

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 6 (1915)
Heft: 4

Artikel: Die Erdung des neutralen Punktes in Drehstrom-Anlagen
Autor: Voigt, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059618>

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: 20.02.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen „Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz“ sowie „Jahresheft“ und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins,
Neumühlequai 12, Zürich 1 - Telefon 9571

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.,
Hirschengraben 80/82 Zürich 1 Telefon 6741

Publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A.S.E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la „Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse“, ainsi que l'„Annuaire“.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Neumühlequai 12, Zurich 1 - Téléphone 9571

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Hirschengraben 80/82 Zurich 1 Téléphone 6741

Abonnementspreis
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft und Statistik:
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 25.—.
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 1.50 plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A.S.E.), y compris l'Annuaire et la Statistique, Fr. 15.— pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 1.50, port en plus.

VI. Jahrgang
VI^e Année

Bulletin No. 4

April 1915
Avril

Die Erdung des neutralen Punktes in Drehstrom-Anlagen.

Von Dipl.-Ingenieur M. Voigt, Baden.

Die Einführung des Dreileiter-Systems in Gleichstrom-Anlagen brachte die Möglichkeit, viel grössere Leistungen mit geringem Aufwand an Leitungsmaterial zu verteilen. Der Mittelleiter konnte mit kleinem Querschnitt ausgeführt werden, wenn für eine gleichmässige Verteilung der Last gesorgt war. Ähnlich verhielt es sich auch mit der Isolierung: durch Erden des Mittelleiters wurde das ganze Potentialgefälle in zwei ungefähr gleiche Teile zerlegt, sodass keiner der Aussenleiter die volle Spannung gegen Erde annehmen konnte. Die Gefahr eines Unfalles bei einem Isolationsfehler an einem Aussenleiter wurde hierdurch bedeutend verringert.

Vom gleichen Gesichtspunkt ausgehend wurde dieses Schutzmittel auch auf Wechselstrom-Netze und vor allem auf Drehstrom-Netze übertragen; doch sind hier die Verhältnisse einerseits infolge der Eigenschaften der Wechselstrom-Generatoren, Transformatoren und Leitungen, andererseits wegen der Verschiedenheit der in Betracht kommenden Schaltungen bedeutend verwickelter. Auch gehen die Ansichten der Betriebs-Ingenieure über die Zweckmässigkeit der Erdung bei verschiedenen Betrieben und über die zu verwendenden Schaltungen häufig auseinander.

Im Folgenden soll versucht werden, einige der hauptsächlichsten Gesichtspunkte darzutun, nach welchen das Problem der Erdung des Nullpunktes zu untersuchen ist. Im Wesentlichen sind drei Punkte zu berücksichtigen, von welchen jeder je nach der Art der Anlage massgebend für die Wahl der Schaltung sein kann.

1. Die bei normalem Betrieb möglichen Potential-Differenzen gegen Erde. Die damit verbundenen Gefahren für Menschen und Tiere.
2. Die vermehrte Möglichkeit von Ueberspannungen innerer und äusserer Herkunft.
3. Die Aufrechterhaltung des Betriebs der Anlage bei Störungen.

Die Lebensgefährdung bei Menschen und Tieren. Diese Frage ist im Zusammenhang mit der Erdung und „Nullung“ (Verbindung der Metallarmaturen usw. mit dem geerdeten Nulleiter) in einer Eingabe der A. E. G. an den V. D. E. behandelt worden. Nach dieser Untersuchung kann der menschliche Körper ohne dauernden Schaden bei den gebräuchlichen Frequenzen eine Stromstärke von etwa 0,02 Amp. aushalten. Der Widerstand des Körpers kann bei gutem Kontakt mit dem Erdboden (z. B. auf nassem Boden oder in chemischen Betrieben) zwischen 1000 und 2000 Ohm liegen, sodass unter Umständen eine Spannung von 20—40 Volt gegen Erde schon genügen könnte, um einen schädlichen Schlag hervorzurufen. Obwohl dies der ungünstigste Fall ist, so zeigt das Beispiel doch, dass die Erdung des Nulleiters zum Schutze gegen Berührung eines der Hauptleiter nur bei den niedrigsten Betriebsspannungen seinen Zweck erfüllen kann.

Was die manchmal hervorgehobene Verbilligung der Anlage durch Erdung des Nullpunktes betrifft, so ist zu bemerken, dass die Maschinen, Transformatoren und Kabel für die gebräuchlichsten Spannungen meist so isoliert werden, dass sie auch die volle verkettete Spannung gegen Erde ohne Schaden aushalten können, sodass eine bedeutende Ersparnis an Isoliermaterial erst bei den höchsten Spannungen zu erwarten wäre, bei denen mit an und für sich kleinen Sicherheitsfaktoren gearbeitet wird.

Die Möglichkeit von Ueberspannungen. Als Quellen von *Ueberspannungen* kommen Oberwellen, statische Ladungen, durch Schaltvorgänge oder Lichtbögen hervorgerufene Schwingungen und Wanderwellen in Frage. Da letztere nicht durch die Wicklungen der Maschinen bis zum Nullpunkt gelangen, sollen sie hier unberücksichtigt bleiben.

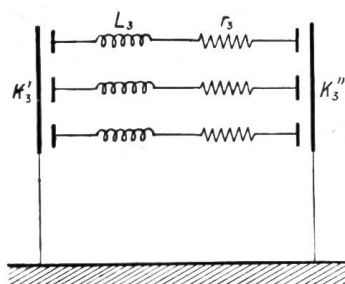


Fig. 1.

Um Anhaltspunkte zur Beurteilung der massgebenden Grössen zu erhalten, sei zunächst eine vollständig isolierte Anlage einfachster Art betrachtet, aus einem Generator und einer Fernleitung bestehend. Zur überschlägigen Untersuchung kann die in Fig. 1 wiedergegebene Ersatzschaltung verwendet werden.

Die Kapazität¹⁾ der Generatorwicklung gegen Erde sei K'_3 , die der 3 Fernleitungsdrähte gegen Erde sei am anderen Ende der Leitung angebracht und gleich K''_3 . L_3 und r_3 seien die Induktivität und der Widerstand der ganzen Anlage, und zwar L_3 die Induktivität des Kreises, Generatorwicklungen — 3 Fernleitungen — Erde, r_3 der Widerstand der 3 parallel geschaltete Phasen der ganzen Anordnung.

Ist die Anlage vollständig isoliert, so kann sie ein beliebiges Potential gegen Erde annehmen, da der Generator nur die Unterhaltung einer bestimmten Potential-Differenz zwischen den Phasen besorgt. Das statische Aufladen der Leitung wird also nur durch die Ableitung begrenzt und kann durch eine der verschiedenen zu diesem Zweck hergestellten Ableitungsvorrichtungen (z. B. Wasserstrahler) an irgend einem Punkte abgeleitet werden.

Wenn der Generator reine Sinusströme erzeugt, und die Belastung symmetrisch ist, besteht zunächst keine Ursache für die Bildung einer Potential-Differenz zwischen dem Nullpunkt und der Erde. Anders dagegen wenn die Spannungswelle Oberschwingungen der Ordnung 3_n enthält, welche, wie im Folgenden gezeigt werden soll, auf verschiedene Weise entstehen und zu Störungen des Betriebes Veranlassung geben können. Es bedeute²⁾ z. B. E_3 den Effektivwert einer solchen Welle von der Wechselgeschwindigkeit ω_3 . Die Wellen E_3 sind in den 3 Phasen gleich gerichtet und treiben einen Strom J_3 durch das System $K'_3 L_3 r_3 K''_3$, der um den Phasenwinkel φ gegen E_3 verschoben ist. Es ist dann:

$$E_3 J_3 \cos \varphi = \text{Summe der Wärmeverluste,}$$

$$E_3 J_3 \sin \varphi = \text{Summe der magnetischen und elektrostatischen Energien.}$$

¹⁾ Es handelt sich, wohl bemerkt, um die Betriebskapazität unter der Voraussetzung, dass das Potential aller 3 Phasen gegen Erde in jedem Augenblick das gleiche ist, welche nicht mit der Betriebskapazität bei Drehstrom-Belastung zu verwechseln ist.

²⁾ Nach einer von R. Swyngedauw veröffentlichten Untersuchung (Comptes Rendus Jan. 1914).

Die Wärmeverluste, magnetische und dielektrische Verluste inbegriffen, können angenähert proportional J_3^2 gesetzt werden, sodass

$$E_3 J_3 \cos \varphi = R J_3^2; \text{ wo } R \text{ der effektive Widerstand ist.}$$

$$E_3 J_3 \sin \varphi = L_3 \omega_3 J_3^2 - K'_3 \omega_3 P'^2 - K''_3 \omega_3 P''^2$$

wo P' und P'' die Potential-Differenzen an den Kapazitäten K'_3 und K''_3 bedeuten.

Ferner ist $J_3 = K'_3 \omega_3 P' = K''_3 \omega_3 P''$ sodass $E_3 \cos \varphi = R K''_3 \omega_3 P''$ und

$$E_3 \sin \varphi = L_3 \omega_3 J_3 - P' - P''$$

$$= P'' \left[L_3 K''_3 \omega_3^2 - \left(1 + \frac{K''_3}{K'_3} \right) \right] \text{ woraus}$$

$$P'' = \frac{E_3}{\sqrt{R^2 K''_3^2 \omega_3^2 + \left[L_3 K''_3 \omega_3^2 - \left(1 + \frac{K''_3}{K'_3} \right) \right]^2}}$$

Die Bedingungen der Resonanz der Oberwelle lautet:

$$L_3 K''_3 \omega_3^2 = 1 + \frac{K''_3}{K'_3}$$

Obwohl moderne Generatoren, vor allem schnellaufende Maschinen, nahezu sinusförmige Spannungskurven zeigen, so besteht doch die Möglichkeit, dass auch bei diesen Oberwellen zum Vorschein kommen. Wenn die 3 Phasen ungleichmäßig belastet sind, arbeitet der Generator teilweise als Einphasen-Generator, und wie bei diesem werden durch das Wechselfeld des Erregerstromkreises elektromotorische Kräfte dreifacher Frequenz im Anker hervorgerufen. Bei Versuchen an einem Generator des elektrotechnischen Institutes Lille betrug bei einer Stromverteilung auf den Phasen von 30, 26 und 14 Amp. die dritte Oberwelle rund 10 % der Grundwelle.³⁾

Auch wenn die Belastung an und für sich nicht ungleichmäßig verteilt ist, kann die Erregung der Oberwellen dadurch hervorgerufen werden, dass bei Schaltungen die drei Phasen nicht zu gleicher Zeit geöffnet oder geschlossen werden. Auf diesen Fall kommen wir bei der Behandlung der Hochspannungsanlagen zurück.

Betrachten wir nun dieselbe Anlage, aber unter der Voraussetzung, dass die Nullklemme des Generators geerdet sei, so kann $K'_3 = \infty$ gesetzt werden und die Bedingung der Resonanz lautet:

$$L_3 K''_3 \omega_3^2 = 1$$

Wenn dazu noch der Nullpunkt eines an der Fernleitung angeschlossenen Stromverbrauches geerdet wird, so wird zur Kapazität K''_3 ein Nebenschluss gebildet, dessen Induktivität L_s die Wirkung von K''_3 zum Teil aufhebt. Der Einfluss einer solchen Erdung geht am deutlichsten aus Fig. 2 hervor. Wenn E die Spannung zwischen den Punkten A und B bedeutet, so erzeugt dieselbe einen Strom J_k

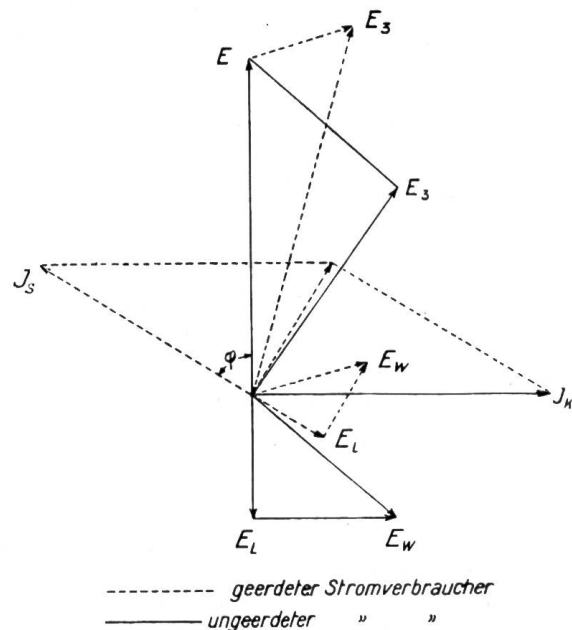


Fig. 2.

³⁾ L. G. Stokvis, Comptes Rendus Juli 1914.

über die Kapazität und J_s über den Stromverbraucher. Die Lage von J_s hängt von der Reaktanz und dem Widerstand des Stromverbrauchers, d. h. vom Winkel φ ab. Die beiden Ströme J_s und J_k ergeben den Gesamtstrom, welcher in der Induktivität L_3 und dem Widerstand r_3 die Spannungsabfälle E_L und E_r erzeugt. Es ist ersichtlich, dass bei geerdetem Stromverbraucher eine viel grössere Spannung E_3 im Generator nötig ist, um eine gewisse Spannung E zu erzeugen, als bei ungeerdetem Stromverbraucher: d. h. bei ungeerdetem Nullpunkt des Verbrauchers ist die Gefahr, dass hohe Spannungen an den Nullpunkten anderer Verbraucher unerwartet auftreten, grösser als bei geerdetem.

Die hier abgeleiteten Grundsätze gelten natürlich, sinngemäss übertragen, auch für andere gleich gerichtete Oberwellen im Leitungsnetz.

Die Aufrechterhaltung des Betriebs bei Störungen. Es zeigt sich, dass Erdschlüsse in einem Kabelnetz häufig nicht einzeln auftreten, sondern dass ein solcher Fehler in kurzer Zeit weitere Betriebsstörungen zur Folge hat. Es ist also wünschenswert bei ausgedehnten Netzen, wo das Auffinden eines Defektes schwierig ist, den Schaden nach Möglichkeit zu lokalisieren. Bei anderen Anlagen dagegen, wo es vor allem darauf ankommt, den dauernden Betrieb zu sichern, ist es wichtig, auch mit einem fehlerhaften Leiter arbeiten zu können. Dabei ist in Betracht zu ziehen, dass es im Wesen der Freileitung begründet ist, dass Erdschlüsse, welche sich an solchen Leitungen bilden, häufig nach kurzer Zeit und ohne Gefahr für die Anlage oder ihre Umgebung sich selbst durch Abbrennen beseitigen. Bei Kabelanlagen sind dagegen die Fehler meist solcher Natur, dass ihr Fortbestehen nur eine Verschlimmerung, oder sogar Brandgefahr hervorrufen kann.

Um den Einfluss eines Erdschlusses auf den Betrieb einer isolierten Anlage zu untersuchen, ist in Betracht zu ziehen, dass dem Strom jeder Phase 3 Wege zur Verfügung stehen:

1. Ueber die Belastung,
2. Ueber die Kapazität zu den beiden anderen Phasen,
3. Ueber die Kapazität zur Erde.

Durch einen Erdschluss wird zu einem Teil der wirksamen Kapazität ein mehr oder weniger widerstandsloser Nebenschluss gebildet, woraus eine Störung der Symmetrie der Spannungen gegen Erde und der Belastung des Generators entsteht. Je nach der Vollständigkeit des Erdschlusses rückt der Nullpunkt des Spannungs-Dreiecks mehr oder weniger gegen eine Ecke desselben, sodass die Spannung der ungeerdeten Phasen gegen Erde steigt und deren Phasenverhältnis sich ändert. Die Nullklemme des Generators weist also Spannung gegen Erde auf mit der Frequenz der Grundwelle und ausserdem entstehen, wie schon angedeutet, Oberwellen, für welche die Möglichkeit der Resonanz untersucht werden kann.

Bildet sich an der Stelle des Erdschlusses ein Lichtbogen, so können, wenn derselbe vorwiegend Kapazitätsstrom führt, Ueberspannungen im System entstehen, welche Durchschläge an anderen Stellen des Netzes oder in den Maschinen hervorrufen. Andernfalls kann aber die Anlage mit einer ganz oder teilweise geerdeten Phase in Betrieb bleiben, bis die Speisung des betroffenen Areals auf anderem Wege gesichert ist und der Fehler behoben werden kann. Es ist auch leicht, den Isolationszustand einer ungeerdeten Anlage während des Betriebes mit Voltmetern zu prüfen, sodass Erdschlüsse schon im Entstehen bemerkt werden. Das Auffinden der defekten Stelle in einem ungeerdeten Netz bereitet jedoch bei grosser Ausdehnung des Netzes Schwierigkeiten und gleicht den Vorteil der Betriebssicherheit zum Teil wieder aus.

Ein selbsttätiges Ausschalten der defekten Leitung ist wegen der Kleinheit der anfangs entstehenden Unsymmetrie im Strom-Diagramm, welche vielfach von der normalen Unsymmetrie der Belastung übertroffen wird, schwierig durchzuführen. Werden dazu sehr empfindlich eingestellte Apparate verwendet, so ist in Betracht zu ziehen, dass ein Erdschluss in einem ganz untergeordneten Teil des Netzes den gleichen Einfluss auf diese Auslösesapparate haben wird, wie ein Defekt auf einer Hauptspeiseleitung (abgesehen vom konsequent durchgeführten Differentialschutz). Es wird also diese abgeschaltet, in Fällen, wo das Durchbrennen einer Nebensicherung die Störung beheben könnte.

Ist der Nullpunkt des Stromerzeugers geerdet, so bildet ein Erdschluss einer Phase einen partiellen einphasigen Kurzschluss, welcher je nach der Bemessung der Sicherungen und der Einstellung der Relais einen mehr oder weniger grossen Teil des betroffenen Speisegebietes abschaltet und den Betrieb des übrigen Teils nur so lange stört, bis das Abschalten vollbracht ist.

Der am Erdschluss entstehende Lichtbogen ist wegen der grösseren Stromstärke eher befähigt, Zerstörungen und Zündungen hervorzurufen, wie der eines isolierten Systems, doch führt er auch Wattstrom, ist daher stabiler und neigt nicht zur Bildung von Ueberspannungen im Netz.

Eine weitere Verfolgung dieser allgemeinen mehr theoretischen Erörterungen hätte nun wenig Zweck, da bei den verschiedenartigen Fällen der Praxis, welche wir betrachten möchten, Betriebsbedingungen in Frage kommen, die nicht nach einfachen mathematischen und physikalischen Gesetzen zu formulieren sind. Wir verfahren daher besser, wenn wir die verschiedenen Gattungen elektrischer Anlagen je für sich den vorerörterten Gesichtspunkten bezüglich Nullpunktserdung unterziehen und die hiefür gültigen Grundsätze aufstellen.

a) *Die Niederspannungs-Anlagen* dienen gewöhnlich zur Verteilung von Beleuchtungsstrom und zum Betrieb kleinerer Motoren. Da dieselben fast durchwegs von nicht fachkundigen Personen bedient werden, ist ein Schutz gegen das Auftreten gefährlicher Spannungen an den Leitungen selbst am Platz. Ueber die notwendigen Massregeln handelt, unter besonderer Berücksichtigung der Schwierigkeit eine wirklich gute Erdung zu erreichen, die früher erwähnte Eingabe der A. E. G., worin die Nullung befürwortet wird.⁴⁾

Wird das Niederspannungs-Netz nicht direkt, sondern mittelst Transformatoren gespeist, so ist ein besonderer Schutz gegen das Uebertreten der Oberspannung auf die Niederspannungsseite vorzusehen. Wenn die Niederspannungsseite und der Nullpunkt der Zentrale geerdet sind, so besorgt diese Erdung automatisch das Ausschalten des schadhafte Transformators auf der Oberspannungsseite. Sie verhindert zugleich die Entstehung von Hochspannung in der Niederspannungs-Wicklung, im Falle, dass, wie es z. B. während eines Schaltvorganges mittelst Trennschalter geschehen kann, der Transformator nur einpolig an die Hochspannung angeschlossen wird. In diesem Falle bilden Oberspannungs- und Niederspannungswicklung mit dem Kern ein System von zwei hintereinander geschalteten Kondensatoren und die Niederspannungswicklung nimmt eine entsprechende Teilspannung gegen den geerdeten Kern an.

Die Berechnung der zu erwartenden Spannung stösst auf Schwierigkeiten, da ausser der Kapazität der den Spulen umschriebenen Zylinder gegen den Kern noch die Kapazität der einzelnen Wicklungen und die Einwirkung des Oelkübels berücksichtigt werden müssen. Ohne Berücksichtigung derselben findet man z. B., dass die Spannung der Sekundärseite bei einer Uebersetzung von einigen Tausend Volt auf 120—250 Volt ca. $\frac{1}{4}$ der primären Phasenspannung erreichen kann.

In Wirklichkeit beeinflussen diese beiden Faktoren die Verteilung der Spannung auf Ober- und Niederspannungsspule günstig und sobald das sekundäre Netz angeschlossen ist, wird durch diese⁵⁾ zusätzliche Kapazität die Spannung noch weiter reduziert; nichtsdestoweniger ist damit zu rechnen, dass die durch Influenz erzeugte sekundäre Spannung unliebsame Folgen haben kann, und ist ein Schutz gegen sie durch Erdung von Wert.

b) *Die Anlagen mittlerer Spannung*, wie sie in den Generatoren ohne Auftransformierung erzeugt werden kann, zerfallen in zwei Hauptgruppen: Freileitungsanlagen mit einer kleinen Anzahl Speiseleitungen und Kabelnetze mit vielen abgehenden Kabeln.

Erstere dienen, entsprechend der Spannung und Zahl der Leitungen zur Uebertragung verhältnismässig kleiner Leistungen auf Entfernungen von einigen Kilometern, zu letzteren gehören die grössten Stadtnetze, welche Totallängen von mehrerer hundert Kilometern aufweisen.

⁴⁾ Revue électrique 7. August 1914.

Bei einer kleinen Freileitungsanlage wird es oft nicht möglich oder ökonomisch sein, eine doppelte Speisung der Verbrauchs-Zentren vorzusehen. In solchen Fällen ist es zur Erhaltung eines möglichst ununterbrochenen Betriebes notwendig, mit ungeerdetem Nullpunkt zu arbeiten. Da wenig Linien vorhanden sind, ist es einfach, von Zeit zu Zeit ihre Isolierung nach Angaben der Phasenvoltmeter (wozu sich auch statische Voltmeter gut eignen) zu prüfen. Die Gefahr, dass ein Erdschluss sich zum Kurzschluss ausbildet, ist bei Freileitungen gering.

Um die Resonanz-Gefahr zu prüfen, nehmen wir beispielsweise an, L_3 sei ca. 3×10^{-3} Henry und K''_3 ca. 2×10^{-8} Farad⁵⁾, für 1 km der Leitung.

Für die 3te Oberwelle wird $L_3 K''_3 \omega_3^2 = 0,000054$. Der Wert wächst mit dem Quadrat der Linienlänge, sodass er ohne Berücksichtigung der Induktanz des Generators erst für ca. 135 km Leitung = 1 wird. Die Induktanz des Generators hat keinen grossen Einfluss auf das Resultat und da ausserdem K'_3 klein ist im Verhältnis zu K''_3 , ist Resonanz der dritten Oberwelle bei ungeerdetem Nullpunkt so gut wie ausgeschlossen. Dies ist umso wichtiger, als man es bei dieser Gattung von Anlagen oft mit Generatoren zu tun hat, deren Spannungs-Kurven erhebliche Abweichungen von der reinen Sinus-Form aufweisen.

Die meisten Gründe sprechen also dafür, Anlagen dieser Art mit ungeerdetem Nullpunkt zu betreiben.

Obwohl seit der Erkenntnis der Natur und Ursache vieler Ueberspannungs-Erscheinungen die Verwendung von Ueberspannungs-Ableitern mit Funkenstrecken nach dem Hörnersystem für Anlagen mässiger Spannung weniger allgemein gebräuchlich wurde, sei doch darauf hingewiesen, dass diese Apparate in einem ungeerdeten Netz für eine um einige Prozent höhere Spannung als die verkettete, eingestellt werden müssen, um Störungen beim Wandern des Nullpunktes oder bei Erdschlüssen zu vermeiden. Unter normalen Verhältnissen werden sie also weniger wirksam sein als die einer geerdeten Anlage, welche um den gleichen Prozentsatz über die Phasenspannung eingestellt werden können, sofern die Erdung stets beibehalten wird.

Die Behandlung ausgedehnter Stadtnetze bietet hinsichtlich Erdung oder Isolierung des Nullpunktes weit grössere Schwierigkeiten. Solange das Netz klein ist, ist die Gefahr eines ernstlichen Unfalles durch Berührung eines Leiters relativ gering, wenn der Nullpunkt isoliert ist. Das 6500 Volt-Netz der Stadt Manchester ist z. B. viele Jahre hindurch so betrieben worden, ohne dass ein einziger tödlicher Unfall darauf zurückzuführen wäre. Mit wachsender Entwicklung des Netzes nimmt jedoch der Kapazitätsstrom bei Erdung eines Leiters solche Werte an, dass dieser Vorteil der Isolierung des Nullpunktes hinwegfällt.

Der andere Vorteil, dass das Netz auch mit einem geerdeten Leiter weiter arbeiten kann, wird bei Kabelanlagen dadurch ausgeglichen, dass Erdschlüsse in Kabeln selten entstehen, ohne dass sich bald darnach ein Kurzschluss zwischen Phasen daraus bildet. Auch angenommen, dass dies nicht stattfindet, was bei einem Erdschluss in einer Unterstation der Fall sein könnte, so ist doch, wie eingangs erwähnt, mit der Entstehung von Ueberspannungen zu rechnen.

Sehr wichtig ist das automatische Abschalten eines defekten Leiters, sei es durch Sicherungen in einem sekundären Teil, sei es durch den Oelschalter in der Zentrale. Da die Stadtnetze gewöhnlich doppelte Speisung der Hauptverbrauchs-Zentren haben, wird durch das automatische Abschalten nur in sehr extremen Fällen eine allgemeine und längere Störung des Betriebes eintreten. Diese Gründe sprechen für die Erdung des Generator-Nullpunktes und es handelt sich darum, festzustellen, auf welche Weise geerdet werden soll.

Für die Untersuchung der Resonanzgefahr kommt die 2te Formel in Betracht:

$$L_3 K''_3 \omega_3^2 = 1.$$

Handelt es sich um eisenarmierte Kabel, so wird durch den Umstand, dass die drei Ströme in Phase sind, der Wert von L_3 bedeutend erhöht. Man findet z. B. für Eisen-

⁵⁾ Ueber die Bedeutung und Bestimmung der Grössen K''_3 und L_3 Siehe Dr. Fraenckel „Theorie der Wechselströme“ Seiten 208–215.

drahtarmatur 5×10^{-3} Henry pro Kilometer und mehr. Als Kapazität der drei Leiter gegen den Mantel nehmen wir $0,4 \times 10^{-6}$ Farad pro Kilometer an. Für 1 km Leitung wird dann $L_3 K''_3 \omega^2_3 = 0,0016$ oder bereits für ein Kabel von 25 km = 1. Wenn mehrere kürzere Kabel parallel angeschlossen sind, wird die Resonanzgefahr vermindert, doch sind alle diesbezüglichen Vorausberechnungen mit grosser Vorsicht aufzunehmen und es ist damit zu rechnen, dass das Vorhandensein einer Oberwelle der Ordnung 3_n einen nicht zu vernachlässigenden Strom in der Erdleitung hervorrufen kann, Wie in der Einleitung hervorgehoben, kann die etwa vorhandene Resonanz durch Erdung der Nullpunkte grösserer Stromverbraucher abgeschwächt werden, ein Mittel, welches mit Erfolg im Kabelnetz der Stadt Marseille verwendet wurde.⁶⁾

Fast wichtiger wie die Frage der Resonanz ist die der Stromstärken, welche bei Erdschlüssen entstehen können. Durch den Bleimantel des Kabels besteht zwischen der Zentrale und der Fehlerstelle in vielen Fällen eine metallische Rückleitung, sodass ein Erdschluss bei direkt geerdetem Generator-Nullpunkt fast einem einphasigen Kurzschluss der Sammelschienen gleichkommt. Dass die Folge davon, das Herausfallen nicht nur des Schalters der betroffenen Speiseleitung, sondern auch derjenigen der mit ihr parallel arbeitenden Kabel, oder sogar des Generators sein kann, braucht nicht hervorgehoben zu werden.

Denken wir uns eine Anlage mit nicht nur einem, sondern vielen Generatoren mit geerdeten Nullpunkten, so mehren sich die Schwierigkeiten; denn mit jedem zusätzlichen Generator wird der Widerstand der Kurzschlussstrombahn, welcher vor allem im Uebergangswiderstand der Erdung besteht, verringert und die dargebotene Energie vergrössert. Sucht man diese Schwierigkeit durch Erdung nur eines Generator-Nullpunktes zu umgehen, so setzt man den einzelnen geerdeten Generator dem gesamten Kurzschlussstrom der Zentrale aus, sein Schalter wird ausgelöst und damit wird die Erdung aufgehoben, gerade im Augenblick, wo sie zur Vermeidung von Ueberspannungen erhalten bleiben sollte.

Auch die anderen Erscheinungen, welche mit dem einphasigen Kurzschluss zusammen hängen: Oberwellen im Generator, Durchschläge im Erregerstromkreis usw. sind alle in erster Linie von der entwickelten Stromstärke abhängig, sodass darnach getrachtet werden muss, diese zu verringern. Da dies nach Möglichkeit ohne Herabsetzen des Wirkungsgrades bei normalem Betriebe geschehen sollte, ist es einleuchtend, dass die dazu dienende Vorrichtung in die Erdungsleitung eingeschaltet werden muss, wo sie nur im Falle eines Defektes unter Strom steht. Die Verwendung von Schutz-Reaktanzen zu diesem Zweck bietet den Nachteil, dass damit eine grössere Reaktanz mit der Kapazität des Kabelnetzes in Reihe geschaltet würde, wodurch die Resonanz der Oberwellen, welche, wie erwähnt, gerade bei unsymmetrischer Belastung des Generators durch den Erdschluss entwickelt werden, ermöglicht wird.

Es bleibt also die Wahl zwischen der einzelnen Erdung jedes Generators mit einem besonderen Widerstand, oder der Verbindung aller Nullklemmen mit einer Sammelschiene, welche über einen Widerstand geerdet wird. Die erste Schaltung zeigt den grossen Nachteil, dass der Widerstand der Erdung je nach der Anzahl eingeschalteter Generatoren verschieden ist. Die 2te Schaltung erfordert stets die Aufstellung eines Nulleiterschalters für jeden Generator und zwar aus folgenden Gründen. Die unmittelbare Verbindung der Nullpunkte zweier Generatoren schliesst den durch die Wicklungen und die Sammelschienen gebildeten Stromkreis für die 3-fachen Oberwellen, wodurch einerseits eine unnütze Belastung der Maschinen, anderseits eine Fälschung der Angaben der Maschinen-Wattmeter und Zähler entsteht. Diese Schaltung ist also nur dann zulässig, wenn die Generatoren vorzügliche Spannungs-Kurven liefern. Wenn die Maschinen stark verschiedene Spannungs-kurven besitzen, so wird bekanntlich der Betrieb mit direkt verbundenen Nullklemmen schwierig, wenn nicht unmöglich.

Wenn ein Generator z. B. für Revisionszwecke ausser Betrieb gesetzt wird, so muss er von der Nullsammelschiene getrennt werden, da sonst bei einem Erdschluss im Netz

⁶⁾ R. Swyngedauw. Revue électrique. Februar 1914. Seite 179.

seine Wicklung ein Potential gegen Erde erhalten würde, gleich dem Spannungsabfall im Erdungswiderstand. Der Nullschalter sollte also gleichzeitig mit dem Hauptschalter betätigt werden können, womit allerdings eine erhebliche Verteuerung der Anlage verbunden ist. Wenn an Stelle eines solchen Schalters ein Trennmesser verwendet wird, so ist es doch zweckmässig wegen der genannten Gefahr, dasselbe mit einer Signalvorrichtung auszurüsten.

Bei der Dimensionierung des Erdungswiderstandes ist damit zu rechnen, dass er mehrere Sekunden lang durch den Kurzschlussstrom belastet wird: er muss also eine genügend grosse Wärmekapazität besitzen. Da es möglich ist, ihn feuersicher aufzustellen, so sind erhebliche Temperaturerhöhungen (200—300° C) zulässig, doch zeigt sich hierbei eine neue Schwierigkeit. Der Fall ist denkbar, dass ein Erdschluss in solcher Entfernung von der Zentrale, oder unter solchen Umständen entsteht, dass der Kurzschlussstrom gerade unter dem Wert liegt, welcher nötig wäre, um den Linienschalter auszulösen. Durch die Erwärmung des Erdungswiderstandes steigt, wenn derselbe aus Metall besteht, dessen spezifischer Widerstand, sodass die Stromstärke noch weiter abnimmt. Wenn also der Kurzschlussstrom nicht gross genug ist, um in den ersten Sekunden den Schalter auszulösen, so wird er überhaupt nicht herausfallen. Es ist daher zweckmässig, für den Erdungswiderstand ein Material mit negativem Temperatur-Koeffizienten zu wählen.

Die bisher besprochenen Anordnungen ändern in keiner Weise die Schaltung der abgehenden Linien und können auch an jeder bestehenden Anlage angebracht werden. Sie leiden aber an dem gemeinsamen Nachteil, dass grosse Stromstärken durch die Erdung geführt werden müssen, um die Auslösung der Schalter zu bewerkstelligen. Auf die Schwierigkeiten, welche die Herstellung einer dauernd wirksamen Erdung von konstantem Uebergangswiderstand bietet, kann hier nicht mehr eingegangen werden, es sei nur darauf hingewiesen, dass auch an scheinbar guten Erdungen bei hoher Strombelastung Potentialgefälle von gefährlicher Grösse in der Umgebung der Erdung auftreten können. Es ist daher stets auf eine ausgedehnte und bei allen Witterungen zuverlässige Erdung grosses Gewicht zu legen. Dieser Nachteil kann ganz oder teilweise durch Verwendung von Differentialschutz beseitigt werden, dessen konsequente Durchführung in einem weitverzweigten Netz jedoch hohe Installationskosten verursacht. Der Differentialschutz kann aber auch in Verbindung mit der Erdung des Nulleiters verwendet werden, indem die Haupt-Speiseleitungen mit Differentialschutz und die Abzweigungen kleinerer Leistung mittelst der Erdung automatisch getrennt werden. Da in diesem Fall mit viel kleineren Erdströmen zu rechnen ist, kann die Erdung über einen hohen Widerstand erfolgen. Zu diesem Zweck ist es aber nicht mehr nötig, die Erdung an einem Generator vorzunehmen, sondern eine Sammelschienenenerdung von konstantem Widerstand unabhängig von der Zu- oder Abschaltung der Maschinen kann dazu dienen. Der zu diesem Zweck verwendete Erdungstransformator kann entweder mit kurzgeschlossener Sekundärwicklung (Dreieckschaltung) oder mit im Zickzack geschalteter Primärwicklung und ohne Sekundärwicklung ausgeführt sein. Beide Schaltungen haben den Zweck, den Erdschlussstrom auf alle 3 Schenkel des Transformators gleichmässig zu verteilen, sodass ein relativ kleiner Apparat genügt, und dieser hält durch die gegenseitige Einwirkung der 3 Phasen aufeinander den Nullpunkt der Primärseite auf Erdpotential. Wird er vor allem zu diesem Zweck verwendet (wie es z. B. bei Störungen fremder Anlagen durch einen betriebsmässig fliessenden Erdstrom nötig sein kann), so muss er je nach der zu erwartenden Unsymmetrie der Spannungen gewählt werden.

Besonders zu empfehlen ist der Differentialschutz in Anlagen mit grossen Unterstationen, auf welche mehrere Speisekabel parallel arbeiten. Im Falle eines Defektes in einem dieser Kabel müsste der Erdungswiderstand für kurze Zeit den Gesamtauslösestrom aller parallel geschalteten Kabel führen.

Wir haben gesehen, dass bei Kabelnetzen die Oberschwingungen unter Umständen zur Resonanz kommen können. Da ausser den schon genannten Quellen von Oberschwingungen in jedem Stromverbraucher, welcher aktives Eisen enthält, eine weitere Bildungsstätte solcher Wellen besteht, ist es am Platz, die Wirkung des Eisens etwas näher

zu betrachten. Der Einfachheit halber untersuchen wir die Verhältnisse an einem Drehstrom-Transformator. Der Strom, welcher um den Eisenkern fließen muss, um eine sinusförmige EMK zu erzeugen, ist wegen der Veränderlichkeit der Permeabilität des Eisens kein Sinusstrom, sondern je nach dem Grad der Sättigung mehr oder weniger zugespitzt. Dieser Strom enthält daher vor allem eine Oberwelle von der dreifachen Periodenzahl der Grundwelle, die aber nur dann fließen kann, wenn der Nullpunkt des Generators mit dem des Transformators verbunden ist. In diesem Fall ist die sekundäre Spannung im Niederspannungs-Netz sinusförmig. Wenn der Nullpunkt des in Stern geschalteten Transformators isoliert ist, so wird der Stromkreis der dritten Oberwelle unterbrochen, die entsprechenden Glieder der Flux-Welle fallen weg und die sekundäre Spannung enthält die Gegenwelle der fehlenden Oberwelle. In diesem Fall kann Resonanz im Niederspannungs-Verteilungsnetz entstehen.

Die Induktivität, welche bei der Untersuchung der Resonanzgefahr massgebend ist, hängt von der Anordnung des Transformators ab. Da bei einem Dreiphasen-Transformator der Flux der Oberwelle sich durch die Luft und eventuell durch den Oelkübel schliessen muss, so ist bei diesem die Reaktanz gegenüber der Oberwelle kleiner als bei Verwendung dreier Einphasen-Transformatoren, bei welchen auch diesem Flux ein geschlossener Eisenkreis geboten ist. Wenn die Sekundärseite des oder der Transformatoren in Dreieck geschaltet ist, so werden die Oberwellen kurz geschlossen und gedämpft. Der Einfluss des Eisens ist auch dann in Betracht zu ziehen, wenn aus irgend einem besonderen Grund an Stelle eines Widerstandes eine Drosselspule mit Eisenkern zur Erdung des Nullpunktes gewählt wird. Ist diese so dimensioniert, dass das Eisen durch den Erdschlussstrom hoch gesättigt wird, so erzeugt sie eine Oberwelle von der 3fachen Periodenzahl, welche ebenfalls Resonanz erzeugen kann. Solche Erdungen sind daher nicht zu empfehlen.

c) *Anlagen hoher Betriebsspannung.* Wenn es sich darum handelt, erhebliche Energiemengen auf grosse Distanzen zu übertragen, so wird Auf- und Abtransformierung der Spannung verwendet. Das Charakteristische dieser Anlagen ist die grosse Länge und die im Verhältnis zur Leistung kleine Anzahl der abgehenden Leitungen. Ein Unterbruch des Stromes einer Fernleitung setzt unter Umständen den Betrieb einer ganzen Stadt still, sodass als erste Forderung die Sicherung des Betriebes gelten darf.

Bei Kurzschluss einer Hochspannungs-Fernleitung treten gewaltige Beanspruchungen der Generatoren und Transformatoren auf, wenn nicht besondere Massnahmen dagegen getroffen sind, ausserdem kann nicht immer damit gerechnet werden, dass die Hochspannungsschalter einen solchen Kurzschluss unterbrechen können ohne Schaden zu nehmen. Diese beiden wichtigen Gründe sprechen gegen das widersstandslose Erden des Nullpunktes solcher Uebertragungen. Auch die eingangs erwähnten Ersparnisse an Isolierung der Leitung sind meist illusorisch, denn die Beanspruchung der Isolatoren ist bei normalem Betrieb die gleiche, ob der Nullpunkt tatsächlich geerdet ist, oder nur durch die symmetrische Verteilung der Kapazität gegen Erde auf Erdpotential gehalten wird. Bei der ungeerdeten Anlage ist es bei einem Erdschluss möglich, unter dauernder Erhöhung der Beanspruchung auf das $\sqrt{3}$ fache den Betrieb weiter zu führen, während die geerdete Leitung nur im Moment des Erdschlusses hoch beansprucht, dafür aber sofort abgeschaltet wird. In den meisten Fällen wird es sich zeigen, dass die Rentabilität der Anlage durch die Erhöhung des Sicherheitsfaktors unter Ausschluss grösserer Betriebs-Unterbrechungen günstig beeinflusst wird.

Nach Abtrennung der defekten Phase wäre es allerdings auch bei einer geerdeten Anlage möglich, einen reduzierten Betrieb mit den beiden anderen Phasen und der Erde als Rückleitung aufrecht zu erhalten, gibt es doch im „Wilden Westen“ Hochspannungs-Verteilungen, welche sogar für die normale Stromversorgung kleiner Abnehmer nur einen Draht und die Erdrückleitung verwenden.⁷⁾ Es ist aber kaum anzunehmen, dass ein solcher

⁷⁾ G. Faccioli „Line Oscillations“ Proc. A. I. E. E. Juni 1911, Seite 2546.

Betrieb von den Besitzern anderer umliegender Fernleitungen und vor allem von den Telefon- und Telegraphen-Verwaltungen geduldet würde.

Bei der Untersuchung der Resonanz kurzer Freileitungen zeigt es sich, dass die Bedingung derselben für die dritte Oberwelle in einer einseitig geerdeten Leitung bei etwas über 100 km Länge erfüllt war. Bezieht sich die Rechnung auf eine Uebertragung mit Auftransformierung, so ist die Induktivität des Generators mit dem Quadrat des Uebersetzungsverhältnisses multipliziert auf der Hochspannungsseite in Rechnung zu setzen. Bei geerdetem Generator-Nullpunkt wirkt die Oberwelle desselben auf der Hochspannungsseite, falls nicht durch Dreieckschaltung der Transformatoren eine Dämpfung erzeugt wird. Dieser Umstand tritt besonders dann hervor, wenn auf der Hochspannungsseite mit Luftschaltern gearbeitet wird, welche in den seltensten Fällen alle drei Phasen gleichzeitig schliessen oder öffnen. Eine Bestätigung dieser Ueberlegung finden wir in den Oszillogrammen, welche von Faccioli veröffentlicht wurden ⁸⁾ und deren einige die entstehende dritte Oberwelle sehr deutlich wiedergeben.

Ein Nachteil der ungeerdeten Anlage ist die Neigung zur Bildung von Ueberspannungen bei Erdschlüssen, welche bei dem niederen Sicherheitsfaktor und der Schwierigkeit und Kostspieligkeit von Reparaturen am Hochspannungsmaterial hier mehr ins Gewicht fällt, wie bei den unter b) besprochenen Anlagen.

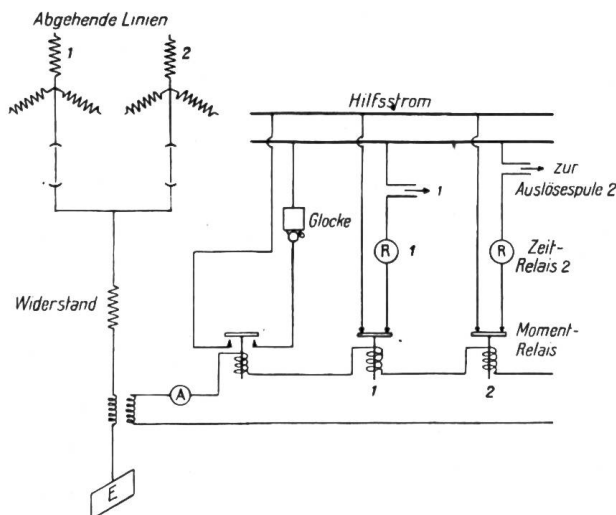


Fig. 3.

die Reservelinie die Last übernimmt. Wenn der Erdschluss auf der ausgeschalteten Linie ist, wird sie von den Rückwattrelais am anderen Ende ebenfalls abgeschaltet und kann geerdet und repariert werden. Dauert das Läuten an, so ist dies ein Zeichen, dass der Fehler auf der noch eingeschalteten Linie ist.

Auf die Berechnung und konstruktive Durchführung der hier besprochenen Erdungsvorrichtungen kann nicht eingegangen werden. Letztere bietet, vor allem bei den Hochspannungswiderständen, noch verschiedene Schwierigkeiten, sodass in vielen Anlagen der verwendete Erdungswiderstand eine mehr oder weniger glückliche Schöpfung des Betriebsführers ist.

Wenn hier auf einige Fragen z. B. die der Resonanz besonders aufmerksam gemacht wurde, so ist es nicht geschehen, um diese als wichtigstes Element bei der Vorausberechnung einer Verteilungsanlage darzustellen, sondern nur um zu zeigen, wo eine Quelle von kleinen, sich oft wiederholenden Betriebsstörungen gesucht werden kann und zwar eine, deren Vorhandensein oft sehr schwierig festzustellen ist.

⁸⁾ G. Faccioli „Line Oscillations“ Proc. A.I.E.E. Juni 1911.

⁹⁾ General Electric Review Juni 1913.

Eine Anordnung, welche von der Peninsular Power Co. verwendet wird, ⁹⁾ ermöglicht die Ausnutzung der Vorteile der Erdung ohne den Nachteil des sofortigen Ausschaltens bei Erdschluss. Wie die Schaltung Fig. 3 zeigt, werden durch den Erdschluss die Maximal-Relais ausser Tätigkeit gesetzt und ein Läutewerk betätigt. Der Grundsatz findet hier Anwendung, dass das Abschalten einer Leistung von mehreren Tausend Kilowatt wegen eines Erdschlusses nicht ohne Prüfung der Sachlage seitens des Wächters geschehen dürfe, umso mehr, als viele Erdschlüsse, durch Tiere, Aeste oder Schwingen der Leitungen hervorgerufen, sich nach kurzer Zeit selbst beseitigen. Dauert der Erdschluss einige Sekunden, so kann ein Schalter probeweise geöffnet werden, wobei

Zusammenfassung.

Aus obigen Erörterungen geht hervor, dass die Tendenz neuerdings wieder dahin zielt, die direkte Erdung des neutralen Punktes durch andere, weniger grobe Schutzmittel zu ersetzen. Zusammenfassend können folgende Grundsätze aufgestellt werden:

Die *Isolierung des neutralen Punktes* ist für Freileitungsanlagen höchster Spannung zu empfehlen, deren Eigenschwingungszahl so klein ist, dass Resonanzerscheinungen in den Maschinen und Apparaten nicht zu befürchten sind.

Die *Erdung über einen Widerstand*, eventuell unter Herstellung eines künstlichen Nullpunktes mittelst Drosselspulen, ist zu verwenden für Kabel- oder Freileitungsnetze mit oder ohne Differential-Schutz, für Hochspannungs-Freileitungen, bei welchen Resonanzüberspannungen bei Erdschlüssen auftreten, sowie für die Unterspannung von Hochspannungsanlagen.

Die *Erdung ohne Widerstand* ist nur in Niederspannungsanlagen zulässig.

Miscellanea.

Kochen und Heizen mit Gas oder Elektrizität. Dr. Ott vom Gaswerk der Stadt Zürich behandelt in den letzten Nummern der „Schweiz. Bauzeitung“ in einem ausführlichen Artikel, der auch für die Leiter von Elektrizitätswerken manches Lesenswerte bietet, die Entwicklung der schweizerischen Gaswerke. Er kommt dabei auch auf einen Punkt zu sprechen, in dem wir mit ihm nicht einiggehen können: Der Autor spricht den Bestrebungen, „elektrisch“, d. h. für uns Schweizer: mit Wasserkraft zu kochen und zu heizen, gewissermassen in Bausch und Bogen die Berechtigung ab. Es liegt uns ferne, die grosse volkswirtschaftliche Bedeutung der Gaswerke und die Dienste, die sie auch der Schweiz leisten, zu schmälern; ausser dem Gas erzeugen die Gaswerke auch Abfallprodukte, die bedeutenden Wert haben, und sie verwerten diese in derart mustergültiger Weise, dass die Elektrizitäts- bzw. Wasserkraftwerke in diesem Punkte sehr viel von ihnen lernen können. Rechnen sich aber die Gaswerke das zum Verdienst an, so ist es widersinnig, die Elektrizitätswerke für analoge Bestrebungen zu tadeln. Wir Elektriker wissen auch sehr wohl, dass die Kalorie *Wärme*, direkt erzeugt durch Verbrennen mancher Brennstoffe wie z. B. Koks, an den meisten Orten zu gewöhnlichen Zeiten billiger erhältlich ist als das Äquivalent der Kalorie in elektrischer Energie erzeugt aus Wasserkraft, diese gerechnet zu ihrem mittleren Gestehtungspreis. Aber trotzdem kommt elektrisches Kochen und Heizen erfolgreich vor, und gibt es sogar heute schon Fälle, in denen die Wärme auf letztem Wege billiger erhältlich ist, sei es, weil „Abfall-Wasserkraft“, die sonst gänz-

lich verloren ginge, nicht anders verwertbar ist, viel billiger als zu normalen (d. h. mittleren Herstellungs-) Preisen abgegeben werden kann, sei es wegen grosser Transportkosten der Kohle an den betr. Ort oder dergl. Solche Abfall-Energie steht uns in den vorhandenen hydro-elektrischen Werken heute schon in grossen Mengen zur Verfügung; denn leider übersteigen ja heute die insgesamt in unsern bestehenden Schweizer Wasserkraftwerken nutzlos „bachabgehenden“ Energiemengen die ab den Werken abgegebenen Mengen noch *bei weitem*. Der Umstand, dass die täglich und jahrzeitlich überschüssige Energie bestehender Werke nur zum kleinen Teile zu den Zeiten zur Verfügung steht, da wir Koch- und Heizenergie bedürfen, macht die Verwendung von „Abfallkraft“ dieser Art freilich schwierig, aber das Problem ist keineswegs aussichtslos. Wir brauchen aber auch nicht unbedingt nur an „Abfallkraft“ dieser Art zu denken: Solange wir Licht billiger als mit Petrol oder Gas erzeugen können bei Energiepreisen von, sagen wir in weiten Grenzen nur: 30 bis 50 Rp. per kWh, so können grosse Werke, bei kluger Tarifpolitik sehr wohl daneben bedeutende Energieposten zu viel billigeren Preisen abgeben (wie heute schon für elektrochemische Zwecke geschieht) und dennoch *genügenden Mittelpreis* erzielen. Die Sache muss, um wirtschaftlich zu werden, noch ihre Entwicklung durchmachen, die technisch nicht leicht ist, die aber gerade deswegen nicht ohne Aussichten ist, weil sie heute noch kaum begonnen hat. Wir sind weder mit dem Zusammenzug und der Akkumulation der Wasserkräfte, noch namentlich mit den Methoden der eigentlichen Wärmeakkumu-