersieht man, dass vier neue, unabhängige Gleichungen mit vier neuen Grössen auftreten. Daraus folgt, dass mit Hilfe der fünf bereits festgelegten Grundeinheiten die Einheiten der vier neuen Grössen:  $j, \lambda, i, c$  experimentell bestimmt werden können.

Man kommt also zu dem wichtigen Schluss, dass die experimentelle Bestimmbarkeit der Grösse  $c$  dadurch begründet wird, dass im elektromagnetischen Felde vier neue unabhängige Gleichungen mit gerade so vielen neuen Unbekannten auftreten.

Für die Bestimmung der Einheiten jeder elektrischen und magnetischen Grösse ist es also unerlässlich, fünf Einheiten willkürlich anzunehmen (cm, g, s,  $\varepsilon_0 = 1$ ,  $\mu_0 = 1$ ).

Rechengrösse zu betrachten, welche von den Einheiten der Rechengrössen  $\varepsilon$  und  $\mu$  abhängig ist und unabhängig von der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raume ( $V_0$ ) besteht.

Wir setzen:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_{0z} \cdot 1; \mu_0 = \mu_{0z} \cdot 1$$

wo «1» die Einheit und  $\varepsilon_{0z}, \mu_{0z}$  die ganz beliebigen Zahlenwerte der Dielektrizitätskonstante ( $\varepsilon_0$ ) und der Permeabilität ( $\mu_0$ ) des luftleeren Raumes bedeuten. Die Einheiten sind gleichzeitig die Träger der Dimensionen.

Es seien folgende zwei Fälle angenommen:  $\varepsilon_{0z} = 1, \mu_{0z} = 1$  (der normale Fall) und  $\varepsilon_{0z} = \varepsilon_{0z}^*, \mu_{0z} = \mu_{0z}^*$ , wo  $\varepsilon_{0z}^* > 1, \mu_{0z}^* > 1$  gesetzt sind.

Unter Zuhilfenahme der folgenden vier bekannten Gleichungen:

<sup>2)</sup> Pl. Andronescu. Das Problem der Dimensionen der Einheiten elektrischer und magnetischer Grössen. Arch. Elektrot. Bd. XXX (1936), Heft 1, und Bull. SEV 1936, Nr. 16, S. 452.

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{8\pi} \frac{(V_1 - V_2)^2}{l^2} \varepsilon_0 S &= (F \cdot 981)_{Dyn} \\ 4\pi \frac{i^2}{c^2} \mu_0 S w &= \{\overline{OA} (F_1 - F_2) \cdot 981\}_{Dyn, cm} \\ (V_1 - V_2) C &= Q; \quad C = \frac{\varepsilon_0 S}{4\pi l} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

lassen sich die mit \* bezeichneten Zahlenwerte der Grössen:  $(V_1 - V_2)$ ,  $\frac{i}{c}$  und  $Q$ , welche den  $\varepsilon_{0z}^*$ ,  $\mu_{0z}^*$  entsprechen, mit denjenigen, die für den Fall:  $\varepsilon_{0z} = 1$ ,  $\mu_{0z} = 1$  bestimmt waren, vergleichen.

Man erhält:

$$(V_1 - V_2)_z^* = \frac{V_1 - V_2}{\sqrt{\varepsilon_{0z}^*}}, \quad \frac{i_z^*}{c_z^*} = \frac{i_z}{c_z \sqrt{\mu_{0z}^*}}, \quad Q_z^* = Q_z \sqrt{\varepsilon_{0z}^*} \quad (2)$$

Für die experimentelle Bestimmung der Rechengrösse  $c$  beziehen wir uns auf die Weber-Kohlrusch-Methode. Für eine bestimmte elektrische Ladung setzt man:  $Q_z = \int i_z dt_z$ , wobei  $Q_z$  durch einen elektrostatischen Vorgang und  $\int \frac{i_z}{c_z} dt_z$  durch einen elektromagnetischen Vorgang bestimmt werden.

Folglich erhält man aus der Bildung des Verhältnisses:

$$\frac{Q_z}{\int \frac{i_z}{c_z} dt_z} \quad \text{bzw.} \quad \frac{Q_z^*}{\int \frac{i_z^*}{c_z^*} dt_z}$$

den Zahlenwert  $c_z$  bzw.  $c_z^*$ .

Mit Rücksicht auf (2) ergibt sich:

$$c_z^* = \frac{Q_z \sqrt{\varepsilon_{0z}^*}}{\int \frac{i_z}{c_z} \frac{1}{\sqrt{\mu_{0z}^*}} dt_z} = c_z \sqrt{\varepsilon_{0z}^* \mu_{0z}^*} \quad (3)$$

Die Gleichung (3) zeigt deutlich, wie der Zahlenwert den Rechengrösse  $c$  aus den Zahlenwerten  $\varepsilon_{0z}$ ,  $\mu_{0z}$  ermittelt werden kann, ohne von der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raume ( $V_0$ ) Gebrauch zu machen.

Aus diesen Darlegungen kommt man also zu dem wichtigen Ergebnis, dass die Rechengrösse  $c$  tatsächlich keine *Abkürzung* des Ausdruckes  $V_0 \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$  darstellt.

Es ist nur ein Zufall, dass die auf das Gaußsche Maßsystem (cm, g, s,  $\varepsilon_0 = 1$ ,  $\mu_0 = 1$ ) bezogenen Rechengrössen  $c$  und die Lichtgeschwindigkeit  $V_0$  im luftleeren Raum dieselben Dimensionen und zahlenmässigen Werte haben, was jedoch keinen Ausnahmefall darstellt; z. B. erhalten im luftleeren Raume, auf Gaußsche Einheiten bezogen, auch die Grössen  $\mathfrak{E}$  und  $\mathfrak{B}$ , wenn sie auch physikalisch verschieden sind, dieselben Dimensionen und zahlenmässigen Werte.

Man kann noch über die Einheit von  $c$  willkürlich verfügen. Ist z. B. die Einheit der Grösse  $c$  so gross gewählt, dass ihr Zahlenwert gerade 1 wird, so ist das mit dem Verschwinden der Grösse  $c$  aus den Maxwellschen Gleichungen gleichbedeutend. Man erhält in diesem Falle folgende zwei Gruppen von je fünf Grundeinheiten:

$$\begin{aligned} \text{a) cm, g, s, } \varepsilon_0 &= 1, c = 1 = V_0 \sqrt{\mu_0} \\ \text{b) cm, g, s, } \mu_0 &= 1, c = 1 = V_0 \sqrt{\varepsilon_0} \end{aligned} \quad (4)$$

Es ist somit gleichgültig, ob man:  $\varepsilon_0$ ,  $\mu_0$  oder  $c$ ,  $\varepsilon_0$  oder  $c$ ,  $\mu_0$  als unabhängige Rechengrössen wählt, um ihre Einheiten willkürlich festzulegen.

Sobald man in (4) die Grösse  $c = 1$  als eine reine Zahl betrachtet, erhalten  $\mu_0$  in (4a) und  $\varepsilon_0$  in (4b) andere Einheiten und Dimensionen als im CGS $\varepsilon\mu$ -System.

Bei nicht explizitem  $c$  in den Maxwellschen Gleichungen erhalten sich also  $\varepsilon$  und  $\mu$  gegenseitig unhomogen.

Ferner lässt sich leicht ersehen, dass das CGS $\varepsilon\mu$ -Maßsystem mit nicht explizitem  $c$  in den Maxwellschen Gleichungen, fünf willkürliche Einheiten (4a oder 4b) besitzt und dabei nur 4 Grunddimensionen auftreten: LMT $\varepsilon$  oder LMT $\mu$ . Man erhält somit das elektrostatische, bzw. elektromagnetische Maßsystem<sup>3)</sup>.

Wenn man an Stelle der Maxwellschen Gleichungen zwei solche Gleichungen hätte, die ohne die Rechengrösse  $c$  bestehen könnten, dann würde durch die Einführung der vier elektromagnetischen Gleichungen die Gesamtzahl der unabhängigen Grössen von 19 auf 18 heruntersinken, so dass bei den gleichbleibenden 14 Gleichungen die Zahl der willkürlichen Einheiten von fünf auf vier heruntergehen würde.

<sup>3)</sup> In meiner im Arch. Elektrotechn.<sup>2)</sup> veröffentlichten Arbeit habe ich gezeigt, dass es richtiger wäre, die Bezeichnungen «elektrostatisch» und «elektromagnetisch» durch die Bezeichnungen «elektrisch» und «magnetisch» zu ersetzen.

## Kunststoffe.

Bericht über den Kunststoff-Kurs des Betriebswissenschaftlichen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich, vom 4. und 5. Februar 1938.

679.56

Im folgenden wird in Form von Referaten das Wesentliche aus den am Kunststoff-Kurs an der ETH vom 4. und 5. Februar 1938 gehaltenen Vorträgen wiedergegeben. Diese Referate wurden von Prof. A. Imhof, Zürich-Altstetten, zusammengestellt.

### Allgemeine Einführung.

Von H. Stäger, Zürich.

Die Ueberführung der natürlichen Rohstoffe in künstliche durch mechanische oder chemische Massnahmen einerseits,

Les conférences qui ont eu lieu durant le cours sur les matières isolantes à l'EPF, les 4 et 5 février 1938, sont résumées sous forme de rapports. Ceux-ci ont été collationnés par M. le prof. A. Imhof, Zurich-Altstetten.

die Synthese andererseits führt zur Gewinnung der Kunststoffe. Die chemische Zusammensetzung eines Kunststoffes muss nicht die gleiche sein wie bei nachgenannten natürlichen Werkstoffen. Kunststoffe sind heute keine minderwertigen