

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 24 (1933)
Heft: 16

Artikel: Das Parallelarbeiten von Transformatoren
Autor: Regli, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059534>

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: 03.04.2026

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

nen ausserdem um die Vertikalachse gedreht und beliebig geneigt werden. Eine Arretiervorrichtung erlaubt, die einmal durch Versuch als richtig befundene Lage fest einzustellen. Nach umfangreichen Beleuchtungsversuchen wurde die Einstellung

für Fussballspielplätze eine mittlere Beleuchtungsstärke von 24 bis 72 Lux angegeben; die hier erreichte Beleuchtungsstärke liegt also am oberen Grenzwert. Zur Erhöhung des Kontrastes wird natürlich mit einem fast weissen Ball gespielt.

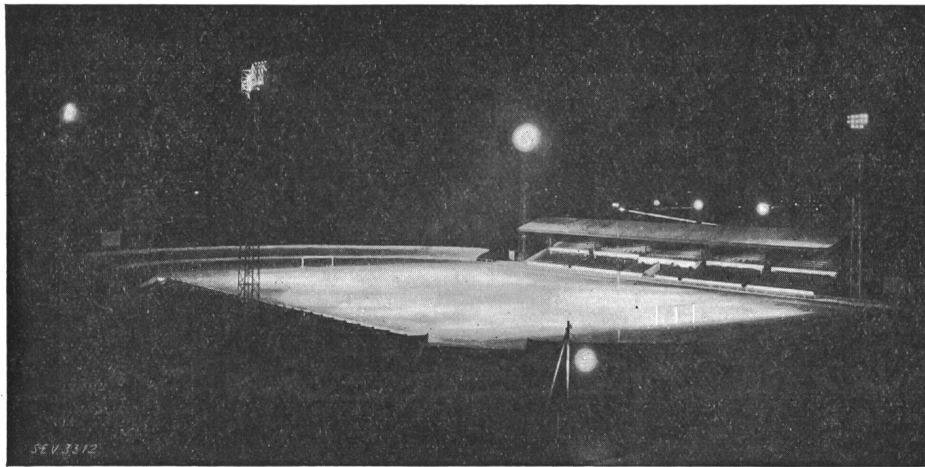


Fig. 2.
Der Hardturm-Sportplatz bei Nacht.

der Reflektoren so gewählt, dass jede Stelle des Platzes vom Strahlenbündel von 6 bis 8 Reflektoren getroffen wird. Dadurch wird eine weitgehende Gleichmässigkeit erzielt, die sich bei einem Probespiel als sehr zweckmässig erwies, während die von einigen Spielern gewünschte Vorzugsbeleuchtung der Tore viel ungünstiger bewertet wurde.

Die Messung der Beleuchtungsstärke ergibt in der Horizontalen 1 m über dem Spielfeld einen mittleren Wert von 64 Lux; die Gleichmässigkeit ist 1 : 6 und der Beleuchtungswirkungsgrad, d. h. das Verhältnis des ausgenützten zum ausgestrahlten Lichtstrom beträgt ungefähr 30 %. Die mittlere Beleuchtungsstärke jedes Spielfeldviertels weicht nur um + 5 % bis - 8,5 % vom Mittelwert ab. Diese geringe, von Auge kaum erkennbare Unregelmässigkeit wird jedoch durch nochmalige feinere Einstellung der Lampen innerhalb der Reflektoren und der Reflektoren selbst verringert werden. Die Vertikalbeleuchtungsstärke in 1 m über der Erde beträgt in der Mitte des Feldes 50 Lux, in den Toren 27 Lux und in den Spielfeldecken ungefähr 15 Lux. In der amerikanischen Fachliteratur wird

Die Beleuchtungsanlage wird vom Einheitsnetz 380/220 V versorgt und die Schalteinrichtung befindet sich an der dem Eingang zugekehrten Stirnseite der Tribüne. Die Schaltung ist derart getroffen, dass jeder Mast für sich in Betrieb genommen werden kann, was erlaubt, bei Nacht nur auf einem Teil des Platzes zu üben. Der Anschluss ist mit 200 A abgesichert und von jedem der vier Schalter mit Ueberstromauslösung führen je nach der Entfernung der Türme verschieden starke, in der Erde in Tonröhren verlegte Kabel zu der Plattform der einzelnen Maste, wo sich die Verteilkasten befinden. Von dort aus erfolgt der Anschluss an die einzelnen Scheinwerfer, welche mit je 10 A abgesichert sind. Diese Beleuchtungsanlage, welche bei Spielern und Publikum volle Anerkennung gefunden hat — am ersten Probespiel waren etwa 10 000 Zuschauer anwesend — und die als erste derartige Einrichtung in der Schweiz geschaffen werden konnte, ermöglicht nicht nur die Austragung von Fussballspielen bei Nacht, sondern eignet sich auch für andere sportliche Veranstaltungen.

Das Parallelarbeiten von Transformatoren.

Von E. Regli, Hindelbank.

Im nachstehenden Artikel wird das Problem des Parallelschaltens von Transformatoren in elementarer Form behandelt. Der Artikel richtet sich also nicht an Spezialisten, sondern an Betriebspersonal, dem er die Gesichtspunkte vermitteln will, die beim Parallelschalten von Transformatoren zu beachten sind.

L'article ci-dessous traite sous une forme élémentaire le problème de la mise en parallèle de transformateurs. Cet exposé ne s'adresse donc pas aux spécialistes, mais plutôt au personnel d'exploitation pour lui faire ressortir les points à considérer lors du couplage en parallèle de transformateurs.

621.314.21.016.32

Das Parallelschalten von Transformatoren wurde in der Literatur schon oft behandelt¹⁾, je-

doch meist in einer Form, die dem Nichttheoretiker in vielen Fällen nicht leicht zugänglich ist. Zweck dieser Arbeit ist die Aufstellung einer kurzen, einfachen und leichtverständlichen Beurteilungsmethode. Einige mathematische Kenntnisse müssen immerhin vorausgesetzt werden.

¹⁾ Es seien nur folgende Arbeiten erwähnt: Wirz, Bull. SEV 1923, S. 25; 1927, S. 257; E. u. M. 1928, S. 393; Vidmar, E. u. M. 1927, S. 457; Hopp, E. u. M. 1928; S. 565; Richter, E. u. M. 1931, S. 477, usw.

Damit zwei oder mehrere Transformatoren einwandfrei parallel arbeiten können, müssen gewisse Bedingungen mehr oder weniger streng erfüllt sein. Eine Reihe Länder stellten dafür Regeln auf, die hier nicht behandelt werden können.

Die Bedingungen lauten:

1. gleiche Uebersetzungsverhältnisse bei Leerlauf;
2. gleiche oder innerhalb gewisser Grenzen gleiche Spannungsabfälle (bzw. Impedanzen);
3. gleiche oder für Parallelbetrieb zulässige Schaltungen und Verbindung zusammengehöriger Klemmen;
4. Die Leistungen der parallel arbeitenden Transformatoren dürfen nicht zu stark verschieden sein ²⁾.

Die erste Bedingung ist möglichst genau einzuhalten. Bestehen bei zwei Transformatoren ungleiche Uebersetzungsverhältnisse, so fließen Ausgleichströme, die gleich sind der geometrischen Differenz der sekundären Spannungen, dividiert durch die geometrische Summe der Kurzschlussimpedanzen, die durch den Kurzschlussversuch entweder auf der Oberspannungsseite oder auf der Unterspannungsseite, je nachdem die Messung bequemer auszuführen ist, gemessen werden.

Es gibt Fälle, wo es schwer ist, diese Bedingung restlos einzuhalten, und zwar dann, wenn zwei Transformatoren verschiedener Herkunft zusammenarbeiten müssen. Fehlerloses Einhalten dieser Bedingung gibt es im allgemeinen nur bei Transformatoren mit hohen Windungszahlen oder solchen gleicher Herkunft. Darum ist es angezeigt, bei Bestellung des Transformators, der zu einem vorhandenen parallel arbeiten soll, nach Möglichkeit die Windungszahlen anzugeben, oder, wenn diese nicht bekannt sind, sie oder deren genaues Verhältnis vom Fabrikanten des vorhandenen Transformators zu verlangen. Ein solches Verlangen ist kein Eingriff in die Geheimnisse der Fabrikation. Sehr gefährlich ist es, grosse Transformatoren verschiedener Herkunft parallel zu schalten ²⁾.

Im allgemeinen wird bei Leerlauf ein Uebersetzungsfehler von etwa 1/2 % zugelassen. Bei niedrigen Spannungen kann diese Grenze oft nicht eingehalten werden; die grösseren Ausgleichströme müssen dann wohl oder übel in Kauf genommen werden.

Die zweite Bedingung sei rechnerisch behandelt. Der Einfluss des Magnetisierungsstromes kann dabei vernachlässigt werden, weil er meistens nur wenige Prozent des Belastungsstromes beträgt und den Rechnungsgang unnötigerweise erschweren würde. An Hand typischer Beispiele sollen die einzelnen Fälle behandelt werden.

Es bedeuten:

- $P^*_1, P^*_2, P^*_3 \dots P^*_n$ die Nennleistungen der Transformatoren 1, 2, 3 ... n in kVA.
- P^* die totale Nennleistung in kVA.

²⁾ Der VDE empfiehlt z. B. als Grenze ein Verhältnis der Leistungen von 3 : 1.

$P_1, P_2, P_3 \dots P_n$ die bei Parallelbetrieb wirklich auftretenden Leistungen in kVA.

$I^*_1, I^*_2 \dots I^*_n$ die Nennströme.

I^* den totalen Nennstrom.

$I_1, I_2 \dots I_n$ die bei Parallellauf auftretenden Ströme.

$\varphi_{K1}, \varphi_{K2} \dots \varphi_{Kn}$ die Phasenverschiebungen zwischen Strom und Spannung bei Kurzschluss und bestimmter Temperatur.

$\varphi_1, \varphi_2 \dots \varphi_n$ die Phasenverschiebungen der Ströme gegenüber der Betriebsspannung.

$\psi_1, \psi_2 \dots \psi_n$ Winkel zwischen den Strömen $I_1, I_2 \dots I_n$ und dem Gesamtstrom I^* (Fig. 2).

$R_1, R_2 \dots R_n$ die Ohmschen Widerstände, auf eine Wicklung bezogen, bei bestimmter Temperatur, in Ohm.

$X_1, X_2 \dots X_n$ die induktiven Widerstände, auf eine Wicklung bezogen, in Ohm.

$Z_1, Z_2 \dots Z_n$ die Impedanzen, auf eine Wicklung bezogen, bei bestimmter Temperatur.

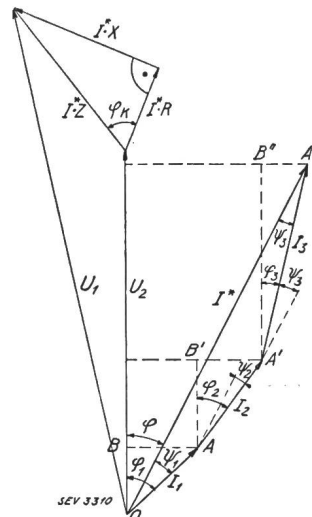


Fig. 1.

Aus Fig. 1 und 2 erkennt man die Phasenverschiebungen der einzelnen Ströme ψ gegenüber dem Gesamtstrom bei drei parallel arbeitenden Transformatoren. Die Phasenverschiebungen rühren von den ungleichen Kurzschlussimpedanzen her, d. h. von den ungleichen charakteristischen Dreiecken OAB, AA'B' und A'A''B''.

Sie haben zur Folge, dass die Phasenverschiebungen φ der einzelnen Ströme gegenüber der gemeinsamen Spannung U_2 nicht gleich sind, und dass dadurch die einzelnen Transformatoren eine vom Nennwert verschiedene Last aufnehmen. Es

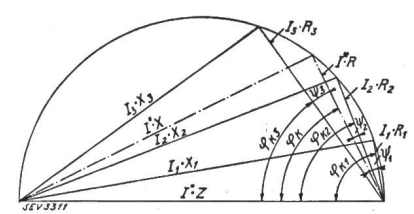


Fig. 2.

verhalten sich die Ströme, bzw. die Leistungen, umgekehrt wie die Kurzschlussimpedanzen.

$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2 = \dots = I_n Z_n = I^* Z \quad (1)$$

$$I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2 + \dots + I_n \cos \varphi_n = I^* \cos \varphi \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_{K1} &= \frac{X_1}{R_1} & \operatorname{tg} \varphi_{K2} &= \frac{X_2}{R_2} \\ \dots \operatorname{tg} \varphi_{Kn} &= \frac{X_n}{R_n} & \operatorname{tg} \varphi_K &= \frac{X}{R} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

R = totaler Ohmscher Widerstand in Ohm,
 X = totaler induktiver Widerstand in Ohm,
 (bezogen auf eine Wicklung).

$$\left. \begin{aligned} \psi_1 &= \varphi_{K1} - \varphi_K \\ \psi_2 &= \varphi_{K2} - \varphi_K \\ \psi_n &= \varphi_{Kn} - \varphi_K \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

woraus

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \varphi + \psi_1 = \varphi - \varphi_K + \varphi_{K1} \\ \varphi_2 &= \varphi + \psi_2 = \varphi - \varphi_K + \varphi_{K2} \\ \varphi_n &= \varphi + \psi_n = \varphi - \varphi_K + \varphi_{Kn} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Diese Bedingungen genügen, um die Einzelbelastungen der Transformatoren zu bestimmen. Aus (1) wird

$$I_2 = I_1 \frac{Z_1}{Z_2} \quad I_3 = I_1 \frac{Z_1}{Z_3} \quad I_n = I_1 \frac{Z_1}{Z_n} \quad (6)$$

Setzt man die Werte $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_n$ und die aus (1) erhaltenen Ströme in Gl. (2) ein, so wird:

$$\begin{aligned} I_1 \cos \varphi_1 + I_1 \frac{Z_1}{Z_2} \cos \varphi_2 + I_1 \frac{Z_1}{Z_3} \cos \varphi_3 \\ + \dots + I_1 \frac{Z_1}{Z_n} \cos \varphi_n = I^* \cos \varphi \end{aligned} \quad (7)$$

woraus

$$I_1 = \frac{I^* \cos \varphi}{\cos \varphi_1 + \frac{Z_1}{Z_2} \cos \varphi_2 + \dots + \frac{Z_1}{Z_n} \cos \varphi_n} \quad (8)$$

und

$$I_n = \frac{I^* \cos \varphi}{\frac{Z_n}{Z_1} \cos \varphi_1 + \frac{Z_n}{Z_2} \cos \varphi_2 + \dots + \frac{Z_n}{Z_{n-1}} \cos \varphi_{n-1} + \cos \varphi_n} \quad (9)$$

Multiplizieren wir die Gl. (8) und (9) mit $\frac{U_2}{1000}$ bzw. mit $\frac{U_2 \cdot \sqrt{3}}{1000}$, so erhält man die entsprechenden Leistungen für Einphasentransformatoren bzw. für Drehstromtransformatoren in kVA:

$$P_n = \frac{P^* \cos \varphi}{\frac{Z_n}{Z_1} \cos \varphi_1 + \frac{Z_n}{Z_2} \cos \varphi_2 + \dots + \frac{Z_n}{Z_{n-1}} \cos \varphi_{n-1} + \cos \varphi_n} \quad (10)$$

Gl. (10) gibt also die wirklich auftretende Belastung eines der parallelgeschalteten Transformatoren, auch wenn die Gesamtbelastung nicht gleich der totalen Nennbelastung ist. Die prozentuale Abweichung der wirklichen Last von der Nennlast einer der parallellaufenden Transformatoren beträgt

$$\Delta P_n = \frac{P_n - P_n^*}{P_n^*} \cdot 100 \% \quad (11)$$

Ist ΔP positiv, so liegt eine Ueberbelastung vor, ist es negativ, so ist Unterbelastung vorhanden.

Weichen die Werte φ_K wenig voneinander ab, bis zu einigen Graden, so können die Werte $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_n = \cos \varphi$ gesetzt werden, und die allgemeine Formel lautet:

$$P_n = \frac{P^*}{\frac{Z_n}{Z_1} + \frac{Z_n}{Z_2} + \dots + \frac{Z_n}{Z_{n-1}} + 1} \quad (12)$$

$$P_1 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_1}{Z_3} + \dots + \frac{Z_1}{Z_n}}$$

Für den Fall zweier Transformatoren wird:

$$P_1 = P^* \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}; \quad P_2 = P^* \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (13)$$

Die Abweichung von der Nennleistung (Gl. 11) ist

$$\Delta P_1 = \frac{P^* \cdot Z_2 - P_1^* (Z_1 + Z_2)}{P_1^* (Z_1 + Z_2)} \cdot 100 \% \quad (14)$$

Setzt man $P^* = P_1^* + P_2^*$, so vereinfacht sich Gl. 14 zu

$$\Delta P_1 = \frac{P_2^* \cdot Z_2 - P_1^* \cdot Z_1}{P_1^* (Z_1 + Z_2)} \cdot 100 \% \quad (15)$$

Aus dieser Formel geht hervor, dass, je kleiner der Absolutwert des Ausdruckes $P_2^* \cdot Z_2 - P_1^* \cdot Z_1$ ist, desto besser wird das Parallelarbeiten der beiden Transformatoren.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Ohmschen Widerstände mit zunehmender Temperatur wachsen; bei Transformatoren kann die Widerstandsänderung bis 25 % betragen. Wird ein kalter Transformator einem warmen zugeschaltet, so kann daher eine grosse Ueberlastung des kalten Transformators auftreten, bis die Betriebstemperatur erreicht ist, trotzdem die Transformatoren in warmem Zustande befriedigend parallel arbeiten.

Ehe die weiteren Bedingungen des einwandfreien Parallelarbeitens von Transformatoren behandelt werden, mögen einige *Beispiele* die Anwendung der gegebenen Formeln zeigen. Es sollen drei Transformatoren 10 000/2000 V, Y/Y, parallel geschaltet werden; einer habe 500 kVA und zwei 1000 kVA Nennleistung. Die Impedanzen wurden absichtlich verschieden gewählt, um die einzelnen Fälle deutlich hervorzuheben. Sie sind in Tabelle I zusammengestellt. Die Werte wurden aus dem Kurzschlussversuch bei warmer Wicklung ermittelt. Wir berechnen nun für das *Beispiel 1* den allgemeinen Fall (Gl. 10). Zunächst ist $\operatorname{tg} \varphi_K$ zu bestimmen. Zu diesem Zweck berechnen wir die Gesamtimpedanz aller Transformatoren mit Hilfe der komplexen Zahlen.

Impedanzen in Ohm der in den Beispielen verwendeten Transformatoren.
(Die Zahlen in Klammern sind die entsprechenden Kurzschlußspannungen in Prozenten.) Tabelle I.

	Transformator 1 500 kVA				Transformator 2 1000 kVA				Transformator 3 1000 kVA			
	Z ₁ Ω	X ₁ Ω	R ₁ Ω	tg φ _{K1}	Z ₂ Ω	X ₂ Ω	R ₂ Ω	tg φ _{K2}	Z ₃ Ω	X ₃ Ω	R ₃ Ω	tg φ _{K3}
Beispiel 1	17,3 (5,00 %)	16,9 (4,87 %)	3,81 (1,10 %)	4,44	9,52 (5,5 %)	9,36 (5,41 %)	1,73 (1,00 %)	5,41	7,79 (4,5 %)	7,60 (4,39 %)	1,73 (1,00 %)	4,39
Beispiel 2	17,3 (5,00 %)	16,9 (4,87 %)	3,81 (1,10 %)	4,44	8,65 (5,00 %)	8,475 (4,90 %)	1,73 (1,00 %)	4,9				
Beispiel 3	17,3 (5,00 %)	16,95 (4,90 %)	3,46 (1,00 %)	4,9	7,79 (4,5 %)	7,64 (4,41 %)	1,56 (0,90 %)	4,9	9,53 (5,50 %)	9,33 (5,39 %)	1,905 (1,10 %)	4,9

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}$$

$$= \frac{1}{R_1 + jX_1} + \frac{1}{R_2 + jX_2} + \frac{1}{R_3 + jX_3}$$

$$= \frac{1}{3,81 + j16,90} + \frac{1}{1,73 + j9,36} + \frac{1}{1,73 + j7,60}$$

$$= \frac{3,81 - j16,90}{300} + \frac{1,73 - j9,36}{91} + \frac{1,73 - j7,60}{60,8} =$$

$$\frac{1}{300} (3,81 - j16,90 + 5,70 - j30,90 + 8,55 - j37,50)$$

$$= \frac{1}{300} (18,06 - j85,30)$$

$$Z = \frac{300 (18,06 + j85,30)}{7556} = 0,716 + j \cdot 3,38 \Omega$$

$$Z = \sqrt{0,716^2 + 3,38^2} = 3,45 \Omega$$

$$\text{tg } \varphi_K = \frac{3,38}{0,716} = 4,72$$

$$\text{tg } \varphi_K = \frac{3,38}{0,716} = 4,72 \quad \varphi_K = 78^\circ 02', \text{ wie}$$

$$\text{tg } \varphi_{K1} = \frac{16,9}{3,81} = 4,44 \quad \varphi_{K1} = 77^\circ 18'$$

$$\text{tg } \varphi_{K2} = \frac{9,36}{1,73} = 5,41 \quad \varphi_{K2} = 79^\circ 31'$$

$$\text{tg } \varphi_{K3} = \frac{7,60}{1,73} = 4,39 \quad \varphi_{K3} = 77^\circ 10'$$

$$\cos \varphi = 0,8 \text{ (Annahme)} \quad \varphi = 36^\circ 51'$$

Unter Berücksichtigung der Winkel-Vorzeichen werden nun nach Gl. (5) die Winkel φ₁, φ₂ und φ₃ berechnet.

$$\varphi_1 = 37^\circ 35' \quad \cos \varphi_1 = 0,79235$$

$$\varphi_2 = 35^\circ 22' \quad \cos \varphi_2 = 0,81531$$

$$\varphi_3 = 37^\circ 43' \quad \cos \varphi_3 = 0,79087$$

Für cos φ = 0,8 ergeben die Einzelbelastungen folgende Werte:

$$P_1 = \frac{P^* \cos \varphi}{\cos \varphi_1 + \frac{Z_1}{Z_2} \cos \varphi_2 + \frac{Z_1}{Z_3} \cos \varphi_3}$$

$$= \frac{2500 \cdot 0,8}{0,79235 + \frac{17,3}{9,52} \cdot 0,81531 + \frac{17,3}{7,79} \cdot 0,79087}$$

$$= \frac{2000}{4,0323} = \underline{496,5 \text{ kVA}}$$

$$P_2 = \frac{P^* \cos \varphi}{\cos \varphi_2 + \frac{Z_2}{Z_1} \cos \varphi_1 + \frac{Z_2}{Z_3} \cos \varphi_3}$$

$$= \frac{2000}{2,2182} = \underline{903 \text{ kVA}}$$

$$P_3 = \frac{P^* \cos \varphi}{\cos \varphi_3 + \frac{Z_3}{Z_1} \cos \varphi_1 + \frac{Z_3}{Z_2} \cos \varphi_2}$$

$$= \frac{2000}{1,81537} = \underline{1102 \text{ kVA}}$$

Die Abweichungen werden:

$$\Delta P_1 = \frac{-3,5 \cdot 100}{500} = -0,7 \%$$

$$\Delta P_2 = \frac{-97 \cdot 100}{1000} = -9,7 \%$$

$$\Delta P_3 = \frac{+102 \cdot 100}{1000} = +10,2 \%$$

Lässt man die einzelnen Phasenverschiebungen unberücksichtigt (Gl. 12), so werden:

$$P_1 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_1}{Z_3}} = 498 \text{ kVA};$$

Abweichung = -0,4 %

$$P_2 = \frac{P^*}{\frac{Z_2}{Z_1} + 1 + \frac{Z_2}{Z_3}} = 902 \text{ kVA};$$

Abweichung = -9,8 %

$$P_3 = \frac{P^*}{\frac{Z_3}{Z_1} + \frac{Z_3}{Z_2} + 1} = 1102 \text{ kVA};$$

Abweichung = +10,2 %

Der Vergleich der Resultate zeigt, dass die Phasenverschiebungen zwischen den einzelnen Strömen und dem Gesamtstrom vernachlässigt werden können.

Im *Beispiel 2* sind nur zwei Transformatoren gegeben, beide mit gleicher Kurzschlußspannung, aber mit verschiedenen Komponenten. Ohne Berücksichtigung der Phasenverschiebungen ergeben sich die Belastungen zu:

$$P_1 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_1}{Z_2}} = \frac{1500}{3} = 500 \text{ kVA}$$

$$P_2 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_2}{Z_1}} = \frac{1500}{1,5} = 1000 \text{ kVA.}$$

Es finden also keine Ueberlastungen statt.

Beispiel 3 behandelt drei Transformatoren mit ähnlichen charakteristischen Dreiecken. Alle Ströme sind mit dem Gesamtstrom in Phase. Die Rechnung ergibt folgende Ueberlastungen:

$$P_1 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_1}{Z_3}} = \frac{2500}{5,04} = 496 \text{ kVA;}$$

Abweichung
= - 0,8 %

$$P_2 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_2}{Z_1} + \frac{Z_2}{Z_3}} = \frac{2500}{2,266} = 1102 \text{ kVA;}$$

Abweichung
= + 10,2 %

$$P_3 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_3}{Z_1} + \frac{Z_3}{Z_2}} = \frac{2500}{2,775} = 901 \text{ kVA;}$$

Abweichung
= - 9,9 %

Schaltet man den Transformator 1 (500 kVA) mit Transformator 2 (1000 kVA) parallel, so ergibt sich die folgende Lastverteilung:

$$P_1 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_1}{Z_2}} = \frac{1500}{3,225} = 465 \text{ kVA;}$$

Abweichung = - 7,0 %

$$P_2 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_2}{Z_1}} = \frac{1500}{1,45} = 1035 \text{ kVA;}$$

Abweichung = + 3,5 %

Schaltet man den Transformator 1 (500 kVA) mit dem Transformator 3 (1000 kVA) parallel, so wird:

$$P_1 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_1}{Z_3}} = \frac{1500}{2,82} = 533 \text{ kVA;}$$

Abweichung = + 6,6 %

$$P_3 = \frac{P^*}{1 + \frac{Z_3}{Z_1}} = \frac{1500}{1,551} = 967 \text{ kVA;}$$

Abweichung = - 3,3 %

Es geht daraus hervor, dass bei Parallelschaltung zweier Transformatoren ungleicher Nennleistung der kleinere Transformator gefährdet ist, wenn er die kleinere Kurzschlußspannung hat als der grössere; wenn die Kurzschlußspannungen nicht gleich sein können, so soll der kleinere Transformator wenn möglich die grössere Kurzschlußspannung haben.

Das Kapitel der Transformatorenschaltungen (*dritte Bedingung*) ist sehr umfangreich; es sei hier nur auf folgendes hingewiesen:

Für den Parallelbetrieb von Drehstromtransformatoren muss der *Drehsinn* unter allen Umständen der gleiche sein, sonst treten unmögliche Zustände auf. Er kann mit einem Drehfeldrichtungsanzeiger bestimmt werden; es kann hiezu auch eine Phasenlampe oder ein Voltmeter benützt werden. Sind z. B. zwei Transformatoren überspannungsseitig an die Sammelschienen angeschlossen, so muss die Spannung zwischen den zu verbindenden Klemmen der Unterspannungsseite stets Null sein. Ist dies nicht der Fall, so müssen die Phasen so lange vertauscht werden, bis der gewünschte Zustand eingetreten ist. Oft genügt es nicht, die Phasen nur auf der Sekundärseite zu vertauschen; es muss das gleiche auch auf der Primärseite gemacht werden. Wenn durch das Vertauschen der Phasen keine richtige Parallelschaltung erfolgen kann, so ist der Transformator nicht richtig geschaltet, d. h. die Lage der sekundären Spannungsvektoren stimmt nicht überein. Am deutlichsten kommt dies bei Einphasentransformatoren zur Geltung. Die beiden Wicklungen können ungleichen Wicklungssinn haben. Schaltet man einen Transformator mit gleichem Wicklungssinn mit einem solchen ungleichen Wicklungssinnes parallel, so tritt Kurzschluss auf. Beim Vertauschen irgendeiner Wicklung, d. h. irgend zweier Klemmen, erhält man einwandfreien Betrieb. Parallel zu schaltende Drehstromtransformatoren müssen der gleichen Schaltgruppe³⁾ angehören, d. h. die Lage der Spannungsvektoren muss übereinstimmen. Folgende Schaltungen können beispielsweise gute Parallelschaltungen ergeben:

- A. Δ/∇ mit \wedge/\wedge oder mit Δ/\sphericalangle
 B. Δ/∇ mit \wedge/\sphericalangle oder mit Δ/\sphericalangle

Transformatoren der Schaltgruppe A können mit Transformatoren der Schaltgruppe B nicht parallel geschaltet werden, weil die Phasenlage der Spannungsvektoren der miteinander zu verbindenden Klemmen nicht übereinstimmt. In solchen Fällen muss durch Aendern der inneren Verbindungen die Schaltung geändert werden, was jedoch nicht immer möglich ist.

Ueber die *vierte Bedingung* wurde das nötige bereits gesagt.

³⁾ Bull. SEV 1931, Nr. 10, S. 240, Fig. 1.

Die Studienkommission für Schweizerische Energiewirtschaft (SSE).

Von Prof. Dr. W. Wyssling, Wädenswil.

621.311 (06) (494)

Ueber diese neugeschaffene Kommission ist bisher nichts voll Orientierendes veröffentlicht worden und wohl auch in weiteren Kreisen wenig bekannt. Ihre Arbeit und ihre Ziele gehen aber die ganze schweizerische Elektrizitätsindustrie und besonders die Elektrizitätswerke in hohem Masse an. Es dürfte daher der Aufgabe des Bulletin entsprechen, wenn im Nachstehenden versucht wird, in den Hauptsachen vorzubringen, weshalb und was in dieser Kommission gearbeitet werden soll.

Gewiss dürfen wir mit Genugtuung auf die Entwicklung und den tatsächlich in jeder Beziehung sehr hohen Stand der Energieversorgung durch Hydroelektrizität in der Schweiz blicken. Trotzdem wird, wie genugsam bekannt, an unserer Elektrizitätswirtschaft und unserer Wasserkraftausnutzung in der Öffentlichkeit immer wieder Kritik geübt. Einerseits wird das Vorgehen für den sukzessiven Ausbau der Wasserkräfte im ganzen angegriffen, andererseits für die stärkere Energieerzeugung aus Brennstoff geschrieben; es wird dabei Richtiges wie Unhaltbares behauptet; spezielle Verhältnisse in Einzelfällen verallgemeinert man und kommt so zu falschen Schlüssen. Selbst noch so zutreffende Richtigstellungen werden von der Öffentlichkeit nicht genügend erfasst und bringen vor allem denjenigen Kreisen, die wirtschaftlich die führende Entscheidung zu treffen haben, Behörden und Geldgebern, kaum die wünschbare Klarheit. Solches kann nur eine positive, neutrale und wissenschaftliche Zusammenarbeit der sachverständigen Techniker und Wirtschaftler bringen.

Die gegenwärtige Krisis hat dem bisherigen Tempo im Ausbau der Energieversorgungsanlagen einen kräftigen Dämpfer aufgesetzt. Wir haben nun Zeit, aber auch Anlass, zu weit ausgreifenden, vom nationalen Standpunkt geleiteten Studien über unsere Energieversorgung, über den weiteren Ausbau unserer Wasserkräfte wie auch über die wirtschaftlich richtige Verwendung der Brennstoffe. Dass wir ohne die letzteren auch in der Schweiz nicht auskommen, ist allbekannt, und dass wir uns in der Zukunft auch genau überlegen sollten, in welche neuen Wasserkraftbauten wir jeweils zuerst wieder Kapitalien stecken wollen, dürfte bei allen Elektrizitätswirtschaftskundigen feststehen.

Im März 1931 hat im Anschluss an einen von ihm in grosser Diskussionsversammlung gehaltenen Vortrag¹⁾ Prof. Dr. B. Bauer, der Nachfolger des Schreibenden an der ETH, die Anregung gemacht, eine Organisation zur wissenschaftlich-neutralen Klärung der Fragen der gesamten schweizerischen Energieversorgung zu schaffen. Zunächst war eine selbständige Kommission mit eigener Mitgliedschaft und Finanzierung dafür vorgesehen, bei der auch die ETH als solche mitzumachen bereit gewesen wäre. Nachdem indessen Direktor F. Ringwald in einer Sitzung des «Schweizerischen Nationalkomitees der Weltkraftkonferenz» (weiterhin kurz «NC» genannt) darauf aufmerksam machte, dass alle Interessentenkreise für eine solche Kommission bereits in diesem ständigen Komitee vereinigt seien (darunter auch der SEV, der VSE und der SWV) und dieses für die internationalen Studien ohnehin auch die Feststellung der jeweiligen schweizerischen Verhältnisse in allen Einzelfragen zu besorgen habe, beschloss das NC (22. Februar 1932) im Einverständnis mit dem provisorischen Initiativkomitee, diese «Studienkommission für Schweizerische Energiewirtschaft» (weiterhin kurz: «SSE») als eine seiner verschiedenen Arbeits-(Studien-)Kommissionen zu bilden und dafür, entsprechend seinen Statuten, ein Regulativ aufzustellen. Darin ist als Zweck und Aufgabe der SSE im allgemeinen genannt:

«die Zusammenarbeit von Interessenten zur Förderung der rationellen Verwendung der Wasserkräfte und der Brennstoffe für die allgemeine Energieversorgung der Schweiz», diese verstanden ganz allgemein unter Anwendung aller in Betracht kommenden Mittel und für jeglichen Verwendungszweck der Energie, und zwar «unter Berücksichtigung der nationalen und volkswirtschaftlichen Gesichtspunkte».

¹⁾ Siehe die auszugsweise Wiedergabe im Bull. SEV 1931, Nr. 12, S. 299.

Diese sehr grosse Aufgabe könnte selbstverständlich in sehr verschiedener Art durchgeführt werden. Unklarheit über die Ausführungsart mag wohl der Hauptgrund gewesen sein, weshalb die Initiative zu dieser Arbeit und die Schaffung dieser Kommission in einzelnen Kreisen Missverständnissen und einer gewissen Skepsis begegneten. Es handelt sich aber um Studien, die nach rein technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten neutral durch sachverständige Ingenieure in Zusammenarbeit ausgeführt werden sollen und bei denen man sich ohne weitläufige theoretische Spekulationen zunächst auf das praktisch Wichtige beschränken und alles dafür bereits Vorhandene benützen wird.

Eine volle, zuverlässige Abklärung dieser Dinge wird nicht nur wohltätig wirken, sie ist heute *nötig*. Wohl sind schon bisher viele Publikationen erschienen, die diese Probleme behandelten, doch meist einseitig, oft von besonderen Interessen geleitet, oft durch Unkenntnis oder Halbwissen getrübt. So sind viele Vorurteile und unrichtige Anschauungen über wirtschaftliche Verwendbarkeit, Wert und Kosten der einen oder andern Energieform entstanden und unrichtige Vorstellungen über die grössere oder geringere nationalwirtschaftliche Bedeutung des einen oder andern mitspielenden Faktors verbreitet worden, nicht nur bei den Laien als Konsumenten, sondern auch bei Behörden, die weittragende Entscheidungen zu treffen haben. Selbst in technischen Kreisen trifft man tatsächlich oft noch nicht genügendes Wissen und damit falsche Anschauungen über «das andere Lager». Hierdurch wie infolge einseitiger Einstellung auf Sonderinteressen werden dann schon in Einzelfällen Entscheide getroffen, die manchmal nicht einmal dem «beratenen» Konsumenten nützen, nicht selten aber der Volkswirtschaft, dem Ganzen, schaden. Aber auch in grossen Fragen, die durch die Tagespresse in die öffentliche Meinung dringen, entsteht Verwirrung durch die bisher gebräuchliche, einseitige Behandlung dieser Dinge. Wir dürfen es uns aber heute weniger denn je gestatten, für schwerwiegende Fehlschlüsse unsere allgemeine Volkswirtschaft aufkommen zu lassen. Es ist Pflicht der Sachverständigen, der Ingenieure jedes Gebiets der Energiebeschaffung, gegenüber dem Lande, das auf sie sieht und auf sie vertrauensvoll soll hören können, als «ehrliche Makler» unter Hintansetzung von Sonderinteressen zusammenzuarbeiten, um die wahren Verhältnisse zu ermitteln und Richtlinien aufzustellen.

Man hat etwa den Einwurf gehört, diese Studien seien in der Schweiz nicht nötig; das einfache Prinzip sei: «Alles mit Wasserkraften leisten, solange noch solche zur Verfügung stehen». Das ist aber eben doch nur innert der Grenzen der Möglichkeit und Wirtschaftlichkeit richtig, und diese gilt es, festzusetzen.

Selbstverständlich muss das nationale Gut der Wasserenergie möglichst voll ausgenutzt werden. Aber jeder weiss auch heute, dass die Schweiz eben auch mitsamt allen physikalisch denkbaren Fortschritten nicht ihren ganzen Energiebedarf befriedigen kann ohne eingeführte Brennstoffe. (Man braucht ja nur an die Winterheizung zu denken.) Schon diese Tatsache muss den schweizerischen Energiewirtschaftler heute zwingen, auch zu studieren, für welche Zwecke und in welcher Form wir in der Schweiz diese Brennstoffe am vorteilhaftesten verwenden; das Ergebnis beeinflusst unsere ganze Wirtschaft.

Den Schwierigkeiten, welche die *jahrzeitliche Veränderlichkeit unserer Wasserkräfte* für die Energieversorgung verursacht, sind wir bisher in der Schweiz innerhalb der Wasserkräfte selbst durch die Ergänzung von Laufwerken mit Jahresspeicherwerken Herr geworden. Aber wir wissen auch, dass die Möglichkeiten für grosse wirtschaftliche Speicherwerke beschränkt sind und dass auf alle Fälle diese Lösung Kapitalinvestitionen erfordert, die sich dann auch lohnen müssen. Demgegenüber haben in letzter Zeit die kalorischen Grosskraftwerke enorme technische Fortschritte gemacht, so dass deren Erbauer heute angeben, dass unsere Winterergänzungenergie unter Umständen billiger mittels solcher erzeugt werden könnte. Steht man im «Wasserkraftlager» diesen vorläufig meist einseitigen Aufstellungen noch skept-

tisch gegenüber, so wird man doch nicht unterlassen dürfen, Vergleiche solcher grosser zentraler Anlagen mit neuesten Anordnungen gegenüber Wasserspeicherwerken, unter sorgfältiger Zugrundelegung der wirklich eintretenden Betriebsverhältnisse, gemeinsam und neutral vorzunehmen, wobei selbstverständlich Veränderlichkeit der Preise und der Auslandsbezug der Brennstoffe in die Betrachtungen einzubeziehen sind.

Weiter ist zum Beispiel jedem Elektrizitätswerkleiter der Umstand bekannt, dass bei grösseren Verbrauchern immer wieder die Benützung *moderner thermischer Motoren* anstelle elektrischer in Erwägung gezogen wird und genaueste Untersuchung der Energiebeschaffung nötig macht. Solche Fälle sind oft noch besonders kompliziert, z. B. durch erheblichen Wärmebedarf, vielleicht in Dampfform.

Und endlich kennen wir alle genugsam den «Krieg» zwischen *Gasküche und elektrischer Küche*, bei dem neben den Preisfragen auch die Umstände grossen Einfluss haben, dass einerseits Städte bedeutende Kapitalien in Gaswerken liegen haben und weiter investieren, die sich verzinsen sollen, und dass andererseits die Gaswerke durch die Verkokung der Kohle und Nebenproduktzeugung eine bessere Verwertung der eingeführten Kohle erzielen und so eine volkswirtschaftlich ebenfalls wichtige Stellung beanspruchen.

Der schweizerische Energiewirtschaftler kann also weder für das einzelne Elektrizitätswerk, noch für die Wirtschaft des ganzen Landes darauf verzichten, sich mit den Möglichkeiten der Energieerzeugung aus Brennstoff zu befassen; es muss für manche Fälle das günstigste *Zusammenwirken* der hydraulischen und der thermischen Energiequellen gesucht werden. Gewiss sind für die beispielsweise erwähnten Punkte, wie auch für andere energiewirtschaftliche Probleme, schon ausserordentlich viele Studien auch bei uns gemacht und vieles ist geklärt worden. Allein gerade die an sich wohl gründlichsten Untersuchungen, solche der grösseren unserer Elektrizitätsunternehmen, stellten jeweilen auf die Verhältnisse der betreffenden Unternehmung ab, schafften Abklärung für diese; die Einwirkung der verschiedenen denkbaren Lösungsarten solcher Fälle und ihrer Gesamtheit auf das Ganze bleibt noch zu untersuchen.

Auch wenn wir die *hydraulische Energieerzeugung* für sich betrachten, müssen für den *Ausbau in Zukunft* grössere Gebiete, ganze Landesgegenden ins Auge gefasst werden, ja das Land als ein Ganzes. Es genügt dazu nicht, dass die Netze der Grosswerke des ganzen Landes «elektrisch verbunden» sind und dass schon viele für sich allein unwirtschaftlich gewordene kleine Werke und Unternehmungen von grossen aufgesogen wurden, sondern es müssen für den weiteren Ausbau der Wasserkräfte gemeinsame Ueberlegungen zwischen den grossen Unternehmungen stattfinden, gemeinsame Untersuchungen, die über das Einzelgebiet hinausgreifen auf die ganze Schweiz und so geeignet sind, zukünftige grosse Kapitalinvestitionen für neue Wasserkraftwerke an den richtigen Ort zu lenken.

Studien allgemeiner Art, wie grundsätzlich hierfür zu verfahren ist, kann man jederzeit machen. Es können die verschiedenen Möglichkeiten für den Ausbau neuer Laufwerke und Speicherwerke, die allfällige Verwendung grosser thermischer Winterergänzungswerke wie die allfällige Einfuhr von im Ausland thermisch erzeugter elektrischer Energie, womöglich im Austausch mit im Sommer ausgeführter hydro-elektrischer Energie, rechnerisch und kritisch abgewogen werden. Die Ergebnisse solcher Studien werden die Richtlinien für die volkswirtschaftlich richtige weitere Entwicklung unserer Energieversorgung geben, wenn sie «uninteressiert», neutral, wissenschaftlich durchgeführt werden. Gerade dies wird die SSE leisten können; sie wird ebenso die andern oben erwähnten Fragen der rationellsten Energiebeschaffung für die verschiedenen Fälle abklären und die Bedeutung der einen oder andern Lösungsart für das ganze Land feststellen. Allgemein und vielfach werden sich die Untersuchungen der Kommission daher besonders auf diejenigen Gebiete der Energieversorgung erstrecken müssen, in denen die verschiedenen Energieerzeugungsmittel in Konkurrenz stehen.

Die Konsumenten haben diese Konkurrenz bisher auf einzelnen dieser Gebiete als eine Verbilligung betrachtet und

als solche gerne gesehen. Einfache Ueberlegung zeigt aber, dass hier volkswirtschaftlich nicht dieser Fall einer Verbilligung durch Konkurrenz vorliegt. Denn es handelt sich dabei unter Umständen darum, dass die Konsumenten die Auslagen für eine Kapitalinvestition für mehrere Energiequellen zu tragen haben, von denen nur eine ausgenützt wird; dies schädigt auch die Volkswirtschaft. Während der bis vor kurzem anhaltenden Konjunktur widmete man diesen Dingen vielleicht weniger Aufmerksamkeit; heute ist es auch bei uns an der Zeit, vorsichtig zu werden und keinen unnötigen Kapitalaufwand zu betreiben. Dazu müssen die wirtschaftlichen Grenzen abgesteckt werden, bis zu welchen, unter Berücksichtigung der jeweiligen Sonderverhältnisse, die eine oder andere Energiequelle angezeigt ist. Das wird auch zu einer sorgfältigen Ausnützung unserer Wasserkräfte führen, vielleicht auch zu neuartigen Verwendungen derselben.

Die *Notwendigkeit solcher Arbeiten*, wie sie die SSE vornehmen wird, erhellt aus dem Vorstehenden ohne weiteres. Ihre enorme *volkswirtschaftliche Bedeutung* dürfte darnach auch keiner längeren Erörterung mehr bedürfen.

Gegen die Ausführung von Studien dieser Art durch eine Kommission hat man auch etwa den Einwand gehört, diese Arbeiten seien, soweit sie nicht die einzelnen Unternehmungen betreffen und besser von diesen selbst auszuführen seien, für den allgemeinen schweizerischen Standpunkt Sache der *eidgenössischen Aemter* für die Elektrizitätswirtschaft (kurz: «EEA») und für die Wasserwirtschaft (kurz: «EWA»); ihre Durchführung durch die SSE sei demgegenüber unnütze Doppelarbeit. Das ist nun durchaus nicht der Fall. Die Tätigkeit der beiden Aemter erstreckt sich im allgemeinen auf die Sammlung des Materials, das für einen Teil dieser Studien als Grundlage vorhanden sein muss. Diese Arbeiten werden bekanntlich vom EWA seit vielen Jahren betrieben und bilden eine umfangreiche und wertvolle Basis; das erst seit kurzem wirkende EEA hat durch die freiwillige Zusammenarbeit der Elektrizitätswerke mit dem Amt ebenfalls bereits Ergebnisse in sehr zweckmässiger Form gewonnen. Allein zur Durchführung der beschriebenen Studien gehören weitere Erhebungen, die viel leichter von den Elektrizitätswerken selbst gemacht werden oder meist schon gemacht sind und der Kommission zur Verfügung stehen sollen, z. B. die Einzeluntersuchungen über oben erwähnte grössere Energieabnehmer mit besonderen Verhältnissen, deren Verwertung in ihrer Gesamtheit für das Ganze von erheblicher Bedeutung ist; ebenso die Studien grösserer Unternehmungen über erweiterte Energiebeschaffung für deren Gebiet und ihre Betriebsverhältnisse. Solche Dinge liegen nicht im Aufgabenkreis dieser Aemter. Untersuchungen wie die über die Konkurrenz zwischen Gas und Elektrizität im Haushalt werden vom EEA direkt abgelehnt. Ueberdies hat man ja von anderer Seite als Bedenken gegen die Kommissionsstudien — zwar ganz unbedingter Weise — vorgebracht, es möchte dadurch etwa eine nicht erwünschte Bevormundung der Werke durch die eidgenössischen Aemter eingeleitet, ja die staatliche Betriebsorganisation der Wasser- und Elektrizitätswirtschaft vorbereitet werden wollen. Das braucht wohl niemand zu befürchten. Weder die Gesetze noch die erhaltenen Instruktionen der eidgenössischen Aemter geben diesen eine solche Tendenz, und der Schreiber dieser Zeilen glaubt auch nicht, dass infolge oder trotz gegenwärtiger politischer Bewegung die Schweiz tatsächlich das Experiment einer weiteren Verstaatlichung, an der Elektrizitätsversorgung, wo gar keine Ursache dafür vorliegt, machen werde. Es kann sich also nur um eine äusserst wertvolle Unterstützung und Mitarbeit der eidgenössischen Aemter für die Kommission handeln. Dagegen wird die umschriebene Aufgabe gerade dadurch in unabhängiger Weise gelöst werden können, dass sie durch diese Kommission, d. h. durch ein Gemeinschaftsorgan aller Interessenten in deren freiwilligem Zusammenwirken bearbeitet wird.

Eine Befürchtung scheint auch aufgekommen zu sein, wohl durch Missverständnisse, dass bei einer solchen «gemischten» Kommission die Studien leicht durch die Interessenten thermischer Energieerzeugung zu stark beeinflusst werden und für die hydraulische Versorgung zu ungünstig wegkommen könnten. Nun sichert aber die Zusammensetzung

zung der Kommission, die weiterhin angegeben wird, eine durchaus sachliche Führung der Arbeit. Ingenieuren, die eine wissenschaftliche, neutrale Untersuchung übernehmen, dürfte von den Kollegen im Berufe das Vertrauen entgegengebracht werden, dass sie die Arbeit als ehrliche Techniker durchführen; insbesondere dürfte Misstrauen gegenüber den von hydroelektrischer Seite mitarbeitenden Persönlichkeiten im Hinblick auf ihre bisherige Wirksamkeit nicht angebracht sein. Im übrigen haben, nach langjährigen Erfahrungen des Schreibenden, unsere Elektrizitätswerke, die (auch nach der Anerkennung des Auslandes) vielfach geradezu mustergültig geleitet sind und tatsächlich in volkswirtschaftlichem Sinne gewirkt haben, auch von eingehendsten Untersuchungen auf die Wahrheit nichts zu befürchten; eine sachverständige Untersuchung kann ihnen niemals Schaden bringen; sie kann aber mit Bezug auf die grossen Wasserkraftfragen wie mit Bezug auf das Anwendungsgebiet der hydraulischen und der thermischen Primärenergie die wünschbare Befriedigung bringen. Die Ergebnisse sollen nicht propagandamässig verwertet werden, und es ist daher auch die Befürchtung, dass der «Streit um die Konsumenten» dadurch neu angefacht werde, grundlos. Die von den Interessenten zusammen festgestellten Schlussergebnisse werden von selbst zur Einschränkung auf das jeweils wirtschaftlich zustehende Gebiet führen. Denn die auf wissenschaftlicher Höhe stehenden Ergebnisse werden durch ihre Publikation vor allem als Abklärung bei den entscheidenden Instanzen dienen.

Man möge dem Autor verzeihen, wenn er auf Grund eigener Erfahrungen mit einer grossen, heute schon fast vergessenen ähnlichen Aktion mehr Zuversicht für das Gelingen der Aufgabe, für die Möglichkeit neutraler Führung und Einigung in den Ergebnissen, hat, als gelegentliche Zweifler. Zu Anfang dieses Jahrhunderts bis ungefähr 1915 wurde die Elektrifizierung der schweizerischen Hauptbahnen studiert. Was unserer heutigen Generation kaum mehr begreiflich ist: Es war wirklich ein harter Kampf, geführt von den Befürwortern der Verwendung unserer Wasserkräfte anstelle der ausländischen Kohle, von denen der Entwicklung des elektrischen Betriebs zuversichtliches Vertrauen entgegengebracht wurde, gegen diejenigen, die anfänglich z. B. die Möglichkeit des Ersatzes der Dampflokomotiven durch elektrische Triebkraft geradezu verlachten. Dr. Tissot, derselbe Mann, der heute an der Spitze des NC steht, der der SSE als seiner Arbeitskommission diese neue Aufgabe überbunden hat, brachte damals in der aus den Kreisen des Dampf- wie des elektrischen Betriebs zusammengesetzten «Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb» die «feindlichen Brüder» zur Gemeinschaftsarbeit zusammen. Der Schreibende hatte dann die Ehre, die tatsächliche Leitung der Arbeiten jener Kommission übertragen zu erhalten. Die Arbeit gelang, die Techniker beider Seiten lernten die gegenseitigen Bedürfnisse und Möglichkeiten kennen; man kam zu gemeinsam aufgestellten Erstellungsprojekten, Kostenanschlägen und Betriebsrechnungen, zu allseitig anerkannten Schlussberichten und Anträgen an den Verwaltungsrat der Schweizerischen Bundesbahnen. Wohl brauchte es dazu viel Geduld und Ausdauer. Die Aufgabe, welche die SSE übernommen hat, ist aber nicht so umfangreich und nicht schwieriger als jene war; so dürfen wir auch des Erfolgs der neuen Kommission sicher sein.

Wir glauben, dass die *Organisation*, wie sie vom NC durch das Regulatoriv der SSE gegeben worden ist, die erfolgreiche Durchführung sichern wird in Verbindung mit den vorgesehenen Arbeitsmethoden. Die SSE ist gemäss den Statuten des NC von diesem als eine seiner «Arbeitskommissionen» bestellt. Die Berichte der SSE gehen zunächst an das NC, dessen Vorsitzender Dr. Tissot (Präsident der «Schweizerischen Elektrizitäts- und Verkehrsgesellschaft» in Basel) ist. Dem NC gehören als Mitglieder u. a. an:

Der SEV (Vertreter Dir. Payot, Basel), der VSE (Dir. Ringwald), der SWV (Prof. Meyer-Peter), der Schweizerische Energiekonsumentenverband (Dr. Steiner), das EWA (Ing. Kuntzen), das EEA (Dir. Lusser), die Eidgenössische Technische Hochschule (Prof. Quiby), die Ecole d'ingénieurs, Lausanne (Prof. Stucky), der Schweizerische Verein von Gas- und Wasserfachmännern (Dir. Thoma), der Verband Schweizerischer Gaswerke (Dir. Escher), der Verband Schweizerischer Maschineningenieure (Dir. Cochand); dazu eine Reihe der grossen industriellen und finanziellen Unternehmungen der Elektro- und Maschinenindustrie, ferner als Einzelmitglieder unter

anderen die SEV-Mitglieder Dr. Huber-Stockar, Prof. Landry, Prof. Dr. Bauer und Prof. Dr. Wyssling.

Die SSE wurde vom NC bestellt aus:

einem Vorsitzenden (Prof. Dr. Bauer, ETH), ferner aus Sachverständigen für hydroelektrische Energieerzeugung: Dir. Trüb, Zürich; Dir. Berner, Val de Travers (auf Vorschlag des VSE); für Elektrizitätswirtschaft und -abgabe: Dir. Ringwald und Dr. Steiner; für thermo-elektrische Energieerzeugung: Dir. Meier (BBC) und Dir. Cochand (Gebr. Sulzer); für Gaswirtschaft: Dir. Tobler, Vevey, und Dir. Grimm, St. Gallen; für Wärmeerzeugung mittels Brennstoff, einschliesslich Raumheizung: Prof. Schläpfer, ETH, und Fabrikant C. Jenny, Ziegelbrücke; dazu als weiteres Mitglied Prof. Dr. Wyssling.

Die vom NC bestimmte *Aufgabe der SSE* ist im allgemeinen schon oben angegeben.

Das *detaillierte Arbeitsprogramm*, von der SSE dem NC vorgelegt, fand dessen Genehmigung, mit der Bestimmung, dass damit nicht eine starre und endgültige Umschreibung gegeben sein soll. Es sollen darnach zunächst folgende Einzelprobleme in Angriff genommen werden:

Unter Leitung einer *ersten Subkommission* (Vorsitz: Bauer; Mitglieder: Cochand, Meyer, Steiner, Wyssling) *die Fragen der Erzeugung elektrischer Energie auf kalorisiertem Wege in ihrer Einordnung in die schweizerische Energiewirtschaft, d. h. in die für das Land wichtigste hydroelektrische Versorgung*. Zur Lösung dieser Frage werden namentlich zwei Hauptpunkte, getrennt, aber gleichzeitig behandelt:

Der erste betrifft: *Die Selbsterzeugung von Energie aus Brennstoffen beim Energieverbraucher und die Einbeziehung solcher bestehender Anlagen in die allgemeine schweizerische Energieversorgung*;

der zweite: *Die Bedeutung der thermoelektrischen Grosskrafterzeugung im Inland und die des Imports thermoelektrischer Energie aus dem Ausland für die allgemeine schweizerische Versorgung*.

Zur Erläuterung des *ersten Punkts* diene:

Wohl fast jeder Leiter eines Elektrizitätswerks kennt sattsam jene Fälle, in denen bedeutendere Industrielle oder Wiederverkäuferwerke eigene Wasserkräfte oder eigene thermische Anlagen besitzen oder vergrössern oder neu einrichten wollen neben dem Bezug hydroelektrischer Energie vom Grosswerk. Sie werden von den Elektrizitätswerken meist eingehend rechnerisch untersucht. Man wäre vielleicht geneigt, in ihnen kein Interesse für die Allgemeinheit zu finden; dies wäre aber unrichtig. In ihrer Totalität haben sie für die gesamte schweizerische Energiewirtschaft erhebliche Bedeutung. Man denke z. B. nur an die namhaften Ergänzungs-Energieleistungen zur Zeit von Wasserklemmen bei solchen Abnehmern, oder an die Belieferung solcher Abnehmer, die sehr grossen Wärmebedarf haben. Die SSE will hier typische Fälle solcher industrieller Betriebe und Wiederverkäuferwerke untersuchen, mit Bezug auf die verschiedenen möglichen Betriebsarten. Hand in Hand damit soll eine statistische Aufstellung über die vorhandenen Abnehmerbetriebe dieser Art (Fabriken und Sekundärwerke) und ihres Bedarfs an den verschiedenen Endenergieformen gehen. Aus dem Zusammenhalt der daraus gewonnenen Gesamtzahlen mit den Untersuchungsergebnissen der typischen Fälle werden alsdann Schlussfolgerungen über den Einfluss der verschiedenen Lösungsarten auf die Energiewirtschaft des ganzen Landes gezogen.

Der *zweite Punkt* betrifft die Art des weiteren Ausbaus unserer, in der Hauptsache selbstverständlich hydroelektrischen, gesamtschweizerischen Energieversorgung, das Studium der Heranziehung von zentralen thermischen Grosskraftanlagen als Reserven und der Energieeinfuhr für den Winter, alles im Sinne der Erzielung einer im Winter nicht erniedrigten Produktionsmöglichkeit der Gesamtheit unserer Erzeugerwerke. Es ist gewiss nützlich, mit Sorgfalt die guten Richtlinien für die Zukunft zu suchen und die bisherige Wasserkraft- und Energiepolitik zu überprüfen, die gelegentlich von rein fiskalischen Überlegungen einzelner Kantone und Städte nicht ganz unbeeinflusst blieb. Es muss z. B. untersucht werden, ob und wie gegenüber tatsächlich möglichen grossen Wasserspeicherwerken zentrale, thermische Ergänzungswerke wirklich im Vorteil seien und ob gegebenenfalls solche kalorische Anlagen nicht wirtschaftlicher für grössere Konsumgebiete gemeinsam errichtet würden, anstatt dass

wie bisher z. B. einzelne Werke Dieselanlagen aufstellen. Das muss in neutraler Weise und nicht allgemein theoretisch, sondern an Hand wirklicher Verhältnisse geschehen; es sind dabei ausser den Betriebskostenergebnissen unter heutigen Verhältnissen auch die Einflüsse möglicher Preisänderungen, namentlich der Brennstoffe, zu betrachten, sowie die Verteilung der nötigen Gelder auf Inland und Ausland. So fasst die Kommission diese ihre Aufgabe auf.

Die Lösung muss zwei weitere Punkte berücksichtigen: Man darf bei den Wasserkraften der Schweiz nicht nur auf «normale Wasserjahre» abstellen, sondern muss alle diese Untersuchungen auch für vorkommende sehr wasserarme Jahre durchführen; ferner muss auch die Zukunft, die zeitliche Entwicklung des Bedarfs bei dieser Aufgabe in Betracht gezogen werden. Vor allem darf und wird man nicht etwa auf die heutigen Krisenzeitverhältnisse abstellen; das wäre sehr kurzsichtig. Man wird mit einem, sich nach gewisser Zeit vermutlich wieder einstellenden, normalen «Anfangsbedarf» rechnen. Von diesem aus wird, wenn überhaupt unsere ganze Kultur weiterbestehen soll, nachher der Prozess der immer weitergreifenden Anwendung der Energie der Naturkräfte wieder fortschreiten, so dass auch für erreichbare «Zukunftsverhältnisse» Ergebnisse festzustellen sind. Von der Kommission ist vorgesehen, diese Untersuchung für diejenigen Verhältnisse durchzuführen, die bei Ausnützung aller grösseren, heute als ausbauwürdig anzusprechenden schweizerischen Wasserkraften eingetreten sein werden, also gewissermassen für einen heute absehbaren «Endzustand». Für die Lösung dieser zweiten Hauptaufgabe sind, immer im Sinne vorstehend genannter Punkte, folgende *Teilarbeiten* vorgesehen:

Erstens die statistische Erfassung der hydroelektrischen Produktionsmöglichkeiten der Schweiz, einmal für die heute bestehenden oder zum Bau beschlossenen Kraftwerksanlagen und sodann für die Gesamtheit aller ausbauwürdigen Anlagen;

zweitens die Ermittlung des mutmasslichen Energiebedarfs für die verschiedenen Verwendungen und in den verschiedenen wasserwirtschaftlich in Betracht kommenden Kategorien und zwar einmal für die Gegenwart und sodann für jene Zeit des vollen Ausbaus unserer Wasserkraften. Für den Zukunftsfall ist der Bedarf an Energie verschiedener Provenienz festzustellen einmal für den Fall der Ergänzung der schweizerischen Laufwerke durch hydraulische Speicherwerke, eventuell unter Bezug zeitweisen Imports gegen Export, das andere Mal für den Fall der Ergänzung der Wasserkraftwerke durch thermische Grosskraftwerke.

Als *Schlussfolgerungen* werden dann die Richtlinien für den weiteren Ausbau der Energiequellen des Landes entstehen, für deren Durchführung man jeweilige Vereinbarungen zwischen den Grossunternehmungen und zwischen den Kantonen in Aussicht nehmen kann.

Der grosse Umfang dieser Aufgabe lässt sie vielleicht als schwer lösbar erscheinen. Sie wird aber dadurch enorm erleichtert, dass sehr viele gut verwertbare Vorarbeiten bestehen. Darunter seien z. B. die Untersuchungen und Statistiken des EWA über die jetzige und zukünftige Produktionsfähigkeit unserer Wasserkraften genannt. Für die Bedarfe kann von der neuen, regelmässigen Statistik des EEA und des VSE ausgegangen werden; die Statistiken des SEV und des VSE geben viele Vervollständigungen, usw.

Einer *zweiten Subkommission* (Vorsitz Jenny, Mitglieder Bauer, Berner, Trüb, Tobler und Grimm) fällt die Leitung einer gleichzeitig zu beginnenden, jedoch ganz für sich zu behandelnden Hauptaufgabe zu: «*Die Rolle der Elektrizitätswerke und der Gaswerke in der Energieversorgung*». Damit soll der oben skizzierte und bekannte Wettstreit zwischen Gas- und Elektrizitätswerken beleuchtet und abgeklärt werden, einerseits vom Standpunkt des Energieverbrauchers, andererseits von demjenigen des Energielieferanten aus (also im allgemeinen von Städten, die heute vielfach für beiderlei Versorgung Kapitalien investiert haben), besonders aber mit Bezug auf die volkswirtschaftliche Bedeutung der beiden Lieferungsarten für das ganze Land.

Die überlegende Zusammenfassung der Ergebnisse wird namentlich Richtlinien für die Gemeindeverwaltungen er-

geben und die wirtschaftliche Abgrenzung der Verwendungsgebiete der beiden Energiequellen bestimmen helfen.

Die Arbeiten einer *dritten Subkommission* mit der Studienaufgabe «*Die Wärmeerzeugung unter Verwendung von Kohle, Gas oder Elektrizität*» beziehen sich mehr auf industrielle Verwendungen (Vorsitz Bauer, Mitglieder Ringwald, Schläpfer, Meyer, Grimm) und sollen erst nach Feststellung gewisser Ergebnisse der zweiten Subkommission beginnen.

Für die *Arbeitsmethoden der Kommission* ist etwa folgendes vorgesehen:

Die *Subkommissionen* beraten und bestimmen die *Teilprogramme* für die erforderlichen Einzelarbeiten. Die gemeinsame Beratung der Sachverständigen der verschiedenen Energieproduktionsmittel in jeder Subkommission wird bewirken: Als Verständigung unter Technikern die Beseitigung von Missverständnissen und einseitigen Urteilen, die Erzielung gegenseitiger Einsicht. Die Subkommissionen haben aber die Aufgabe nicht selbst auszuführen, sondern nur die Arbeit eines besonderen *Bearbeiters* durch die Teilprogramme zu leiten; etappenweise Vorlage des Gewonnenen wird dabei die Beibehaltung der Richtung sichern. Die Teilnahme des Vorsitzenden der Gesamtkommission an allen Subkommissionssitzungen sorgt für den richtigen Zusammenhang und die Vermeidung von mehrfacher Bearbeitung.

Die für wesentliche Teile der Arbeiten vorliegenden, z. T. umfangreichen *Grundlagen* (bei den Aemtern, den beteiligten Verbänden und Firmen und bei grösseren Elektrizitätswerken) werden teilweise den neuen Untersuchungsgrundlagen anzupassen sein, was soweit möglich unter *Mitarbeit der seinerzeitigen Ersteller dieser Grundlagen* geschehen soll. Das EWA und das EEA haben die Zurverfügungstellung ihres Materials und ihre Mithilfe zugesichert. Die Bearbeitung bestimmter, von der Subkommission jeweils genau umschriebener Untersuchungen und Berechnungen, die besondere Kenntnis der betreffenden Produktionsmittel erfordern, ist durch die vertretenen *Fabrikationsfirmen* von Dieselmotor- und von Dampfturbinen-Anlagen ebenfalls unentgeltlich zugesagt, ebenso das Analoge durch die *Gaswerke*. Der *Verband der Energiekonsumenten* hat die Bearbeitung der oben erwähnten Statistik der Verbraucher besonderer Art ohne Entschädigung übernommen. Das *Generalsekretariat des SEV* und das *Sekretariat des VSE* haben die Verwertung ihres Materials über Betriebsverhältnisse gestattet und ergänzende Hilfsarbeit übernommen, Analoges das *Sekretariat des Vereins Schweizerischer Gas- und Wasserfachmänner*.

Die Kommission wird alle diese Grundlagen und die angebotene Mitarbeit heranziehen und so Doppelarbeit und unnötige Kosten vermeiden.

Ganz besonders muss nun aber dafür gesorgt werden, dass das vorliegende Material und alle notwendigen weiteren Untersuchungen einwandfrei neutral wissenschaftlich bearbeitet werden und dabei stets in der von der Kommission festgestellten Zielrichtung verblieben wird. Das würde, nach vielfachen Erfahrungen, durch blosses Kommissionsberatungen oder Zusammenstellung von Teilberichten niemals erreicht werden. Dazu ist jeweils für die ganze Aufgabe einer Subkommission ein mit der Materie vertrauter, von der Kommission sorgfältig ausgewählter, nur von *dieser* abhängiger ständiger *Bearbeiter* nötig. Dieser muss, damit die Arbeit genügend rasch gefördert wird, sich ihr ganz widmen. Das alles kann nur mit einem bezahlten Mitarbeiter erreicht werden. Der Bearbeiter hat alle aufgeführten Arbeiten auszuführen nach der Anleitung der Subkommission und in ständiger Fühlung mit dem Vorsitzenden oder einem beauftragten Mitglied der Subkommission sowie dem Vorsitzenden der Gesamtkommission; er verkehrt schrittweise mit allen Mitarbeitenden oder Grundlagen liefernden Verbänden, Firmen, Werken usw. und führt die Aufgabe bis und mit der Zusammenstellung der Ergebnisse und den Schlussfolgerungen durch, für welche der Subkommission die Genehmigung zusteht.

Aus dem Vorstehenden wird ersichtlich sein, dass auch die *Mitwirkung von einzelnen Elektrizitätswerken* an diesen Arbeiten für deren erfolgreiche Durchführung wie im In-

teresse der Elektrizitätswerke selbst notwendig ist. Für beide Teile wird volles Verständnis und nützliche Auswirkung nur dadurch erzielt werden, dass die Elektrizitätswerke und der Bearbeiter jeweils mündlich miteinander verkehren können. Wir glauben nicht bezweifeln zu sollen, dass auch die einzelnen Elektrizitätswerke gerne in dieser Weise von Anfang an mit Eifer mitwirken werden. Dazu muss schon die Erkenntnis führen, dass erst nachträglich von Seite der Elektrizitätswerke gegenüber den Ergebnissen der Kommission vorgebrachte Kritiken keine gute Wirkung nach aussen haben könnten und dass der Wert der Studien der Kommission sehr verringert würde, wenn etwa die «Gegenseite» die Studien der Kommission ohne Unterstützung der Elektrizitätswerke durchführen würde. Gewiss liegen ja auch in diesen Dingen keine Gründe zur Geheimdiplomatie zwischen den Werken und gegenüber der Kommission vor und es dürften unsere Elektrizitätswerke das Beispiel anderer Länder, wie z. B. von Nordamerika, für eine möglichste Verbreitung der Erfahrungen eines Jeden unter allen zu sorgen, allgemein nur zu ihrem Vorteil befolgen.

Ausser der Beihilfe durch grundlegendes Material und Mitarbeit, die von den Elektrizitätswerken zu erwarten ist, muss selbstverständlich auch deren finanzielle Mithilfe eintreten, die wohl durch den SEV und den VSE zu leisten ist. Es wurde bereits angegeben, dass und wie die Organisation der Kommission auf möglichst geringe Kosten tendiert. Diese werden grösstenteils aus der Bearbeiterbezahlung bestehen; Spesen der Subkommissionen und der Gesamtkommission und allfällige Entschädigungen für Sonderarbeiten

werden daneben nur geringe Auslagen verursachen; sie werden z. T. von den Stellen getragen, denen die Sachverständigen in den Kommissionen angehören. Dem NC, das formell die Finanzierung übernahm, stehen eigene Mittel nicht zur Verfügung. Es hat, wie bei seinen andern Arbeitskommissionen, dafür an seine in der Sache interessierten Mitglieder und an einige Stiftungen appelliert. Bereits hat die «Eidgenössische Stiftung zur Förderung der Volkswirtschaft» die grosse volkswirtschaftliche Bedeutung dieser Arbeit anerkannt, indem sie der Kommission für zwei Jahre je den geforderten, sehr namhaften Betrag bewilligte. Ein analoger Beitrag seitens des «Aluminium-Fonds» ist ebenfalls zugesagt. Beim Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband hat der Schreiber dies einen grösseren Beitrag angeregt. Der Energiekonsumentenverband hat sich ausser für die erwähnte Arbeit auch für einen Geldbeitrag verpflichtet. Auch von der Vereinigung der Gaswerke ist ein erheblicher Betrag zu erwarten. Die interessierten Fabrikationsfirmen, heute ja sehr von der Krisis bedrückt, haben Gratisarbeiten übernommen. Daneben hat der Schweizerische Maschinenindustriellen-Verband einen Geldbeitrag zugesichert. So wird nun wohl auch der SEV und ganz besonders der kräftigere und allermeist interessierte VSE mit erheblicher Subvention nicht zurückstehen; die subventionierenden Stiftungen setzen bei ihren Beschlüssen dies als selbstverständlich voraus.

Gehen wir mit Zuversicht an die Finanzierung und an die Ausführung dieser für uns alle, für das ganze Land so wichtigen Arbeit.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Dimensionierung von Flüssigkeitswiderständen unter Berücksichtigung des Wehnelt-Effektes¹⁾.

621.316.87

Bei Flüssigkeitswiderständen tritt besonders dann, wenn die Elektroden nur wenig in die Flüssigkeit eintauchen, der von dem Wehneltschen Unterbrecher bekannte Effekt ein. Legt man an zwei in eine Flüssigkeit getauchte Elektroden, von denen die eine eine bedeutend grössere benetzte Oberfläche als die andere aufweist, eine Wechselspannung, so fliesst bei kleinen Spannungen ein stetiger Strom ohne besondere Erscheinung durch den Elektrolyten. Bei höheren Spannungen erwärmt sich die Flüssigkeit um die kleine Elektrode mehr und mehr, bis sie zu kochen anfängt. Bei einer weiteren Steigerung tritt unter heftigem Knattern eine periodische Stromunterbrechung auf. Bei noch grösseren Spannungen treten Feuererscheinungen auf, bis schliesslich der Stromübergang von der Elektrode zum Elektrolyten in Form eines Flammenbogens stattfindet. Die Elektrode kann dabei glühend werden und abschmelzen. Diese Stromunterbrechungen vermögen in Verbindung mit den vorhandenen Maschineninduktivitäten gefährliche Ueberspannungen zu erzeugen. Bei Versuchen an einem 6 PS-Drehstrommotor werden Ueberspannungen bis zum vierfachen Wert der Normalspannung festgestellt.

Die Unterbrechungsvorgänge spielen sich nur bei der kleinen Elektrode ab. Der Wehnelt-Effekt entsteht hier durch die grosse Stromkonzentration. Das Wasser wird zum Kochen gebracht. Es entsteht eine Dampfwolke, welche die Elektrode umhüllt und den Strom unterbricht. Das umgebende Wasser kondensiert den Dampf, so dass der Strom neuerdings einsetzt. Die Stromkonzentration macht sich durch ein beträchtliches Spannungsgefälle an der kleinen Elektrode bemerkbar. Nach Fig. 1 ist es möglich, die Konzentration der Leistungsabgabe in der Nähe kleinerer Elektroden zu ermitteln. Wenn R der Radius der grossen kugelförmigen Elektrode, r derjenige der kleinen Elektrode ist, so beträgt die Stromdichte beim Uebergang vom Elektrolyten an die Elektroden $\frac{I}{2\pi R^2}$, resp. $\frac{I}{2\pi r^2}$, wenn I den durch-

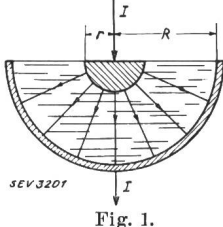


Fig. 1.

SEV 3201

tretenden Strom bedeutet. Bedeutet ρ den spezifischen Widerstand des Elektrolyten in $\Omega \cdot \text{cm}$, so erhält man für die Leistungsangaben: $\rho \cdot \left(\frac{I}{2\pi R^2}\right)^2$ und $\rho \cdot \left(\frac{I}{2\pi r^2}\right)^2$, d. h. die Leistung pro cm^3 Flüssigkeit an den beiden Elektroden verhält sich wie $\frac{1}{R^4} : \frac{1}{r^4}$. Sind die Elektroden nicht kugelförmig, sondern zylindrisch, so verhalten sich die Leistungsmengen in unmittelbarer Nähe der Elektrodenoberflächen wie $\frac{1}{R^2} : \frac{1}{r^2}$. Das Kochen an der kleinen Elektrode tritt daher sehr bald auf, auch wenn die Leistungsaufnahme des Widerstandes im Verhältnis zu seiner Grösse noch klein ist. Wenn das Eintreten des Wehnelt-Effektes durch eine bestimmte Leistungsabgabe in der Nähe der kleinen Elektrode bedingt ist, so muss die Leistungsaufnahme des gesamten Widerstandes bei Beginn des Effektes auch für verschiedene spezifische Widerstände der Flüssigkeit stets die gleiche sein. Das Produkt $U \cdot I$ muss also konstant sein. Ein Experiment mit einer Versuchselektrode von $10 \cdot 10 \cdot 0,5$ mm bestätigte dies. Für diese Elektrode von 2 cm^2 Oberfläche betrug die erforderliche Leistung bis zum Auftreten des Wehnelt-Effektes 2,2 kW.

Daraus geht hervor, dass für einen Widerstand, der für konstante Spannung und eine bestimmte Belastung gebaut ist, die Leitfähigkeit des Elektrolyten nicht beliebig gesteigert werden darf, wenn der Wehnelt-Effekt vermieden werden soll. Die Vergrösserung des Elektrodenabstandes hat keinen Wert, da bei geringer Eintauchtiefe der Elektrode der Widerstand fast ausschliesslich von dem die Elektrodenoberfläche umgebenden Flüssigkeitsquerschnitt bedingt ist.

Um praktische Werte zu erhalten, wurde die zulässige Leitfähigkeit eines Zentimeterwürfels für nicht bewegte Elektrolytflüssigkeit bei 20°C bestimmt. Fig. 2 gilt für den Fall, dass eine Elektrode bereits tief eingetaucht ist und die zweite eben eingetaucht wird. Fig. 3 gilt für den Fall, dass beide Elektroden gleichzeitig in die Flüssigkeit eintauchen. Die Zahlen bei den Kurven geben die Elektrodenform an, mit der die Bestimmung vorgenommen wurde (Fig. 4). Die

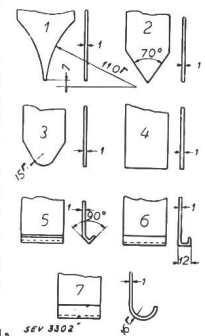


Fig. 2.

SEV 3202

¹⁾ G. Becker, E. u. M., 3. April 1932.