

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 36 (1945)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Messgenauigkeit von Strom- und Spannungswandler-Messbrücken  
**Autor:** Schneebeili, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056477>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.01.2025

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

ler in Öl, alles für 150 kV. Dies bedeutet kleinere Verluste und geringere Erwärmung im Betrieb, was gerade bei Papierisolation nicht unwesentlich ist, ausserdem erhöhte Kurzschlussfestigkeit und kleinere Beanspruchung der Primärleiter unter sich bei

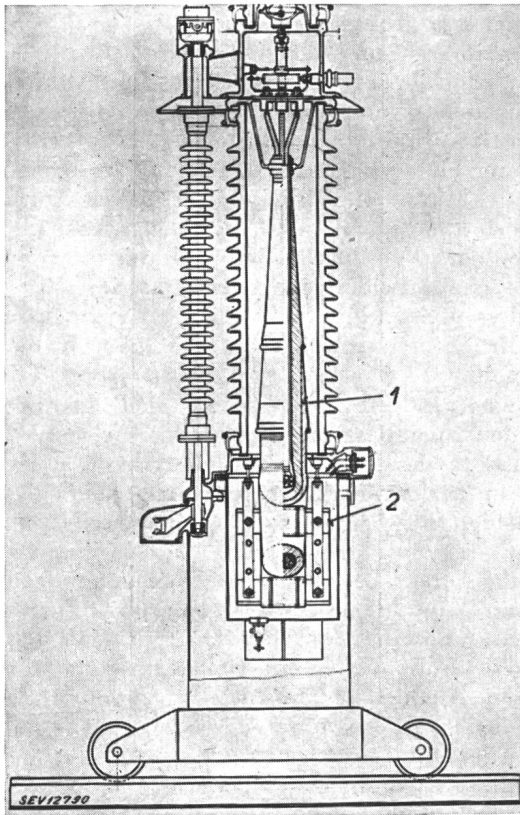


Fig. 8.

Unterteil eines Ölstrahlschalters, 150 kV, mit eingebautem Ring-Kabelwandler  
1 Hochspannungswicklung. 2 Eisenkern.

steilen Wanderwellen, so dass beim Kabelringwandler ein Schutz durch Ueberbrückungswiderstand im Bereich der üblichen Nennströme entbehrt werden kann. Die Abmessungen des Hochspannungswickels sind so klein, dass der Wandler

in den normalen Stützer eines Ölstrahlschalters eingebaut werden kann (Fig. 8).

Sprecher & Schuh baut solche Wandler seit ca. 10 Jahren. In der Schweiz sind sie für alle Spannungen von 50 bis 150 kV eingebaut, im Ausland

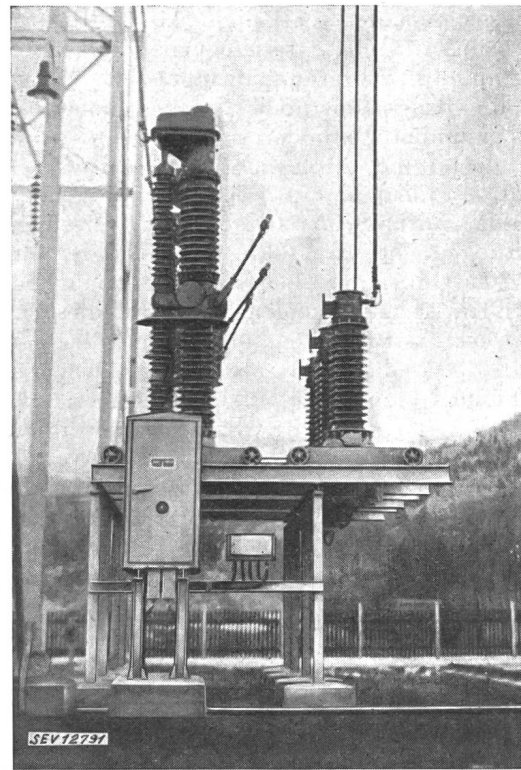


Fig. 9.

Ring-Kabelwandler, angebaut an 150-kV-Ölstrahlschalter mit Trenner

auch für 250 kV. Wir hatten Gelegenheit, an einzelnen seit mehreren Jahren im Betriebe stehenden Wandlern die dielektrischen Eigenschaften nachzuprüfen und konnten keine wesentlichen Veränderungen feststellen.

Adresse des Autors:

E. Scherb, Oberingenieur der Sprecher & Schuh A.-G., Aarau.

## Messgenauigkeit von Strom- und Spannungswandler-Messbrücken

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 7. Oktober 1944, in Luzern,

von E. Schneebeli, Zürich

621.314.22.08.0014

Es werden die von der Eichstätte des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins bei der Eichung von Strom- und Spannungswandlern erreichten und garantierten Messgenauigkeiten angegeben und die dieser Eichstätte zur Verfügung stehenden Messbrücken beschrieben. Ausserdem wird auf die Beachtung der Kurvenform der Stromquelle bei der Eichung von Spannungswandlern hingewiesen.

Allgemein wird angenommen, dass sowohl der Uebersetzungsfehler eines Wandlers auf Zehntel-Promille, als auch der Fehlwinkel in Minuten auf Dezimalen genau gemessen werden könne. Auf diese Genauigkeit lässt sich tatsächlich eine Wandler-Messbrücke abgleichen und ablesen, wenigstens bei guter Empfindlichkeit derselben, was im all-

L'auteur indique les précisions atteintes et garanties par la Station d'étalonnage de l'Association Suisse des Electriciens pour l'étalonnage des transformateurs d'intensité et de tension, puis décrit les ponts de mesure utilisés par cette station. Il rappelle qu'il y a lieu de tenir compte de la forme de la courbe de la source de courant lors de l'étalonnage des transformateurs de tension.

gemeinen bei Wandlern über ca. 20 % des Nennstromes oder der Nennspannung der Fall ist.

Wie steht es nun aber mit der absoluten Genauigkeit dieser Messresultate und wie mit der subjektiven bei kleiner Empfindlichkeit der Messbrücken?

Betrachten wir zuerst die Stromwandler-Prüf-

einrichtung. Im Prinzip werden bei dieser die Spannungsabfälle an zwei Normalwiderständen, von denen der eine vom Primärstrom und der andere vom Sekundärstrom eines Prüfobjektes durchflossen wird, mit Hilfe einer Brückenschaltung sowohl in ihrer Grösse, als auch in ihrer Phasenlage gegeneinander verglichen. Als Nullinstrument dient ein für die Messfrequenz auf Resonanz abgestimmtes Vibrationsgalvanometer. Wenn nun auch die Brückenmethode als die genaueste unter den bekannten Methoden anerkannt wird, so besteht doch eine Stromwandler-Messbrücke, abgesehen von den bereits erwähnten Primär- und Sekundär-Normalwiderständen und verschiedenen Zuleitungen, aus zwei ohmschen Teilern von 100 und 200 Ohm und dem der Phasenabgleichung dienenden Dekadenkondensator. Alle diese in der Messbrücke zur Verwendung kommenden Geräte, sowohl die Widerstände, als auch die Kondensatoren, können keineswegs auf eine grössere Genauigkeit als  $\pm 0,1$  Promille abgeglichen werden. Die vom Amt für Mass und Gewicht in Bern verbürgten Eichwerte beanspruchen eine Toleranz von mindestens  $\pm 0,2...0,3$  ‰, wobei die kleinere Toleranz für Widerstände gilt, die am Kompensator mit Gleichstrom, die grössere für Kapazitäten, die mit Wechselstrom bei 50 oder 800 Hz gemessen werden.

In der Brückenschaltung können sich nun die einzelnen Fehler im günstigen Fall kompensieren, im ungünstigen Fall aber auch addieren. Es ist deshalb nicht nur nötig, die einzelnen Geräte einer Messbrücke möglichst genau abzugleichen, sondern die zusammengebaute Messbrücke zu eichen. Dies ist aber im allgemeinen nicht direkt, sondern nur indirekt durch Eichung eines Prüfobjektes, dessen Fehler genau bekannt sind, möglich. Aber auch dadurch lässt sich unseren Erfahrungen gemäss, selbst bei guter Brückenempfindlichkeit, im Uebersetzungsfehler keine grössere Messgenauigkeit als  $\pm 0,3...0,5$  ‰ und im Fehlwinkel ca. 2...3 min erreichen. Die schweizerischen amtlichen Vorschriften von 1933 erlauben für die Fehlergrenzen eine Toleranz von  $\pm 0,1$  ‰ und  $\pm 5$  min, die zwar heute offensichtlich als Fabrikationstoleranz aufgefasst wird, deren Entstehung aber in erster Linie auf die möglichen Messfehler bei der Eichung zurückzuführen ist. Bei sämtlichen amtlichen Prüfungen werden die Messresultate im Uebersetzungsfehler auf 1 ‰ und im Fehlwinkel auf 1 min angegeben, wobei diese Werte hinsichtlich absoluter Genauigkeit die erwähnten Toleranzen beanspruchen dürfen.

Seit ca. 5 Jahren verwenden die Technischen Prüfanstalten des SEV anstelle der primären Normalwiderstände einen auf ein 10-Ampere-Widerstandsnormal belasteten Normalwandler mit den Uebersetzungen 5—10—20—50—100—200—500—1000/5 A. Dieser Hochpräzisionswandler, der dauernd mit doppeltem Nennstrom belastet werden darf, garantiert zwischen 200 und 5 ‰ des Nennstromes auf allen Messbereichen eine Messgenauigkeit von  $\pm 0,1$  ‰ und  $\pm 1$  min für Messungen bei 50 Hz und  $\pm 0,2$  ‰ und  $\pm 1$  min für Mes-

sungen bei  $16^{2/3}$  Hz. Abgesehen von dieser ausserordentlich grossen Genauigkeit und Unempfindlichkeit gegen Ueberlastung bietet dieser Stromwandler als Isoliertransformator die Möglichkeit, die zusammengebaute Messbrücke in sich selbst zu eichen, was für uns speziell bei auswärtigen Messungen von grosser Bedeutung ist. Durch Speisung des primären und des sekundären Normales mit dem gleichen Strom lässt sich die Nullage der Brückenordnung genau festlegen und dadurch bei guter Empfindlichkeit der Messbrücke eine Messgenauigkeit von  $\pm 0,2$  ‰ im Uebersetzungsfehler und  $\pm 2$  min im Fehlwinkel erreichen. Durch die Ueberlastbarkeit dieses Normalwandlers bis zum doppelten Nennstrom, oder durch Verwendung eines Normalwiderstandes von 0,4 statt 0,2 Ohm an dessen Sekundärklemmen, lässt sich ausserdem die Brückenempfindlichkeit gegenüber früher verdoppeln.

Bedeutend schwieriger liegt aber das Problem bei den Spannungswandler-Messeinrichtungen. Die Eichstätte des SEV verfügt über deren drei. Zwei sind in Zürich permanent eingebaut und die dritte dient den auswärts auszuführenden Eichungen. Bei allen diesen Messbrücken werden, analog den Stromwandler-Messbrücken, Teilspannungen der Primär- und der Sekundärspannung eines Prüfobjektes miteinander verglichen und die Phasenverschiebung mit einem Dekadenkondensator gemessen. Auch diese Messbrücken bestehen aus verschiedenen Teilern ohmscher oder kapazitiver Art, deren jeder auf eine Genauigkeit von  $\pm 0,2...0,3$  ‰ abgeglichen und geeicht werden kann. Die in Zürich stationär eingebauten Messbrücken arbeiten bis zu 20 kV Primärspannung mit einem ohmschen Widerstandsteiler, darüber bis maximal 80 kV mit einem Normal-Spannungswandler. Den auswärtigen Messungen dient eine Brücke mit kapazitiver Spannungsteilung unter Verwendung eines Pressgaskondensators bis maximal 120 kV Primärspannung. Auch hier gilt das bei der Stromwandler-Prüfeinrichtung Gesagte. Die Spannungswandler-Messbrücke lässt sich als Ganzes nur indirekt mit Hilfe von genau bekannten Prüfobjekten eichen. Zu diesem Zweck haben wir mehrere Präzisions-Spannungswandler verschiedener Nennspannungen beim Amt für Mass und Gewicht in Bern speziell eichen lassen, um damit unsere Messbrücke von Zeit zu Zeit nachkontrollieren zu können; denn bekanntlich ist das heute konstanteste Normal ein Wandler selbst. Eine Eichung der Messbrücke in sich, was bei der Stromwandler-Prüfeinrichtung mit Normalwandler möglich ist, kommt hier aus leicht ersichtlichen Gründen nicht in Frage. Während wir uns einerseits bei Stromwandler-Eichungen für eine ausserordentlich gute Messgenauigkeit verbürgen können, werden wir andererseits für Spannungswandler bei üblichen Eichungen nur innerhalb der vom Amt für Mass und Gewicht zugelassenen Toleranzen von  $\pm 0,1$  ‰ und  $\pm 5$  min garantieren.

Anders liegt der Fall natürlich für spezielle Eichungen. Ich möchte hier nur die Eichung von einigen 150-kV-Messgruppen erwähnen. Diese

Messaggregate, bei denen sowohl die Strom- als auch die Spannungswandler hinsichtlich Messgenauigkeit der Klasse 0,1 ‰ genügen, wurden von der Eichstätte des SEV am Aufstellungsort geeicht. Eine solche Eichung kann natürlich nicht mehr als üblich bezeichnet werden und erfordert entsprechende Vorbereitungen. Die Forderung nach einer Prüfeinrichtung, deren Messgenauigkeit eine Größenordnung genauer ist als diejenige des Prüfobjektes, kann ohnehin nicht erfüllt werden. Es handelt sich also hier darum, wenigstens die Messgenauigkeit der zur Verfügung stehenden Apparaturen so hoch wie möglich zu treiben. Diese Forderung, die uns bei der Stromwandler-Messeinrichtung aus schon erwähnten Gründen keine Schwierigkeiten bot, wurde bei der Spannungswandler-Messbrücke dadurch erfüllt, dass diese unmittelbar vor den Messungen beim Amt für Mass und Gewicht in Bern im Detail geeicht wurde. Im Anschluss an diese Eichungen wurde gleichzeitig mit den Messbrücken des Amtes und des SEV ein Hochspannungs-Präzisionswandler der Technischen Prüfanstalten geeicht und dieser dann für die Messungen am Aufstellungsort der Messgruppen als Normal zur dauernden Ueberwachung der Spannungswandler-Messeinrichtung verwendet.

Wenn wir auch bei Spannungswandler-Eichungen nicht imstande sind, uns über die dabei erzielte Genauigkeit hinsichtlich Absolutwert der gemessenen Fehler, speziell der Uebersetzungsfehler, zu äussern, so darf doch mit Sicherheit angenommen werden, dass wir mit Rücksicht auf die getroffenen Massnahmen bei den eben erwähnten Messungen gegenüber den für die Schweiz verbindlichen Eichwerten des Amtes in Bern eine Messgenauigkeit von  $\pm 0,2...0,3$  ‰ und  $\pm 1...2$  min erreicht haben.

Ueber das subjektive Moment bei der Abgleichung von Wandler-Messbrücken kann nach unseren Erfahrungen folgendes festgestellt werden:

Die Messfehler, die rein subjektiv bei der Abgleichung einer Wandler-Messbrücke durch verschiedene Personen auftreten, können bei guter Brückenempfindlichkeit gegenüber den schon erwähnten Messgenauigkeiten vernachlässigt werden. Sie erreichen diese grössenmässig bei Eichungen mit ca. 20...10 ‰ des Nennstromes oder der Nennspannung und übersteigen sie bei Messungen unterhalb ca. 10 ‰ des Nennwertes. Wir sind jedenfalls, auch bei den für uns günstigeren Bedingungen der Stromwandler-Eichung, nicht in der Lage, bei Messungen mit 5 ‰ des Nennwertes eine grössere Messgenauigkeit als  $\pm 0,5$  ‰ und  $\pm 3$  min zu verbürgen. Bei den allerdings selten vorkommenden Eichungen von Spannungswandlern mit nur ca. 5 ‰ der Nennspannung liegen die Verhältnisse eher noch ungünstiger. Wir werden dort auf alle Fälle nur innerhalb der lt. Vollziehungsverordnung zulässigen Toleranzen von  $\pm 0,1$  ‰ und  $\pm 5$  min garantieren.

Durch den Einbau eines Verstärkers im Galvanometerkreis kann natürlich dessen Empfindlichkeit erhöht und dadurch speziell das subjektive Moment bei der Abgleichung der Messbrücke weitgehend

reduziert werden. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass dadurch eine weitere Fehlerquelle in die Messanordnung eingeführt wird. Speziell bei Eichungen von Spannungswandlern nach der Brückenmethode mit kapazitiver Spannungsteilung, bei der zur Berechnung des Uebersetzungsfehlers auch die Kapazität des Galvanometerkreises gegen Erde berücksichtigt werden muss, können sich durch den Einbau eines solchen Verstärkers schwer abzuklärende Fehler einschleichen, die dann die Verbesserung des subjektiven Momentes illusorisch machen.

In den bisherigen Ausführungen bin ich absichtlich nicht auf die durch Fremdfelder oder ungeeignete Aufstellung der Messbrücken verursachten Messfehler eingetreten, sondern lediglich auf die durch die heutige messtechnische Genauigkeit erreichbaren Grenzen. Die Einflüsse durch fremde Felder oder dergleichen können im allgemeinen — genügend Platz zur einwandfreien Aufstellung einer Messbrücke vorausgesetzt — so klein gehalten werden, dass sie auch die angegebenen Garantien der Messgenauigkeit nicht oder ganz unwesentlich beeinflussen.

Im weitem habe ich noch nicht dazu Stellung genommen, dass speziell bei Spannungswandlern zum Teil ganz erhebliche Messfehler durch eine schlechte Kurvenform der Primärspannung bei der Eichung bedingt werden können.

Bei der Messung eines handelsüblichen Wandlers von 16 kV Primärspannung wurden vor kurzem bei Speisung mit verschiedenen Stromquellen — alle genügender Leistung — unter sonst genau gleichen Bedingungen Unterschiede in den Wandlerfehlern bis zu 0,6 ‰ und 7 min gemessen. Diese Differenzen konnten nur durch die ungleichen Kurvenformen der Meßspannung erklärt werden. Es ist klar, dass am gleichen Prüfobjekt sowohl die Grund-, als auch die höheren Harmonischen des Magnetisierungsstromes von der Kurvenform der Primärspannung abhängig sind. Da nun dieser Magnetisierungsstrom den Uebersetzungsfehler und den Fehlwinkel eines Wandlers bei Leerlauf bestimmt, und das auf Resonanz der Messfrequenz eingestellte Vibrationsgalvanometer der Messbrücke dessen Grundharmonische, also eine Funktion der Kurvenform der Primärspannung berücksichtigt, muss unbedingt zur Erreichung zuverlässiger Eichwerte auf eine einwandfreie Kurvenform der Stromquelle geachtet werden. Je besser sich die Kurvenform der Primärspannung mit der reinen Sinusform deckt, um so negativer wird der Uebersetzungsfehler und um so grösser der Fehlwinkel gemessen. Es hat sich gezeigt, dass das bequemste Organ zur stetigen Regulierung einer Spannung, der Induktionsregler, sich mit Rücksicht auf dessen im allgemeinen schlechte und belastungsempfindliche Kurvenform zur genauen Messung von Spannungswandlern nicht eignet und speziell bei neueren Wandler-Konstruktionen, bei denen vermutlich das aktive Eisen kriegsbedingt stärker ausgenützt wird, zu relativ grossen Messfehlern führen kann.

Auch bei rein sinusförmiger Kurvenform der Primärspannung weist der Magnetisierungsstrom

eines Wandlers ganz allgemein eine starke dritte Harmonische auf, so dass dessen Effektivwert sehr bald 3...5 Prozent grösser sein kann als der Effektivwert der Grundwelle. Wenn wir diesem Gedanken in der Brückenmethode Beachtung schenken, so ist festzustellen, dass auch hier zwischen Messung und Rechnung nur dann volle Uebereinstimmung erreicht werden kann, wenn mit dem Effektivwert der Grundharmonischen des Magnetisierungsstromes gerechnet wird. Die Messfehler, die dadurch bei der Eichung von Wandlern auftreten können, liegen aber, wenigstens bei eichfähigen

Wandlern, hinsichtlich Grösse im allgemeinen wesentlich innerhalb der erwähnten Messgenauigkeit, so dass ihnen mehr theoretische als praktische Bedeutung zukommt.

Näher auf dieses Gebiet einzutreten würde im Rahmen dieses Vortrages zu weit führen und im allgemeinen nur die Herren interessieren, die sich speziell damit zu befassen haben. Vielleicht bietet sich in späterer Zeit hierfür Gelegenheit.

Adresse des Autors:

E. Schneebeli, Ingenieur der Eichstätte des SEV, Seefeldstr. 301., Zürich 8.

## Grundlagen für die Herstellung einfacher Nomogramme

Von Alfred Degen, Basel

518.3

*Es wird eine Theorie zur Darstellung von Nomogrammen entwickelt, bei denen der gesuchte Wert einer Funktion das Produkt verschiedener Variablen und Konstanten ist. Anschliessend wird an einem Beispiel eine Anwendungsmöglichkeit gezeigt.*

*Exposé d'une théorie pour l'établissement de monogrammes, où la valeur cherchée est une fonction du produit de plusieurs variables et constantes. Application de ce procédé à un exemple pratique.*

### 1. Einleitung

Die zeichnerische Darstellung einer Funktion mit mehr als 2 Variablen stösst auf praktische Schwierigkeiten, wenn man nicht Korrekturfaktoren einführen kann. Korrekturfaktoren ermöglichen, den gesuchten Wert aus mehreren Kurvenscharen mit Hilfe des Rechenschiebers zu finden. Dieses Verfahren ist jedoch nicht sehr übersichtlich und versagt bald, wenn eine grössere Zahl von Variablen auftritt. Bei Projektierungsarbeiten, wo es auf eine genaue zahlenmässige Auswertung meistens nicht ankommt, kann man aber zur raschen Bestimmung eines Funktionswertes auf eine übersichtliche zeichnerische Darstellung nicht verzichten. Die zu diesem Zwecke oft verwendeten Nomogramme <sup>1)</sup> haben den Nachteil, dass die Einarbeitung in ihre Theorie ziemlich viel Zeit erfordert, die dem entwerfenden Ingenieur in der Praxis meistens fehlt. Im folgenden wird deshalb eine kurze, besonders einfache Theorie entwickelt. In dieser wird gezeigt, wie eine Funktion beliebig vieler Variablen in einem Nomogramm dargestellt werden kann. Als Voraussetzung gilt, dass der gesuchte Funktionswert als Produkt von Konstanten und von Variablen zu berechnen ist.

### 2. Die Darstellung eines Produktes zweier Faktoren

Es sei das Produkt

$$c = a \cdot b \tag{1}$$

zu ermitteln. Dabei können die beiden Faktoren  $a$  und  $b$  sowohl positiv, als auch negativ sein. Man trägt in einem rechtwinkligen Koordinatensystem auf der Achse 1 den Wert von  $a$  unter Berücksichtigung des Vorzeichens auf (Fig. 1) und macht ferner

$$\operatorname{tg} \varepsilon = n \cdot b \tag{2}$$

Mit  $\varepsilon$  ganz allgemein, resp. mit  $\varepsilon_{l_1}$  und  $\varepsilon_{g_1}$  für die

<sup>1)</sup> Bull. SEV 1941, Nr. 1, S. 1.

Geraden  $l_1$  und  $g_1$  in Fig. 1, wird immer der Winkel gegen den positiven Teil der Achse 1 bezeichnet.

Nach den Regeln der Trigonometrie wird  $\operatorname{tg} \varepsilon$  für Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  positiv und für solche zwischen  $90^\circ$  und  $180^\circ$  negativ. Die Grösse  $n$  sei als Verzerrungsfaktor bezeichnet, dessen Wert somit

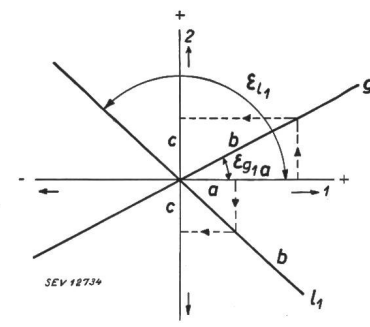


Fig. 1.  
Darstellung eines Produktes

zwischen  $-\infty$  und  $+\infty$  liegen kann. Mit der Einführung eines Verzerrungsfaktors wird erreicht, dass die Lagen der Geraden  $g_1$  ( $0 < \varepsilon_{g_1} < 90^\circ$ ;  $\operatorname{tg} \varepsilon_{g_1} > 0$ ) und  $l_1$  ( $90^\circ < \varepsilon_{l_1} < 180^\circ$ ;  $\operatorname{tg} \varepsilon_{l_1} < 0$ ) für Ablesungen passend gewählt werden können. Für eine Gerade ist natürlich der zugehörige Verzerrungsfaktor konstant. Man erkennt ferner aus Fig. 1, dass  $b$  für die Gerade  $g_1$  positiv und für die Gerade  $l_1$  negativ ist ( $a > 0$  angenommen).

Der Maßstab auf der Achse 1 in Fig. 1 sei nun so gewählt, dass eine Einheit der Grösse  $a$  durch  $x$  cm dargestellt wird. Mit Gl. (2) folgt dann, dass  $c = a \cdot b$  durch

$$a \cdot x \cdot \operatorname{tg} \varepsilon = a \cdot b \cdot n \cdot x \text{ cm} \tag{3}$$

also die Einheit auf der Achse 2 durch  $n \cdot x$  cm dargestellt werden muss. Damit sind sowohl die Massstäbe auf den beiden Achsen als auch die Lagen der Geraden  $g_1$  und  $l_1$  in Fig. 1 festgelegt. Für andere Werte von  $b$  können die zugehörigen Werte von  $\operatorname{tg} \varepsilon$  berechnet und daraus die Geradenscharen  $g_1 \dots g_n$  und  $l_1 \dots l_n$  aufgezeichnet werden.