

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	71 (1980)
Heft:	3
Artikel:	Beitrag zur Schaffung einer genauen Messbasis für Leistung und Energie bei 50 Hz
Autor:	Tschappu, F.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-905219

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: 24.01.2026

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

Beitrag zur Schaffung einer genauen Messbasis für Leistung und Energie bei 50 Hz

Von F. Tschappu

621.317.34

Es werden die Resultate von Vergleichsmessungen mit einem statischen Eichzähler bei verschiedenen Meßstellen in Europa und bei Landis & Gyr Zug präsentiert und kommentiert. Sie bezwecken die Schaffung der notwendigen Voraussetzungen zur Realisierung einer einheitlichen Messbasis bei den verschiedenen Meßstellen für Leistung und Energie bei 50 Hz. Bezogen auf die Scheinleistung bzw. Scheinenergie beträgt die Standardabweichung σ über alle Meßstellen, bezogen auf ihren Mittelwert ca. $1 \cdot 10^{-4}$. Aus den Resultaten können die Eigenfehler F_M der beteiligten Stellen gegenüber dem Mittelwert aller Meßstellen ermittelt werden, um damit aus den gemessenen Fehlern von Prüflingen deren absoluten Fehler zu bestimmen.

Présentation et discussion des résultats de mesures comparatives avec un compteur statique d'étalonnage, effectuées dans divers laboratoires en Europe et chez Landis & Gyr, à Zug, dans le but d'obtenir les conditions indispensables à la réalisation d'une base uniforme pour la mesure de la puissance et de l'énergie, à 50 Hz. Rapporté à la puissance ou à l'énergie apparente, l'écart-type σ pour l'ensemble des laboratoires est d'environ $1 \cdot 10^{-4}$ en moyenne. Les résultats permettent de déterminer l'erreur propre F_M des laboratoires participants, par rapport à la valeur moyenne, et ainsi l'erreur absolue, d'après les erreurs mesurées aux compteurs en essai.

1. Einleitung

Erzeugung und Verbrauch von elektrischer Energie spielt im modernen Wirtschaftsleben eine wichtige Rolle. Aus der Energie-Statistik des Eidgenössischen Amtes für Energiewirtschaft ist ersichtlich, dass der Landesverbrauch an elektrischer Energie im hydrologischen Jahr 1977/78 ohne Abgabe an Elektrokessel und Speicherpumpen ca. $36 \cdot 10^9$ kWh betrug [1]. Gemessen am Gesamtenergiebedarf betrug der Anteil der elektrischen Energie ca. 23%; weitere 64% wurden durch Erdölprodukte gedeckt.

Die elektrische Energie muss wie jede Handelsware möglichst genau quantitativ erfasst werden, bevor sie verrechnet werden kann. Dazu bedarf es genauer Maßstäbe und Messmittel. Mit dem Fortschritt der Technik wurden diese im allgemeinen und speziell für die Messung der elektrischen Energie dauernd verfeinert. Das von der Commission Electrotechnique Internationale (CEI/IEC) empfohlene und in vielen Ländern bereits gesetzlich vorgeschriebene Internationale Maßsystem (SI) bildet die Grundlage und vereinigt alle physikalischen Größen.

Unter der Annahme, dass die verbrauchte elektrische Energie in der Schweiz im Jahre 1977/78 zu einem mittleren Preis von 11,7 Rp./kWh [1b, Seite 386] verkauft wurde, betrug ihr Gegenwert rund 4,2 Mia Fr. Diese Energie muss an den verschiedenen Übergabestellen gemessen und fakturiert werden. Rechnet man dabei mit einem mittleren Messfehler von 0,1%, so würde bereits ein Fehlbetrag von 4,2 Mio Fr. entstehen. Daraus ist ersichtlich, dass die Frage der Messgenauigkeit primäre Bedeutung gewinnt. Die vereinfachende Annahme eines mittleren Messfehlers von 0,1% ist natürlich rein theoretisch und soll nur die Größenordnung betonen, um die es hier geht.

Es kann nämlich mit Recht eingewendet werden, dass die zahlreichen Randbedingungen der vielen Meßstellen im Niederspannungsnetz, wo Messinstrumente der Klasse 2 eingesetzt sind, die durch die Messunsicherheit verursachten Messfehler zum grössten Teil ausmitteln, wenn sie zufälliger Natur sind.

Die zur Verrechnung der elektrischen Energie im Netz verwendeten Messgeräte werden vor ihrem Einsatz mit bekannten Messnormalen verglichen und justiert. Sind diese Normale mangels einheitlicher Messbasis mit systematischen Messfehlern behaftet, so wird mit den Verrechnungszählern im Netz

auch systematisch falsch gemessen. Diese Fehler machen sich besonders bei der Messung der elektrischen Energie im Höchstspannungs-Verbundnetz bemerkbar, wo grosse Energiebeträge von einer relativ kleinen Anzahl Zähler gemessen werden [4].

Mit dem Fortschritt der Technik waren und sind die Hersteller elektrischer Messinstrumente stets bestrebt, die Mess-eigenschaften ihrer Produkte dem Bedürfnis anzupassen und laufend zu verbessern. Heute sind statische Hochpräzisionszähler der Klasse 0,2 verschiedener Hersteller auf dem Markt erhältlich.

Diese gesteigerte Genauigkeit verlangt, dass auch die Messgenauigkeit der als Messbasis verwendeten Normale verbessert wird. Eine empirische Faustregel besagt, dass die Messgenauigkeit eines Normals um mindestens eine halbe Größenordnung grösser sein soll als die des Prüflings. Vor 20 Jahren war dies kein Problem; eine Verbesserung der absoluten Messgenauigkeit der Normale konnte jedoch seither mit der laufenden Verbesserung der Präzision der Verrechnungszähler nicht vollständig Schritt halten, denn es fehlte hauptsächlich an genau definierten Bezugsgrößen.

Das Internationale Maßsystem definiert u.a. physikalische Größen und Einheiten. Auf dem Gebiet der Elektrizität ist die Einheit Ampère als Grundeinheit des elektrischen Stromes definiert als Kräftewirkung zwischen zwei parallelen stromdurchflossenen Leitern. Über den Begriff der Leistung ist auch die Einheit der elektrischen Spannung und mit dem Ohmschen Gesetz ist auch die Einheit des elektrischen Widerstandes verknüpft und an die Grundeinheiten des SI angeschlossen. Deren Realisierung ist aber nur möglich für zeitlich konstante Größen. In der Energie-Messtechnik hat man es jedoch mehrheitlich mit zeitlich variablen elektrischen Größen zu tun. Dabei stellt sich die Frage nach dem Transfer auf die entsprechenden zeitlich konstanten Größen [3].

Diese Möglichkeit ist gegeben mit speziellen Messinstrumenten, die die elektrischen Größen im Bereich der Niedrfrequenz unabhängig von der Netzfrequenz messen. Sie können vorgängig der Wechselstrommessung mit den entsprechenden Gleichstromwerten justiert werden. Trotz dieser scheinbar einfachen Massnahme beinhaltet der Transfer zusätzliche Fehlerquellen, die auch mit einer vorgängigen Justierung mit zeitlich konstanten Größen nicht ohne weiteres erkannt und

berücksichtigt werden können. Die absolute Messgenauigkeit für zeitlich variable Größen ist deshalb grundsätzlich kleiner. Mit dieser Problematik ist die Messung der elektrischen Leistung und Energie zwangsläufig verknüpft.

Neben den Messeigenschaften der zur Verrechnung der elektrischen Energie eingesetzten Zähler wird die Genauigkeit der Energiemessung im Hoch- und Mittelspannungsnetz, wo Zähler mit Messwandlern verwendet werden, auch durch die Genauigkeit der Messwandler beeinflusst. Die nachfolgenden Erläuterungen beschränken sich jedoch auf die Aufgabenbereiche der Meßstellen, die mit der Betreuung der Normale für Wechselstromleistung und -energie beauftragt sind.

2. Organisation und zeitlicher Ablauf der Vergleichsmessungen

Die Hersteller elektrischer Messinstrumente, die ihre Produkte weltweit vertreiben, werden mit den geschilderten Problemen besonders konfrontiert, da die offiziellen Meßstellen der verschiedenen Länder, die mit dem Unterhalt der Messbasis für die physikalischen Größen beauftragt sind, grösstenteils jede ihre eigenen Messmethoden und -schaltungen entwickelt haben, mit denen die Rückführung der zeitlich variablen elektrischen Größen auf entsprechende zeitlich konstante Werte möglich ist. Aus diesem Grunde bestehen zwischen den verschiedenen amtlichen Meßstellen gewisse – wenn auch relativ kleine – Messdifferenzen.

Um diese Differenzen quantitativ ermitteln zu können, wurden im Frühjahr 1976 die folgenden amtlichen Meßstellen in Europa angesprochen und die Durchführung von Vergleichsmessungen vorgeschlagen:

- Eidgenössisches Amt für Messwesen, Bern (CH)
- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien (A)
- Physikalisch Technische Bundesanstalt, Braunschweig (BRD)
- Tot Keuring van elektrotechnische Materialen KEMA, Arnhem (NL)
- Laboratoire Central d'Electricité, Rhode St. Genèse, Brüssel (B)
- Electricité de France, Direction des Etudes et Recherches, Clamart (F)

Alle angesprochenen Partner haben spontan ihr Interesse bekundet und freundlicherweise ihre Mithilfe angeboten und so die Durchführung der nachfolgend beschriebenen Messreihen ermöglicht. Nach Abschluss der Messungen wurde auch die Messbasis von Landis & Gyr Zug miteinbezogen.

Aus Gründen des Aufwandes hat man sich auf einige wichtige Messpunkte beschränkt. Da die genauen Messbasen im allgemeinen nur 1phasig ausgeführt sind, wurden nur 1phasige Messungen gemacht. Leistungs- und Energiemessungen können im Prinzip mit denselben Messmethoden durchgeführt werden, nur kommt bei der letztern noch die Messgröße *Zeit* hinzu. Messtechnisch ist dies ohne Belang, denn die Einheit der Zeit ist von allen Grundeinheiten des SI am genauesten definiert (siehe Kap. 6).

Es gibt aber Transfer-Instrumente, die die zu messende Leistung z.B. in Form einer leistungsproportionalen *Gleichspannung* und die Energie als zeitliches Integral einer leistungsproportionalen *Frequenz* anzeigen. Diese Energie-Vergleichsmethode hat den Vorteil, dass die Leistung während der Messzeit nicht konstant gehalten werden muss. Die Umwandlung der Ausgangsspannung in eine proportionale Frequenz als Bestandteil der inneren Schaltung kann im Prinzip aber ebenfalls zusätzliche Fehlerquellen ergeben, so dass die Vergleichsmessungen separat für Leistung und Energie gemacht wurden.

Folgende Messbereiche wurden geprüft:

- 240 V 5 A 50 Hz $\cos\varphi = 1 / 0,5i / 0,5c$
- 240 V 1 A 50 Hz $\cos\varphi = 1 / 0,5i / 0,5c$
- 120 V 5 A 50 Hz $\cos\varphi = 1 / 0,5i / 0,5c$

Vor und nach jeder Messung bei den Aussenstellen wurde das verwendete Messinstrument mit Hilfe der Messbasis von Landis & Gyr auf zeitliche Konstanz geprüft. Dies war eine der Hauptursachen für die relativ lange Zeitdauer, die der gesamte Messzyklus benötigte.

3. Die Messinstrumente und Meßschaltungen

Als Vergleichs-Messinstrument wurde ein statischer Eichzähler Type TVH1.3 von Landis & Gyr verwendet, dessen Ausführung schon seit einigen Jahren als sehr genaues Messnormal mit hoher Reproduzierbarkeit bekannt ist und das in Zähler-Meßstationen sowie für Messungen im Feld mit gutem Erfolg verwendet wird. Der Apparat wurde bei den verschiedenen Meßstellen stets mit den 3 Messwerken serie/parallel angeschlossen und ausgemessen.

Als Vergleichsgröße für die *Leistung* wurde jeweils der Mittelwert \bar{P} der Ausgangsspannungen der 3 Messwerke genommen. Die *Energie*-Vergleichsmessung erfolgte am Impulsausgang.

Am Schluss des gesamten Messzyklus hat sich das Eidgenössische Amt für Messwesen freundlicherweise bereit erklärt, die Messungen, die es im Frühling 1976 als erste Messstelle durchgeführt hatte, zu wiederholen. Damit konnte die zeitliche Konstanz des Vergleichszählers von einer unabhängigen Stelle überprüft werden. Diese Kontrollmessungen haben kein gesichertes Abwandern während des ganzen Messzyklus ergeben.

In Anbetracht der Tatsache, dass der Vergleichszähler während ca. 3 Jahren insgesamt 12mal zu Aussenstellen hin- und zurückgeschickt wurde und während dieser Zeit ca. 10000 km zu Lande und in der Luft zurückgelegt hat, können die messtechnischen Qualitäten dieses Apparates als sehr gut bezeichnet werden.

Über die bei den verschiedenen Meßstellen verwendeten Messinstrumente und -schaltungen gibt folgende Zusammenstellung Auskunft:

– *Eidgenössisches Amt für Messwesen, Bern*: 3-Spannungs-Messmethode [5]; Kontrollsaltung mit Calorimeter (nur für 1-A-Bereich) [6].

– *Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien*: dynamometrischer Leistungskomparator mit kompensiertem Stromwandler Fab. Goertz [7].

– *Physikalisch Technische Bundesanstalt, Braunschweig*: statischer Leistungs-Komparator, Eigenentwicklung [8]; Kontrolle mit dynamometrischem Transfer-Instrument, Eigenentwicklung [9].

– *KEMA, Arnhem*: dynamometrisches Transfer-Instrument, Eigenentwicklung.

– *LABORELEC, Rhode St. Genèse, Brüssel*: statisches Transferinstrument, Fab. Yokogawa Japan, Typ 2885; Multiplizierschaltung durch LABORELEC verbessert. Kontrolle bei $\cos\varphi = 1$: Transferschaltung mit Multi-Junction-Therмоconvertern; $\cos\varphi = 0,5$: Doppel-Integratorschaltung, Phasenmessbrücke, Eigenentwicklungen [10; 11].

– *Electricité de France, Clamart*: statisches Transfer-Instrument Fab. Yokogawa Japan.

– *Landis & Gyr, Zug*: statisches Transfer-Instrument, Eigenentwicklung auf der Basis der bewährten statischen Eichzähler, aber im Gegensatz dazu mit Shunt und ohmschem Spannungsteiler am Eingang der Meßschaltung, Spannungsausgang für Leistungsmessungen, sowie mit leistungsproportionalen Impulsausgang für Energievergleichsmessungen. Im Verkaufsprogramm der Firma.

4. Auswertung der Messresultate

Die beteiligten Meßstellen verfügen über Messeinrichtungen, deren Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit zum Teil auf unterschiedlichem Niveau liegen. Es war deshalb notwendig, die Resultate der Vergleichsmessungen unterschiedlich zu gewichten; je nach Ausführung der Messeinrichtungen mit einem Faktor 1-4.

Der nächste Schritt bei der Auswertung lag darin, die verschiedenen Resultate der Meßstellen pro Messbereich getrennt nach Leistungs- und Energiemessung unter Berücksichtigung ihrer Gewichtung zu mitteln und daraus einen *mittleren Nullpegel* F_0 abzuleiten. Die Differenz F^* zwischen den Einzelmessungen und dem gewichteten mittleren Nullpegel F_0 ist ein Mass für die Abweichung der einzelnen Meßstellen gegenüber F_0 .

Bei bekanntem Wert F^* kann der Eigenfehler F_M der betreffenden Meßstelle gegenüber F_0 nach folgender Überlegung berechnet werden: Die betrachtete Meßstelle misst einen, verglichen mit dem Nullpegel auf null justierten Zähler mit einem scheinbaren Fehler F^* . Der Eigenfehler F_M dieser Meßstelle gegenüber dem Nullpegel F_0 berechnet sich gemäß [12] unter Berücksichtigung der Vorzeichen allgemein zu:

$$F = F^* + F_M \quad (1)$$

Da der Fehler F des gemessenen Zählers nach Voraussetzung gleich null ist (Fig. 1), beträgt der Eigenfehler der betreffenden Meßstelle

$$F_M = -F^* \quad (2)$$

Die so berechneten *Eigenfehler* F_M der beteiligten Meßstellen sind getrennt nach Messbereich, Leistungsfaktor, Leistung bzw. Energie in Fig. 2 grafisch dargestellt. Die Nulllinie entspricht dem gewichteten Mittelwert F_0 aus den Messwerten der einzelnen Meßstellen. Neben den Eigenfehlern F_M ist auch noch ihre Standardabweichung σ_M über alle Meßstellen aufgetragen.

In Tabelle I sind Standardabweichungen σ_M und Range (Spanne) R_M der beteiligten Meßstellen numerisch zusammengestellt.

Es ist zu beachten, dass die Numerierung der einzelnen Meßstellen in Fig. 2 *nicht identisch* ist mit der chronologischen Aufzählung in Abschnitt 2.

Standardabweichung σ_M und Spanne R_M aller beteiligten Meßstellen

Tabelle I

Messbereich			Leistung \bar{P}		Energie E	
U V	I A	$\cos \varphi$	R_M 10^{-4}	σ_M 10^{-4}	R_M 10^{-4}	σ_M 10^{-4}
240	5	1	1,6	0,5	3,0	0,9
		0,5i	4,7	1,5	5,0	1,7
		0,5c	6,4	1,9	5,7	1,6
240	1	1	3,6	1,1	4,6	1,2
		0,5i	5,6	2,2	7,5	2,5
		0,5c	6,9	2,0	6,4	1,6
120	5	1	3,9	1,0	3,4	0,9
		0,5i	4,5	1,3	5,9	1,8
		0,5c	6,1	1,6	5,2	1,2

$$\text{Eigenfehler } F_M \left\{ \begin{array}{l} R_M \text{ grösste Differenz (Range)} \\ \sigma_M = \sqrt{\frac{\sum (F_i - \bar{F})^2}{N-1}} \text{ Standardabweichung} \end{array} \right\} \text{ zwischen den einzelnen Meßstellen}$$

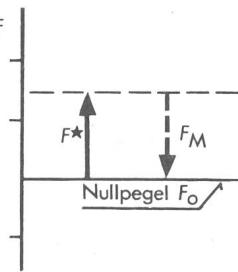


Fig. 1 Bestimmung des Eigenfehlers F_M einer Meßstelle aus dem gemessenen Fehler F^* eines verglichen mit dem Nullpegel F_0 auf null justierten Prüflings

F in der Meßstelle gemessener Fehler eines Prüflings
 F_M Eigenfehler der betreffenden Meßstelle gegenüber dem Nullpegel F_0

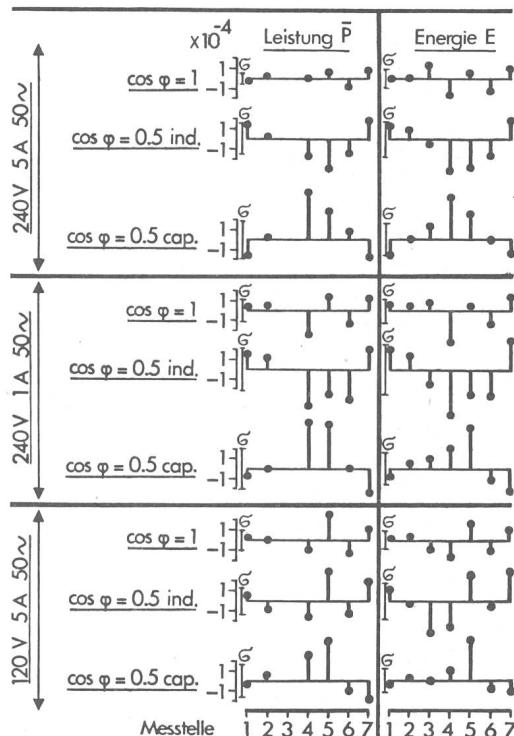


Fig. 2 Eigenfehler F_M der verschiedenen Meßstellen

5. Berücksichtigung der Eigenfehler F_M der betreffenden Meßstelle bei der Bestimmung des absoluten Fehlers F von Prüflingen

Nach [12] und Fig. 3 berechnet sich der absolute Fehler F der Prüflinge aus dem gemessenen scheinbaren Fehler F' unter Berücksichtigung des Eigenfehlers F_M der benutzten Messbasis zu

$$F = F' + F_M \quad (3)$$

Es kann vorkommen, dass der in der Meßstelle x gemessene Fehler $F_{x'}$ eines Prüflings umgerechnet werden muss auf den Fehler F_y' , bezogen auf die Messbasis der Meßstelle y . Die betreffenden Zusammenhänge sind in Fig. 4 dargestellt. Es folgt

$$F_y' = F_{x'} + F_{Mx} - F_{My} \quad (4)$$

Zur Begründung des Begriffes *Eigenfehler* F_M einer Messstelle sei noch folgender Zusammenhang erwähnt, der diesen Begriff etwas transparenter umschreibt:

Angenommen, eine Meßstelle verweise ein Instrument als Messbasis, das einen Eigenfehler F_i habe, der bekanntlich definiert wird mit:

$$F_i = (a_i - a_s)/a_s$$

wobei a_i der angezeigte Wert beim Sollwert der gemessenen Grösse ist und a_s der Sollwert auf Grund der Konstanten des Instrumentes. Die anderen Komponenten der Meßschaltung (Wandler usw.) seien fehlerlos; dann ist der Eigenfehler F_M der Meßschaltung identisch mit dem Eigenfehler F_i des als Messbasis verwendeten Instrumentes.

6. Kommentar und Schlussfolgerungen

– Der Messbereich 240 V, 5 A hat die kleinsten Differenzen zwischen den einzelnen Meßstellen ergeben.

– Erwartungsgemäss sind die Abweichungen bei $\cos\varphi < 1$ grösser als bei $\cos\varphi = 1$. Auf die Scheinleistung bzw. Scheinenergie bezogen sind sie mehr oder weniger unabhängig vom Leistungsfaktor.

– Die Differenzen liegen bei den Leistungs- und Energiemessungen ähnlich, gesicherte Unterschiede wurden nicht festgestellt.

– Auf die Scheinleistung bzw. Scheinenergie bezogen beträgt die Spanne R_M bzw. die Standardabweichung σ_M der Eigenfehler F_M der beteiligten Meßstellen, bezogen auf den mittleren gewichteten Nullpegel: $R_M = \text{ca. } 3 \cdot 10^{-4}$; $\sigma_M = \text{ca. } 1 \cdot 10^{-4}$.

Ein Vergleich zwischen dem arithmetischen Mittelwert der Eigenfehler einer bestimmten Meßstelle aus $\cos\varphi = 0,5i$ und

$\cos\varphi = 0,5c$ und dem Eigenfehler bei $\cos\varphi = 1$ ermöglicht eine Kontrolle über die Aussagesicherheit der betreffenden Messmethode. Unter der Voraussetzung von linearen Charakteristiken der Meßschaltung sollte diese Differenz gleich null sein. Die erwähnte Linearität ist eine der Voraussetzungen dafür, dass ein bei Gleichspannung und Gleichstrom abgeglichenes Instrument auch die Wechselstromleistung fehlerlos anzeigt.

Aus der graphischen Darstellung nach Fig. 2 ist aber ersichtlich, dass zum Teil messbare Unterschiede zwischen dem arithmetischen Mittelwert aus $\cos\varphi = 0,5i$ und $\cos\varphi = 0,5c$ und $\cos\varphi = 1$ bestehen. Eine individuelle Gewichtung der Resultate der einzelnen Meßstellen hat sich auch aus diesem Grunde aufgedrängt.

Gegenüber der Realisierungsgenauigkeit der Grundeinheiten des SI liegt die auf Grund der beschriebenen Vergleichsmessungen ermittelte Genauigkeit der Leistungs- und Energiemessungen bei den beteiligten Meßstellen um einige Grössenordnungen schlechter, wie Tabelle II zeigt [2].

Wenn als Realisierungsgenauigkeit der Wechselstromleistung und -energie die Standardabweichung σ_M der Eigenfehler F_M gegenüber dem mittleren Nullpegel F_0 definiert wird, so beträgt sie, auf die Scheinleistung bzw. Scheinenergie bezogen, ca. $1 \cdot 10^{-4}$.

Bei der Beurteilung der Aussagekraft der gefundenen Werte für die Standardabweichungen σ_M ist zu berücksichtigen, dass die Messunsicherheit bei Wiederholungsmessungen selbst bei genau eingehaltenen Randbedingungen einige 10^{-5} beträgt.

Die Erfahrung hat außerdem gezeigt, dass die Einhaltung dieser Realisierungsgenauigkeit grosse Sorgfalt in der Durchführung der Messungen sowie die genaue Einhaltung der Referenzbedingungen erfordert.

Tabelle II

Grundeinheit	Realisierungsgenauigkeit
Sekunde	$10^{-11} \dots 10^{-12}$
Kilogramm (Masse)	$10^{-8} \dots 10^{-9}$
Meter	$10^{-7} \dots 10^{-8}$
Kelvin (Ohm*)	$10^{-6} \dots 10^{-7}$
Ampère	$10^{-5} \dots 10^{-6}$

*) keine Grundeinheit

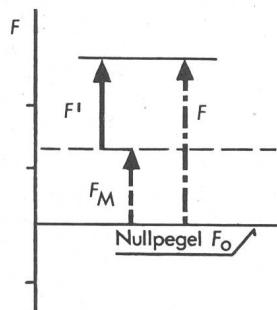


Fig. 3 Berücksichtigung des Eigenfehlers F_M einer Meßstelle bei der Bestimmung des absoluten Fehlers F von Prüflingen, bezogen auf den Nullpegel F_0
 F' von der Meßstelle gemessener Fehler eines Prüflings
 F_M Eigenfehler der betreffenden Meßstelle gegenüber dem Nullpegel F_0
 F absoluter Fehler des Prüflings bezogen auf den Nullpegel F_0

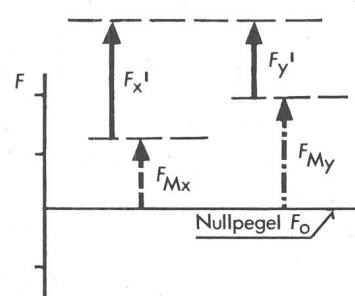


Fig. 4 Wechsel der Messbasis

F_{Mx} Eigenfehler der Meßstelle x gegenüber dem Nullpegel F_0
 F_{My} Eigenfehler der Meßstelle y gegenüber dem Nullpegel F_0
 $F_{x'}$ in der Meßstelle x gemessener Fehler eines Prüflings
 F_y' auf die Basis der Meßstelle y umgerechneter Fehler

Literatur

- [1a] Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie in der Schweiz im hydrologischen Jahr 1977/78. Bull. SEV/VSE 70(1979)2, S. 100...108.
- [1b] Elektrizitätsstatistik 1977/78. Bull. SEV/VSE 70(1979)8, S. 349...393.
- [2] A. Späthi: Zählerklassengenauigkeit und Leistungsniveau. Landis & Gyr Mitteilungen 19(1972)1, S. 5...8.
- [3] O. Piller und L. Bauder: Die elektrischen Einheiten Ampère, Volt und Ohm - Definition, Ralisierung und Weitergabe. Bull. SEV/VSE 66(1975)8, S. 413 bis 420.
- [4] O. Piller: Die elektrischen Einheiten und ihre Realisierungsgenauigkeiten. Bull. SEV/VSE 69(1978)10, S. 504...507.
- [5] P. Koch: Die Eichung von Elektrizitätsleistungsmessern im Amt für Mass und Gewicht. Bull. SEV/VSE 66(1975)24, S. 1347...1352.
- [6] O. Piller and L. Bauder: A differential calorimeter for AC power measurement, CPEM Digest 1976. Conference on precision electromagnetic measurement, June 28...July 1, 1976, Boulder/Colorado, p. 84...85.
- [7] J. Pawlat: Eine Messeinrichtung für Wechselstromrechnung hoher Genauigkeit. BBC-Nachrichten 50(1968)5, S. 244...250.
- [8] R. Bergeest, R. Friedl and P. Seyfried: High-precision electronic measuring equipment for electrical power and energy. CPEM 74. Conference on precision electromagnetic measurement, 1st...5th July 1974, London IEE Conference Publication 113(1974).
- [9] R. Friedl: Elektrodynamische Leistungsmaße für die Prüfung von Elektrizitätszählern und Leistungsmessern. Zeitschrift Instrumentenkunde 67(1959)12, S. 318...323.
- [10] R. De Vre et C. Vastrade: La mesure précise de la puissance en courant alternatif. Méthode de l'étalement des wattmètres statiques. Communication III-4 au colloque internationale sur l'électronique et la mesure, Paris, mai, 1975.
- [11] La mesure précise de la puissance en courant alternatif. Méthode d'étalement des wattmètres statiques. Laborelec Note d'Information - (1976)27, S 3, p. 1...9.
- [12] F. Tschappu: Überlegungen zur Berücksichtigung der Eigenfehler der Normallinien bei der Bestimmung der Fehler von Elektrizitätszählern. Landis & Gyr Mitteilungen 22(1975)1, S. 29...32.

Adresse des Autors

Dr. sc. techn. Fred Tschappu, LGZ Landis & Gyr Zug AG, 6301 Zug.

Sebastian Ziani de Ferranti 1864–1930

Die Familie Ferranti stammt aus Venedig, wo anno 1173 ein Sebastian Ziani zum Dogen gewählt wurde. Die Nachfahren zogen nach Bologna, wo der Grossvater von Sebastian in Erfüllung einer Erbbestimmung den Namen *de Ferranti* annahm. Sebastian Ziani de Ferranti kam am 9. April 1864 in Liverpool als Sohn eines Fotografen zur Welt. Schon als Junge interessierte er sich für Technik; namentlich Lokomotiven hatten es ihm angetan. Er las Jugendbücher über Wissenschaften, baute im College zu Ramsgate eine Bogenlampe sowie einen Generator nach Pacinotti.

Unglücklicher Umstände wegen konnte er nicht studieren; in London trat er bei Siemens Brothers ein und erwies sich derart geschickt, dass er bald verantwortungsvolle Arbeiten ausführen musste. Abends besuchte er Kurse am Universitäts-College in London.

1882 bewarb er sich um ein Patent für einen verbesserten Generator mit Zickzackwicklung, was kurz zuvor auch *William Thomson*, der spätere *Lord Kelvin*, getan hatte. So erhielten die beiden gemeinsam ein Patent. 18jährig gründete Ferranti mit *A. Thompson* und *F. Ince* eine Gesellschaft und nahm die Fabrikation solcher Generatoren auf, während *W. Thomson* eine jährliche Lizenzgebühr von 500 £ erhielt.

Als eine von *Gaulard & Gibbs* in der Grosvenor-Galerie erstellte Beleuchtungsanlage nicht befriedigte, wurde Ferranti zugezogen. Er installierte einen seiner Generatoren und schaltete Gaulards «générateurs secondaires» statt in Serie parallel, so dass er auch die Nachbarschaft der Galerie versorgen konnte. Darauf prozessierte Gaulard gegen Ferranti, verlor aber.

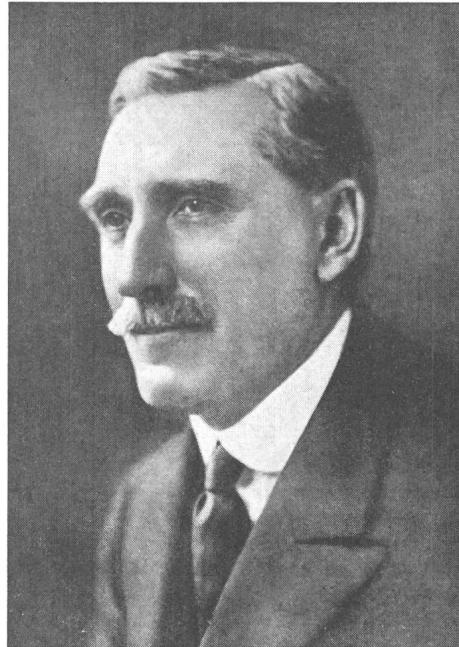
Die Leiter der Grosvenor-Galerie interessierten sich nun mehr für die Elektrizitätsversorgung und organisierten ihre Gesellschaft um zur «London Electric Supply Corporation», in der auch Ferranti arbeitete. 1888 baute er einen Transformator für 10000 V und plante, die elektrische Energie für ganz London in einer ausserhalb der Stadt zu bauenden Zentrale zu erzeugen, sie dann über viele 10-kV-Kabel in die Stadt zu leiten und dort wieder herabzutransformieren. Seine selber entwickelten Kabel bestanden aus 2 konzentrischen, 6 m langen Kupferrohren, die gegeneinander und gegen ein äusseres Eisenrohr durch mit Ölharz imprägniertes Papier von je 12 mm Dicke isoliert waren. Diese Kabelstücke wurden mit Spezialmuffen verbunden. Derartige Kabel waren von 1890 bis 1933 in Betrieb! Für die rund 13 km langen Leitungen waren 8000 Verbindungen nötig, von denen nur 15 ersetzt werden mussten. Die Zentralstation erhielt schon 1890 einen Generator von 1000 kW Leistung, wenig später noch grössere, was für die damalige Zeit enorm war.

1897 verlegte Ferranti die Fabrik, in der etwa 700 Leute arbeiteten, nach Hollinwood bei Oldham (nahe Manchester).

Um im 10-kV-Netz die Spannung zu messen, musste Ferranti anfänglich 100 Glühlampen für 100 V in Serie schalten, was ihn wohl veranlasste, die Fabrikation von Messinstrumenten und -einrichtungen aufzunehmen. Ferranti war seiner Zeit immer voraus. Schon 1900 plädierte er für die Normung der 50-Hz-Frequenz, 1904 trat er für die Elektrifizierung der englischen Bahnen ein. Als er 1910 Präsident der IEE wurde, beschwore er die Versammlung, die Kohle haushälterischer zu verwenden und die Umwelt weniger zu verschmutzen, schlug vor, die Dampfturbinen für höheren Druck zu bauen, die Elektrizität zum Kochen und Heizen, zum Erwärmen von Triebbeeten zu verwenden. Seine Phantasie sah zu jener Zeit auch das englische Landesnetz, wie es 1926 dann als «Grid» beschlossen wurde. 1913 baute er in seiner Fabrik eine 5000-PS-Dampfturbine für 400 °C. Er besass 176 Patente. Nicht alles, aber vieles gelang ihm. Auch viele Ehrungen fielen ihm zu.

1888 hatte er eine Tochter seines Gesellschafters *Ince* geheiratet, die ihm 3 Söhne und 4 Töchter schenkte. Sein Haus, das er sich 1919 weitab eines Dorfes baute, war eine regelrechte Versuchsanlage und war wohl die erste Totalanlage. Ein von einem 25-PS-Ölmotor angetriebener Generator lieferte den Strom. Die Abwärme erhitzte Wasser, das in einem 6 t fassenden, stark isolierten Tank gespeichert wurde und sowohl zur Deckung des Warmwasserbedarfs als auch für eine Deckenheizung diente. In seinem Haus gab es schon damals eine elektrische Waschmaschine, Rasenmäher, Schafschurschere, Kleiderrockner.

Die Winterferien 1929/30 wollte Ferranti in Arosa verbringen. Er erkrankte dann, musste sich in Chur und Zürich Operationen unterziehen und starb am 13. Januar 1930 in Zürich.



Bibliothek der ETH Zürich