

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 25 (1934)
Heft: 5

Artikel: Anschlussfehler und Störungen bei elektrischen Messeinrichtungen
Autor: Müller, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056542>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 18.01.2025

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

der Felder bleibt nahezu konstant, was ja auch die Praxis insofern ergeben hat, als bekanntlich Drehspulinstrumente durch exzentrische Verlagerung des Kerns in ihrem Skalencharakter nur wenig beeinflusst werden.

Fig. 10 zeigt ein System für einen Quotientenmesser, welches von A. Lindecker vorgeschlagen und bei der Firma Trüb, Täuber & Co.

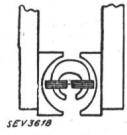


Fig. 10.

entwickelt wurde. Hier sind, ähnlich wie bei dem Ohmmeter von Carpentier, Paris³⁾, zwei Spulen vorhanden, von denen jeweils nur die eine Seite wirksam ist, während sich die andere im Inneren des ringförmigen Kern befindet, welcher zur Ermöglichung des Einbringens der Spulen einseitig geschlitzt ist. Der zylindrische Kern ist zwischen die, abweichend von dem erwähnten Ohmmeter,

³⁾ Keinath, Die Technik elektrischer Messgeräte, München und Berlin 1928, Bd. 1, S. 353.

zylindrisch und zentrisch zur Systemachse ausgebohrten Pole exzentrisch eingesetzt, wobei die Exzentrizität im Gegensatz zum Parallelspulnstrument senkrecht zur Verbindungslinie der Polmitten gerichtet ist. Das Feld ist daher unter zwei benachbarten Polspitzen am stärksten und nimmt unter den Polen bis zu den andern beiden Polspitzen allmählich ab.

Bei einem Ausschlag von 45° aus der Mittellage befindet sich eine Spulenseite im stärksten, die andere im schwächsten Feld, bei einem Ausschlag um 45° in der andern Richtung ist es umgekehrt. Die relativ starke Feldänderung ergibt eine geringe Verhältnisempfindlichkeit und ein hohes Drehmoment, so dass das System sich gut für Linien-schreiber in Verbindung mit Widerstandsfern-gebern eignet. Mit dem Parallelspulnstrument hat es die Eigenschaft gemeinsam, dass sich die Verhältnisempfindlichkeit durch Veränderung der Exzentrizität des Kerns erhöhen oder vermindern lässt. Ein Ausschlag von 90° ist ohne weiteres erzielbar.

Anschlussfehler und Störungen bei elektrischen Messeinrichtungen.

Nach einem Referat, gehalten an der Herbstversammlung 1933 des Betriebsleiterverbandes der Gemeinde-Elektrizitätswerke in Ennenda, von P. Müller, Zürich.

621.317.785 : 621.317.385

Der Autor, Ingenieur in der Eichstätte des SEV, hat im nachstehenden Artikel die wichtigsten Ursachen von Fehlern bei Energiemessungen zusammengestellt, um den Praktikern, die als Betriebsleiter von Elektrizitätsversorgungen infolge ihrer vielfachen Beanspruchungen selten dazu kommen, Spezialstudien auf diesem Gebiete zu machen, von den Beobachtungen, die andernorts gemacht wurden, Kenntnis zu geben und ihnen die in der ganzen Schweiz gesammelten Erfahrungen unserer Prüfstelle zu vermitteln, natürlich ohne damit den Spezialisten der Messtechnik etwas wesentlich Neues bieten zu wollen.

L'auteur, ingénieur à la Station d'étalonnage de l'ASE, a groupé dans l'article ci-dessous les principales causes des erreurs qui peuvent se glisser dans les mesures d'énergie. Cet aperçu est destiné à transmettre aux praticiens qui, en tant que chefs d'exploitation d'entreprises de distribution, sont souvent empêchés par leurs occupations multiples de faire des études spéciales dans ce domaine, les observations faites autre part et à leur communiquer les expériences rassemblées dans toute la Suisse par notre Station d'étalonnage. Pour le spécialiste en mesures, cet article ne prétend pas apporter quelque chose de nouveau.

Wohl alle Betriebsleute sind sich darin einig, dass unrichtige Messungen mit allen verfügbaren Mitteln zu verhindern sind. Ist es schon für den Fachmann oft recht schwierig, mit Sicherheit nachzuweisen, wie gross die tatsächlichen Messfehler werden, so erscheint es völlig aussichtslos, den Laien, in diesem Falle meist den Energiebezügler, von der Richtigkeit der technischen Ueberlegungen zu überzeugen.

Die Ursachen von Fehlmessungen zerfallen in drei Hauptgruppen:

1. Fehler, begründet durch die Natur der verwendeten Instrumente und Apparate.
2. Fehler als Folge von Defekten der Messapparatur.
3. Fehler als Folge unrichtiger Schaltung.

I.

Die Messgenauigkeit, die man mit guten und sorgfältig geeichten Zählern und Registrierinstrumenten erreicht, liegt nur ein Geringes innerhalb der Fehlergrenzen, die in der neuen eidgenössischen Vollziehungsverordnung über die amtliche Prüfung von Elektrizitätsverbrauchsmessern vom 23. Juni 1933 festgelegt sind¹⁾. Dabei wird in der

Regel die für Messwandlerzähler geforderte Genauigkeit auch für die gesamten aus Zählern und Wandlern bestehenden Aggregate erreicht.

Eine erste wichtige Einflussgrösse auf Betriebsapparate ist die *Umgebungstemperatur*. Die Ergebnisse diesbezüglicher von der Eichstätte des SEV durchgeführter Untersuchungen sind in Fig. 1 bis 6 zusammengestellt.

Bei den sogenannten Präzisionszählern sind besondere Hilfsmittel zur Kompensation der Temperatureinflüsse angewendet. Die normalen, handelsüblichen Zähler ohne Temperaturkompensation werden entsprechend ihrem inneren Aufbau in verschiedener Weise durch Änderungen der Umgebungstemperatur beeinflusst (Fig. 1 und 2). Bei kleinen Leistungsfaktoren (Fig. 3) wächst der Temperatureinfluss ganz bedeutend. In einem bestimmten Falle wiesen z. B. die Verluste eines rotierenden Phasenschiebers scheinbar ganz launenhafte Sprünge auf, die einzig auf Schwankungen der Umgebungstemperatur des zur Messung benützten Zählers zurückzuführen waren.

Dynamometrische Registrierinstrumente, die heute fast ausschliesslich zur Verwendung gelan-

¹⁾ Siehe Bull. SEV 1933, Nr. 20, S. 485.

gen, bleiben von Raumtemperaturänderungen praktisch unbeeinflusst. Die «Sündenböcke» bezüglich Temperaturabhängigkeit sind zweifellos die noch sehr verbreiteten Ferraris-Instrumente, deren Angaben durch eine Raumtemperaturschwankung von nur 2° C um beinahe 1% geändert werden (Fig. 6).

Eine weitere Ursache unbefriedigender Messgenauigkeit liegt in der Wahl eines ungeeigneten

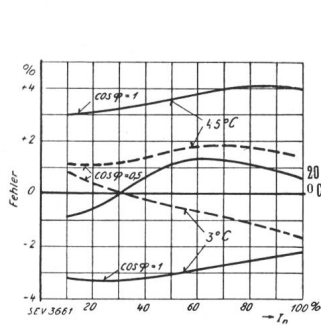


Fig. 1. Dreiphasenzähler Fabrikat A.

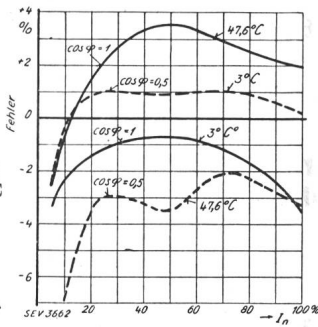


Fig. 2. Dreiphasenzähler Fabrikat B.

Messbereiches; es kommt nicht selten vor, dass Messeinrichtungen dauernd unter 1/10 der Nennstromstärke registrieren. Gerade in diesem Arbeitsgebiete sind jedoch die Angaben der Messapparatur in bedeutendem Masse durch Reibung, Spannungsvariationen, mechanische Vibrationen beeinflusst. Oft hält es schwer, eine Anpassung der Apparatur an die Betriebsverhältnisse zu erreichen, nämlich dann, wenn grosse und sehr kleine Belastungen während längerer Dauer auftreten; in

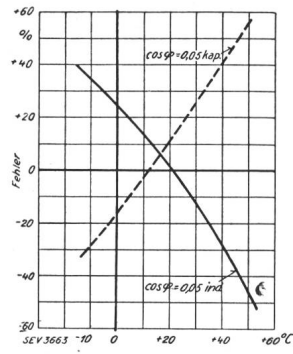


Fig. 3. Dreiphasenzähler Fabrikat A.

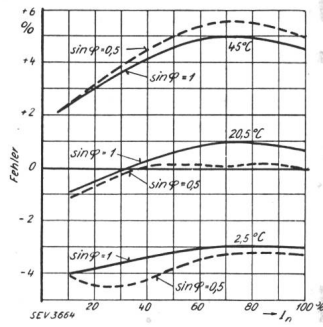


Fig. 4. Dreiphasenblindverbrauchzähler.

solchen Fällen empfiehlt sich der Einbau von Stromwandlern, die dauernd mit der doppelten Nennstromstärke betrieben werden können und entsprechende Ueberlastung der Zähler. Die meisten neuzeitlichen Messwandlerzähler sind ohne wesentliche Einbusse an Messgenauigkeit um 50 bis 100% stromüberlastbar.

Die Winkelfehler der Messwandler können bei kleinen Leistungsfaktoren, so etwa im Gebiet $\cos \varphi = 0,5$, nicht selten einen merklichen Einfluss ausüben. Der sogenannte Fehlwinkel eines Wandlers bedeutet nämlich nichts anderes, als dass die mit Wandler erhaltene Photographie von Strom

oder Spannung nicht genau mit dem Original in Phase liegt, sondern eine kleine Phasenverschiebung aufweist. Bei der Leistungsmessung ist jetzt der Winkel zwischen Strom und Spannung nicht mehr φ , sondern um einen kleinen Betrag δ ge-

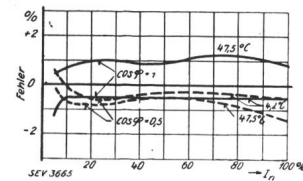


Fig. 5 (oben). Dreiphasenpräzisionszähler.

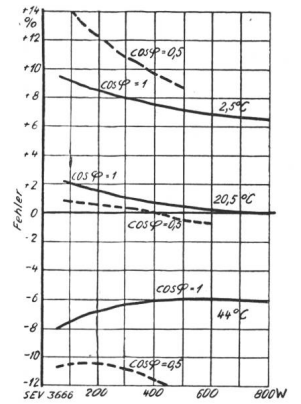


Fig. 6 (rechts). Registrierendes Wattmeter, Ferraris-Type.

ändert ($\varphi + \delta$ oder $\varphi - \delta$). Ein Fehlwinkel von +60 Minuten, wie er nach den derzeitigen gültigen Vorschriften im Grenzfalle noch auftreten darf, gibt bei einem Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0,5$ einen Messfehler von plus 3%, bei $\cos \varphi = 0,2$ beträgt der Fehler 8,5% und steigt bei $\cos \varphi = 0,1$ auf 17,5%.

II.

Wichtiger als die vorerwähnten Einflüsse sind die Messfehler der zweiten Gruppe, verursacht durch Defekte der Apparatur. Die Zähler machen eine natürliche Alterung durch, gegen die leider kein Kraut gewachsen ist. Die Reibungswiderstände erhöhen sich, die Lagersteine werden etwas rau, auch die Zählwerksreibung wird grösser; parallel mit der Verschlechterung der Unterlager geht in der Regel auch jene der Oberlager. Der Einfluss der vergrösserten Reibung äussert sich vor allem im Gebiete der kleinen Belastungen und

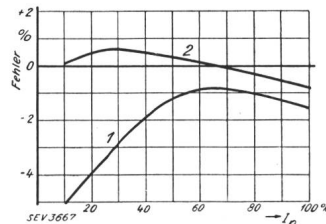


Fig. 7. Dreiphasenzähler, Einfluss der Reibung. 1 Fehlerkurve vor Revision, 2 Fehlerkurve nach Revision } $\cos \varphi = 1$

kann Fehlanzeigen in der Grössenordnung bis zu 20% bedingen; er ist naturgemäss geringer bei Zählern mit grossem Drehmoment, deren Fehlerkurve nicht künstlich verbessert werden musste. Aus diesem Grunde wird für die Präzisionszähler ein relativ hohes Nenndrehmoment verlangt. Speziell gefährdet sind die Zähler mit grossem Gewicht der rotierenden Teile, wo unvorsichtiges Manipulieren und Stösse auf dem Transport nicht selten zur Ursache defekter Lagersteine werden (Gleichstromzähler und Vierleiter-Zähler). Die Reibungswiderstände verlegen die Fehlerkurve der Zähler in ganz charakteristischem Sinne (vgl. Fig. 7).

Die Bremsmagnete verlieren im Laufe der Zeit etwas von ihrer Feldstärke, moderne Zähler mit richtig gealterten Magneten allerdings nur wenig. Dieser Einfluss bewirkt, dass Zähler mit gleichbleibender Reibung im Alter die Tendenz haben, etwas zu viel zu registrieren.

Grosse Reibungsmomente spielen bei Zählern mit Nebenapparaten (Maxigraphen, Maximumzähler) oft recht unangenehm mit. Diese Apparate neigen dazu, bei kleinen Belastungen zu geringe Werte anzuzeigen.

Eine nicht seltene Störung bei Maximumzählern ist auf *unregelmässiges Funktionieren des Umschaltrelais* zurückzuführen. Wenn z. B. die Umschaltung aussetzt, kann der Schleppzeiger statt eines Maximums zwei addieren und dementsprechend einen zu grossen Höchstverbrauch vortäuschen, oder der Schleppzeiger wird allmählich bis zum Anschlag vorgetrieben und der Zähler muss als Reibungsarbeit auch noch den Widerstand der Rutschkupplung überwinden; beträchtliche Minusfehler sind die natürliche Folge.

Aus konstruktiven Gründen sind bei den registrierenden Instrumenten im allgemeinen die wirksamen Drehmomente im Verhältnis zu den Reibungsmomenten etwas knapp, so dass beim Zusammentreffen ungünstiger Umstände bei geringen Belastungen auch hier Fehler bis etwa 8% möglich sind.

Von Bedeutung sind weiterhin *Unterbrüche in den Spannungskreisen*, sei es, dass diese in einer Spannungsspule des Messinstrumentes selbst auftreten, sei es, dass bei Messwandlerinstrumenten die Absicherung der Spannungskreise nicht in Ordnung ist. Der Einfluss eines solchen Unterbruches ist bei Einphasen-Instrumenten bzw. Kombinationen aus Einphaseninstrumenten leicht zu übersehen. Interessanter sind die Verhältnisse bei Dreiphaseninstrumenten mit zwei messenden Systemen. Die bei diesen Apparaten angewandte Aronschaltung ist ohne lange theoretische Ueberlegungen verständlich, wenn man das Dreiphasensystem ohne Nulleiter sich aus zwei etwas speziellen Einphasenmetzen zusammengesetzt denkt und den dritten Leiter als gemeinsame Rückleitung auffasst. Nun haben aber die beiden Teilleistungen einen bestimmten Zusammenhang mit der Gesamtbelastung (Fig. 8).

Fallen zwei Spannungen aus, so muss der Zähler automatisch stillestehen. Fehlt die Spannung R, so wird bei $\cos \varphi = 1$ nur die Hälfte der Energie registriert, bei $\cos \varphi = 0,5$ wird die Energie richtig gemessen, bei $\cos \varphi$ unter 0,5 zeigt der Zähler zuviel an. Fehlt die Spannung S, so wird, symmetrische Belastung vorausgesetzt, nur die Hälfte der wirklichen Energie unabhängig vom Leistungsfaktor registriert. Fehlt die Spannung T, so wird bei $\cos \varphi = 1$ die Hälfte angezeigt, bei $\cos \varphi = 0,5$ steht der Zähler still und bei $\cos \varphi$ unter 0,5 würde der Zähler rückwärts laufen.

Ein Windungsschluss in einer Strom- oder Spannungsspule des Zählers bewirkt fast stets Angaben,

die gegenüber dem wirklichen Wert zu klein ausfallen. Windungsschlüsse und Unterbrüche der Spannungskreise wirken sich in gleicher Weise auch bei den Registrierinstrumenten aus.

Defekte an den Messwandlern sind weniger häufig. Windungsschlüsse der Stromwandler, sei es primär- oder sekundärseitig, gefährden die Stromwandler in der Regel nicht, bewirken aber einen zu kleinen Sekundärstrom und als Folge Minusfehler der Messapparate. Recht tückisch sind die bisweilen an Stromwandlern festgestellten intermittierenden Windungsschlüsse, die bei einer kurz-

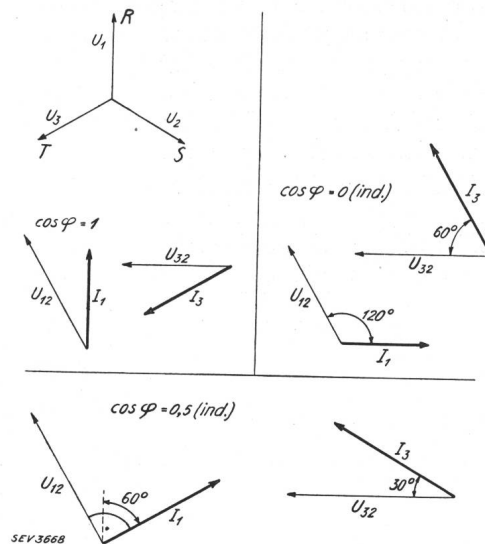


Fig. 8.
Dreiphasenleistungsmessung nach der Zwei-Wattmeter-Methode.

dauernden Prüfung eventuell gar nicht bemerkt werden, sondern erst mit der betriebsmässigen Erwärmung auftreten.

Stromwandler-Windungsschlüsse können durch steile Wanderwellen, aber auch durch Öffnen der Sekundärwicklung im Betriebe verursacht werden.

Das Durchschmelzen von Hochspannungssicherungen an Spannungswandlern, das bei Kontrollen schon mehrmals festgestellt werden konnte (über den Wert oder Unwert dieser Spannungswandlersicherung sind die Meinungen noch recht geteilt), schafft Verhältnisse, die rechnerisch nicht leicht erfassbar sind. Schliesst man nämlich einen Spannungswandler nur einpolig an, so zeigt ein an die Sekundärseite angeschlossenes Voltmeter eine Spannung an, die unter Umständen höher als die verkettete Spannung ist. Diese Spannung wird durch die Kapazitätsströme des Wandlers induziert.

Windungsschlüsse bei Spannungswandlern dürften allmählich den Tod des Apparates infolge fortschreitender Verkohlungen herbeiführen. Aus der Praxis der Eichstätte ist kein Fall bekannt, wo ein derartiger Apparat sich durch Ausbrennen selbst repariert und hernach mit einem falschen Uebersetzungsverhältnis weiter gelebt hätte. Uebersetzungsgemäss wäre ein solches Verhalten durchaus möglich.

III.

Bei der *dritten Gruppe* von Fehlerursachen, den *unrichtigen Schaltungen*, dürften die ausserordentlich seltenen Fälle betrügerischer Eingriffe in die Messeinrichtungen wohl mit Recht ausser Acht gelassen werden. Das Verhalten der Registrierinstrumente und Zähler ist durchwegs dasselbe; im folgenden für Zähler angestellte Ueberlegungen gelten auch für Registrierinstrumente.

Die Wahrscheinlichkeit, Einphasenzähler unrichtig anzuschliessen, ist nicht gross. Der schlimmste Fehler ist wohl jener, dass in einem geerdeten Netze die Stromspule des Messgerätes in der geerdeten Phase angeschlossen wird; Verbraucher, die zwischen spannungsführender Phase und irgend einer Erde angeschlossen sind, deren Strom daher nicht über die Stromspulen des Messinstrumentes fliesst, werden nicht mitgemessen.

Die Drehstromzähler sind seit ungefähr 1926 stets in einer bestimmten Anschlussreihenfolge geeicht. Diese Reihenfolge der Phasen kann am Aufstellungsorte mit einem einfachen Instrumente, dem sogenannten Drehfeldanzeiger, geprüft werden. Es empfiehlt sich sehr, darauf zu achten, dass die Apparate bezüglich Drehfeld genau wie bei der Eichung angeschlossen werden. Die durch unrichtigen Anschluss entstehenden zusätzlichen Fehler sind zwar bei Leistungsfaktoren nahe $\cos \varphi = 1$ nur gering, können aber bei grösseren Phasenverschiebungen einige Prozente ausmachen. Die «Vollziehungsverordnung über die amtliche Prüfung von Elektrizitätsverbrauchsmessern» vom 23. Juni 1933 schreibt hiezu in § 20, Abschnitt 15 und 16:

«Die Mehrphasenzähler sollen so beschaffen sein, dass bei in bezug auf die Drehfeldrichtung unrichtigem Anschluss die Fehler bis auf eine induktionsfreie allseitige Belastung von 50 % hinunter innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen bleiben. Die Phasenfolge ist anzugeben.»

Unerlässlich hingegen ist es, auf die genaue Phasenfolge zu achten bei Blindverbrauchszählern, welche eine innere Kunstschaltung verwenden. Bei unrichtigem Anschluss laufen derartige Zähler rückwärts; ihre Angaben haben also falsches Vorzeichen und sind auch in der Grösse unrichtig. Neuere Blindverbrauchszähler, welche ohne Kunstschaltung auskommen, sind nurmehr in geringem Masse drehfeldabhängig. Falsche Messresultate ergeben sich bei unrichtiger Phasenfolge auch für die heute nur noch seltenen Zähler mit nur einem Meßsystem zur Ermittlung von Drehstromleistungen, sowie für Phasenmeter und ähnliche Apparate.

Vor einigen Jahren wurde in einem Betriebe eine recht merkwürdige Fehlschaltung gefunden. Bekanntlich muss sekundärseitig ein Pol der Stromwandler aus Sicherheitsrücksichten an Erde gelegt werden. Nun waren in der betreffenden Anlage Messaggregate verschiedener Fabrikation, jede mit eigenem Schema, aufgestellt, und da nach dem einen Schema die Klemme l_1 der Stromwandler,

nach dem andern aber die Klemme l_2 an Erde zu legen war, wurden, allerdings an verschiedenen Stellen, beide Pole der Stromwandler an Erde gelegt. Der Effekt war vorauszusehen: Nur ein kleiner Teil des Stromes floss über die Messapparatur, der grosse Teil benützte den bequemeren Weg zwischen den beiden Erdungen.

Es dürfte zu weit führen, alle bei Drehstrommessungen durch Vertauschung der Anschlussleitungen überhaupt möglichen ca. 60 Schaltfehler eingehend zu behandeln, zumal die Aufzeichnung des Diagrammes ein ebenso einfaches wie übersichtliches Mittel zur Beurteilung eines bestimmten Falles ist. Die Errechnung genauer Korrekturfaktoren scheidet in der Praxis allermeistens daran, dass der Leistungsfaktor des Energieverbrauches nicht genau bekannt oder stark veränderlich ist. Man wird sich bei nachträglichen Korrekturen dann mit Annäherungswerten begnügen müssen.

Am häufigsten werden bei Stromwandlern Ein- und Ausgänge verwechselt. Wenn der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ des Verbrauchers in der Nähe von 0,5 liegt, dann bleibt eine Vertauschung des Stromes in der R-Phase des Diagramms (Fig. 8) ohne wesentlichen Einfluss, bei $\cos \varphi = 1$ allerdings, da beide Meßsysteme gleiches Drehmoment erhalten, würde der Zähler dann stille stehen und bei $\cos \varphi = 0$ das anzeigen, was er bei $\cos \varphi = 1$ anzeigen sollte, nämlich $I \cdot U \cdot \sqrt{3}$. Die Verwechslung der Strom-Ein- und Ausgänge in Phase T unseres Diagramms wird, induktive Belastung vorausgesetzt, kaum vorkommen, da der Zähler im Gebiete zwischen $\cos \varphi$ 0,5 und 1,0 rückwärts laufen müsste.

Die Verwechslung der Spannungsphasen ist bei direkter Messung, d. h. ohne Verwendung von Spannungswandlern kaum möglich, sehr wohl hingegen bei Verbindung von Messapparaten mit Wandlern. Sind z. B. die Spannungsphasen R und T vertauscht, so wird die Anzeige des Messgerätes Null; ist hingegen auch Eingang und Ausgang der Stromzuführung in Phase R vertauscht, dann steht bei $\cos \varphi = 0$ der Zähler wohl still, zeigt aber bei $\cos \varphi = 0,5$ die doppelte Energie an.

Diese wenigen Fehlschaltungsbeispiele mögen dartun, wie wichtig es ist, dass der Mann, der die Anschlüsse zu besorgen hat, mit Schema, Ueberlegung und Gewissenhaftigkeit arbeitet. Es kommt leider noch oft vor, dass als Kriterium für richtigen Anschluss einzig das Vorwärtslaufen des Zählers betrachtet wird.

Wollte man aus dem Vorgenannten ein Rezept gegen Fehlmessungen herleiten, so müsste es etwa lauten:

1. *Fehler durch ungeeignete Messapparate:*
Ueberlegung der erreichbaren Genauigkeit, gelegentliche Kontrolle mit Ampèremeter.
2. *Fehler infolge defekter Messapparatur:*
Periodische Kontrolle wichtiger Meßstationen auch innerhalb der gesetzlichen 10jährigen Frist, z. B. in Zeitabständen von 2 bis 3 Jahren.

Die Eichstätte des SEV besorgt auf Wunsch solche Kontrollen, deren Kosten besonders in jenen Fällen, wo es sich um eine grössere Anzahl Messeinrichtungen handelt, ganz unbedeutend werden im Verhältnis zu den Summen, die bei unrichtigen Messungen in Frage kommen. Für sehr wichtige Stationen ist auch die Aufstellung eines zweiten, völlig unabhängigen Aggregates eine sichere und zuverlässige Kontrolle.

Die periodischen Nachprüfungen werden bedeutend erleichtert durch das Anbringen von sogenannten Prüfklemmen; diese ermöglichen den Anschluss der Kontrollapparatur ohne Betriebsstörung.

3. Schaltungsfehler:

Gewissenhafte und sorgfältige Arbeit bei der Montage, gute Instruktion des Personals, Kontrolle der Montage.

Hochfrequenztechnik und Radiowesen — Haute fréquence et radiocommunications

Antennen zur Vergrösserung der fadingfreien Zone von Rundfunksendern.

621.396.67 : 621.396.812

Die Aufgabe der Rundfunkübertragung auf mittleren Wellenlängen ist ein bestimmtes Gebiet in musikalisch einwandfreier Weise mit einem Radioprogramm zu versorgen. Hierfür steht mit Rücksicht auf die Wellenknappheit im allgemeinen nur eine Welle zur Verfügung. Weiterhin muss, entsprechend der finanziellen Lage der einzelnen Hörer auf Empfängertypen der verschiedensten Wirkungsweise Rücksicht genommen werden.

Bei kommerzieller Nachrichtenübermittlung hingegen handelt es sich meist um einen Gegenverkehr zweier Stationen, der auf verschiedenen, den jeweiligen Verhältnissen entsprechenden Wellen vor sich geht, eventuell unter Zwischenschaltung von Relaisstationen oder auf mehreren Wellen gleichzeitig. Die Empfänger können einheitlich diesem Zweck angepasst werden. Es ist nur die Verständlichkeit, weniger die musikalische Qualität der Wiedergabe massgebend. Es sind nur lineare Entfernungen zu überbrücken.

Aus dieser grundlegend verschiedenen Problemstellung ergab sich auch eine durchaus verschiedene Richtung in der Entwicklung der Antennenformen dieser Sender. Im folgenden sei nun kurz auf eine zurzeit sehr aktuelle Entwicklung in Senderbau hingewiesen.

Die primäre Reichweite eines Senders ist durch die Zone des auftretenden Fadings begrenzt. Nur in der schwundfreien, sogenannten Nahzone ist ein musikalisch wirklich einwandfreier Empfang eines Senders möglich. Es zeigte sich bald, dass durch Vergrössern der Leistung eines Senders keine Vergrösserung der Nahzone zu erzielen ist. Es musste also nach einer andern Lösung gesucht werden. Durch systematische Messungen und Beobachtung der Sender ergab sich, dass der Nahschwund, je nach dem Aufstellungsort und der Wellenlänge, in Entfernungen von 50 bis 150 km beginnt. Die Fadings treten nachts auf und haben ihre grösste Stärke während der Dämmerungszeit. Massgebende Faktoren sind die Wellenlänge, die Bodenleitfähigkeit, die Geländeformen und das Strahlungsdiagramm der Senderantenne.

Ueber die Ursache der Schwunderscheinungen hat man sich folgendes, in seinen Folgerungen recht gut zutreffendes Bild gemacht, wobei weitgehend rein optische Analogien zu Hilfe genommen werden konnten. Betrachtet man das vertikale Strahlungsdiagramm einer Antenne, so ist zwischen der längs des Bodens verlaufenden sogenannten Bodenstrahlung und der unter einem bestimmten Elevationswinkel in den Raum führenden Raumstrahlung zu unterscheiden. Die Feldstärke nimmt nach einem Exponentialgesetz mit der Entfernung ab. Austin und Sommerfeld geben hierfür die Beziehung

$$\mathcal{E} = 377 \frac{I \cdot h \cdot 10^3}{\lambda \cdot d} \cdot \varepsilon^{-\frac{\alpha d}{\lambda}}$$

worin bedeuten \mathcal{E} Feldstärke in mV/m
 I Strom in A
 h effektive Höhe in m
 λ Wellenlänge in m
 d Entfernung in km
 ε 2,17
 α kilometrische Dämpfungsziffer

$\alpha = 0,06$ bis $0,015$ bei Wellen von $\lambda = 200$ bis 550 m
 $\alpha = 0,004$ bis $0,002$ bei Wellen von 1000 bis 2000 m
 $\alpha =$ praktisch Null für die Raumwelle.

Die Dämpfung ist für die Bodenwelle beträchtlich grösser als für die Raumwelle, über Felsboden grösser als über Sumpf oder Wasser, über Wäldern und Städten grösser als über freiem Gelände, bei kurzen Wellen grösser als bei langen. Sieht man zunächst von der Raumstrahlung ab, so wäre die Reichweite durch die Zone gegeben, in der die Feldstärke unter den Störpegel fällt. Durch Steigern der Sendeleistung wäre auch eine grössere Reichweite zu erzielen. Tags ist dies auch der Fall, aber nachts widerspricht es den Tatsachen, da, wie schon gesagt, dann die Fadings in Erscheinung treten.

Fadings kommen nun wie folgt zustande. Die Raumstrahlung wird in etwa 50 bis 400 km Höhe an der sogenannten Heavisideschicht reflektiert. Diese Schicht stellt man sich als ein- oder mehrlagige Ionenbänke vor, die während der Dämmerung und nachts, also auf der der Sonne abgewendeten Seite der Erde in Erscheinung treten. Die Schicht schwankt in ihrer Ausdehnung, Höhe und Stärke, liegt z. B. im Winter höher als im Sommer. Gelangt die reflektierte, bzw. gebogene Raumstrahlung wieder zur Erde, so überlagert sie sich der Bodenstrahlung. Die Heavisideschicht ist nun dauernder Bewegung unterworfen und ändert so die Intensität, die der Laufzeit entsprechende Phase und die Polarisation der reflektierten Raumstrahlung. In der Zone, in welcher die Feldstärke der reflektierten Raumstrahlung von gleicher Grössenordnung wie die der Bodenstrahlung wird, bilden sich infolge Interferenz starke und unregelmässige Intensitätsunterschiede aus. Man bezeichnet diese Art von Schwunderscheinungen als Interferenzfadings, und zwar im geschilderten Falle als Nahfadings im Gegensatz zu den Fernfadings, welche auch in grossen Entfernungen auftreten, wo die Bodenwelle nicht mehr zur Wirkung kommt. Sie entstehen durch Ueberlagerung mehrerer, ein- oder mehrfach von der Heavisideschicht reflektierter Raumwellen des gleichen Senders.

Die Nahfadings interessieren in der vorliegenden Arbeit in erster Linie. Da für ihr Auftreten nicht die Absolutwerte der Feldstärken, sondern ihre relativen Unterschiede massgebend sind, ist erklärlich, dass durch Vergrösserung der Sendeleistung die Fadingzone nicht wesentlich weiter hinausgeschoben werden kann.

Zunächst versuchte man, empfangseitig die Fadings zu bekämpfen. Eine Trennung der Raum- und der Bodenwelle empfangseitig, ist, jedenfalls in Bodennähe, nicht möglich. Aeussert sich die Fadings nur in reinen Schwankungen der Empfangsfeldstärke, d. h. bei moduliertem Sender in gleichzeitigem Schwanken des Trägers und der Seitenbänder (sogenannte Intensitätsfadings), so können sie durch Massnahmen im Empfänger (Fadingregulierung) bis zu einem bestimmten Grade ausgeglichen werden. Weit unangenehmer und durch empfangseitige Massnahmen nicht zu beseitigen sind die sogenannten selektiven Fadings. Diese kommen dadurch zustande, dass die Reflektions- bzw. Absorptionseigenschaften der Heavisideschicht stark frequenz- bzw. wellenlängenabhängig sind. Es ist also möglich, dass der Träger gesenkt wird, während die Seitenbänder in ihrer Amplitude bestehen bleiben. Dies bedeutet bekanntlich Uebersteuerung