

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 30 (1939)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Verteilungsanlagen  
**Autor:** Gysel, J. / Buri, H. / Heusser, G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058396>

### **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>**

heit des Mutators sein muss. Hand in Hand mit dieser Forschung muss aber nach den gemachten Erfahrungen der Betriebsversuch unter normalen Be-

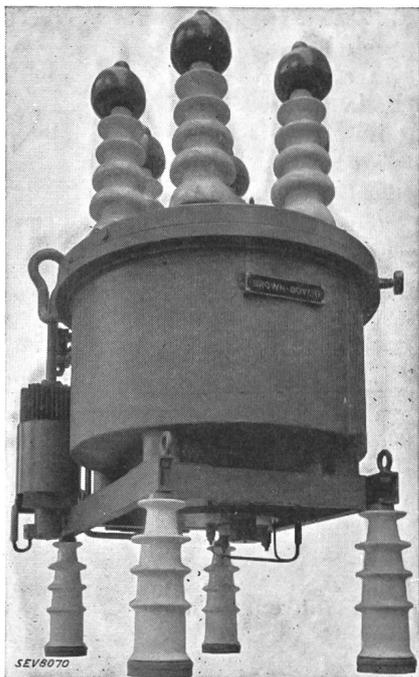


Fig. 2.

Drehstrom-Gleichstrom-, bzw. Gleichstrom-Drehstrom-Mutator, 50 kV, 500 kW.

triebsbedingungen mit voller, besser noch mit übersetzter Leistung parallel laufen. Immer wieder hat auch eine vorsichtige Uebertragung der im kleinen

Versuch gewonnenen Erkenntnisse auf den Betriebsversuch zu bösen Ueberraschungen geführt. Ein endgültiges Bild der Wirkung jeglicher Massnahme kann nur aus einem zeitlich über Monate und Jahre ausgedehnten Dauerversuch unter betriebsmässigen Verhältnissen gewonnen werden. Letzten Endes läuft somit der Fortschritt auf diesem Gebiet der Gleichstromübertragung auf die Möglichkeit hinaus, Hochleistungsdauerversuche durchführen zu können. Diese Entwicklung stellt nach dem oben Gesagten sowohl finanziell als auch rein physikalisch an den Konstrukteur sehr hohe Ansprüche. Darüber hinaus setzen derartige Versuche aber noch die opferfreudige Mitarbeit von Elektrizitätserzeugungs-Gesellschaften voraus, die in der Lage sind, die erforderlichen grossen Energiemengen für derartige Dauerversuche zur Verfügung stellen zu können.

Fig. 1, eine Aufnahme von der 50 000-V-Gleichstromübertragung Wettingen-Zürich der Schweiz. Landesausstellung, stellt die im Kraftwerk Wettingen der Stadt Zürich aufgestellte Mutator-Gruppe dar. Aus Fig. 2 ist der Aufbau des Mutators selbst ersichtlich, der in einer einzigen Stufe sowohl die Umformung Drehstrom-Gleichstrom in Wettingen, als auch die Rückwandlung in Drehstrom in der Landesausstellung in Zürich bewirkt. Nachdem schon früher von anderer Seite praktische Uebertragungsversuche mit Mutatoren durchgeführt wurden, wird mit diesen Bildern die Tatsache veranschaulicht, dass die Entwicklung nun aus den Anfängen des Versuchsstadiums herausgetreten und der erste Schritt in den praktischen Betrieb getan ist.

## Verteilungsanlagen.

Von J. Gysel, Zürich, mit H. Buri, Zürich, G. Heusser, Luzern, M. Roesgen, Genf, C. Schedler, Zürich, und M. Wettstein, Zürich.

Das vielfältige Gebiet der Elektrizitätsverteilung wird in den wesentlichsten Zügen behandelt: Gesetzliche Grundlagen, Hochspannungs- und Niederspannungs-Freileitungen, Transformatorstationen, Ueberspannungs- und Ueberstromschutz, Spannungsregulierung, städtische Kabelnetze, Hausinstallationstechnik und Berührungsschutz.

Les auteurs examinent dans ses traits essentiels le vaste domaine de la distribution d'électricité: bases légales, lignes aériennes à haute et à basse tension, postes de transformateurs, protection contre les surtensions et les surintensités, réglage de la tension, protection contre les contacts accidentels, réseaux urbains de câbles et technique des installations intérieures.

Mit dem sehr weitschichtigen Thema «Verteilungsanlagen» befasst sich ein grosser Teil der vielen Artikel, aus denen die heute gültige, auf das Elektrizitätsgesetz vom Jahr 1902 sich stützende bundesrätliche «Verordnung über die Erstellung, den Betrieb und den Unterhalt von elektrischen Starkstromanlagen», datiert vom 7. Juli 1933, und die sie ergänzende «Verordnung über die Parallelführungen und Kreuzungen» vom gleichen Datum zusammengesetzt ist. Ueber die ebenfalls zu den Verteilungsanlagen gehörenden Hausinstallationen ist in der Starkstromverordnung allerdings nur das Notwendigste gesagt; denn die Ausführungsbestimmungen dazu enthält die grosse SEV-Publikation «Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen», letztmals ergänzt und herausgegeben 1936, denen

gemäss Artikel 120 der Starkstromverordnung gleiche allgemeinverbindliche Kraft zukommt wie den Bundesvorschriften<sup>1)</sup>.

Damit sind bereits die Grundlagen unserer Elektrizitätsverteilung genannt. Ueber den heutigen Umfang der Anlagen, sowohl nach den einzelnen Werken ausgeschieden als auch für die ganze Schweiz zusammengefasst, geben die periodisch erscheinenden statischen Mitteilungen des SEV Aufschluss, deren letzte unter dem Titel «Statistik der Elektrizitätswerke der Schweiz nach dem Stande auf Ende 1936» im Dezember 1937 zur Ausgabe gelangte. Die wesentlichen Bauteile endlich, aus denen sich unsere Verteilungsanlagen zusammensetzen, sind in der Elektrizitätshalle der Schweizerischen Landesaus-

<sup>1)</sup> Die «Hausinstallationsvorschriften» vom Jahr 1936 sind z. Zt. vergriffen; eine Neuauflage auf Ende 1939 ist in Bearbeitung.

stellung in typischen Mustern und Kombinationen vertreten.

Starkstromvorschriften, Statistiken und Ausstellungsobjekte geben aber noch kein lebendiges Bild von all den elektrischen Anlagen, die draussen auf dem freien Feld, in Gärten und Hofstätten, zwischen den Häusern und längs der Strassen stehen und im Laufe der Jahre zu einem charakteristischen Bestandteil der Landschaft — wir beschäftigen uns vorerst mit dem Sichtbaren, den Freileitungsanlagen und sonstigen oberirdischen Bauten — geworden sind, ebensogut wie die übrigen sichtbaren Zeichen menschlicher Tätigkeit. Erst die bildliche Darstellung ausgeführter typischer Anlagen würde die praktische Anwendung der oben genannten Grundlagen erkennen lassen, und noch besser täte dies eine Rundreise durch industriereiche Ortschaften, bäuerliche Landgemeinden und ihre nähere und weitere Umgebung bis hinaus in das Gebiet der Einzelsiedlungen und hinauf zu den höchstgelegenen ständig bewohnten Alphöfen. Interessant wäre dabei ein kurzes Verweilen an den besonders schwierigen Stellen, wo wegen der Dichte der Ueberbauung oder wegen anderer technischer Hindernisse, bisweilen auch aus ästhetischen Gründen, bald für Hochspannungsleitungen, bald für Teile von Niederspannungsnetzen oberirdisch schliesslich kein gangbarer Weg mehr gefunden werden konnte, so dass die Flucht in den Erdboden vermittels Kabel notwendig wurde, seitens des Elektrizitätswerkes meistens in zähem Ringen um ein Minimum solcher Verkabelungen, da ihre Kostenfolge bei allgemeiner Anwendung, d. h. ausserhalb der Städte und allenfalls der am dichtesten überbauten Dorfkerne, die Wirtschaftlichkeit der Energieverteilung auf dem Lande in Frage stellen würde. Der Abschluss der Besichtigung bestünde wohl am besten in einem Vergleich des Vorhandenen mit den Lösungen, die man heute treffen würde, wenn noch gar keine elektrischen Anlagen vorhanden wären und alles neu disponiert und gebaut werden könnte. Bei dieser Kritik würde festgestellt werden, dass vieles sich anders und besser ausführen liesse, und man würde gerade auf diesem Gebiet intensivster Betätigung aller Elektrizitätswerke, die Energie verteilen, konstatieren müssen, wie sehr der Weiterausbau der Anlagen eigentlich durch das bestimmt, ja oft fast hemmend beeinflusst wird, was früher auf Grund der damaligen Technik und der damaligen Bedürfnisse erstellt worden ist.

Trotzdem nun der grossen Zahl von Fachleuten, die sich mit elektrischen Verteilungsanlagen beschäftigen, das meiste wohlvertraut ist und manchem fast selbstverständlich erscheinen mag, soll hier mit Rücksicht auf die hervorragende Bedeutung der Verteilung in der Energieversorgung unseres Landes einiges Material darüber zusammengetragen werden. Dieses wird dem Leser einerseits die typischen Erscheinungsmerkmale wieder einmal vor Augen führen samt einigen Grundsätzen, die sozusagen überall beim Bau und Betrieb von Verteilungsanlagen angewendet werden, ohne dass darüber in den Verordnungen und Vorschriften

Näheres gesagt wird, und es wird andererseits auf einzelne interessante Probleme hinweisen, die den Ersteller und Betriebsinhaber solcher Anlagen zur Zeit besonders beschäftigen. Doch sollen die folgenden Ausführungen beschränkt bleiben auf die Verteilung von *Drehstrom* der Frequenz 50/s, der heute fast restlos in der ganzen Schweiz angewendet wird.

Die

### Hochspannungsfreileitungen für Verteilung

werden auch heute noch so gut wie in den Anfängen der Elektrizitätsverteilung vor bald 50 Jahren, wo man auf die Erfahrungen und Praxis im Bau der noch ältern Telegraphen- und Telephonleitungen abstellte, fast ausschliesslich mit *Holzstangen* als sogenannte Regelleitungen gebaut. Holz hat sich trotz des periodisch notwendigen Ersatzes zufolge Faulens oder mechanischer Beschädigungen als geeignetste Konstruktionsmaterial für Verteilungsanlagen erwiesen, nicht zuletzt auch wegen der praktischen Vorteile, die es bei den vielen, durch Neubau von Häusern, Strassen und dgl. immer wieder bedingten Leitungsverlegungen und sonstigen Aenderungen bietet. Föhrenholzstangen sind wegen ihres grössern Harzgehaltes dauerhafter als Tannenholzstangen, leider aber bei uns nur in sehr beschränkten Mengen erhältlich. Beide Holzarten werden im allgemeinen imprägniert verwendet. Als Imprägnierungsmittel dient fast ausschliesslich Kupferfervitriol. An Stellen, wo besonders grosse Fäulnisgefahr besteht, werden die Stangen auf Sockel aus Gusseisen oder Beton gestellt; durch nachträgliches Untersetzen von solchen Sockeln, ferner durch Vornahme von spätern Schutzimprägnierungen vermittels Anstrichen, Binden oder Einspritzungen in der besonders gefährdeten Zone unmittelbar über und unter der Erdoberfläche wird versucht, die Lebensdauer der Stangen in wirtschaftlichen Grenzen zu verlängern. Unimprägnierte Stangen, abgesehen von den im Tessin vielfach für Regelleitungen verwendeten Kastanien, haben sich als ganz unwirtschaftlich erwiesen und werden nur noch selten, für Provisorien und dgl., benützt.

Als *Leitermaterial* kommt in der Hauptsache Kupfer zur Verwendung, dessen vorzügliche mechanische Eigenschaften und leichte Lötbarkeit gerade in den Verteilungsanlagen, wo so oft Aenderungen und Neuanschlüsse vorgenommen werden müssen, besonders geschätzt sind. Die Eisendrähte und Eisen-seile, die während der Zeit der Knappheit und Teuerung des Kupfers in den Jahren 1915 bis 1919 vielfach für Hochspannungszweigeleitungen aufgelegt wurden, wurden seither fast restlos durch Kupferdrähte ersetzt. Auch Aluminiumseil ist im Gegensatz zu den Uebertragungsanlagen in den eigentlichen Verteilungsanlagen sehr wenig anzutreffen. Zur Herstellung der Verbindung zwischen den einzelnen Kupferdrähten werden heute an Stelle der ältern sogenannten Königsmuffen, die zur Sicherung des Stromübergangs gelötet werden müssen, immer mehr moderne Ausführungen verwendet, die keine Lötung erheischen. Isolatoren, Stützen und weitere

Zubehör sind so normale Bauteile, dass darüber nichts besonderes erwähnt zu werden braucht. Als Anlagespannungen finden wir bei den Hochspannungsverteilungen die ganze Skala von wenigen tausend bis gegen 20 000 Volt hinauf vertreten. Normungsbestrebungen blieben ohne Erfolg; nur für das Material gelten genormte Werte.

Bei den

#### Transformatorstationen

wurden die früher noch sehr häufig in Blechkabinen eingebauten Anlagen kleiner Leistung fast restlos durch Freiluftausführungen ersetzt. Sie werden in dieser praktischen und billigen Bauart, vorausgesetzt, dass genügend Platz zur Verfügung steht, also besonders auf dem Lande, immer häufiger angewendet, und zwar für kleinere Leistungen von etwa 5 bis 50 kVA auf Holzstangen oder Holzgerüsten, für grössere Leistungen bis gegen 100 kVA auf Eisen- oder Betonkonstruktionen verschiedenster Ausführungsart. Die grossen Stationen sowie die meisten Stationen im Innern der Ortschaften sind in gemauerten Häuschen untergebracht, deren äussere Gestaltung ähnliche Wandlungen durchgemacht hat wie der Wohnungsbau der letzten vierzig Jahre. Es darf mit Befriedigung festgestellt werden, dass heute reine Zweckbauten, sehr zum Vorteil ihrer Haltbarkeit auf lange Dauer, viel weniger auf den Widerstand von Baupolizeibehörden und Nachbarn stossen, als dies früher der Fall war.

Der Ausnützung älterer, nicht erweiterungsfähiger Stationsgebäude kam besonders der Umstand zugute, dass die Aussendimensionen der *Transformatoren*, die heute sozusagen restlos als Oeltransformatoren gebaut werden, immer kleiner wurden. So kann jetzt oft im gleichen Raum rund das Doppelte der Leistung gegenüber früher untergebracht werden. Da auch die Güte der Transformatoren, besonders ihre Sicherheit gegen kurzzeitige Ueberspannungen, gewaltig zugenommen hat, konnten die früher fast überall auf der Hochspannungsseite vorhandenen, aber wenig wirksamen *Blitzschutzapparate* aus den Stationen entfernt werden, was die Bedienung vereinfachte und die Störungshäufigkeit verminderte. Wie weit an ihre Stelle künftig moderne, auf Grund der Forschungen mit dem Kathodenstrahlzillographen entwickelte Apparate treten werden, lässt sich heute noch nicht beurteilen. Die Betriebsleiter haben sich schon während bald zweier Jahrzehnte daran gewöhnt, in den meisten Stationen ohne einen solchen Ueberspannungsschutz auszukommen, so dass seine Wiedereinführung, obschon nun einwandfreies Material zur Verfügung steht, nicht überstürzt vor sich gehen wird.

Neue Probleme entstanden vielfach durch das Anwachsen der Kurzschlussleistungen, die auch in gewöhnlichen Transformatorstationen, besonders solchen in der Nähe von speisenden Werken und Unterwerken, hoch- und sogar niederspannungsseitig auftreten können und die die Verwendung der sonst allgemein noch üblichen offenen *Schmelzsicherungen* wegen der Gefahr von Stehlichtbogen öfters ausschliessen. Die Elektrotechnik brachte hier aber in reichlicher Auswahl, in Form von Hochleistungs-

sicherungen oder auch in Form von relativ billigen automatischen Oelschaltern, Ersatzmaterial auf den Markt, so dass die Anpassung älterer Stationen an solche moderne Bedürfnisse meistens nur eine Frage der Kosten und damit der Wirtschaftlichkeit ist.

Von Interesse mag hier noch die Feststellung sein, dass zum Beispiel in dem grossen, von der Nordgrenze des Landes bis in die Voralpen hinein reichenden ländlichen, aber zum Teil sehr industriereichen Absatzgebiet der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich die mittlere *Leistung der einzelnen Transformatoren* heute rund 75 kVA beträgt und die mittlere Leistung der ganzen Stationen rund das Doppelte, wobei als grösste Transformatoreinheiten solche von 400 kVA und als kleinste solche von 10 kVA vorkommen. Ebenso dürfte interessieren, dass in Stationen, aus denen keine Fabriken beliefert werden müssen, auf etwa 5 kW Gesamtanschlusswert aller gleichzeitig benützbaren Anschlussobjekte nur rund 1 kVA Transformatorleistung bereitgehalten werden muss. In den grösseren Stationen und besonders da, wo Energie vorwiegend für Kraftzwecke abgegeben wird, trifft man heute häufig auch *Kondensatoren* an, die der allgemeinen Verbesserung des Netzleistungsfaktors dienen und die bald an besondere Transformatoren, bald auch an die das Niederspannungsnetz speisenden Transformatoren angeschlossen sind. Mit einer wesentlichen Zunahme des Bedarfs an solchen Kompensationsmitteln ist aber nicht zu rechnen, da sich heute die Anschlussvermehrung hauptsächlich auf dem Gebiet der Energieabgabe für Wärmezwecke vollzieht, die praktisch ja fast blindstromfrei ist. Ueber die *Schutz- und Betriebserdungen* der Stationen bedarf es keiner weiteren Ausführungen, denn es ist davon sehr ausführlich in der bundesrätlichen Starkstromverordnung die Rede. Auch soll die Betriebserdung unten noch im Zusammenhang mit den Erdungs- und Schutzfragen der Niederspannungsanlagen erwähnt werden.

Was oben vom Baumaterial der Hochspannungsverteilungen gesagt ist, gilt natürlich auch für die

#### Niederspannungsleitungen.

Bei der Wahl der *Betriebsspannung* setzen sich immer mehr die bald zwanzig Jahre zurückliegenden Beschlüsse des SEV über die *Spannungsnormung* durch. Schon Ende 1936 waren gemäss der letzten Statistik des SEV gegen 60 % der gesamten in der Schweiz installierten Transformatorenleistung, an der sich der Fortschritt am einfachsten messen lässt, für die Abgabe der Spannung 220 Volt oder 380/220 Volt, im typisch gewordenen Vierleitersystem, gebaut. Bis Ende des laufenden Jahres dürfte dieser Satz auf ca. 70 % angewachsen sein. Rechnet man dazu noch etwa 15 %, die bleibend auf das Nebennormal 500 Volt fallen werden, so darf gesagt werden, dass Ende 1939 nur noch rund 15 % der Transformatorenleistungen und damit ein ungefähr gleicher Prozentsatz der Netzleistungsfähigkeit und der Anschlusswerte von der Normung noch nicht erfasst sein werden. Da zahlreiche grössere und mittlere Werke, die die Normung nicht auf einen Schlag

oder in wenigen Etappen durchführen konnten, auch heute noch intensiv an ihrem Normungsprogramm arbeiten, ist zu erwarten, dass in weitem ca. drei Jahren die Spannungsnormalisierung auf über 90 %, die 500 Volt-Anlagen inbegriffen, vorgetrieben sein wird. Es wird also diese ganz auf Freiwilligkeit beruhende, gewaltige technische und wirtschaftliche Leistung unserer Elektrizitätswerke mit all ihrer mühsamen und kostspieligen Kleinarbeit in absehbarer Zeit praktisch zum Abschluss kommen.

Von Interesse mögen hier einige Angaben über die in solchen Verteilanlagen angewendeten Grundsätze der *Spannungsabfallbemessung* sein. Die bereits zitierten EKZ zum Beispiel dimensionieren ihre Niederspannungsleitungen so, dass auf Strängen, die der allgemeinen Energieversorgung für Beleuchtung, Wärmeapparate und kleinere Motoren dienen, kein grösserer Spannungsabfall auftritt als ca. 5 %. Dabei kommt man im allgemeinen Verteilnetz und in geschlossenen Ortschaften mit den üblichen Drahtstärken von nicht über 8 mm Durchmesser auf wirtschaftliche Distanzen der Energieübertragung von 300 bis 400 m, in Gebieten mit Weiler- und Hofsiedelung bis über 1000 m. Für reine Kraftbetriebe werden ausnahmsweise bis gegen 10% Spannungsabfall zugelassen. Bei Leitungen, die der Versorgung sehr abgelegener Bauernhöfe dienen, müssen aus wirtschaftlichen Gründen oft bis ca. 15 % Spannungsabfall in Kauf genommen werden, wobei dann allerdings die Betriebszeit der landwirtschaftlichen Motoren, die den grossen Spannungsabfall erzeugen, auf die Zeit der Tageshelle beschränkt und darauf geachtet wird, dass während der Hauptbeleuchtungszeit ebenfalls nicht mehr als 5 % Spannungsabfall auftreten.

Die

#### Spannungsregulierung

geschieht am einfachsten so, dass für möglichste Einhaltung der Nennspannung an den Niederspannungsklemmen der Transformatoren gesorgt wird. Dies lässt sich erreichen einmal durch die in den Netzspeisepunkten, den Kraftwerken oder Unterwerken, in Hochspannung vorgenommene, den Schwankungen der Gesamtbelastung folgende allgemeine Spannungserhöhung und Spannungserniedrigung, sodann durch Anschliessen der Ortstransformatoren, je nach ihrer Distanz von dem Speisepunkt, mittels verschiedener, einheitlich angebrachter und verwendeter Anzapfungen der Primärwicklungen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass man mit 2 Anzapfungen in Abständen von ca. 4 und ca. 8 % der Windungszahl vom Wicklungsende auskommen kann. Unruhige Betriebe werden soweit als möglich an besondere Niederspannungszuleitungen oder, wenn vorhanden, an 500 Volt Spannung angeschlossen, grössere Fabrikanlagen meistens auch an betriebseigene Transformatorstationen, in denen wieder nach Bedarf nur die Einheitsspannung von 380/220 Volt oder daneben auch 500 Volt für den eigentlichen Kraftbetrieb erzeugt wird. Um die Güte der Beleuchtung hochzuhalten, trachtet man schon bei der Wahl der

Spannung der Anschlussobjekte auf möglichst geringe Belastung des Nulleiters. Ausserdem muss aber auch die gleichmässige Verteilung der einzelnen Anschlussobjekte, Wohnungen oder ganzen Häuser auf die verschiedenen Polleiter immer wieder nachgeprüft werden. Dabei hat sich der Anschluss der einzelnen Installationen, soweit sie nicht grösseren Umfang aufweisen, an nur zwei Polleiter und den Nulleiter besser bewährt und ist billiger als der früher bei allen grösseren Anlagen übliche vierleitrige Anschluss. Mit derartigen, relativ einfachen Betriebsmassnahmen lässt sich, wenn man die Vermehrung des Anschlusses in den verschiedenen Netzteilen genügend überwacht, regelmässig Spannungsmessungen oder rechnerische Nachkontrollen durchführt und die nötigen Verstärkungen rechtzeitig vornimmt, im ganzen versorgten Gebiet eine durchaus befriedigende Spannungshaltung erzielen. Besondere Einrichtungen für lokale Spannungsregulierung sind nur ausnahmsweise nötig.

#### Netzspeisung.

Die meisten Freileitungsnetze werden zur Verhütung des Umsichgreifens von Störungen und zur Vermeidung des Einbaus teurer und komplizierter Ueberstrom-Schutzeinrichtungen nur von einem Punkt aus gespeisen. Zwecks Unterteilung und Speisung von anderer Seite bei Vornahme von Reparaturen, Neuanschlüssen und dgl. werden aber möglichst Ringverbindungen oder Verbindungen zwischen aus verschiedenen Stationen gespeisen Netzen, mit im normalen Betrieb offenen Trennstellen, hergestellt. Dies gilt übrigens nicht nur für die Niederspannungsnetze, sondern auch für die der eigentlichen Verteilung dienenden Hochspannungsleitungen.

#### Kabelverteilungsanlagen.

In städtischen Verhältnissen, wo allgemein mit höheren spezifischen Belastungen gerechnet werden muss als bei den üblichen ländlichen Energieverteilungsanlagen, ist mit den Freileitungsanlagen sowohl in technischer als auch in ästhetischer Hinsicht nicht mehr auszukommen; an Stelle der Freileitungsanlage über Boden tritt die Bleikabelleitung unter Boden. Es betrifft dies sowohl die Hochspannungs-, als auch die Niederspannungsverteilungen. Der Beginn des Baus von Kabelleitungen fällt fast mit den Erstanwendungen der Elektrizität im täglichen Leben zusammen. Aehnlich wie bei den Freileitungsanlagen konnte man auch bei den Kabelanlagen aus den Erfahrungen der Telegraphentechnik schöpfen.

Bei der *Projektierung von Kabelnetzen* kann man wegen der teureren Materialbeschaffung, kostspieligen Verlegungsart, erschwerten Reparaturbedingungen und der Schwierigkeiten der nachträglichen Leitungsverstärkung nicht von den gleichen Gesichtspunkten und Ueberlegungen ausgehen wie bei den Freileitungsanlagen. Während sich ein Freileitungsverteilnetz im allgemeinen aus einem System offener, strahlenförmig verlaufender Leitungsstränge aufbaut, ist ein Kabelverteilnetz meistens

aus einer Anzahl Radialspeiseleitungen zusammengesetzt, die sich in irgendeinem Punkte zu einem Ring schliessen und die innerhalb dieses Ringes durch eine Anzahl Querleitungen entsprechend der Strassenzüge unter sich weiter verbunden sein können. Auf diese Art entsteht ein vermaschtes Netzsystem, das sich mehr oder weniger symmetrisch um das speisende Kraftwerk oder die Transformatorstation gruppiert. Ein solches Netzsystem ermöglicht bei rationeller Materialausnutzung eine ausgeglichene Spannungshaltung und stellt die Energieversorgung bei Leitungsdefekt sehr weitgehend sicher.

Während ein Freileitungsnetz sich schrittweise den technischen und wirtschaftlichen Verhältnissen anpassen lässt, muss ein Kabelnetz in seinem Aufbau mehr den zukünftigen Beanspruchungen Rechnung tragen, so dass für die Anfangsbedürfnisse meistens überdimensionierte, also unwirtschaftliche Anlagen entstehen. Diese Baubedingungen können dadurch verbessert werden, dass die Gruppierung der einzelnen Transformatorgebiete, in die das gesamte Versorgungsgebiet aufgeteilt werden muss, so erfolgt, dass die Möglichkeit der spätern Eingliederung neuer Transformatorstationen gewahrt bleibt. Denn die örtlichen Verhältnisse lassen in den meisten Fällen eine Erhöhung der Transformatorleistung über ein gewisses Mass hinaus nicht zu; auch würden die Leitungsnetze schliesslich zu kompliziert und unübersichtlich ausfallen.

*Hochspannungsverteilanlagen* — auch hier soll nur vom Drehstrom die Rede sein — werden heute nur noch mittels verseilter Dreileiterkabel erstellt, abgesehen von Spezialfällen. *Niederspannungs-Einleiterverteilnetze* sind in der Erstellung etwas umständlicher und teurer als Netzanlagen mit verseilten Mehrleiterkabeln, dagegen sind sie etwas betriebssicherer und leichter reparierbar. Auch ist bei den Einleiterkabeln die Gefahr der Zerstörung des ganzen Stranges zufolge eines Defektes an einem Einzelleiter geringer als beim Mehrleiterkabel, speziell wenn die Kabel in den alten, früher allgemein üblichen Tonkanälen in Sand eingebettet sind. Aus diesen Gründen wurden Einleiternetze auch noch nach dem Aufkommen der Mehrleiterkabel weiter erstellt. Mit der Vervollkommnung der Kabelfabrikation und seit der Einführung des modernen Vierleiternetzes werden allgemein nur noch Mehrleiterkabel verlegt, und Einleiterkabel kommen nur noch für Spezialzwecke zur Anwendung.

Verlegt werden normalerweise für Hoch- und Niederspannungsanlagen Kabel mit und ohne *Bandarmierung*. Der Armierung kann ein gewisser Wert besonders in bezug auf den Montagevorgang nicht abgesprochen werden. Gegen ganz grobe mechanische Beschädigungen (Pfahleiseneinbiege und Pickelstiche) ist ihr Schutz aber unbedeutend, und es arbeiten daher viele Werke, bei etwas sorgfältiger Verlegungsart und soweit nicht Spezialfälle vorliegen, auch mit unarmierten Kabeln mit Erfolg.

Die *Verlegung der Kabel* geschieht normalerweise in Längen bis zu 500 m in den Strassenkörpern, in

ca. 100 cm Tiefe in die Fahrbahn und in ca. 80 cm Tiefe in den Gehweg, der wegen der Einfachheit und leichteren Reparaturmöglichkeit und der billigeren Belaginstandstellung meistens vorgezogen wird. Gegen mechanische Beschädigungen werden die Kabel mit speziellen Kabelschutzsteinen geschützt. Besitzt das Kabel eine Armierung, so kann es direkt auf die abgeglättete Grabensohle, allenfalls in Sand, gelegt und mit einem Firsthohlstein aus Beton abgedeckt werden. Unarmierte Bleikabel dagegen werden im allgemeinen in zweiteilige Rillenkanäle aus Beton verlegt. Der Bodenkanal, der aus einer oder mehreren Rillen bestehen kann, soll an den Stoßstellen gegen Senkungen oder seitliche Verschiebung durch geeignete Verzahnung gesichert sein, ebenso das Deckelstück gegen Abgleiten. Die ursprünglich vielfach verwendeten Tonkanäle, die der geringen Festigkeit wegen mit Sand angefüllt werden mussten, sind durch die Betonkanäle verdrängt worden, in denen das Kabel frei und lose verlegt wird. Müssen auf der nämlichen Trasse mehrere Leitungsstränge verlegt werden, so ist darauf zu achten, dass die Hochspannungsleitungen immer unten zu liegen kommen, damit Abzweigungen an Niederspannungsleitungen ungehinderter erstellt werden können; aus den gleichen Gründen sollen die Kabel nicht zu straff verlegt werden. Das Einlegen der Kabel erfolgt meistens über Gleitrollen von Hand. Jedes wichtigere Kabel soll eine eigene Rille besitzen, damit Kabelbrände nicht auf Nachbarleitungen übergreifen können. Bei Anhäufung von Kabelleitungen im Bereiche der Kraft- oder Unterwerke ist es zweckdienlich, die Leitungen auf geeigneten Tablarren in bekriechbaren oder begehbaren Kanälen zu verlegen, wo sie jederzeit leicht kontrollierbar und Kabelbrände ausgeschlossen sind. Die Verlegung von Kabeln in Eisenschutz (Röhren oder Zores Eisen), die früher bei Strassenkreuzungen usw. üblich war, hat sich der Korrosion wegen nicht bewährt, wenigstens soweit es sich um unarmierte Kabel handelt. Diese Schutzelemente sind durch Betonkanäle, Eternitrohre oder Eternitzores zu ersetzen.

Während sich Freileitungsstörungen verhältnismässig leicht beheben lassen, erfordert die Behebung eines komplizierten *Kabelfehlers* einschliesslich der *Fehlerortsbestimmung* oft eine mehrtägige Arbeit. Solche zeitraubende Reparaturen setzen eine weitgehende Sektionierungsmöglichkeit der Strassenleitungen und doppelseitige Speisung der Hausanschlüsse voraus, damit bei Leitungsdefekten die Betriebsunterbrüche auf eine Minimalausdehnung und Minimalzeit beschränkt werden können. In diesen Verhältnissen liegt in der Hauptsache die Ursache für die abweichenden Gesichtspunkte, die im Bau der Freileitungs- und Kabelanlagen zur Anwendung kommen.

Es ist immer anzustreben, die Transformatorstationen hochspannungsseitig im Ring zu speisen und Sticheleitungen über Lasttrenner, Hochleistungsicherungen oder automatische Leistungsschalter abzuzweigen. Bei Vermaschungen muss alsdann dafür gesorgt werden, dass an geeigneten Stellen durch

«Spaltschalter» (Schalter mit Momentan-Ueberstromauslösung) eine automatische Entmaschung bei Anlagedefekt herbeigeführt wird. In dieser Weise ist es möglich, mit normalen Hauptstrom-Zeitrelais auch in grossen Verteilnetzen mit genügender Selektivität zu arbeiten. Niederspannungsseitig hat sich der Separatbetrieb, wie bei den Freileitungen, als am zweckdienlichsten erwiesen. Ueberflurstromverteiler, die besonders in den Knotenpunkten der Niederspannungsnetze eingebaut werden, erleichtern die Schaltmanöver sehr und bewähren sich nicht nur in technischer, sondern auch in ästhetischer Hinsicht.

Das Kapitel über Kabelnetzanlagen kann nicht abgeschlossen werden, ohne dass auch das *Planwesen* gestreift wird. Die grosse Anzahl öffentlicher Werkanlagen, die in den Strassenkörpern untergebracht werden müssen, erfordert eine gegenseitige Verständigung unter den Betriebsinhabern. Jedes Leitungsprojekt muss vor seiner Verwirklichung zur Vernehmlassung bei den übrigen die Strassenkörper benutzenden Werken zirkulieren, nachdem bereits bei der Projektierung auf die andern Leitungen tunlichst Rücksicht genommen worden ist. In die Baupläne sind die Leitungsanlage, Muffen und Abzweigungen nach Einmass genau einzutragen. Die Planaufnahmen müssen wiederum in Reiplänen und Quartierplänen genau eingetragen werden, so dass man bei Erweiterungs- oder Reparaturarbeiten jederzeit die genaue Leitungsanlage und deren Einbauten feststellen kann.

Bei der heutigen intensiven Elektrizitätsanwendung im Haushalt, Gewerbe und in der Industrie spielen die «Stromabstellungen», die bei Arbeiten an Verteilanlagen nötig sind, eine sehr bedeutende Rolle und führen zu stetigen Auseinandersetzungen zwischen Elektrizitätswerk und Energiebezüger. Bis anhin suchte man sich durch weitgehende Unterteilung der Verteilnetze zu helfen. Für die Zukunft besteht gestützt auf eine Aenderung der Starkstromverordnung dazu noch die Möglichkeit, dass in gewissen Fällen bei Verwendung spezieller Werkzeuge und bei Anwendung von geeigneten Arbeitsmethoden auch unter Spannung gearbeitet werden darf, wodurch den Bezügeren viel Grund zur Verärgerung erspart bleiben wird und die Werkleitungen vieler Umtriebe enthoben werden dürften.

#### Hausinstallationen.

Für die Hausinstallationen ermöglicht die Drehstrom-Vierleiterverteilung mit Normalspannung die zweckmässigsten und wirtschaftlichsten Anordnungen. Es lassen sich mit den am meisten gebräuchlichen Leiterquerschnitten bis 16 mm<sup>2</sup> schon ganz erhebliche Belastungen übertragen, bzw. Anschlüsse grössern Umfanges bedienen. Der von den Hausinstallationsvorschriften für Hauptleitungen in Wohnhäusern verlangte Minimal-Leiterquerschnitt von 6 mm<sup>2</sup> lässt beispielsweise bei 220 Volt Einphasenstrom eine Belastung von 5,5 kW, bei Drehstrom 380/220 Volt eine solche von 16,5 kW zu. Es entspricht dies, sofern nicht eine gewisse Reserve eingeschlossen werden soll,

einer Anschlussmöglichkeit von 25 bis 30 kW an Verbrauchsapparaten. Bei bereits bestehenden Hauptleitungen in grössern Gebäuden, besonders in städtischen Verhältnissen, werden die Zweileiter-Hauptleitungen in vielen Fällen nur auf Vierleiter ohne Vergrösserung der Drahtquerschnitte umzuändern sein, wenn Energie ausser für Beleuchtung auch für motorische Antriebe und Wärmeverbraucher abgegeben werden soll.

In Netzen mit Normalspannung werden die Kochherde und sonstigen grossen Wärmeapparate mehr und mehr direkt an 380 V angeschlossen. Der Einschaltstrom beträgt nur  $\frac{1}{3}$  desjenigen von 220-V-Apparaten, so dass er sich im Licht viel weniger bemerkbar macht als bei Anschluss der Verbraucher zwischen Polleiter und Nulleiter. Bei den mit 380 V betriebenen Kochplatten und Backofenheizkörpern sind in der heute rund zehnjährigen Verwendungszeit dieser Spannung Nachteile irgendwelcher Art nicht eingetreten. Die Zahl der defekten Platten ist im Gegenteil gegenüber frühern Jahren prozentual stark gesunken, besonders seitdem die Schalter der Kochherde allpolig ausgeführt werden und dadurch die früher ziemlich häufigen Schäden zufolge Gewittereinflüssen zum Verschwinden gebracht werden konnten. Es ist bei diesem Anlass anzuerkennen, dass die Fabrikationsfirmen den aus den Betriebserfahrungen heraus erwachsenen Anforderungen hinsichtlich der Betriebsspannung der Kochplatten, Backöfen usw. grosses Verständnis entgegenbrachten. Die Hausinstallationsvorschriften bestimmen, dass transportable Apparate bis zu einer Stromstärke von 6 A nur für Betriebsspannungen bis maximal 250 V gebaut werden dürfen. Auf die Normalspannung bezogen sind somit solche Apparate an die Stern-Spannung anzuschliessen; bei transportablen Anschlussobjekten grösserer Leistung, sowie bei allen festmontierten Apparaten steht dem Anschluss an die verkettete Spannung nichts entgegen. Von einer Reihe von Werken werden denn auch Haushaltsapparate wie Heisswasserspeicher, Öfen, Oelfeuerungsmotoren, Waschmaschinen, Kühlschränke usw. durchwegs mit 380 V bedient. Ebenso werden für Gewerbe und Industrie heute die verschiedenartigsten Heizkörper gleich wie die Motoren für 380 V hergestellt. Diese Tendenz ist bei einer Reihe von Werken in den Werkvorschriften besonders festgelegt.

Ein Ueberblick über die gebräuchlichsten Installationsmaterialien zeigt, dass sich die Qualität seit der Einführung des Qualitätszeichens des SEV und der damit in Verbindung stehenden Normung bedeutend gehoben hat. Hierbei ist besonders zu bemerken, dass die Preise im allgemeinen nicht gestiegen, sondern trotz der gemachten Verbesserungen ungefähr gleichgeblieben, zum Teil sogar günstiger geworden sind. Schaltapparate, Steckdosen, Sicherungen usw. werden mehr und mehr der Drehstrom-Vierleiterverteilung angepasst. Neben Materialien und Apparaten, deren Verwendung bis 500 V zulässig ist, wird eine Reihe von Artikeln hergestellt, die speziell für Normalspannung von 380 V gebaut sind. Schaltapparate kommen fast durch-

wegs in dreipoliger Ausführung mit Nulleiterklemme vor, ebenso sind bei Steckdosen die dreipoligen Modelle mit Nulleiter vorherrschend.

Unser Zeitalter der Automatik findet sodann seinen Ausdruck in den Schaltern mit Wärmepaket, Nullspannungsauslösung und Fernsteuerung, ferner in den Installations-Selbstschaltern und Schutzstöpseln, die an die Stelle der Sicherungspatronen treten. Es vollzieht sich hier die gleiche Entwicklung, nur ungefähr drei Jahrzehnte später, wie seinerzeit in den Hochspannungsanlagen, als die anfänglich verwendeten einfachen Sicherungen, die aber nur einen in groben Abstufungen erreichbaren Schutz gewährleisteten, in den Kraftwerken durch die mechanisch zwar komplizierteren, aber genauer einregulierbaren Schalter mit automatischer Auslösung verdrängt wurden. Die Kastenschalter mit Wärmepaketauslösern werden seit der Aufnahme einer entsprechenden Bestimmung in den Hausinstallationsvorschriften bei allen unbeaufsichtigt laufenden Motoren verlangt. Bei andern Motoren haben sie wegen der exaktern Anpassung der Schutzwirkung an die Erwärmungscharakteristik der Wicklungen zum überwiegenden Teil Eingang gefunden; bei verschiedenen Werken werden sie auch in landwirtschaftlichen Betrieben verwendet. Es ist ferner zu erwarten, dass in grössern Gebäulichkeiten, wo der Ersatz von durchgeschmolzenen Sicherungspatronen selbst bei guter Instandhaltung der Installationen einen namhaften jährlichen Betrag erreicht, die Sicherungen nach und nach durch die Installations-Selbstschalter verdrängt werden.

An die Stelle von Verteilanlagen mit auf eine Tafel aus Marmor oder Isoliermaterial montierten Sicherungen und Schaltapparaten traten in neuzeitlichen Installationen industriellen und gewerblichen Charakters die gekapselten Verteilbatterien oder Verteilkasten. Gleichartige Konstruktionen wurden auch bei Installationen grössern Umfanges in Geschäfts- und Wohnhäusern eingeführt. Bei diesen neuen Anlagen ist einer ausreichenden Kurzschluss- und Brandsicherheit in hohem Mass Rechnung getragen. Eine erhöhte Sicherheit erweist sich übrigens als nötig. Ausser den Grossverbrauchsobjekten der Industrie sind in gewerblichen Betrieben bei der zunehmenden Verwendung der Energie für Wärmezwecke neben der Beleuchtung und den Motoren Anschlussobjekte mit Belastungen in der Grössenordnung von 30 bis 100 kW sehr häufig anzutreffen, und ebenso sind in einermassen gut elektrifizierten Wohnhäusern Einzelschlüsse von 6 bis 10 kW keine Seltenheit. Dies erfordert entsprechend grosse Leistungen der Netztransformatoren, die sich beim Defektwerden eines Anlageteils voll auf die Kurzschlußstelle auswirken. Es ist natürlich nicht möglich, im Rahmen dieses Aufsatzes hinsichtlich der Wirkungen der Kurzschlußströme, die in Hausinstallationen unter Umständen verheerend sein können, nähere Berechnungen auf Grund bestimmter Annahmen anzustellen; der grundsätzliche Hinweis muss genügen. Es scheint aber die Bemerkung angebracht zu sein, dass nicht nur die Fachleute der Elektrizitäts-

branche, sondern ebenso sehr die Architekten über die möglichen Folgen starker Kurzschlüsse, die bei Transformatorenleistungen von mehreren 100 kW in den Hauptleitungen von Hausinstallationen möglich sind, aufgeklärt sein sollten.

Nicht nur die Installationsmaterialien und Apparate wurden im Laufe der Jahre durch die Normalisierung verbessert; auch die Leitungsverlegung passt sich zusehends den modernen Anforderungen der Personen- und Feuersicherheit an. So ist zu beobachten, dass die früher allgemein übliche offene Verlegung der Drähte auf Rollen in trockenen Räumen vollständig verlassen und durch Rohrmontage ersetzt wurde. Sogar in feuchten und nassen Räumen werden die Leitungen nicht mehr auf Rillen- oder Mantelrollen montiert, sondern an deren Stelle Gummibleikabel verwendet. Als Schutzrohre für die Drähte dienen heute nur noch Isolierrohre mit verbleitem Eisenmantel, Stahlpanzerrohre und Metallrohre. Aus ästhetischen Gründen wird die Verlegung der Leitungen unter Putz, d. h. in Decken und Wänden, immer mehr bevorzugt. In Betonbauten erfolgt in neuerer Zeit der Einbau der Stahlpanzerrohre vor dem Betonieren in die Schalung. Bei Bauten mit Decken- oder Strahlungsheizung ist der Wahl des Rohr- und Leitungsmaterials besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Speziell für solche Leitungen, aber auch ganz allgemein da, wo die Feuersicherheit eine besondere Rolle spielt, stehen heute äussersten thermischen und mechanischen Anforderungen gewachsene Rohrleiter mit Kupfermantel und nicht brennbarer Isolation aus Metalloxyd zur Verfügung. Endlich weisen Versuche, die an verschiedenen Orten in Gang sind, darauf hin, dass das bisherige Schaltsystem für die Beleuchtung, speziell die Wechsel- und Polwenderschaltungen vorteilhaft durch Relaischalter, die teilweise mit Schwachstrom bedient werden, oder durch pneumatische Schalter mit Luftdruckknöpfen ersetzt werden können. Diese pneumatische Betätigung wird auch an Maschinen mit mehreren Schaltstellen am gleichen Gestell wertvolle Dienste leisten. Jede Neuerung, die dazu beiträgt, den Sicherheitsgrad der Anlagen zu erhöhen, sollte daher ausprobiert und bei guter Eignung sofort der Installationspraxis zur Einführung überlassen werden.

Zum Schluss sei noch als eine sehr wichtige Angelegenheit beim Bau und Betrieb der Niederspannungsverteilanlagen einschliesslich der Hausinstallationen der

#### Berührungsschutz

besprochen. Hier tritt am deutlichsten in Erscheinung, wie sehr Transformator, Niederspannungsnetz, Hausinstallation und Anschlussobjekte ein zusammenhängendes Ganzes sind, bei dem alle Massnahmen zum Schutz von Personen, Tieren und Sachen, soweit die normalen Isoliermittel nicht ausreichen oder nicht anwendbar sind, wie aus einem Guss bestehend getroffen werden müssen. Drei Schutzsysteme werden in den Vorschriften des SEV hervorgehoben und einander gleichgestellt, die Nullung, die Schutzerdung und die Schutzschaltung.

Die *Nullung* ist so recht erst aufgekommen, seit das mit Normalspannung betriebene Vierleitersystem in grösserem Umfang eingeführt worden ist. Sie setzt das Vorhandensein des Nulleiters und seine sorgfältige, mechanisch und elektrisch absolut zuverlässige Ausbildung und Führung in der ganzen Anlage voraus. Ein Elektrizitätswerk, das die Nullung vorschreibt, nimmt dem Energiebezüger den grössten Teil der Sorge und Verantwortung samt namhaften Kosten für den Schutz gegen das Auftreten gefährlicher Berührungsspannungen an seinen Einrichtungen ab. Denn es stellt ihm dafür seinen Nulleiter an der Hauseinführung zur Verfügung. Der Energiebezüger muss nur noch für dessen solide und dauernd sichere Verbindung mit den zu schützenden Einrichtungen sorgen. Hält er und sein Installateur sich an das, was darüber in den Hausinstallationsvorschriften des SEV gesagt ist, so besteht die allergrösste Gewähr, dass kein Schaden eintreten kann, und er hat sich, abgesehen von der laufenden Instandhaltung der Anlagen, auf deren Notwendigkeit ihn ja die Elektrizitätswerke immer wieder hinweisen, um diese Sache nicht weiter zu bekümmern. Die Nullung entlastet den Energiebezüger auch von namhaften Kosten; denn man kann sagen, dass durch eine Erdung des Nulleiters, die das Elektrizitätswerk besorgt, etwa zehn oder vielleicht noch mehr Schutzerdungen in den angeschlossenen Installationen erspart werden. Nicht so mühelos und billig kommt das Elektrizitätswerk als Besitzer des Nulleiters und als für seine dauernde Güte verantwortliche Instanz weg. Die Nullung wirkt in erster Linie durch möglichst rasches Abschalten des fehlerhaften Objektes vom Netz. Dazu braucht es sorgfältig bemessene, abgestufte Sicherungen oder Selbstschalter zum Unterbrechen der Leitungsverbindungen, ferner Ströme, die gross genug sind, um diese Einrichtungen zum Funktionieren zu bringen. Ein Netz, in dem genullt wird, muss also immer wieder daraufhin geprüft werden, ob die Vorbedingungen für das plangemässe Abschalten noch erfüllt sind. Es müssen manchmal, selbst wenn dies zur Aufrechterhaltung einer genügenden Spannungshöhe an den Anschlussobjekten gar nicht nötig wäre, Verstärkungen der Leiterquerschnitte vorgenommen werden, damit der Kurzschlußstrom gross genug wird, um die gewollten Abschaltungen von Objekt-, Hauseinführungs- oder Stationssicherungen zu bewirken. Lohnt sich dies nicht, so müssen auf zu langen Leitungssträngen Zwischensicherungen eingebaut werden. Die Verhältnisse, die, wenn auch nur vorübergehend, beim Umschalten einzelner Netzteile auf andere Speisepunkte entstehen, sind noch besonders zu berücksichtigen. Daneben muss für grösste Sicherheit des Nulleiters gegen Bruch, und zwar bis und mit der Hauseinführung gesorgt werden. Dies führt z. B. dazu, dass bei Freileitungen mit kleinen Polleiterquerschnitten für den Nulleiter oft grössere Querschnitte verwendet werden, und dass auch bei der Wahl der Abstände zwischen den Netzstützpunkten an kritischen Stellen und besonders bei der letzten Spannweite der Hauszuleitungen vielfach unter die

gemäss den Vorschriften zulässigen Abstände gegangen wird. Natürlich muss das Elektrizitätswerk auch dafür sorgen, dass der Nulleiter ganz vorzüglich und an geeigneten und genügend zahlreichen Stellen geerdet ist, was glücklicherweise durch das Vorhandensein von Wasserversorgungsanlagen, mit denen fast überall der Nulleiter verbunden werden kann, wesentlich erleichtert wird. Kurz, die Nullung, so einfach sie aussieht, überbindet dem Elektrizitätswerk viel Arbeit, Umsicht, Verantwortung und Kosten. Trotzdem scheint es, dass sie in der Schweiz nicht nur bei den städtischen Verteilnetzen, wo ihre Probleme sich verhältnismässig leicht bewältigen lassen, sondern auch bei den Ueberlandwerken immer mehr angewendet wird.

Bei der *Schutzerdung* dagegen hat der Besitzer der Energieverbrauchseinrichtung, der sich gegen gefährliche Berührungsspannungen schützen will, selber für die Sicherheit und Güte seiner Erdverbindungen aufzukommen. Das Elektrizitätswerk, das in seiner eigenen Anlage, nämlich am Nullpunkt des Stationstransformators, ebenfalls erden muss, hat zwischen zwei Möglichkeiten die Wahl. Steht bei den Bezügern und beim Werk für die Erdung eine Wasserleitung mit genügend niedrigem Erdwiderstand zur Verfügung und sind im Ortsnetz keine allzu grossen Energieverbraucher angeschlossen, bzw. sind solche Objekte nicht allzu weit von der Station entfernt, so kann die Verbindung des Nullpunktes mit der Wasserleitung vorgenommen werden. In diesem Fall muss aber an jedem einzelnen Anschlussobjekt durch Messungen festgestellt werden, ob beim Auftreten eines Fehlers die Objekt- bzw. die Hauseinführungssicherungen zum Schmelzen kommen. Alle Objekte, bei denen die genannte Bedingung nicht erfüllt ist, müssen durch andere Massnahmen geschützt werden. Muss der Transformatornullpunkt mit einer künstlichen Elektrode geerdet werden, so darf diese Erdung, so widersinnig dies ohne genauere Ueberlegung erscheinen mag, nicht zu gut ausgeführt werden. Denn vom Verhältnis ihres Widerstandes zum Widerstand der Objekt-erdung hängt in erster Linie die Restspannung ab, die am zu schützenden Objekt, das dann meistens nicht sofort durch Ueberstrom abgeschaltet wird, gegen Erde bestehen bleibt. Dies bedingt aber, dass beim Auftreten eines doppelpoligen Erdschlusses mindestens an einem Ort die zugehörigen Sicherungen durchschmelzen. Die Niederspannungsleitungen müssen deshalb auch bei der Anwendung des Schutzerdungssystems entsprechend dimensioniert sein. Berücksichtigt man daneben noch, dass der Erdung des Transformatornullpunktes wegen des Schutzes der Anlage gegen die Gefahr allfälligen Uebertritts von Hoch- auf Niederspannung ziemlich enge Grenzen gezogen sind, so versteht man, dass die Schutzerdung, obschon sie das ältere und das für die Elektrizitätswerke billigere System ist, in Hausinstallationen, wo heute so viele Einrichtungen vorhanden sind, die schliesslich zur Gefahrenquelle werden können und wo so wenig auf Sachkunde ihrer Besitzer abgestellt werden darf, nicht mehr als die zweckmässigste Lösung bezeichnet werden kann.

Wenn dagegen gar kein Nulleiter vorhanden ist, was im allgemeinen in den mit 500 V betriebenen Verteilungsanlagen der Fall ist, dann lässt sich die Schutzerdung selbstverständlich nicht vermeiden. Oft bereitet sie aber gerade in solchen Anlagen dadurch Schwierigkeiten, dass sich im Bereich der zu schützenden Anschlussobjekte überhaupt keine genügend zuverlässige und gute Erdung herstellen lässt.

In diesem Fall muss zum dritten Schutzmittel gegriffen werden, das in Form der *Schutzschaltung* zur Verfügung steht. Theoretisch betrachtet und bei sorgfältiger Ausführung, wozu insbesondere auch dauernd einwandfrei funktionierende Schutzschalter gehören, würde dieses System eigentlich

die grösste Sicherheit bieten. Aber gerade weil man auf besondere Apparate angewiesen ist, die eben immer wieder kontrolliert werden müssen, da sie schon als solche besondern Schädigungen, elektrischer und mechanischer Natur, ausgesetzt sind, dürfte diese Schutzrichtung bei uns nur eine beschränkte Anwendung finden. Dank der grossen Ausdehnung, die die das Erden erleichternden Wasserversorgungsanlagen erreicht haben, wird die Anwendung der Schutzschaltung sich voraussichtlich immer in bescheidenem Rahmen bewegen. In dem schon oben erwähnten Absatzgebiet der EKZ z. B. handelt es sich um wenige Promille der angeschlossenen Installationen. In Netzen, wo nicht die Nullung, sondern die Schutzerdung vorgeschrieben wird, dürften es etwas mehr sein.

## Messen.

Von K. Berger, Zürich, W. Beusch, Zug, und K. P. Täuber, Zürich.

621.317.7

*Nach allgemeinen Betrachtungen über das Messen in Technik und Wissenschaft und einem kurzen Ueberblick über die heute zur Verfügung stehenden Messinstrumente wird auf den in der Schweiz entwickelten Kathodenstrahl-oszillographen und seine allerneuesten Ausführungen hingewiesen. Den Elektrizitätszählern ist ein besonderer Abschnitt gewidmet, wobei auch die schreibenden und druckenden Maximumzähler und die Scheinverbrauchszähler erörtert sind.*

*Quelques considérations générales sur les mesures dans la technique et dans les sciences sont suivies d'une brève énumération des instruments de mesure dont on dispose aujourd'hui ainsi que d'une description des oscillographes cathodiques développés en Suisse et des plus récentes exécutions. Un chapitre est consacré aux compteurs d'électricité, y compris les compteurs à indicateur de maximum enregistreurs et imprimeurs, ainsi que les compteurs d'énergie apparente.*

Messen ist Wissen und Wissen ist Macht: diese beiden Sprichwörter kennzeichnen die Wichtigkeit der Messtechnik. Alles wird und muss gemessen werden. Jede Entwicklung und jeder Fortschritt muss letzten Endes durch Messung geprüft und erwiesen werden. Es gibt zwei Methoden, eine Grösse zu messen:

Durch direkten Vergleich mit einem Normal derselben Art wie die zu messende Grösse. So werden in der Regel Länge und Zeitdauer bestimmt.

Durch Vergleich einer physikalischen oder chemischen Wirkung der zu messenden Grösse mit einem Normal oder mit der Wirkung eines Normals. So wird die Masse in der Regel durch Vergleich ihrer Schwergewichtswirkung mit der Schwergewichtswirkung einer Normalmasse bestimmt. Oder man misst die elektrische Spannung durch die Grösse des Stroms, den sie in einem bekannten Widerstand erzeugt. Der Strom, bzw. die von ihm während einer messbaren Zeitdauer transportierte elektrische Ladung wird z. B. aus der Masse elektrolytisch abgeschiedener Metalle bestimmt oder aus einer Kraftwirkung usw.

Jede Messung erfordert somit erstens das Vorhandensein von Normalen und zweitens die Vergleichsmöglichkeit mit diesen. In Konstanz der Normalen, in Einfachheit, Genauigkeit und absoluter Reproduktionsmöglichkeit der Vergleichsmethoden besteht die praktische Messkunst.

Dem messenden Menschen genügt es nicht, dass sich beispielsweise ein Rad dreht; er will wissen, mit welcher Kraft (Moment) und welcher Geschwindigkeit es sich dreht, und warum es sich gerade so dreht und nicht anders. Um diese Fragen zu beantworten, müssen alle Einflüsse auf den Vorgang der Drehung des Rades gewissermassen um mindestens eine Grössenordnung genauer erfasst werden, als um zu verstehen, dass sich das Rad überhaupt dreht.

Deshalb ist ja wohl die Messtechnik so interessant und anregend, weil sie uns zwingt, vom einigermaßen Zahlenmässigen zum Genauen weiterzudenken, z. B. nicht nur den Haupteffekt zu sehen, sondern diesen umringt von der Unmenge Nebenerscheinungen, die ja jedem Naturvorgang eigen ist. Messen ist dem Sinn nach gleichbedeutend mit Streben zur Genauigkeit und zur Erkenntnis des Ganzen. Präzision kennzeichnet daher die modernen Messinstrumente. Die schweizerische feinmechanische Tradition, die sich in der Uhrmacherei bewährte, ermöglicht der Messinstrumentenindustrie, hohen Forderungen gerecht zu werden. Der schweizerischen Industrie ist es darum gelungen, einem grossen Teil des Bedarfes an elektrischen Messinstrumenten und wissenschaftlichen Apparaten zu genügen; sie nimmt auf verschiedenen Gebieten der Instrumententechnik eine führende Stellung ein.

Den mannigfachen Zwecken entsprechend ist die Ausbildung der Messinstrumente ausserordentlich vielseitig und wenn ihnen bei näherer Betrachtung auch nur wenige Prinzipien zu Grunde liegen, so hat die Ausführung doch eine mehrhundertfache Gestaltung. Beispielsweise wurden, ganz abgesehen von den runden Instrumenten, die seit Jahrzehnten zur Kontrolle von Strömen, Spannungen, Frequenzen und Phasenverschiebungen in Elektrizitätswerken oder Fabrikanlagen mit elektrischem Betrieb usw. dienen, zu gleichem Zwecke, aber zur Verminderung der Anlagekosten, raumsparende Instrumentenkombinationen entwickelt, die hinsichtlich Genauigkeit und den übrigen modernen Anschauungen den Vorschriften der Internationalen Elektrotechnischen Kommission entsprechen.