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: 65 (1974)

Heft: 6

Artikel: Das neue Messwandlerlabor der Eichstätte des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Autor: Brückel, W. / Vetsch, D.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915375

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: 12.07.2025

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

BULLETIN

des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
de l'Association Suisse des Electriciens
des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke
de l'Union des Centrales Suisses d'électricité

Elektrotechnik – Electrotechnique

Das neue Messwandlerlabor der Eichstätte des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Von W. Brückel und D. Vetsch

061.231 : 621.3(494) : 621.317.2

Das Messwandlerlabor der Eichstätte des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) wurde in den Jahren 1972/73 völlig umgebaut und den heutigen Verhältnissen angepasst. Es wird kurz auf die Ursachen und detailliert auf die verschiedenen Probleme bei der Projektierung und Realisierung der neuen Anlage eingegangen. Insbesondere wird auch die neue Stromwandler-Messbrücke und der Messwert-Drucker näher beschrieben.

Dans le courant des années 1972 et 1973 le laboratoire des transformateurs de mesure de la Station d'étalonnage de l'ASE fut complètement remanié et adapté aux conditions actuelles. Les raisons de cette nouvelle installation sont abordées succinctement; par contre les différents problèmes concernant l'étude et la réalisation sont traités plus en détail. En particulier, on a décrit le nouveau pont de la mesure pour les transformateurs d'intensité, ainsi que l'imprimante des valeurs mesurées.

1. Geschichtlicher Rückblick

Das Prinzip, Messwandler an Stelle von Vorwiderständen oder Shunts zu verwenden, war schon vor der Jahrhundertwende bekannt (Kalifornische Lichtkompagnie, San Francisco, 1879 erster Spannungswandler). Bis 1918 wurden die Wandler, wie auch die Elektrizitätszähler, nach den Regeln der einzelnen Prüfinstitutionen kontrolliert. Ab diesem Zeitpunkt trat in der Schweiz die «Vollziehungsverordnung über die amtliche Prüfung und Stempelung von Elektrizitätsverbrauchsmessern» (vom 9.12.1916) in Kraft, die auch Bestimmungen über Messwandler enthielt. Das Eidgenössische Amt für Mass und Gewicht (AMG) in Bern führte sowohl die Typen- als auch die Stückprüfungen durch. Als der SEV im Jahre 1921 die Gebäulichkeiten an der Seefeldstrasse in Zürich bezog, rüstete er sich nebst der schon seit 1904 geführten Zählereichstätte auch für die Eichung von Messwandlern aus. Das AMG sieht heute seine Aufgabe auf diesem Sektor hauptsächlich in der Typenprüfung und der Kontrolle von Präzisionswandlern.

Der Anfall von einigen hundert Messwandlern pro Jahr, die damals im SEV zu prüfen waren, verlangte noch keine volle Arbeitskraft. Auch die Messbrücke wurde von Fall zu Fall aus einzelnen Widerständen, Kondensatoren, einem Schleifdraht und dem Vibrationsgalvanometer zusammengeschaltet. Als dann in den 30er Jahren die Zahl der geprüften Wandler die Tausendergrenze überschritt, richtete man sich auch etwas zweckmässiger ein. Die erwähnten Einzelteile wurden staubsicher in ein Rolladen-Schreibpult eingebaut und fest verdrahtet. Ein separates Schaltpult für die Spannungs-, Strom- und Bürdenregulierung ergänzte die Ausrüstung. Erstaunlich weitsichtig wurden zweckmässige Speisequellen und Normalwandler angeschafft und feste Bürden gebaut. Die ganze Konzeption war damals aber auf einen Zwei-Mann-Betrieb ausgerichtet, d.h. der eine regulierte Spannung, Strom und Bürde und der andere nahm den Brückenabgleich und die Protokollierung vor. An diesem Aufbau änderte sich bis 1972 nur sehr wenig (Fig. 1).

Für auswärtige Messungen bei Fabrikanten oder Kunden (z.B. in Unterstationen) wurden im Laufe der Zeit Koffer-Messbrücken z.T. selber gebaut und z.T. käuflich erworben. Im Gegensatz zur stationären Wandlerprüfeinrichtung war man hier immer mit der Zeit gegangen. Das Vibrationsgalvanometer fand einen Nachfolger im elektronischen Nullanzeiger, die Brücken mit einer Ablesegenauigkeit von 0,05 % konnten durch solche von 0,01 % ersetzt werden, an Stelle der selber gebauten, regulierbaren und in jedem Fall einzeln abzustim-

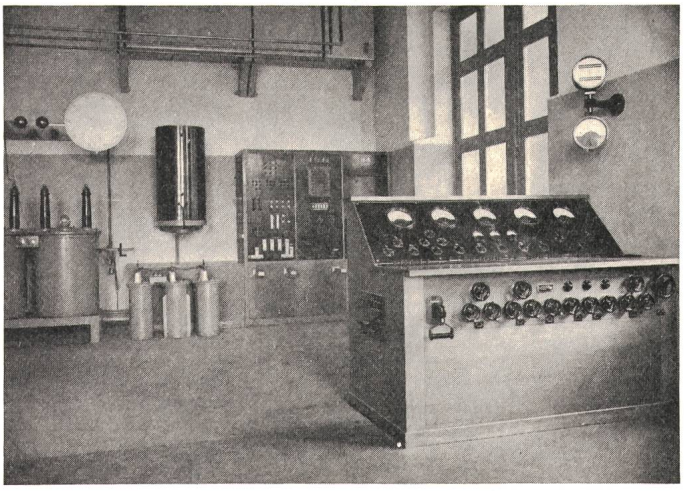

Fig. 1 Ansicht des Messwandlerlabors vor dem Umbau
Im Hintergrund Spannungswandler und Speisetransformatoren, Kugelfunkenstrecke, Ohmscher Spannungsteiler und die Schalttafel für die Bürden und den Normalstromwandler; vorn das Schaltpult für die Strom- und Spannungsregulierung

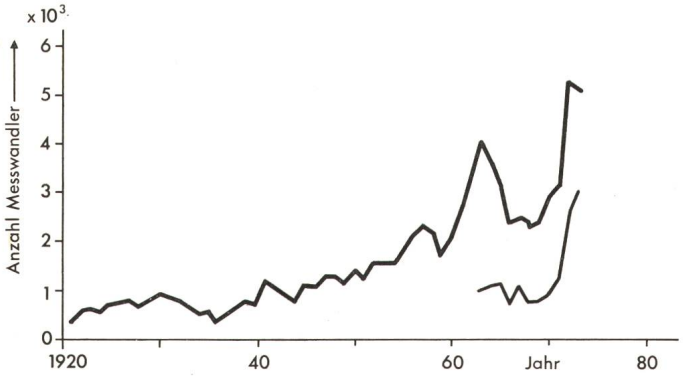

Fig. 2 Darstellung der vom SEV seit Beginn der Eichtätigkeit auf dem Messwandlersektor amtlich geprüften Strom- und Spannungswandler
Die untere Kurve zeigt die in den letzten 10 Jahren geprüften Niederspannungs-Stromwandler

menden Bürden waren fertige, für die üblichen Spannungen, Ströme und Leistungen schaltbare Bürden angeschafft und gleichzeitig der Bestand an Normalwandlern und Speisetransformatoren erweitert und den zur Anwendung kommenden, höheren Spannungen und Strömen angepasst worden.

Der wirtschaftliche Aufschwung in den Nachkriegsjahren wirkte sich auch auf den Messwandlerbedarf aus, wobei in letzter Zeit besonders die Zahl der Niederspannungs-Stromwandler auffällig zunahm (Fig. 2).

Die unterdessen Jahrzehnte alt gewordene Labor-Messeinrichtung wurde deshalb mehr denn je benützt, aber auch immer reparaturanfälliger. Die unrationelle Zwei-Mann-Bedienung war bei den steigenden Lohnkosten wirtschaftlich bald nicht mehr zu verantworten, und so musste das Gesamtkonzept der Wandler-Prüfeinrichtung von Grund auf neu überdacht werden. Dabei zeigte es sich rasch, dass hier weder eine Revision, noch eine partielle Erneuerung helfen konnte, sondern nur eine vollständige Neugestaltung und -ausrüstung in Frage kam.

2. Allgemeine Projektierungsgrundsätze und deren Realisierung

2.1 Leistungsfähigkeit des Labors

Als erstes musste Klarheit geschaffen werden über die realisierbaren Möglichkeiten in bezug auf Spannung und Strom. Das Labor war bis dahin für die Prüfung von Spannungswandlern der Reihe 72,5 kV ausgebaut. Dies konnte aus Platzgründen nicht überschritten werden, da die Abstände für die entsprechenden Spannungsproben mit 140 kV schon vorher knapp bemessen waren. Auf die Installation des für die Wandlerprüfung seit Jahren nie mehr verlangten Dreiphasenstromes wurde verzichtet.

Während noch vor 10 Jahren Wandlerprüfungen mit Strömen über 1000 A schon Ausnahmen waren, stellen diese heute einen wesentlichen Bestandteil der Aufträge dar, und die Tendenz ist immer noch steigend. Um also für die nähere Zukunft ausgerüstet zu sein, wurde ein Transformator für die Erzeugung von Strömen bis 12000 A eingeplant (Fig. 3).

2.2 Räumliche Aufteilung des Labors

Als Bedingung wurde gestellt, dass zwei Mitarbeiter gleichzeitig und voneinander unabhängig Spannungs- bzw. Stromwandler messen können, wobei weder eine Personengefährdung durch den elektrischen Strom, noch eine Beeinflussung der Messresultate, noch eine gegenseitige Behinderung bei der Arbeit auftreten darf.

Wie aus den Grundrissen (Fig. 4a und b) ersichtlich ist, konnte durch den Entschluss, das Labor nur noch einphasig auszurüsten, viel Platz gewonnen werden. Ausserdem wurden zwei alte, sperrige und auch genauigkeitsmässig nicht mehr der Zeit entsprechende 50-kV-Spannungswandler eliminiert, ebenso auch das alte, nur noch teilweise in Betrieb stehende Schaltpult und die Pult-Messbrücke. Baulich musste praktisch überhaupt nichts geändert werden. Der vorhandene Platz gestattete nun eine übersichtliche Aufteilung in vier Räume:

2.2.1 Messplatz für Spannungsprüfungen und Genauigkeitsmessungen an Spannungswandlern. Er ist durch eine Absperrkette vom übrigen Labor getrennt.

2.2.2 Messplatz für Genauigkeitsmessungen an Stromwandlern.

2.2.3 Büroraum mit zwei Pulten für die Erledigung von schriftlichen Arbeiten, das Auswerten der Messresultate, für Besprechungen usw. Um vom zeitweise recht intensiven Lärm im Labor oder nebenanliegenden Lagerraum her weniger gestört zu sein, wurde eine völlige Trennung durch eine Wand vorgenommen, die aber teilweise aus Glas besteht, damit vom Büro aus der Überblick ins Labor gewahrt bleibt (Arbeiten an spannungführenden Teilen).

2.2.4 Raum für das Verpacken der Instrumente in die speziellen Versandkoffern für auswärtige Messungen. Ein Tisch gegenüber den Instrumentenkasten dient zur Bereitstellung und zur Kontrolle der zurückkommenden Instrumente.

2.3 Aufstellung der Apparate

Alle Speisetransformatoren, Normalwandler, Messpulte usw. sind beweglich montiert, d.h. tragbar, mit Rollen versehen oder können mit dem Palettenwagen verschoben werden. Entsprechend sind die elektrischen Anschlüsse mit Steckverbindungen oder einfach lösbaren Klemmen versehen. Dies ermöglicht, jeden Apparat, z.B. für auswärtige Messungen, ohne Schwierigkeiten zu demontieren, was sich evtl. auch einmal bei einer Verlegung des Labors als zweckmässig erweisen dürfte.

2.4 Sicherheit

Eine Signallampe bei jedem Hauptschütz zeigt klar und auf Distanz dessen Schaltzustand an. Ausserdem wurden gut sichtbar zwei Notausschalter installiert – einer im Labor und einer

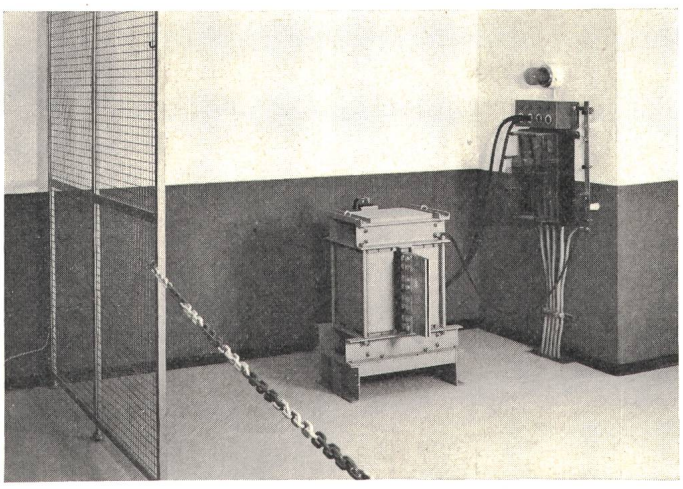

Fig. 3 Einphasen-Speisetransformator für Ströme bis 12 000 A

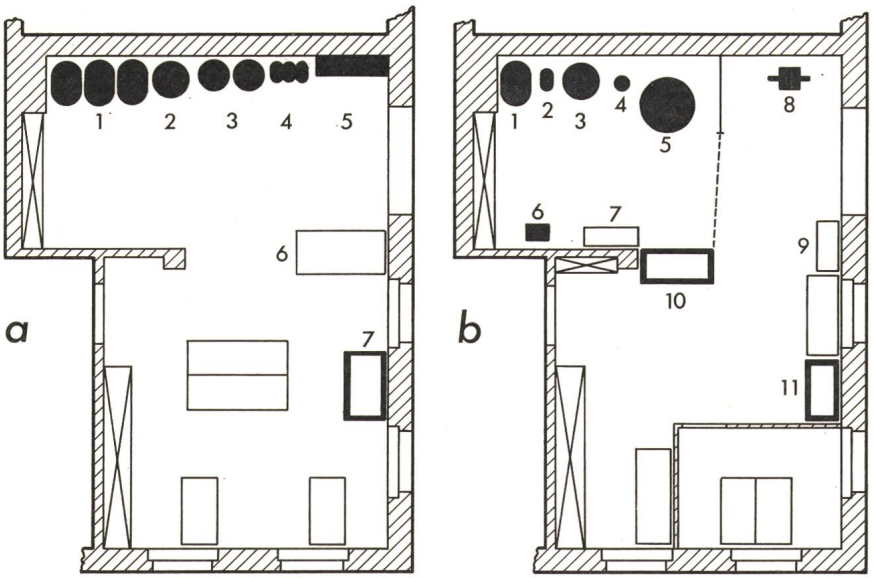

Fig. 4
Grundriss des Messwandlerlabors

a vor dem Umbau

1 drei Einphasen-Transformatoren von 60 kV
2 Transformator von 150 kV
3 zwei Spannungswandler von 50 kV
4 drei Einphasen-Transformatoren von 8 kV
5 Schrank mit Strom-Speisetransformatoren und Normalstromwandler
6 Schaltpult
7 Messbrücke für Strom- und Spannungswandler

b nach dem Umbau

1 Transformator von 60 kV
2 Transformator von 8 kV
3 Transformator von 150 kV
4 Messkondensator zum Scheitelwertmessgerät
5 Normal-Spannungswandler von 200 kV
6 Normal-Spannungswandler von 50 kV
7 Tisch für kleinere Normalwandler
8 Strom-Speisetransformator von 12 000 A
9 Strom-Speisetransformator und Normalstromwandler bis 1000 A
10 Spannungswandler-Messbrücke
11 Stromwandler-Messbrücke

im Büro –, die es in Notfällen gestatten, die ganze Anlage augenblicklich spannungslos zu machen.

2.5 Allgemeines

Der ganze Raum erhielt eine den Verhältnissen angepasste, blendfreie Beleuchtung. Wände und Decke wurden neu gestrichen und der Fussboden mit einem zweckmässigen Bodenbelag versehen (Kunststoff gegossen, elektrisch ganz leicht leitend um statischen Aufladungen beim Betreten mit Gummischuhen vorzubeugen) (Fig. 5).

3. Messtechnische Projektierungsgrundsätze und deren Realisierung

3.1 Spannungsprüfung

Eine exakte Messung der Spannung ist bei der heute üblichen, extremen Ausnützung des Isoliermaterials unumgänglich nötig. Damit die Spannungsproben, die ja einen Teil der amtlichen Prüfung von Messwandlern darstellen, auch mit andern Frequenzen als 50 Hz einwandfrei und rasch durchgeführt werden können, wurde eine Scheitelwert-Messeinrichtung angeschafft.

Technische Daten: Messkondensator für 150 kV
Messgerät zur Anzeige der Spannung $\hat{U}/\sqrt{2}$ mit den Bereichen 15–30–75–150 kV und geeicht für $16^2/_3$, 50 und 150 Hz.

3.2 Spannungs- und Stromquellen

Einzelne ältere Transformatoren (z. B. Baujahr 1923) zur Erzeugung des Primärstromes für die Prüfung von Stromwandlern wurden ersetzt. Neu sind zwei Regulier-Transformatoren mit Servomotoren, die von den Messpulten aus gesteuert werden können und zur Einstellung der Prüfspannung, bzw. des Prüfstromes dienen. Sie wurden im Maschinenraum montiert und direkt auf den Kreuzschienenverteiler geführt, was ermöglicht, auch die übrigen Maschinengruppen, wie bis anhin, auf jeden beliebigen Speisetransformator im Messwandlerlabor zu schalten (Fig. 6).

Technische Einrichtungen, die heute zur Verfügung stehen:

2 ferngesteuerte Reguliertransformatoren für Spannungs- und Stromspeisung 0...250 V;

4 Maschinengruppen zur Erzeugung von Gleichstrom, von Wechselstrom $16^2/_3$, bzw. 50 Hz, 150 Hz und 40...120 Hz;

3 Spannungs-Speisetransformatoren für 4/8 kV, 30/60 kV und für 40/80/160 kV;

2 Strom-Speisetransformatoren für 250/500/1000 A und für 12000 A

ferner

2 Strom-Speisetransformatoren für 250/500 A und für 1000/2000 A vorwiegend für auswärtige Messungen in Unterstationen usw.

3.3 Normalwandler

Die Normalwandler für Spannung und Strom wurden ergänzt und vom Eidg. Amt für Mass und Gewicht oder von der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig geeicht, so dass heute eine lückenlose Reihe zur Messung von

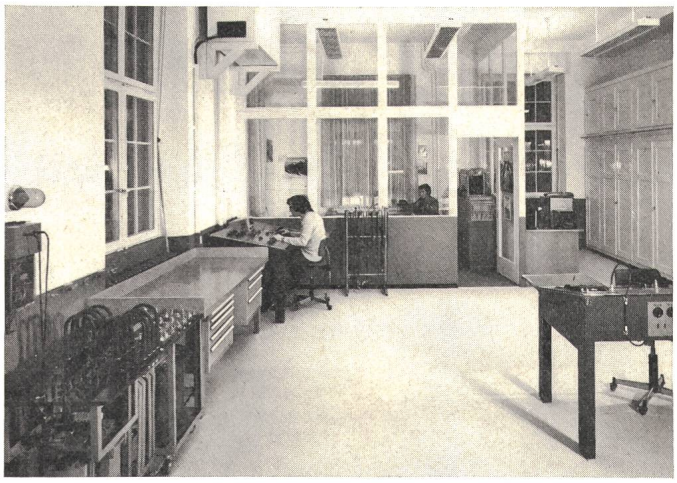

Fig. 5 Das Messwandlerlabor heute

links vorne Speisetransformatoren und Stromwandler-Normal für Ströme bis 1000 A, anschliessend der Arbeitstisch für kleine Wandler, dann das Stromwandler-Messpult und senkrecht darüber der Kasten mit den Belastungswiderständen.

rechts im Bild das Spannungswandler-Messpult, dahinter der Ablegetisch und die Kästen mit Instrumenten für auswärtige Messungen.

Im Hintergrund, durch eine Glaswand abgetrennt, das Büro.

Spannungen ab 200 bis 300000 V (= $500/\sqrt{3}$ kV) und von Strömen ab 0,2 bis 6000 A zur Verfügung steht. Teilweise sind die Wandler nebst 50 Hz auch für 60 Hz und $16^2/_3$ Hz geeicht (Fig. 7).

3.4 Messbrücken

Bei der Aufstellung des Pflichtenheftes wurden folgende Punkte besonders beachtet und entsprechend verlangt:

3.4.1 Art der Ausführung

Der gesamten Laborkonzeption entsprechend wurden nicht Universalbrücken, sondern für Spannungs- und für Stromwandler je eine separate Brücke vorgesehen und in je ein Messpult eingebaut. Diese enthalten auch die Instrumente und Steuerorgane zur Einstellung von Spannung, bzw. Strom und Bürden. Da der Spannungswandler-Messplatz nicht nur für Übersetzungsmessungen, sondern auch zur Spannungsprüfung aller Wandler verwendet wird, musste in diesem Pult noch Platz für das Scheitelwertmessgerät geschaffen werden.

3.4.2 Genauigkeit

Die normale amtliche Prüfung umfasst nebst der Spannungsprobe eine Kontrolle der Übersetzungs- und Winkelfehler entsprechend der Klasse 0,5. Diese bilden den Hauptanteil der Aufträge des Messwandler-Labors. Wandler der Klasse 0,2 sind seltener, gehören aber zur täglichen Arbeit, während Wandler der Klasse 0,1 nur in Ausnahmefällen geeicht werden müssen. Damit nun für die Routinemessungen bei der Brückenausrüstung nicht ein unnötiger, zudem aber teurer und für die praktische Arbeit nur hindernder Aufwand an Genauigkeit getrieben werden muss, wurde sowohl die Spannungs- als auch die Stromwandler-Messbrücke ausgesprochen zur Prüfung von Wandlern der Klassen 0,5 und 0,2 konzipiert. Eine separate, entsprechend ihrer Aufgabe empfindlichere Brücke zur Prüfung von Klasse 0,1-Stromwandlern und zur Kontrolle der anderen, festen und beweglichen Messbrücken soll noch angeschafft werden.

3.4.3 Nullanzeiger

Praktische Versuche über längere Zeit haben überzeugend dargelegt, dass ein Oszilloskop an Stelle eines Vibrationsgalvanometers oder elektronischen Nullindikators wegen der klaren Anzeige von Übersetzungs- und Winkeldifferenzen den Abgleich einer Messbrücke ganz wesentlich vereinfacht und erleichtert. Diese Arbeit geht so viel rascher vor sich und bereitet selbst einem Anfänger kaum Schwierigkeiten. Beide Messpulte wurden deshalb mit Oszilloskopen ausgerüstet [1][1]).

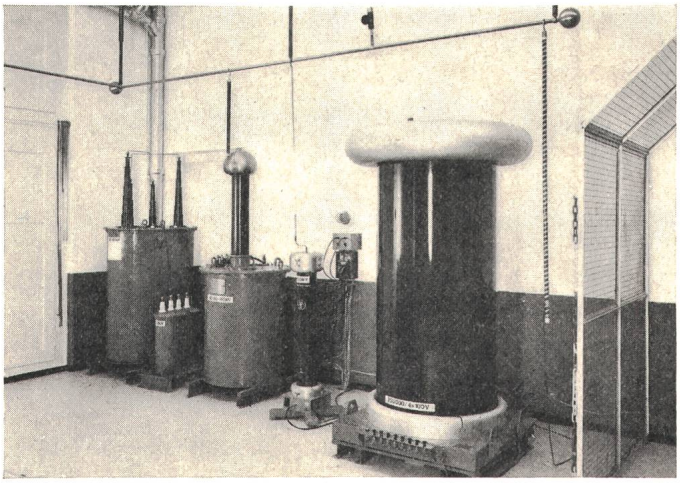

Fig. 6 Spannungs- und Stromquellen
links die Spannungstransformatoren, in der Mitte der Kondensator für das Scheitelwertmessgerät und *rechts* das Spannungswandler-Normal für 200 kV

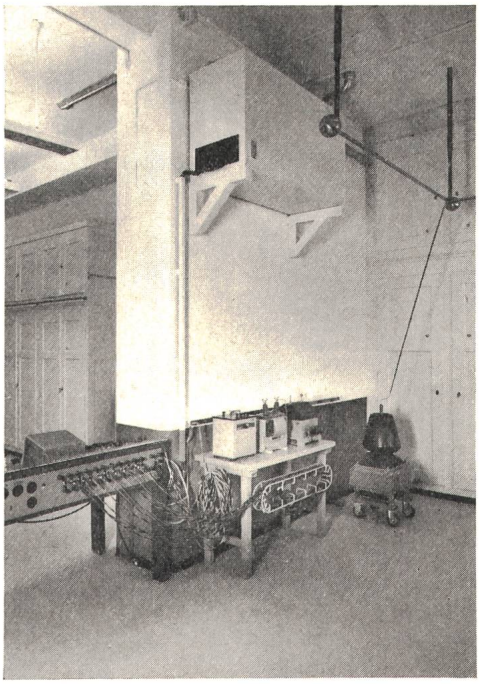

Fig. 7 Spannungswandler-Normale von 400 bis 50 000 V
links das Messpult und *oben* der Kasten mit den Bürden

3.4.4 Messwert-Schreiber

Eingehende Untersuchungen des Arbeitsaufwandes beim Brückenabgleich zeigten, dass die Ablesung der Übersetzungs- und Winkelfehler und deren Protokollierung nicht nur verhältnismässig viel Zeit beanspruchen, sondern auch zwei Fehlerquellen darstellen. Es sind zwar heute auf dem Markt Vollautomaten erhältlich, die selbsttätig den Strom einregulieren und die Wandlerfehler als Kurven über den ganzen Bereich aufzeichnen. Für die Gegebenheiten des SEV aber war ein solcher Apparat zu aufwendig und unwirtschaftlich. Es schien aber möglich, einen Messwert-Drucker zu bauen, der auf Befehl die Ablesung und Protokollierung vornähme, wobei die Brücke, wie bis anhin, von Hand abgeglichen würde. Vorteile:

1. Kein Zeitverlust für Ablesung und Protokollierung;
2. Keine Ablese- und Schreibfehler;
3. Weniger ermüdende Arbeit vor allem bei grösseren Wandler-Serien;
4. Die Messbrücken könnten ohne weiteres auch ohne Drucker verwendet werden (z. B. für kleine Stückzahlen oder bei Ausfall der Druckautomatik);
5. Der Drucker könnte sowohl an der Spannungs- als auch an der Stromwandler-Messbrücke angeschlossen werden (Steck-Verbindung);
6. Der Preis würde nur einen Bruchteil desjenigen eines Vollautomaten betragen.

Auf diese Vorteile wollte man nicht verzichten. Deshalb wurde von der Lieferfirma unter jedem Schleifdraht ein zweiter Schleifdraht und bei der Spannungswandler-Prüfeinrichtung unter der Kapazitätsdekade noch eine Widerstandsdekade an-

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes

geordnet, und zwar so, dass beim Bedienen der Abgleichorgane den Messwerten proportionale Widerstände abgegriffen werden können, bzw. bei Speisung mit Gleichstrom entsprechende Spannungsabfälle entstehen. Diese werden von zwei Digitalvoltmetern (eines für den Übersetzungsfehler und eines für den Winkelfehler) angezeigt und dann von einem Drucker übernommen. Ein zusätzlicher, von Hand einstellbarer Zahlenwahlschalter gestattet, gleichzeitig auch die Positionsnummer des Wandlers (1 bis 99) mitzudrucken.

Die ganze Anlage kann mit zwei Steckern sowohl an der Spannungs- als auch an der Stromwandler-Messbrücke angeschlossen werden.

Der Brückenabgleich geschieht wie bis anhin von Hand. Dann wird durch Druck auf eine Fusstaste der Befehl zur Ablesung erteilt, wobei auf einer waagrechten Zeile die Positionsnummer des Wandlers, der Übersetzungsfehler in ‰ mit 2 Kommastellen und der Winkelfehler in Minuten mit einer Kommastelle ausgedruckt werden und zwar beide Messwerte mit positivem oder negativem Vorzeichen. Die Genauigkeit der Messwert-Übernahme liegt bei ±0,02‰, bzw. bei ±0,2 min (Fig. 8). Diese Hilfseinrichtung ist speziell für die Prüfung grösserer Stückzahlen gedacht. Die Streifen müssen anschliessend natürlich sorgfältig ausgewertet werden. Der Aufwand hierfür ist etwas grösser als bei Protokollierung von Hand (Fig. 9).

Nr.	Stromfehler ‰	Fehlwinkel min
17	-9.20	-38.7
17	-6.87	-28.1
17	-2.12	-15.6
17	-1.79	-15.4
17	+1.04	-19.5
17	+1.79	-15.6
17	+3.42	-07.9
17	+3.68	-07.6

Fig. 9 Meßstreifen einer Wandlermessung
(Stromwandler 100/5 A, 20 VA, Klasse 0,5)

Messpunkte:	Strom in %	Bürde in VA
	10	
	20	
	100	20
	120	
	10	
	20	
	100	5
	120	

3.4.5 Spannungswandler-Messbrücke

Sie unterscheidet sich aufbaumässig nicht von den vorhandenen, bewährten, transportablen Schering-Alberti-Messbrücken des SEV, ist aber als Einbaumodell und nur für Spannungswandler konstruiert. Vom Schaltpult aus kann auch die nötige Sekundär-Bürde in Stufen von 5 zu 5 VA eingestellt werden. Es ist möglich, gleichzeitig elf Spannungswandler anzuschliessen und das jeweilige Prüfobjekt durch einen Umschalter mit Spezialkontakten auf die Brücke zu schalten. Dies ermöglicht, ohne zeitraubende Einstellung von Spannung oder Bürde einen bestimmten Messpunkt bei der ganzen Serie durchzuprüfen.

Die Ablese-Genauigkeit beträgt 0,01 % bei der Übersetzung und 0,1 min beim Fehlwinkel. Die Messgenauigkeit der gesamten Einrichtung inkl. Anschlusskabel wird mit ±0,02 % bzw. ±1 min garantiert (Fig. 10).

3.4.6 Stromwandler-Messbrücke

Für den Bau der Stromwandler-Prüfeinrichtung wurde versucht, neue Wege zu beschreiten. Sowohl beim Studium der Literatur [2...6] als auch in persönlichen Gesprächen mit Leitern in- und ausländischer Prüfämter, kristallisierte sich heraus, dass nicht mehr mit Shunts, sondern mit Zwischentransformatoren gearbeitet werden sollte. Eine Firma in Zürich war bereit, in diesem Sinne einen Prototyp zu bauen und zwar vorerst unter Berücksichtigung der Erfordernisse für die Prüfung von Wandlern der Klassen 0,5 und 0,2.

Die Meßschaltung ist in Fig. 11 dargestellt. An den zu prüfenden Stromwandler X ist der Zwischenstromwandler ZW_1 mit den Übersetzungsverhältnissen 1...5 A/10 mA und an den Normalstromwandler N über die Gegeninduktivität M der Zwischenstromwandler ZW_2 mit dem Übersetzungsverhältnis 5 A/10 mA angeschlossen.

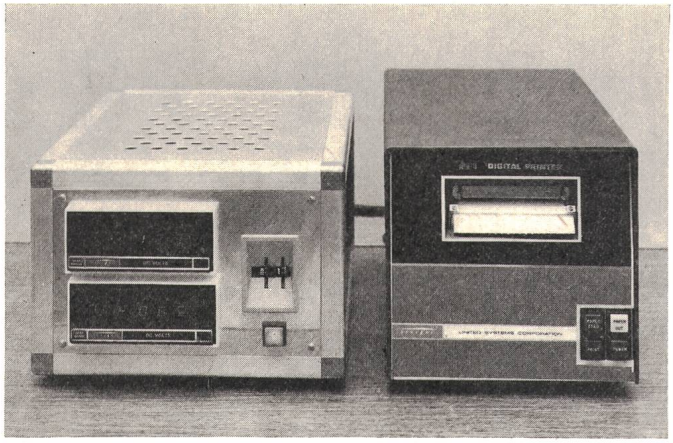

Fig. 8 Digitalvoltmeter und Messwertdrucker
links Digitalvoltmeter für die Fehleranzeige (angezeigter Wert: +1,29 ‰, -6,5 min, Wandler Nr. 1)
rechts der Messwertdrucker

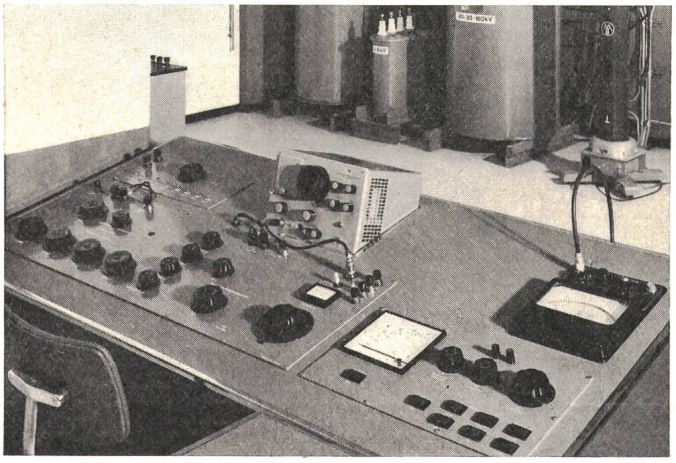

Fig. 10 Messpult mit Schering-Alberti-Messbrücke für Spannungswandler
mit Bürdenschalter, Oszilloskop, Scheitelwertmessgerät und Steuereinrichtung

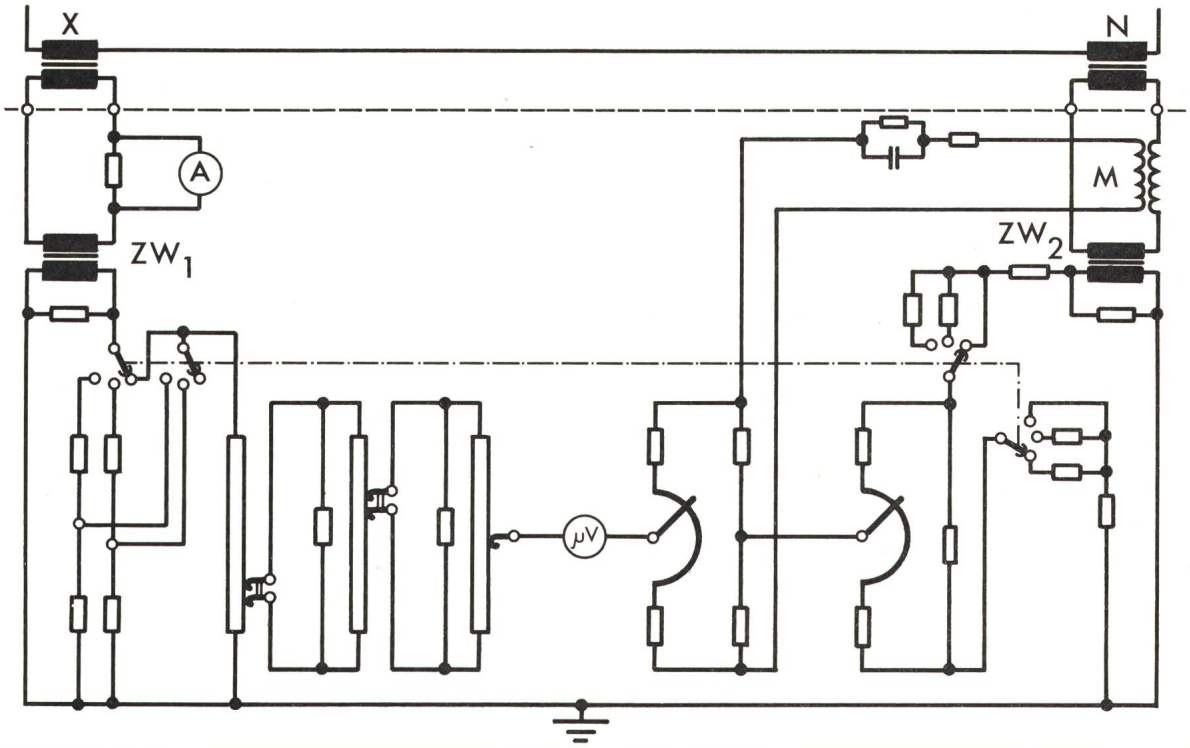

Fig. 11 Schema der Stromwandler-Messbrücke für Wandler mit Sekundärströmen von 5 A und 50 Hz
Die Anschlüsse für 1 A und die Umschaltung für 60 Hz werden der Übersichtlichkeit halber weggelassen

X	Prüfling	*N*	Normalstromwandler
ZW_1, ZW_2	Zwischenstromwandler	*M*	Gegeninduktivität

Die sorgfältig und gleichmässig bewickelten Zwischenstromwandler ZW_1 und ZW_2 besitzen einen toroidförmigen Eisenkern aus Ultraperm 10 und arbeiten bei kleinen Induktionen auf dem waagrechten Teil der Magnetisierungskennlinie, so dass sich die an sich sehr kleinen Übersetzungsfehler der beiden Stromwandler auch bei voneinander verschiedenen Stromstärken gegenseitig nahezu kompensieren und somit vernachlässigt werden können. Ausserdem sind die beiden Zwischenstromwandler jeweils mit einer Bürde von 100 Ω belastet. Bei Nennstrom fliessen sekundär 10 mA, wodurch sich beiderseits nur eine äussere Belastung von $S = I^2 R = 0{,}01$ VA ergibt. Die Eingangsbürde der Zwischenstromwandler ist ebenfalls sehr gering und beträgt etwa 0,1 VA.

Die Gegeninduktivität M besteht aus einem magnetisch abgeschirmten Lufttoroid und erzeugt in der Meßschaltung einen gegenüber dem sekundären Normalstrom um 90^0 verschobenen Strom von 2 mA. Für den genauen 90^0-Abgleich ist eine *RC*-Schaltung und für die beiden Messfrequenzen $f = 50$ und 60 Hz eine Umschaltung vorgesehen, welche dafür sorgt, dass der im Schleifdraht für die Ablesung des Fehlwinkels δ fliessende Meßstrom von 2 mA bei den beiden Frequenzen unverändert bleibt. Die beiden Zwischenstromwandler speisen 2 Spannungsteiler, deren Spannungsabgriffe über den δ-Schleifdraht und den Nullindikator miteinander verbunden sind. Die Kompensationsspannung zwischen dem Spannungsabgriff und dem gemeinsamen und geerdeten Nullpunkt hat je nach dem Ablesefaktor (x 1 – x 2 – x 10) den Nennwert $U_k = 0{,}5 - 0{,}25 - 0{,}05$ V, auf welchen sich die an den Schleifdrähten für die Ablesung des Stromfehlers *F* und des Fehlwinkels δ abgegriffenen Fehlerspannungen beziehen.

Die entsprechende Einstellung der Kompensationsspannung U_k geschieht auf der X-Seite durch die Vorschaltung eines Stromteilers, durch welchen der Strom im nachgeschalteten, phasenreinen Spannungsteiler [7; 8] bei konstant gehaltenem Eingangswiderstand auf $^1/_1 - ^1/_2 - ^1/_{10}$ des Nennstromes eingestellt werden kann. Auf der N-Seite wird dagegen durch eine entsprechende Einstellung einer Feussner-Spannungsteilerschaltung der Kompensationswiderstand auf die Werte $R_k = 100 - 50 - 10$ Ω eingestellt, während die beiden Schleifdraht-Spannungen für *F* und δ konstant bleiben.

Der Messbereich der beiden Schleifdrähte beträgt für den Stromfehler $F = \pm 1{,}25$ % und für den Fehlwinkel $\delta = \pm 60'$, bezogen auf den Kompensationswiderstand $R_k = 100$ Ω. Diese Messbereiche sind je nach der Stellung des Faktorschalters mit 1 – 2 – 10 zu multiplizieren. Hiebei betätigt der Faktor-Schalter sowohl den Stromteiler auf der X-Seite als auch die Feussner-Schaltung auf der N-Seite. Bei gleichem Übersetzungsverhältnis der beiden Stromwandler X und N hat der Kompensationswiderstand des Spannungsteilers auf der X-Seite ebenfalls den Wert $R_k = 100$ Ω. Dieser Widerstand kann verschiedenen Übersetzungs-Verhältnissen der beiden Stromwandler entsprechend eingestellt werden und zwar von 0... 200 Ω mit einer Stufung von 1‰.

Um die Kompensationsspannung auf den Wert $U_k = 0{,}5$ V für den Faktor 1 zu reduzieren, ist den beiden Spannungsteilern ein Widerstand von 200 Ω parallel geschaltet, wobei der Widerstand der Feussner-Schaltung auf 200 Ω ergänzt ist.

Nach den Regeln für Stromwandler ist deren Prüfung bei 120, 100, 20 und 10% des Nennstromes vorzunehmen. Es war naheliegend, diesen Strom nicht mehr nach einem separaten,

in den Primärkreis geschalteten Wandler einzustellen, sondern den Sekundärstrom des Prüflings selbst zu verwenden, der üblicherweise 5 oder 1 A beträgt. Damit durch die verschiedenen Messbereiche des Ampère-Meters nicht unterschiedliche Bürden entstehen, wurden in den Messkreis des Prüflings X ein Widerstand von 0,02 Ω für 5 A, bzw. 0,1 Ω für 1 A eingeschaltet und in der Brücke miteingeeicht. Am 0,02-Ω-Widerstand entsteht somit beim Nennstrom von 5 A ein Spannungsabfall von 100 mV, der einem Strom von 100 % entspricht. Er wird mit einem Digitalvoltmeter gemessen, das dann die Zahl 100 zeigt und gestattet, ohne Umschaltung mit genügender Genauigkeit direkt die Werte von 10 bis 120 % einzustellen (Fig. 12).

Wie schon im Abschnitt 3.4.2 über die Genauigkeit erwähnt, wäre für die Prüfung von Präzisionswandlern eine Brücke mit höherer Genauigkeit zweckmässig. Durch besondere Wahl der Bauelemente ist es möglich, die beschriebene Messbrücke so empfindlich zu konstruieren, dass z. B. ein Übersetzungsfehler von 0,001 % noch ablesbar ist (im Gegensatz zur gebauten, wo ein Teilstrich 0,01 % bedeutet). Diese hohe Genauigkeit ist zwar auch mit der Differenzialmessbrücke zu erreichen, die aber nur angewendet werden kann, wenn der Normalwandler das gleiche Übersetzungsverhältnis aufweist wie der Prüfling.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Es ist relativ selten, dass ein Labor nicht nur umgebaut oder erweitert, sondern von Grund auf neu gestaltet und eingerichtet werden kann. Dies aber ermöglichte es, Arbeitsplätze zu schaffen, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen. Es wurde darauf geachtet, durch zweckmässige Anordnung die Betriebssicherheit zu fördern, mit modernen Geräten, aber ohne übertriebenen Luxus, die Wirtschaftlichkeit zu heben und durch Hilfseinrichtungen, wie Kran, Hubstapler usw. den Angestellten die Arbeit zu erleichtern. Dadurch wird es möglich, bei gleichem Personalbestand die steigende Zahl der zu prüfenden Wandler zu bewältigen, ohne dass lange Lieferfristen in Kauf genommen werden müssen.

Das Labor ist aber noch ausbaufähig. Bei wesentlich stärkerer Beanspruchung könnte ohne weiteres eine zusätzliche Arbeitskraft plaziert werden. Sannungsmässig ist das Labor bei 150 kV begrenzt. Der Normal-Wandler für 200 kV (für auswärtige Prüfungen) ist aber so konstruiert und bereits mit den entsprechenden Aufbauten und Anschlüssen versehen, dass ein Zusatzteil für Spannungen bis 600 kV, bzw. 1 MV/$\sqrt{3}$ gemessen werden könnten. Auch strommässig lässt sich die Anlage über die vorhandenen 4000 A hinaus noch ausbauen. Vorgesehen ist, einen Normalwandler für 6000–10000/5 A anzuschaffen. Der entsprechende Speisetransformator für 12000 A ist vorhanden.

Damit dürfte für die nächsten Jahre eine Grundlage geschaffen worden sein, auf der aufgebaut werden kann. Wenn die Technik nicht völlig umwälzende Neuerungen bringt oder die Wirtschaft sich strukturell wesentlich ändert, wird die Messwandler-Eichstätte des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins ihren Kunden mit dieser Anlage auch in Zukunft dienen können.

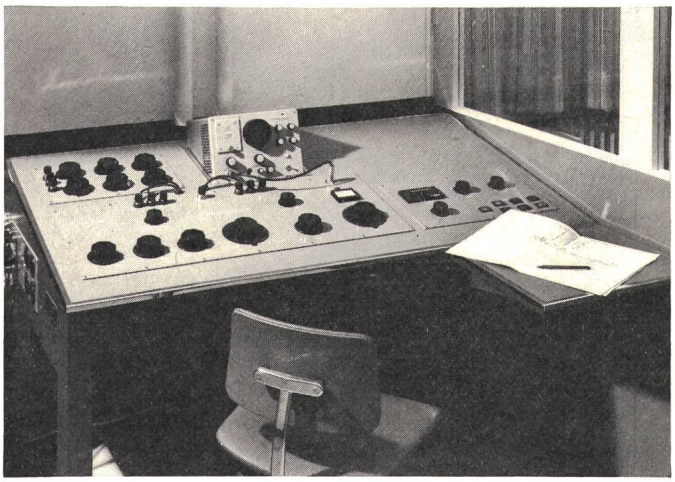

Fig. 12 Messpult mit Stromwandler-Messbrücke
mit Bürdenschalter, Oszilloskop und Steuereinrichtung

Nicht unerwähnt soll bleiben, dass während dem Umbau des Labors die anfallenden Aufträge laufend erledigt werden mussten. Wie schon anfangs gezeigt (Fig. 2), mussten aber gerade in diesen beiden Jahren eine noch nie erreichte Zahl an Wandlern geprüft werden, während parallel dazu auch in der Eichstätte qualifiziertes Personal knapp war. Dies hatte während den zwei Jahren manchmal abnormal lange Lieferfristen zur Folge und stellte die Geduld der Kundschaft oft hart auf die Probe. Im allgemeinen aber wurde den veränderten Verhältnissen wohlwollendes Verständnis entgegengebracht, was an dieser Stelle aufs beste verdankt sei.

Literatur:

[1] *H. Helke:* Wechselstrom-Nullindikatoren. Arch. Techn. Messen -(1967) 380, S. 207...210.

[2] *E. Zinn:* Messung von Spannungswandlern mit Stromwandler-Messeinrichtung nach Schering-Alberti. ETZ-A 75(1954)20, 687...690.

[3] *W. Hohle:* Eine tragbare Stromwandler-Prüfeinrichtung hoher Genauigkeit. Arch. Elektrotechn. 27(1933)12, S. 849...855.

[4] *H. E. Linckh:* Absolute Messung von Stromwandlern. ETZ-A 73(1952)23, S. 747...749.

[5] *K. Forger:* Ein Messprinzip hoher Genauigkeit für Untersuchungen an Stromwandlern. Dissertation der Technischen Hochschule Braunschweig, 1953.

[6] *H. E. Linckh:* und *H. Helke:* Messung von Stromwandlern für sehr kleine primäre Nennströme. ETZ-A 74(1953)11, S. 349...351.

[7] *H. Helke:* Über eine messtechnische Verfeinerung bei der Wandlerprüfung. Elektro-Anzeiger 6(1953)48, S. 459...461.

[8] *P. J. Van Benschoten:* The ISO-Ohmic voltage divider. Instruments and Control Systems 34(1961)1, p. 92...93.

Adressen der Autoren:

W. Brückel, Tettex AG, Rotbuchstrasse 45, 8042 Zürich, und *D. Vetsch,* Abteilungsvorstand der Eichstätte des SEV, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich.