

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 14 (1923)
Heft: 3

Artikel: Regeln für Messinstrumente und Messwandler in verschiedenen Ländern
Autor: Keinath, Georg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060369>

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: 17.05.2025

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

Regeln für Messinstrumente und Messwandler in verschiedenen Ländern.

Von Dr. Ing. Georg Keinath in Charlottenburg.

Der Autor bespricht die in England, Frankreich, Deutschland und der Schweiz zugelassenen Fehler für Messinstrumente und Messwandler und zieht Vergleiche zwischen den Regeln der verschiedenen Länder.

L'auteur examine quelles sont en Allemagne, en Angleterre, en France et en Suisse, les erreurs tolérées pour les instruments et les transformateurs de mesure. Il compare les règles adoptées dans les différents pays.

In einigen Ländern (England, Deutschland, Frankreich) sind Regeln für die Bewertung und Prüfung elektrischer Messgeräte für Starkstromanlagen aufgestellt worden. Ferner enthalten die Standards of the American Institute of Electrical Engineers eine Anzahl von Bestimmungen über Messinstrumente und Messwandler. Anfänge dazu waren wohl überall vorhanden in den Bedingungen für Lieferungen an Behörden, die bereits einige Vorschriften über Genauigkeit und mechanische Ausführungen enthalten. Die ersten ausführlichen Bestimmungen hat die British Engineering Standards Association schon im Jahre 1909 herausgegeben, eine wesentlich erweiterte Fassung für anzeigende Strom-, Spannungs-, Leistungs-, Leistungsfaktor- und Frequenzmesser, sowie schreibende Messgeräte und Messwandler erschien im Jahre 1919. Noch vor dem Erscheinen der neuen Fassung der englischen Vorschriften wurde vom Zentralverband der Deutschen Elektrotechnischen Industrie mit der Ausarbeitung ähnlicher Regeln begonnen, wie sie übrigens in Deutschland seit langem in den „Maschinennormalien“ bestanden. Gleichzeitig scheint dieselbe Arbeit in Frankreich in Angriff genommen worden zu sein. Die deutschen Regeln, an denen Hersteller, Verbraucher und die Vertreter der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Charlottenburg mitgearbeitet haben, sind inzwischen auf der letzten Jahresversammlung in München vom Verband Deutscher Elektrotechniker angenommen worden. Die französischen Regeln sind noch nicht genehmigt, es liegt lediglich der Entwurf dazu vor.¹⁾ Bei ihnen sind Messgeräte und Messwandler gemeinsam behandelt. Für die Schweiz sind inzwischen auch vom Eidg. Amt für Mass und Gewicht Richtlinien für die Systemprüfung von Elektrizitätsverbrauchsmessern und Messwandlern veröffentlicht worden (Bulletin 1922, No. 4).

Ein kritischer Vergleich der Regeln der verschiedenen Länder dürfte die Leser dieser Zeitschrift wohl interessieren, um so mehr als auch in diesem Lande mit der Zeit für Zeigerinstrumente und Messwandler noch weiter spezifizierte Regeln aufgestellt werden dürften.

Zweck aller dieser Regeln ist, Normen aufzustellen über die Eigenschaften, die ein gutes Messgerät erfüllen muss. Schon für die für eine Festlegung nahe- liegendste Eigenschaft, die *Genauigkeit*, gaben die Hersteller die verschiedenartigsten Garantien. Der eine bezog sie auf den Sollwert, der andere auf den Höchstwert, der eine auf eine bestimmte Normaltemperatur, der andere auf einen Temperaturbereich usw. Ferner tauchten allerorts Messgeräte auf, die hinsichtlich der Genauigkeit und der Betriebssicherheit auch nicht den bescheidensten Ansprüchen genügten. Nach den vorliegenden Regeln der verschiedenen Länder werden die Instrumente in Klassen eingeteilt, für die verschieden hohe Anforderungen festgelegt sind. Wird vom Hersteller die Erfüllung aller Vorschriften garantiert, so darf er das Instrument mit einem bestimmten Kennzeichen versehen.

Der *Geltungsbereich* aller dieser Regeln ist meist auf die normalen Schalttafelinstrumente begrenzt. Ausgenommen sind durchwegs Spezialmessgeräte, z. B. Widerstandsmesser, Temperaturmessgeräte, Kontaktinstrumente. Für schreibende Instrumente bestehen nur in England und Frankreich Vorschriften.

¹⁾ Comptes-rendus des travaux du Comité de la Chambre syndicale des Constructeurs du gros matériel électrique. No. 9 vom 28. Mai 1921.

Einteilung der Messgeräte.

Sie ist in den verschiedenen Ländern nicht einheitlich. *England* unterscheidet: Substandard-Instruments, First Grade Instruments, Second Grade Instruments.

Die an erster Stelle genannten sind die Laboratoriumstypen, die andern wohl hauptsächlich Ausführungen für Schalttafelmontage.

Die *deutschen* Regeln unterscheiden nach Gruppen und Klassen:

Feinmessgeräte I. Klasse *E*, Feinmessgeräte II. Klasse *F*,
Betriebsmessgeräte I. Klasse *G*, Betriebsmessgeräte II. Klasse *H*.

Die Unterteilung der *Feinmessgeräte* kam erst nach langen Beratungen zustande. Sie ermöglicht es, für die besten Instrumente ziemlich enge Grenzen zu setzen, ohne etwas weniger genaue gleich zu den „Betriebsinstrumenten“ rechnen zu müssen. Die sogenannten Montageinstrumente werden aber in vielen Fällen zu Klasse *G* gerechnet werden müssen. Registrierinstrumente umfassen die deutschen Regeln nicht

Die *französischen* Regeln unterscheiden in umgekehrter Folge:

Appareils de Tableau, und zwar *a*) Appareils indicateurs; *b*) Appareils enregistreurs — Appareils de contrôle — Etalons industriels.

Die Appareils de contrôle und Etalons industriels dürften etwa den deutschen Klassen *F* und *E* entsprechen. Schalttafelinstrumente minderer Genauigkeit, entsprechend Klasse *H* in Deutschland und Second Grade in England sind nicht vorgesehen.

Fehlergrenzen. (Hierzu Tafel I und II.)

Die verschiedenen Grenzwerte sind graphisch dargestellt. Die englischen Substandards und die deutsche *E*-Klasse entsprechen einander ziemlich genau. Nur für die englischen Wattmeter sind weitere Grenzen vorgesehen (0,5 % gegen 0,3 %); dazu wird noch diese Zahl allein für $\cos \varphi = 1$ garantiert. Für kleinere Leistungsfaktoren bis herab zu 0,5 wird noch ein zusätzlicher Fehler von 0,5 % vom Sollwert für die Substandards zugelassen. Die deutschen Regeln schreiben für dieses wichtigste aller Wechselstrommessgeräte für alle Leistungsfaktoren zwischen 0 und 1 0,3 % vom Höchstwert vor für Klasse *E*, 0,5 % für Klasse *F*; die Grenzen sind also viel enger. Auch die französischen Regeln haben nur die Garantie für $\cos \varphi = 1$ vorgesehen. Es erscheint dem Bericht unverständlich, weshalb hier die Garantie so vorsichtig gehalten wird. Es setzt eine ganz fahrlässige Konstruktion voraus, wenn ein elektrodynamisches Wattmeter nennenswerten Phasenfehler hat. Zudem lässt sich ein solcher sehr leicht kompensieren.

Es erscheint ferner nicht gut, wenn man, wie es bei den französischen Regeln geschieht, zuerst für eine Korrektortabelle einen bestimmten Betrag zulässt und ausscheidet. Die Fehlergrenzen solcher Instrumente sollen so eng sein, dass man bei minder genauen Messungen auch ohne die Eich-tabelle arbeiten kann.

In den Regeln sind durchweg Grenzen für den *Temperatureinfluss* angegeben, und zwar darf der Fehler für $\pm 10^\circ$ Temperaturänderung nicht überschreiten:

Deutschland:	Spannungs- und Leistungsmesser	Klasse <i>E</i> und <i>F</i>	0,3 %
	Strommesser	Klasse <i>E</i> und <i>F</i>	0,5 %
England:	Substandards: Strom- und Spannungsmesser		1,0 %
	Leistungsmesser		2,0 %
Frankreich:	Etalons industriels		1,0 %

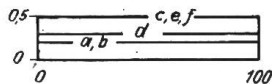
Wiederum fällt die weite Grenze für die englischen Leistungsmesser auf. Bei $\cos \varphi = 0,5$, also halbem Ausschlag, und 30° C darf ein englisches Substandard-Wattmeter an Fehlern aufweisen:

0,5 % vom Höchstwert	= 1 % vom Sollwert bei halbem Ausschlag
für kleinen Cosinus	= 0,5 % „ „
für 10° Temperatureinfluss	= 2,0 % „ „
	3,5 % vom Sollwert.

Beim deutschen sind die entsprechenden Werte: $0,6 \% + 0 \% + 0,3 \% = 0,9 \%$.

Tafel I.
Fehlergrenzen von Fein-Messgeräten.

In den nachfolgenden Figuren ist auf die Abszisse der Skalenausschlag, auf den Ordinaten der maximal zulässige Fehler in Prozenten des Höchstwertes der Skala angegeben.

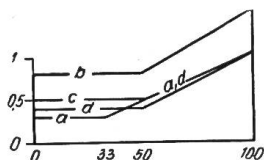


England, Substandards.

- a) Voltmeter mit eingebautem Zubehör,
- b) „ ohne Vorwiderstand,
- c) Amperemeter mit eingebautem Zubehör,
- d) „ der Drehspultype ohne Zubehör,
- e) „ anderer Typen, ohne Zubehör,
- f) Wattmeter mit oder ohne eingebautem Zubehör, $\cos \varphi = 1$

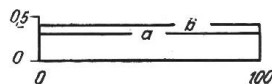
Die Werte gelten inkl. Korrektionstabelle.

Die Fehlergrenze erhöht sich für austauschbare Nebenwiderstände um 0,2 ‰.



Frankreich: Appareils de Contrôle.

- a) Millivoltmeter und Voltmeter mit Drehspul-Messwerk,
- b) Wechselstromvoltmeter mit Dreheisen- und Hitzdraht-Messwerk,
- c) Elektrodynamische Volt- und Ampere-meter,
- d) Elektrodynamische Wattmeter.

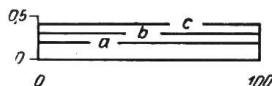


Frankreich: Etalons industriels.

- a) Voltmeter und Millivoltmeter, Drehspul-type,
- b) Elektrodynamische Voltmeter, Ampere-meter und Wattmeter bei $\cos \varphi = 1$,

Die Werte gelten exkl. Korrektionstabelle, die 0,4 ‰ vom Höchstwert nicht überschreiten darf.

Hierzu: Für austauschbare Neben- und Vorwiderstände + 0,2 ‰.

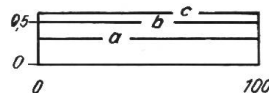


Deutschland, Klasse E.

- a) Strom- und Spannungsmesser der Drehspultype,
- b) Spannungs- und Leistungsmesser anderer Bauart $\cos \varphi = 0 \div 1$,
- c) Strommesser anderer Bauart

Die Werte gelten inkl. Korrektionstabelle.

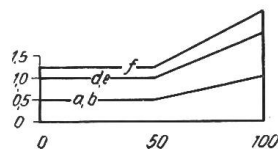
Die Fehlergrenze erhöht sich für mehr als 250 V am Spannungspfad um 0,1 ‰
für austauschbare Vorwiderstände . . um 0,1 ‰
für austauschbare Nebenwiderstände . um 0,2 ‰



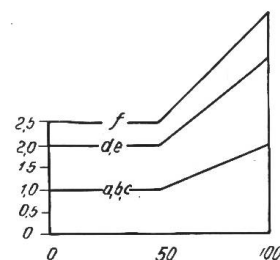
Deutschland, Klasse F.

Tafel II.

Fehlergrenzen von Betriebsmessgeräten.

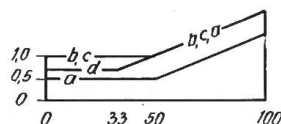


England: First Grade.



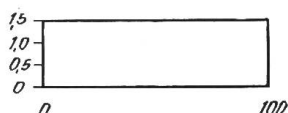
England: Second Grade.

- a) Voltmeter mit eingebautem Zubehör,
- b) „ ohne Zubehör,
- c) Amperemeter der Drehspultype ohne Zubehör,
- d) „ mit eingebautem Zubehör,
- e) „ ohne Zubehör, ausgenommen Drehspultypen,
- f) Wattmeter mit eingebautem Zubehör und Instrumente ohne Zubehör bei $\cos \varphi = 1$.

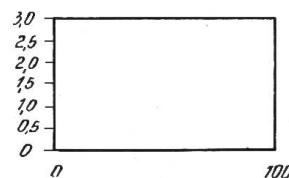


Frankreich: Appareils de tableau.

- a) Drehpul-Strom- und Spannungsmesser,
- b) Dreheisen-Strom- und Spannungsmesser für Gleichstrom,
Unterschied zwischen zu- und abnehmendem Strom max. 2% vom Höchstwert.
- c) Dreheisen-, Drehfeld- und Hitzdrahtinstrumente für Wechselstrom,
- d) Elektrodynamische oder Drehfeld-Leistungsmesser.



Deutschland: Klasse G.



Deutschland: Klasse H.

Schalttafelinstrumente jeder Art, inkl. eingebautem oder getrenntem Zubehör, bei beliebigem Leistungsfaktor.

Hier fällt zunächst auf, dass die deutschen Regeln einen konstanten Fehler, bezogen auf den Höchstwert, zulassen, während die andern Länder, Frankreich, je nach dem Skalencharakter, den konstanten Fehler nur bis $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{2}$ des Höchstwertes gehen lassen und dann den Fehler für den Sollwert angeben. Dass das letztere Verfahren richtiger ist als das erste, ist klar. Es ist aber auch umständlicher für den, der nicht immer derartige Rechnungen ausführt. Im Interesse der Einfachheit ist für die deutschen Regeln die Garantie allein auf den Höchstwert bezogen worden und für alle Instrumentarten gleich gross. Dadurch sind manche Typen schlecht weggekommen. Die Kommission, die die Regeln ausgearbeitet hat, glaubte aber, dies rechtfertigen zu können, weil sie die angegebene Genauigkeit für den Betrieb als ausreichend erachtete, und weil sie der Meinung war, dass für ein Schalttafelinstrument mechanische und elektrische Festigkeit viel wichtiger sind als eine Genauigkeit von einigen Zehntel Prozent. Dadurch sind aber die deutschen Schalt-

tafelmessgeräte scheinbar weniger genau als die anderer Länder, insbesondere in der ersten Skalenhälfte. Der unbefangene Beobachter wird den tatsächlichen Unterschied selbst bewerten können. Am Endwert des Messbereiches liegen die Verhältnisse anders. Hier sind wieder die englischen Wattmeter am ungünstigsten (2,5 bzw. 5 % bei $\cos \varphi = 1$); dazu wird noch für $\cos \varphi = 0,5 \div 1$ ein zusätzlicher Fehler von 2 bzw. 4 % vom Sollwert zugelassen, während sich die deutschen Regeln auf jeden $\cos \varphi$ zwischen 0 und 1 beziehen.

Es ist selbstverständlich unmöglich, hier alle Einzelheiten zu vergleichen; indessen sind noch die Festlegungen für einige andere Eigenschaften erwähnenswert.

Beruhigungszeit. Die französischen Regeln geben eine exakte Definition für die Dämpfung durch die Beobachtung des Verhältnisses zweier aufeinanderfolgender Schwingungen und legen die ersten Ueberschwingungen auf maximal 33 % des Ausschlages fest. Bei den deutschen Regeln wurde davon abgesehen, weil diese Art der Beobachtung bei ungleichförmig geteilter Skala sehr schwierig, fast unmöglich ist. Es erfolgte statt dessen eine Definition der Beruhigungszeit. Hinsichtlich der Dämpfung sind die deutschen Vorschriften milder als die der andern Länder. Mit Rücksicht auf einzelne Typen, deren Umkonstruktion und Verbesserung den Fabrikanten viele Kosten verursacht haben würde, sind weitere Grenzen gezogen worden, die aber doch so eng sind, dass sie vom Konstrukteur nicht unbeachtet bleiben können. Die englischen Zahlen sind, je nach der Zeigerlänge:

2,5 – 3 – 5 Sekunden,

die entsprechenden deutschen:

4 – 5 – 6 Sekunden.

Die französische Vorschrift dürfte noch schärfer sein als die englische; ihre Durchführung wird aber schwierig sein.

Ueberlastungsprobe. Mit Rücksicht auf die mechanische Widerstandsfähigkeit der Instrumente gegen Kurzschlüsse erschien es zweckmässig, für Schalttafelinstrumente eine Ueberlastungsprobe vorzusehen. Für die englischen Instrumente besteht keine diesbezügliche Bestimmung; die französischen sehen eine 5malige Ueberlastung um nur 100 % (aufs doppelte) vor.

Die deutschen Bestimmungen gehen viel weiter; nach ihnen wird das zu prüfende Instrument um 900 %, also 10fach überlastet und zwar 9mal 0,5 Sekunden lang als Stossprobe, anschliessend 1mal 5 Sekunden als thermische Probe. Es darf dabei nicht merklichen Schaden leiden. Diese Ueberlastung reicht erfahrungsgemäss in vielen Fällen noch nicht einmal aus; oft müssen die Instrumente 20fachen Strom aushalten, und es ist sogar möglich, einzelne Typen so zu bauen, dass sie kurzzeitige Stromstösse vom 30- und 40-fachen Betrag des Nennstromes aushalten. Es erscheint wichtig, auf diesen für den Betrieb wesentlichen Vorzug der deutschen Bestimmungen hinzuweisen. Ausgenommen sind Spannungsmesser aller Arten und die Strompfade elektrodynamischer und thermischer Instrumente.

Isolierfestigkeit. Die Regeln aller drei Länder schreiben eine Durchschlagprobe vor, und zwar

England: bis $E = 25$ V Erdspannung	$250 \text{ V} + 2 E$
E über 25 bis 1000 V Erdspannung	$500 \text{ V} + 2 E$
$E > 1000$ V	$1000 \text{ V} + 2 E$

Frankreich:	$1000 \text{ V} + 2 E$
--------------------	------------------------

Deutschland:	Volt	Volt	Kennzeichen auf der Skala
E max	40	500	schwarzer Stern
$41 \div$	100	1000	brauner „
$101 \div$	650	2000	roter „
$651 \div$	900	3000	blauer „
$901 \div$	1500	5000	grüner „

Die amerikanischen Regeln schreiben für Messgeräte z. Z. noch keine Prüfspannungen vor.

Fig. 1 zeigt die Prüfwerte der verschiedenen Länder graphisch in logarithmischem Masstabe.

Die deutsche „Serien“-Einteilung erscheint, namentlich vom Standpunkt des Herstellers aus, sehr zweckmässig. Es lässt sich im Betriebe doch nicht durchführen, dass die Instrumente individuell geprüft werden. Vor allem weiss man bei den Strommessern selten, für welche Erdspannung sie verwendet werden. Bei der Montage des Instrumentes möchte man auch wissen, für welche Spannung es verwendet werden darf.

Die deutschen Bestimmungen sind, von einer geringfügigen Ausnahme (Instrumente von 25 ÷ 40 V) abgesehen, viel schärfer als die englischen. Für Starkstrom (über 100 V) decken sie sich ziemlich genau mit den französischen. Die niedrige

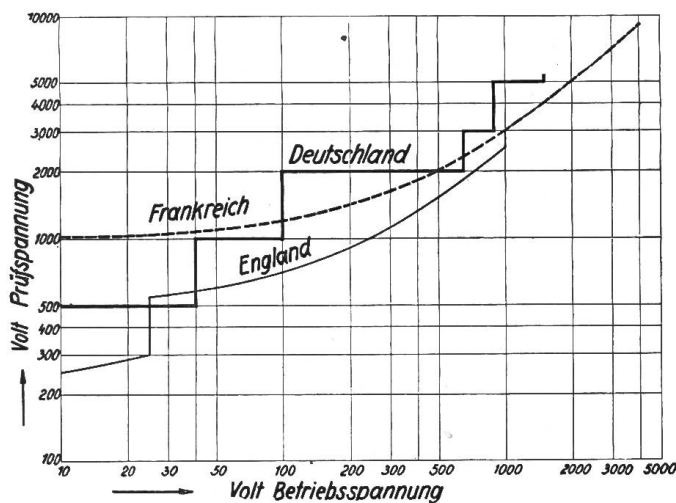


Fig. 1

Prüfspannung von Schalttafelinstrumenten.

Stufe der Prüfspannung von 500 V wurde in Deutschland gewählt, um die Konstruktion kleiner Instrumente für Automobilbeleuchtung usw. nicht zu erschweren. Die deutschen Bestimmungen sind noch keineswegs zu scharf; für Gleichstromnetze mit 500 V und darüber erscheinen sie dem Bericht auf Grund eingehender Beobachtungen noch viel zu milde. Die englischen, die für 1000 V Gleichstrom nur 3000 V Prüfspannung vorschreiben, sind zweifellos ungenügend. Zweckmässig wäre es, für Gleichspannungen von 500 bis 1000 V mit 5000 V, bei 1000 ÷ 2000 V mit 10000 V Wechselspannung zu prüfen. Allerdings wird dadurch die Fabrikation solcher Instrumente ganz erheblich erschwert und verteuert.

Die englischen Regeln schreiben noch einen Mindest-Isolationswiderstand für die Instrumente vor, die deutschen Regeln statt dessen Mindestkriechstrecken, z. B. für das 1000 V-Instrument 12 mm. Auch diese Werte erscheinen dem Bericht noch ungenügend; jetzt wird aber an den meisten Stellen mit viel geringerer Sicherheit gearbeitet, und es erschien nötig, damit einmal den Anfang zu machen. Jedenfalls bildet die Durchschlagprobe allein keine Gewähr für die Betriebssicherheit, ebenso wenig der Isolationswiderstand. Die Festlegung einer Mindestkriechstrecke erscheint zweckmässiger als die eines Mindestwiderstandes. Die Durchschlagprobe hat allein den Zweck, Fabrikationsfehler zu entdecken.

Fremdfeldeinfluss. Für die Brauchbarkeit eines Instrumentes ist auch die Beeinflussbarkeit durch fremde Felder von Wichtigkeit. Es kommt vor, dass Instrumente in nächster Nähe von stromführenden Schienen gesetzt werden müssen und dass sie dann um 10 % und mehr falsch zeigen. Eine Schiene mit 10000 Ampere gibt z. B. noch in 2 m Abstand ein Feld von 10 Gauss.²⁾

Die englischen Regeln schreiben vor, dass Schalttafel-Strom- und Spannungsmesser in einem Felde von 10 Gauss keinen grössern Fehler als 3 % vom Sollwert zeigen dürfen; die deutschen sehen für alle Instrumente, mit Ausnahme der eisenlosen Elektrodynamometer, 3 % für 5 Gauss vor, also für das halb so starke Feld. Die

²⁾ In dem Ofenraum eines Aluminiumwerkes wurden unlängst im ganzen Raum Feldstärken von 10 bis 20 Gauss festgestellt. An keiner einzigen zur Aufstellung von Messgeräten geeigneten Stelle war die Feldstärke kleiner als 10 Gauss.

englischen Regeln schliessen indessen das Wattmeter von dieser Bestimmung aus, obwohl es wichtiger sein dürfte, als das Volt- und Amperemeter. Die Werte für die deutschen Regeln sind vom Bericht nach Prüfung einer grossen Zahl von Instrumenten verschiedener Herkunft vorgeschlagen worden. Ein grosser Teil hätte die englische Garantie erreicht; mit Rücksicht auf die Beunruhigung der Industrie wurde aber eine weitere Grenze gewählt, die eher einzuhalten ist. Derartige Regeln dürfen, soweit nicht die Betriebssicherheit in Frage kommt, nicht von Anfang an zu scharf sein, es ist schon viel gewonnen, wenn das Augenmerk der Hersteller und Verbraucher auf diesen wichtigen Punkt gelenkt worden ist.

Symbol des Messwerks. Bei der gleichen Ausführung des Gehäuses vieler Instrumentarten ist es wünschenswert, zu erkennen, welche Art eines Messwerks eingebaut ist. Siemens & Halske verwenden nunmehr seit zehn Jahren auf den Skalen aufgedruckte Symbole, die das Messprinzip (Drehspule, Hitzdraht usw.) erläutern. Diese Bezeichnung hat überall Beachtung gefunden und dürfte wohl auch von andern Ländern übernommen werden.

Mit dem obigen dürften die wesentlichsten Punkte der Regeln für Messinstrumente, wie sie in den drei Ländern aufgestellt bzw. vorgeschlagen sind, besprochen sein. *Edgcumbe* behauptet³⁾, dass die englischen Regeln fast immer strenger seien und bezieht sich besonders auf die Dämpfung und den Fremdfeldeinfluss. Dies trifft allerdings zu, weil die Verfasser der deutschen Regeln nichts aufnehmen wollten, das nicht erfüllt werden könnte. Dagegen dürfte aus dem zahlenmässigen Vergleich hervorgehen, dass in ganz wesentlichen anderen Punkten, hinsichtlich der Genauigkeit der Wattmeter bei kleinen Leistungsfaktoren, insbesondere aber der Isolierfestigkeit und der Ueberlastungsprobe, also vor allem hinsichtlich der Betriebssicherheit, der deutsche Entwurf weit über dem englischen steht, und dass auch die französischen Vorschläge, die noch der Genehmigung bedürfen, vielfach über die englischen hinausgehen.

Messwandler.

Für Messwandler liegen an gedruckten Regeln vor:

England: British Standards Specification No. 81, Oktober 1919.

Deutschland: Regeln für Messwandler, angenommen 1921. (Siehe E. T. Z. 1921, Seiten 209, 836.)

Frankreich: Entwurf, Bericht von M. Illiovič⁴⁾.

Schweiz: Entwurf zu Richtlinien, Bulletin 1922, Seite 141.

Von diesen sind die deutschen Regeln am weitesten ausgearbeitet. Wichtig ist zunächst die Einteilung. Die deutschen Regeln unterscheiden fünf Klassen von *Stromwandlern*, wie die der Messinstrumente mit Buchstaben bezeichnet, und zwar:

Klasse *E* Beglaubigungsfähige Stromwandler, nach den Bestimmungen der P. T. R. Mindestleistung 15 VA.

Klasse *F* Wandler zum Anschluss von Schaltfelleistungsmessern und von Zählern bei geringeren Genauigkeitsanforderungen.

Klasse *G* Wandler zum Anschluss von Strommessern.

Klasse *H, J* Wandler zum Anschluss von Relais.

Die englischen Regeln unterscheiden die Wandler nur nach der verfügbaren Sekundärleistung, und zwar sind zwei Stufen vorgesehen für 15 und 40 VA. Zwei weitere Klassen entstehen dadurch, dass für Ammeter Transformers der Fehlwinkel nicht begrenzt wird.

Die französischen Regeln beziehen sich nur auf eine Klasse von Wandlern mit 30 VA Leistung. Eine Unterklasse sind die Wandler, die nur für Strommesser benützt werden. Für diese ist der Fehlwinkel nicht vorgeschrieben.

³⁾ Electrical Review, 5. Mai 1922.

⁴⁾ Comptes-rendus des travaux du Comité de la Chambre syndicale des Constructeurs du gros matériel électrique. No. 9 vom 28. Mai 1921.

Die Bestimmungen der Schweiz beziehen sich nur auf Stromwandler für Zähler, die zur Systemprüfung eingereicht werden. Als Mindestleistung sind 10 VA vorgeschrieben.

Für *Spannungswandler* werden nur in den deutschen Regeln drei Arten unterschieden:

- E*-Wandler beglaubigungsfähige Spannungswandler nach den Bestimmungen der P. T. R., Mindestleistung 15 VA.
- F*-Wandler
- H*-Wandler zum Anschluss an Relais.

In den nachstehenden Tafeln III und IV sind die zugelassenen Fehler graphisch dargestellt. Die Bilder bedürfen wohl keiner besonderen Erläuterung. Zu bemerken wäre nur, dass am schwierigsten die Ecken in den unteren Strombereichen zu „umgehen“ sind. Die treppenförmige Abstufung der deutschen Regeln für *E*-Wandler passt sich dem Verlauf der Fehlerkurve der Stromwandler sehr gut an. Es erscheint, auch bei Verwendung für Zähler, bei denen auch für geringe Belastung hohe Genauigkeit gefordert wird, gerechtfertigt, bei kleinem Strom grössere Fehler zuzulassen. Die Genauigkeit der anzuschliessenden Messgeräte wird dadurch bei Vollast höher als wenn man unter Verwendung einer Wandlertype bestimmter Grösse einen gleichmässigen, der kleinen Strombelastung angepassten Fehler für den ganzen Strombereich zulässt.

Prüfspannung. Hier wird im allgemeinen zwischen Strom- und Spannungswandlern ein Unterschied gemacht. Stromwandler werden meist schärfer geprüft als Spannungswandler, weil man sie nicht wie diese durch Sicherungen schützen kann und ein Schaden an ihnen bedeutsamer ist.

Die englischen Regeln schreiben für Stromwandler in Drehstromnetzen mit geerdetem oder nicht geerdetem Nulleiter vor:

- bis 660 V Prüfspannung 2000 V
- über 660 V Prüfspannung $2000\text{ V} + 2,25\text{ E}$.

Ist eine Leitung in einem Ein-, Zwei- oder Dreiphasennetz dauernd geerdet, so erhöht sich die Prüfspannung für Betriebsspannungen über 600 V um 50 %.

Für Spannungswandler ist vorgeschrieben:

- bis 660 V 2000 V
- über 660 V $2000\text{ V} + 2,25\text{ E}$.

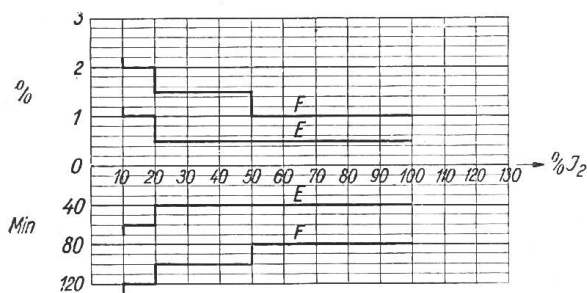
Diese Bestimmungen decken sich für Strom- und Spannungswandler mit den amerikanischen Vorschriften.

Nach den gegenwärtig noch geltenden deutschen Regeln unterliegen die Stromwandler den Bestimmungen für Schaltapparate und werden als solche schärfer geprüft als die Spannungswandler, die den Maschinennormalien entsprechen müssen. In Aussicht genommen ist die Erhöhung der Prüfspannung auf $2\text{ E} + 20\text{ kV}$.

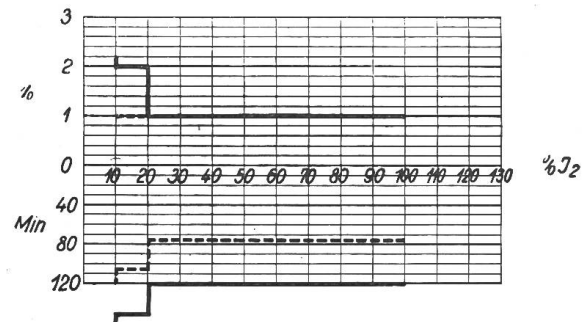
Die Stromwandler werden nach Serien geprüft und zwar:

Serie	Max. Betriebsspannung kV	Prüfspannung kV	Neuer Vorschlag $2\text{ E} + 20\text{ kV}$
I	3	10	26
II	6	20	32
III	12	30	44
IV	24	50	68
V	35	70	90
VI	50	110	120
VIa	65	144	150
VII	80	176	180
VIII	100	220	220

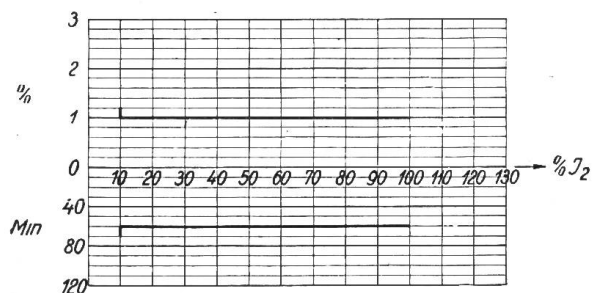
Tafel III.
Stromwandler.



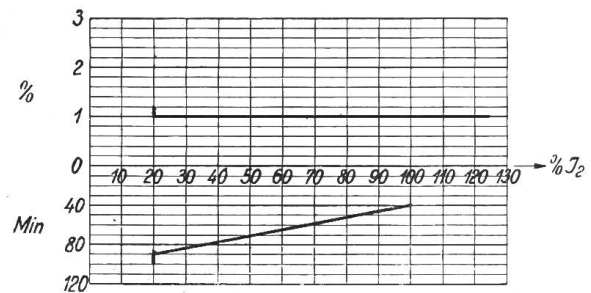
Deutschland: Sekundärbelastung mindestens 15 VA mit $\cos \varphi = 0,5 \div 1,0$.



England: Sekundärbelastung mindestens 15 VA
Ausgezogene Linie bei voller Belastung für $\cos \varphi = 1$. Die punktierte Linie gilt für 5 VA Belastung der 15 VA = Type.

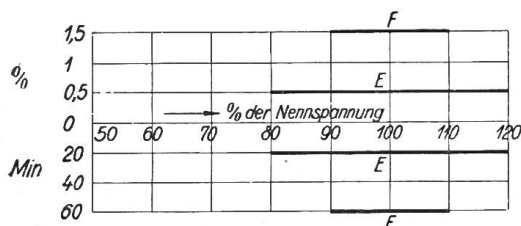


Schweiz: Sekundärbelastung mindestens 10 VA mit $\cos \varphi = 0,5 \div 1,0$.

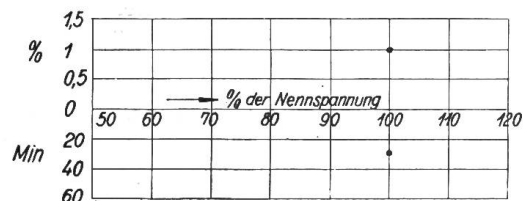


Frankreich: Sekundärbelastung mindestens 15 VA

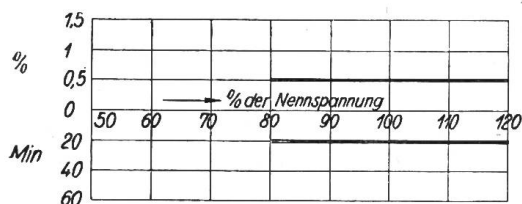
Tafel IV.
Spannungswandler.



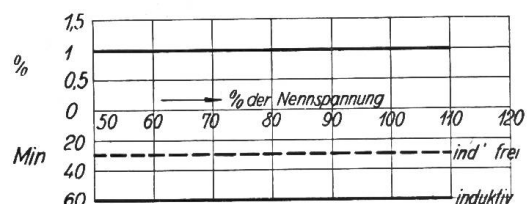
Deutschland: E-Wandler: Sekundärbelastung mindestens 30 VA mit $\cos \varphi = 0,5 \div 1,0$.
F-Wandler: desgl. mit $\cos \varphi = 0,6 \div 1,0$.



England: Sekundärbelastung mindestens 15 VA mit $\cos \varphi = 1,0$.



Schweiz: Sekundärbelastung mindestens 30 VA mit $\cos \varphi = 0,5 \div 1,0$.



Frankreich: Sekundärbelastung mindestens 30 VA mit $\cos \varphi = 0 \div 1,0$ Fehlwinkel abgestuft für induktive und induktionfreie Belastung.

Die Spannungswandler werden geprüft:

bis 5000 V Betriebsspannung	2,5 E, minimal 1000 V
5000 bis 7500 V	" E + 7500 V
7500 bis 50000 V	" 2 E
über 50000 V	" nach besonderer Vereinbarung.

Die französischen Regeln schreiben einheitlich für Strom- und Spannungswandler $2 E + 1000$ V als Prüfspannung vor.

Die schweizerischen Bestimmungen legen unter Voraussetzung sinusförmiger Prüfspannung die Prüfspannung auf die deutschen Werte für Spannungswandler fest mit dem Zusatz, dass über 50 kV mit einer Ueberspannung von 50 kV zu prüfen ist.

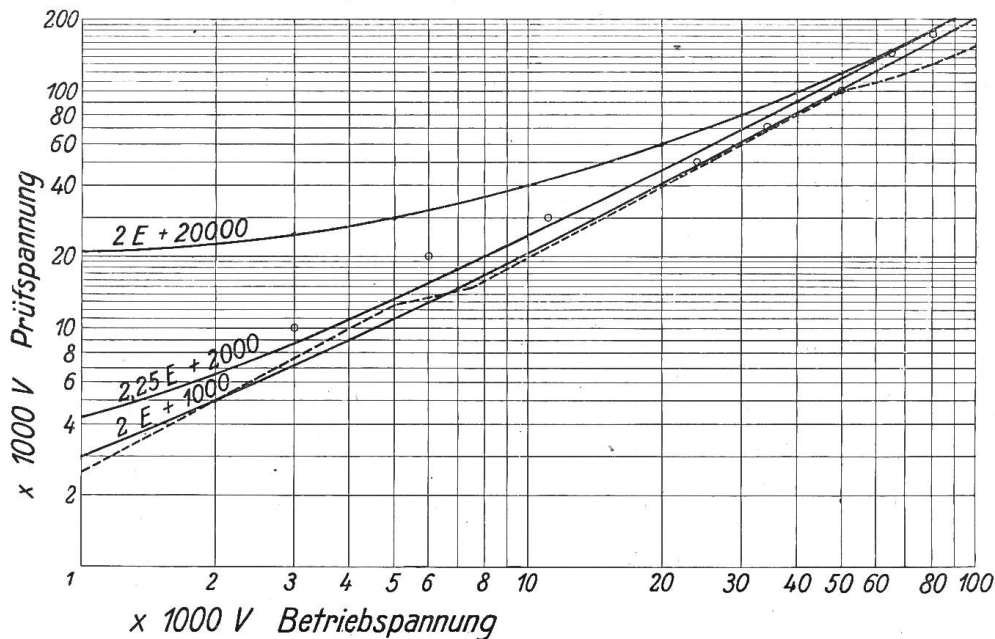


Fig. 2

Prüfspannungen für Messwandler.

- Kreise: Serien-Prüfspannungen des V. D. E.
 $2 E + 20000$: Neue Prüfspannungen des V. D. E.
 $2,25 E + 2000$: Amerika und England.
 $2 E + 1000$: Frankreich.
gestrichelt: Schweiz und Deutschland.

In Fig. 2 sind die Prüfspannungen für $1 \div 100$ kV Betriebsspannung zusammengestellt.

Als Prüfspannung der Sekundärwicklung gegen das Gehäuse wird in den deutschen und englischen Regeln 2000 V vorgeschrieben, in den schweizerischen Bestimmungen 1000 V, in den französischen $2 e + 1000$ V für Spannungswandler (e = Niederspannung), 1500 V für Stromwandler.

Es wäre sehr zu wünschen, dass sich die Vertreter der Länder auf gleiche Prüfbedingungen einigen würden, besonders bezüglich der Prüfung der Hochspannungswicklung.

Ueberstromprüfung der Stromwandler.

Da die Stromwandler im Zuge der Leitung liegen, ist es nicht möglich, sie vor Ueberströmen zu schützen. Zum Schutze gegen Sprungwellen verwendet man Parallelwiderstände aus Silit oder Parallelfunkenstrecken, auch Parallelkondensatoren, die den hochfrequenten Schwingungen einen bequemen Nebenweg bieten.

Ueberströme können zwei Arten von Schäden zur Folge haben, thermische und mechanische. Zur Bestimmung der Uebertemperatur eines Stromwandlers ist die

spezifische Belastung der Wicklung bei Nennstrom und die Höhe und die Zeit des Ueberstromes zu berücksichtigen. Für kurzzeitige Ueberlastungen bis zu wenigen Sekunden Dauer nimmt man allgemein an, dass während dieser Zeit keine Wärmeableitung aus dem Kupfer in die Umgebung stattfinden kann. Entgegen früheren Veröffentlichungen

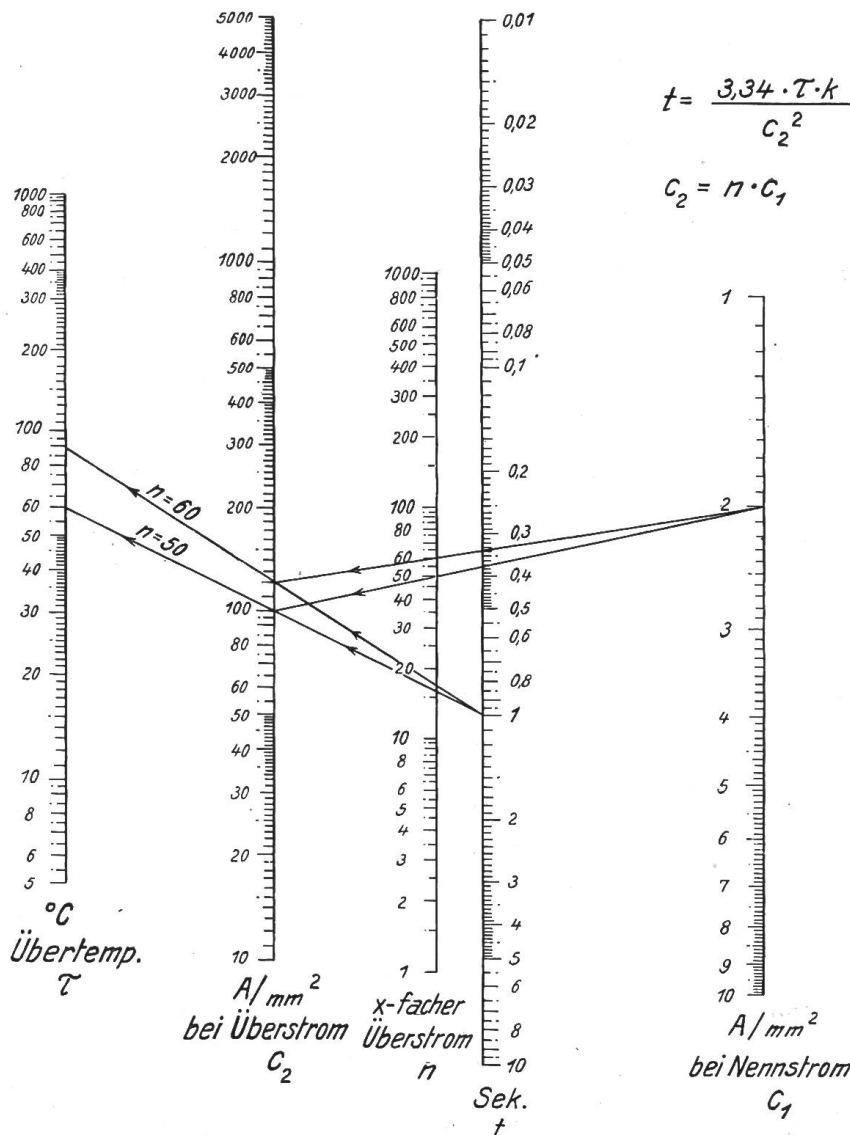


Fig. 3

Nomogramm zur Bestimmung der Ubertemperatur von Stromwandlerwicklungen bei kurzzeitiger Ueberlastung.

c_1 = Stromdichte bei Nennstrom,

c_2 = Stromdichte bei n -fachem Ueberstrom.

(Die eingezeichneten Linien gelten für $c_1 = 2$ und 50- bzw. 60fachen Ueberstrom, entsprechend Kurzschlussziffer 1 und 2 der deutschen Regeln für Messwandler. Daraus $c_2 = 100$ bzw. 120. Für $t = 1$ sek. ergibt sich die Ubertemperatur τ zu 60 bzw. 89°C. In der Temperaturskala ist die Abnahme des Leitvermögens k mit steigender Temperatur berücksichtigt, nicht aber die Vorerwärmung durch den vor der Ueberlastung bestandenen Strom.)

den, in Reihe gegeneinander geschalteten Wicklungen 5 Sekunden lang an 220 V Gleichstrom gelegt und die Temperaturerhöhung aus den Widerstandswerten errechnet. Die so gefundenen Werte der Temperatur waren etwa 30% niedriger als die aus dem Nomogramm bestimmten.

Die deutschen Regeln schreiben nun zwei Grade von Kurzschlussfestigkeit vor, und zwar in thermischer Hinsicht die Ueberlastung mit 50- und 60fachem Nennstrom

ist es nicht nötig, die Abmessungen und das Gewicht der Kupferwicklung zu kennen, es genügt, wenn die Querschnittbelastung bei Nennstrom bekannt ist. Unter Benutzung einer nomographischen Tafel (Fig. 3) lässt sich die Ubertemperatur für jede Ueberlastungsdauer und jeden Ueberstrom in einfachster Weise bestimmen. Die Temperaturskala ist dabei bereits unter Berücksichtigung des mit zunehmender Temperatur abnehmenden Leitvermögens berechnet. Die Ergebnisse sind nicht genau, sie berücksichtigen die Vorerwärmung des Kupfers durch den Dauerstrom nicht, sie reichen aber für die Praxis aus, weil die Verhältnisse bei Ueberstrom im Netz wohl niemals zahlenmässig genau bekannt sein werden. Die tatsächlichen Ubertemperaturen sind, wie sich aus Versuchen ergeben hat, die bei Siemens & Halske ausgeführt wurden, ganz wesentlich niedriger. Die Temperaturmessung erfolgte dadurch, dass man den Stromwandler mit Gleichstrom überlastete und Strom und Spannung oszillographisch aufzeichnete. Ein 5 Ampere-Wandler wurde mit bei-

durch 1 Sekunde. Die Uebertemperatur wird nicht vorgeschrieben. Bei den kurzen Zeiten darf man eine Endtemperatur (einschliesslich der Grundtemperatur) von 200° Celsius zulassen, also Uebertemperaturen von etwa 150° Celsius. Aus der Tafel lässt sich ermitteln, dass für 60fachen Ueberstrom dafür noch eine Querschnittsbelastung von 2,5 Ampere/mm² zulässig ist.

Die mechanische Beanspruchung der Stromwandler bei Ueberstrom äussert sich darin, dass durch die elektrodynamische Wirkung parallele Leiter ungleichen Stromsinnes auseinandergebogen werden, z. B. werden die Einführungen in die gewöhnlichen Stromwandler mit aufgebautem Porzellanisolator zuweilen so stark auseinandergetrieben, dass der Isolator der Länge nach zersprengt wird. Aus diesem Grunde verwendet man neuerdings vielfach die mechanisch unbedingt kurzschlussicheren Einleiterstromwandler, bei denen ein gerades Leiterstück in einem allseitig bewickelten Ringkern liegt. Da diese Wandler nur für Stromstärken über 200 Ampere mit einiger Genauigkeit ausführbar sind, erst bei 500 Ampere als Feinmesswandler, ist es nicht zu umgehen, auch Mehrleiterwandler zu verwenden, die der Bauweise nach nicht absolut kurzschlussicher sind. Die mechanische Beanspruchung erfolgt allein durch den Stosskurzschlussstrom, der nur in der ersten Halbwelle der Kurzschlussdauer auftritt, also thermisch kaum zur Wirkung kommt. Er kann (im Scheitel der Welle gemessen) den 300- bis 500fachen Betrag des Nennstromes erreichen. Die deutschen Regeln schreiben hinsichtlich der mechanischen Kurzschlussicherheit vor, dass der Wandler eine erste Stromamplitude vom 75- bzw. 150fachen Betrag des Nennstromes ohne mechanischen Schaden aushalten muss. Diese Bedingungen sind nicht allzu scharf; bei Versuchen, die an Stromwandlern der Siemens & Halske A.-G. gemacht wurden, kamen Stromamplituden bis zum 540fachen Betrag des Nennstromes (27 000 Ampere bei 50 Ampere Nennstrom und 112 000 Ampere bei 300 Ampere Nennstrom) zur Anwendung, wobei an der Isolation sich nach der Ueberlastung kein Fehler zeigte. Es werden deshalb wohl die deutschen Regeln bei einer Revision in dieser Hinsicht verschärft werden können.

Bestimmungen dieser Art sind in den anderen Ländern nicht getroffen, es sind lediglich in England und Frankreich, wie auch ausserdem in Deutschland Vorschriften über den zulässigen Erwärmungsgrad bei Dauerbelastung und einem Ueberstrom von 20 bzw. 25% des Nennstromes gegeben. In dieser Hinsicht werden die Messwandler durchweg in gleicher Weise behandelt wie elektrische Maschinen und Grosstransformatoren.

Selbstverständlich enthalten die Regeln der Länder noch verschiedene Festlegungen, die nicht die gleichen sind, es würde aber zu weit führen, sie alle zu besprechen. Zu genaueren Studien sei auf die Originale der Veröffentlichungen verwiesen, die obenstehenden Ausführungen sollten nur die wesentlichsten Bestimmungen vergleichen und so vielleicht auch zur Aufstellung einheitlicher Vorschriften in den verschiedenen Ländern im Interesse von Herstellern und Verbrauchern anregen.

Das ohmsche Gesetz als Sonderfall der Kraftflusshypothese.

Elementar dargestellt von Prof. Dr. W. Kummer, Ingenieur, Zürich.

Wie Prof. A. Imhof gezeigt hat, weist die von Prof. J. Fischer-Hinnen angewandte Darstellungsweise des ohmschen Gesetzes aus der allgemeinen Kraftflusshypothese ein Versehen auf. Der Verfasser dieses Aufsatzes, Prof. Dr. W. Kummer, erinnert an den Ursprung der Kraftflusshypothese, die auf J. B. Fourier zurückgeht, und an die grundsätzliche Berechtigung der von Fischer-Hinnen versuchten Darstellungsweise.

M. le prof. A. Imhof a démontré que la manière de présenter la loi d'ohm comme un cas particulier de l'hypothèse d'un flux de force, ainsi que l'a fait M. J. Fischer-Hinnen dans son livre était entachée d'une d'erreur. M. le prof. W. Kummer, l'auteur du présent article, fait l'historique de l'hypothèse d'un flux de force, qui remonte à J. B. Fourier, et fait ressortir le bien fondé de l'idée, dont J. Fischer-Hinnen s'était inspiré.