Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 12 (1921)
Heft: 4

Artikel: Zur Vereinheitlichung der Hochspannungen in der Schweiz. I
Autor: Wyssling
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057105

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: 08.08.2025

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

Les constructeurs devront construire les appareils récepteurs de manière à réaliser leurs garanties sous ces tensions et de manière à ce que les appareils puissent fonctionner dans de bonnes conditions sous une tension s'écartant de la normale de plus ou moins 5 %. Les exploitants prendront leurs dispositions pour que les appareils récepteurs aient à fonctionner sous une tension qui ne s'écarte pas (en plus ou en moins) de plus de 5 % des valeurs ci-dessus.

Les tensions normales pour les sources de courant à basse tension (transformateurs, alternateurs) sont en conséquence fixées à

133 – 231 – 400 – 693 V [1])

Les constructeurs devront calculer les alternateurs et transformateurs pour fournir ces tensions à pleine charge.

Les exploitants prendront leurs dispositions pour que la tension aux bornes des sources de courant atteigne ces chiffres au moment de la pleine charge du réseau basse tension, sans les dépasser à d'autres moments.

Fixation d'une 4me basse tension normale.

L'assemblée générale de Lucerne avait renvoyé la décision au sujet de cette question à une date ultérieure. Les points qui demandaient une discussion supplémentaire ont été traités dans le Bulletin No. 8 1920 page 204 et on proposa d'adopter 600 V pour courant continu et 650 V pour courant alternatif.

La tension de 600 Volts proposée pour le courant continu est aussi celle admise par le Département des chemins de fer; personne n'y a fait opposition. Notre proposition d'adopter 650 V environ pour le courant alternatif de préférence aux 750 et 760 V envisagés a été généralement approuvée. Pour maintenir le rapport $\sqrt{3} : 1$ avec la 3me tension normale la 4me basse tension devra être exactement 381 $\sqrt{3}$ soit 660 V. Le Secrétariat propose donc au comité de l'A. S. E. de prendre la résolution suivante:

Proposition.

Pour compléter la série des basses tensions normales, conformément à la décision de l'assemblée générale du 5 juin 1920, nous désignons comme 4me basse tension normale pour les appareils récepteurs (tension qui ne doit être appliquée que dans des cas spéciaux où la troisième basse tension est notoirement insuffisante)

pour courant alternatif 660 V
pour courant continu 600 V.

Zur Vereinheitlichung der Hochspannungen in der Schweiz. I.

(Für das Generalsekretariat bearbeitet von Prof. Dr. *Wyssling.*)[2])

Allgemeines über Hochspannungsnormalien.

Es braucht an dieser Stelle keines besonderen Hinweises mehr darauf, dass der Wert der Einführung einer beschränkten Zahl bestimmter, einheitlich verwendeter Spannungen im Gebiete der Hochspannung in gleicher Weise vorhanden ist, wie bei den Niederspannungen. Wir haben denn auch in unseren ersten Artikeln über

[1]) Voir les explications contenues dans l'article suivant.
Par l'acceptation de ces chiffres on aura créé une base pour le calcul des transformateurs, etc., La normalisation des appareils mêmes demeure une affaire à résoudre par le Comité de l'A. S. E. d'accord avec les constructeurs (voir décision de l'assemblée de Lucerne, Bulletin 1920, No. 5, p. 126).

[2]) Siehe die Notiz unter „Vereinsnachrichten".

die Spannungsvereinheitlichung darauf hingewiesen, [1]) dass nur die Rücksicht auf die praktische Durchführbarkeit veranlasste, die Vereinheitlichung in der Schweiz zunächst bei der Niederspannung durchzuführen. Nachdem dies letztere heute als erledigt betrachtet werden kann, sollte auch die inzwischen intern vorbereitete Normalisierung der Hochspannungen nunmehr rasch gefördert werden können.

Es handelt sich dabei lediglich um *Normalien für Wechselstrom-Hochspannungen,* vor allem und vorzüglicherweise für *Drehstrom* und für *50 Perioden per Sekunde.* Doch dürften für *einphasigen Wechselstrom* und für *Zweiphasenstrom,* soweit diese noch in allgemeinen Energieverteilungen verwendet werden, dieselben Spannungen brauchbar sein, soweit eben mit diesen abnormalen Systemen eine Anpassung an Normen überhaupt möglich ist. Für den *Einphasen-Bahnstrom* von $15 \div 16^2/_3$ Per./Sek. würden diese hier zu bestimmenden Normen zunächst nicht gelten. Für *Gleichstrom-*Hochspannungen besteht z. Z., soweit es nicht für Bahnen bereits geregelt ist, wohl kein Bedürfnis weiterer Spannungsnormalisierung.

Von der Vereinheitlichung der Wechselstrom-Hochspannungen sind vor allem für *Transformatoren,* die auf Niederspannung übersetzen (diejenigen der „Ortstransformatorenstationen"), einfachere und rationellere Herstellungsmöglichkeiten für den Fabrikanten und entsprechend billigere Preise für die Elektrizitätswerke zu erhoffen; dieselbe Wirkung wird namentlich auch für die *Apparatur* eintreten, die um so vorteilhafter fabriziert werden kann, je *weniger Spannungswerte* normal verwendet werden. Auch für die direkt an diese Hochspannungen anzuschliessenden *Hochspannungsmotoren* sind dieselben Vorteile zu erwarten.

Was vorstehend für die (relativ) *„mässigen" Hochspannungen,* wie sie an den *Generatoren* und in den Verteilungsnetzen als *Zwischenspannungen* vorkommen, gesagt ist, gilt bezüglich Verbilligung der Teile, insbesondere der Apparate und auch der Isolatoren, in noch höherem Masse für die *„Höchst"-Spannungen,* wie sie durch Auftransformierung in den Kraftwerken entstehen, bei den *Fernübertragungen* und als *Oberspannung der Unterwerke* zur Anwendung kommen. Für das praktische Bedürfnis der Hochspannungsnormalisierung handelt es sich in der Tat um die genannten *zwei Gruppen von Hochspannungen,* die verschiedenen Charakter haben.

Zunächst ist zu überlegen, ob *zwischen diesen Gruppen* unter sich und *mit den Niederspannungen* ein *bestimmter Zusammenhang,* insbesondere ob eine ununterbrochene sogenannte „Spannungsreihe" für zwei oder alle Gruppen erforderlich sei. Einzelne der erschienenen Abhandlungen und Vorschläge nehmen die Notwendigkeit einer durchgehenden Spannungsreihe ohne Untersuchung an. Die Erkenntnis, dass die Vorteile der Normalisierung um so wirksamer hervortreten, je geringer die Zahl der normalen Werte ist, muss aber logischerweise sofort zum Bestreben führen, an Stelle vieler Glieder einer zusammenhängenden Reihe nur einzelne Werte bezw. nur so viele Glieder der Reihe, als notwendig sind, als Norm anzunehmen.

In der Tat gibt es verschiedene technische und wirtschaftliche Umstände, welche *für jede der genannten drei Gruppen von Spannungen obere und untere Grenzen der Werte festlegen:*

Die *Niederspannungen* sind nach oben begrenzt durch die Möglichkeiten der Herstellung der Stromverbraucher und einigermassen durch die physische Gefahr für den Menschen, nach unten durch die Wirtschaftlichkeit; diese Umstände führten bei uns zur Eingrenzung zwischen 110 bezw. 125 Volt und 600 bezw. 660 Volt.

Bei der Gruppe der *„mässigen" Hochspannungen* ist für die obere Grenze massgebend, dass für diese Spannung als Oberspannung und die normalen Niederspannungen als Unterspannung auch noch relativ *kleine Ortstransformatoren* (bis auf einige oder vielleicht bis auf 1 kW Leistung hinunter) sicher und ohne erhebliche Verteuerung müssen erstellt werden können; ferner, dass wenigstens ganz grosse Fabrikmotoren für direkten Anschluss an diese Hochspannungen gut und sicher hergestellt werden können. Mit Rücksicht auf die möglichst direkte Speisung

[1]) Bulletin 1919, Seite 27 und 30 oben.

der Gebiete in der Nähe der Kraftwerke, womöglich in derselben Spannung wie sie sonst von den Unterwerken ausgeht, sollten diese Spannungen auch nur so hoch gehen, dass sie noch direkt durch die grösseren Kraftwerksgeneratoren erzeugt, die letzteren dafür betriebssicher gebaut werden können. Auch einzubauende Spannungsregler sollten noch direkt mit diesen Spannungen gespeist werden können. Namentlich aber dürfen sich auch die Zubehörden zu den kleinen Transformatoranlagen und den Motoren dieser Spannung, vor allem die Schalter, noch nicht allzu hoch im Preise stellen. Endlich sollen Verteilleitungen in diesen Spannungen als Freileitungen noch eine Bauart zulassen, welche für die Hereinführung in Ortschaften geeignet ist, und es müssen unterirdische Kabel für diese Spannungen technisch sicher und relativ billig erstellbar sein. Aus allen diesen Gründen sind in unseren Anlagen bisher diese *„mässigen" Hochspannungen* etwa in den Grenzen von *2000 bis 16000 Volt* verwendet worden. Die genannte obere Grenze dürfte auch heute noch gültig sein, namentlich mit Rücksicht auf die Verwendung als Generatorenspannung und auf die Kosten der Apparate für kleinere Anschlüsse. Dagegen steht wohl unbestritten fest, dass für Wechselstrom die untere Grenze dafür in Zukunft höher als 2000 Volt gehalten werden kann und dass zwischen der höchsten Niederspannung und der niedrigsten Hochspannung eine grössere Lücke zulässig und zweckmässig ist. Die zusammenhängende *Verbindung durch eine lückenlose Reihe zwischen Niederspannung und mässiger Hochspannung ist daher nicht nötig,* wie wir schon in früheren Artikeln über Niederspannungsvereinheitlichung allgemein erörtert haben (Bulletin 1919, No. 4, Seite 72) und als unbestritten festlegen konnten nach den Ergebnissen einer besonderen Befragung der Mitglieder des V. S. E.

Die dritte Spannungsgruppe, diejenige der *„Höchstspannungen"* ist bekanntlich entstanden aus der Notwendigkeit, aus wirtschaftlichen Gründen höhere Fernübertragungsspannungen verwenden zu können, als sie direkt in Generatoren erzeugbar sind. Eine untere Grenze dieser Spannungsgruppe ergibt sich daher zweifellos aus wirtschaftlicher Erwägung: Kann man mit der Generatorspannung direkt bis auf eine gewisse Spannung gehen, so entsteht durch Auftransformierung zunächst eine Verteuerung, welche erst bei grösserer Spannungserhöhung durch die Ersparnis an Leitungskupfer wieder wettgemacht wird. Zwischen der höchsten der „mässigen" Hochspannungen und der niedrigsten „Höchstspannung" entsteht daher durch die Rücksichten auf die Wirtschaftlichkeit von selbst ebenfalls eine grössere Lücke.

Zu Beginn der Aera der Auftransformierungsanlagen lag die niedrigste so erhaltene Spannung allerdings noch relativ tief (z. B. Engelberg-Luzern) bei 25000 Volt. Dieser Wert fand zunächst eine ziemlich starke Verbreitung; heute schon besteht aber gerade in den ausgedehntesten Werken, welche ihn benützen, die Tendenz zur Beseitigung dieser Spannung zu Gunsten einer höheren. *Auch von den „mässigen" zu den „höchsten" Hochspannungen ist somit nicht unbedingt ein Reihenzusammenhang erforderlich.*

Eine obere Grenze der Höchstspannungen liefern nur die Möglichkeiten der Technik. Haben wir heute bei uns 25 bis 60 kV in Verwendung und Anlagen für bis 135 kV im Projekt, so handelt es sich in anderen Ländern bekanntlich noch um wesentlich höhere Spannungen. In diesem Bereiche gehen nun die Kosten, namentlich der Apparatur, z. T. aber auch der Freileitungskonstruktionen, für die verschiedenen in Frage kommenden Spannungswerte sehr auseinander. Hierzu kommt, dass für die *niedrigeren* unter diesen Hochspannungen noch *Kabel* ausführbar sind, während das für die allerhöchsten noch nicht oder nicht wirtschaftlich der Fall ist.

Würden noch gar keine Anlagen bestehen, würde kein Kapital in bestimmten Hochspannungen investiert sein, so könnte man als die *ideale Lösung der Hochspannungsnormalisierung* wohl folgende denken:

a) Es wird *ein einziger Normalwert der mässigen Hochspannungen für Wechselstrom* eingeführt, welcher den vorerwähnten Bedingungen (Generatorspannung, Primärspannung der Ortstransformatoren, Grossmotorspannung) entspricht;

b) für die *Gruppe der Höchstspannungen* werden *einige Werte* oder eine kleine Reihe von solchen als Normalwerte bestimmt.

c) Soweit man in einer Gruppe zu zwei oder mehr Werten, d. h. einer Reihe kommt, so wird man mit Rücksicht auf die Schaltungsmöglichkeit, namentlich der Drehstromtransformatoren im Dreieck oder Stern, zwischen den Gliedern der Reihe das *Verhältnis* $1 : \sqrt{3}$ festsetzen.

Es ist nun aber vor allem zu untersuchen, *ob die umfangreichen vorhandenen Anlagen, die grosse Kapitalinvestition in diesen* und die Kosten der allfälligen Umänderungen auf andere Spannungen *diese ideale Lösung zulassen.* Dazu ist in erster Linie festzustellen, welches unsere bestehenden Verhältnisse sind.

Die in der Schweiz bisher verwendeten Hochspannungen, ihre Häufigkeit und Bedeutung.

Das Generalsekretariat des S. E. V. hat jüngst eine Sonderstatistik über das gegenwärtige Vorkommen der verschiedenen Hochspannungen in der Schweiz aufgestellt. Es bietet keine Schwierigkeiten, die vorkommenden Hochspannungen, sowie die Zahl ihres Vorkommens nach Unternehmungen oder Werken festzustellen. Eine derartige Zusammenstellung gibt jedoch kein Bild über das Mass der Wichtigkeit, welches (besonders in wirtschaftlicher Beziehung) die einzelnen Spannungen heute bei uns besitzen. Um hierüber eine Vorstellung zu gewinnen, muss zunächst der *Masstab* für die Bedeutung des Vorkommens der einzelnen Spannungen gefunden werden. Ein genaues Mass würde die Summe der Anlagekosten sein, welche jeweilen die sämtlichen in einer bestimmten Spannung bestehenden Anlagen verursacht hatten. Eine derartige Feststellung der in den einzelnen Spannungen investierten Kapitalien war jedoch nicht möglich. Die für eine bestimmte Spannung eingerichteten Anlagen setzen sich nun zusammen aus den Leitungen, den Transformatoren mit zugehöriger Apparatur; für die „mässigen" Hochspannungen kommen noch die Generatoren dazu. Diese Teile sind grösstenteils Eigentum der Elektrizitätswerke. Ferner kämen in einzelnen Fällen noch die Hochspannungsmotoren hinzu, die meistens Eigentum der Konsumenten sind. Sie machen aber nur einen ganz kleinen Teil der Gesamtkosten aus. Mit Ausnahme dieses letzteren Teils stehen alle diese Anlageteile in einer gewissen Proportion zueinander. Mit den Leistungen der Transformatoren einer gewissen Spannung wächst auch diejenige der Generatoren gleicher Spannung, und zu Leitungsnetzen grösserer Ausdehnung gehören auch entsprechend grössere Transformatorenleistungen. Man wird daher ein ziemlich richtiges Bild über die verhältnismässige wirtschaftliche Bedeutung der verschiedenen Spannungen erhalten durch die Betrachtung des Vorkommens *eines* dieser Anlageteile. Man könnte etwa an die Länge der Leitungen als Vergleichsmasstab denken, erkennt aber bald, dass dies ein unsicheres Mass wäre, weil Länge und Kosten der Leitungen von vielen Nebenfaktoren abhängen. Dagegen wird die für einen bestimmten Spannungswert vorhandene *Leistung aller Transformatoren* einen ziemlich zuverlässigen Masstab für die wirtschaftliche Bedeutung des betreffenden Spannungswertes, für die darin liegende Kapitalinvestition sein. Daher wurde *die vorkommende Transformatorenleistung für jede Spannung festgesetzt und zum Masstab der wirtschaftlichen Bedeutung der letzteren genommen.* Diese vorhandenen Transformatorenleistungen bestimmter Spannung lassen sich leicht genau ermitteln. Um die Feststellungen dem heutigen Stande anzupassen, wurde bei einer grösseren Zahl von Elektrizitätswerken, die zusammen 70 % der gesamten Leistung aller schweizerischen Werke umfassen, diese Zahlen für 1919/20 besonders ermittelt, für die übrigen Werke von geringerer Gesamtbedeutung aus der Statistik von 1916 entnommen. (Das Kraftwerk Laufenburg, das wenige eigene Verteilungen in der Schweiz besitzt, ist nicht inbegriffen.)

Bei dieser Aufstellung mussten einige Punkte besonders beachtet werden, damit das Bild sich nicht fälsche: Bei denjenigen Anlagen, in welchen in den Kraft-

werken auftransformiert wird, durften die „Auftransformatoren" mit ihren Leistungen nicht mitgerechnet werden, denn diese dienen derselben verteilten Leistung, die in den „Abtransformatoren" der Unterwerke gezählt wird (oder eventuell, wo ausnahmsweise direkte Abtransformierung auf Niederspannung stattfindet, bei den Ortstransformatorenstationen). Ferner durften diejenigen Transformatoren, die von einer „höchsten" Spannung auf eine Zwischen-Hochspannung transformieren und daher zwei Hochspannungen angehören, selbstverständlich nur bei *einer* gerechnet werden, und zwar bei ihrer *Ober*spannung, da die Bedeutung der angewandten *Unter*spannungen bei den vollständig gezählten Leistungen der (Orts-) Transformatoren von Hochspannung auf Niederspannung in Rechnung fällt. Mit andern Worten: Alle Transformatoren wurden nur unter ihrer primären, der Oberspannung gezählt.

Das *Ergebnis* zeigen die nachstehende *Tabelle I* und in besonders augenfälliger Weise die beiden *Tafeln I und II.* In Tabelle I und Tafel I sind zunächst alle vorkommenden Spannungen, auch wenig voneinander abweichende, *einzeln* aufgeführt mit der Summe der darin vorkommenden Transformatorenleistung.

Es ist sofort ersichtlich, dass diese Einzelspannungen sich um gewisse Mittelwerte mit je geringer prozentualer Abweichung gruppieren. Die einzelnen Spannungen, die zu solchen Mittelwerten gehören, sind meistens aus einer, ursprünglich einheitlich gedachten Spannung durch Betriebsmassnahmen (z. B. sukzessive Erhöhung) entstanden. Es ist klar, dass für die Vereinheitlichung alle zu einem solchen Mittelwert gehörigen Einzelwerte bis zu einem gewissen Masse als *eine* Spannung betrachtet werden können und müssen. Auch bei der Normalisierung müssen gewisse, schon für den Betrieb erforderliche Maximal- und Minimalwerte gegenüber einem Mittelwert als normale zugelassen und festgestellt werden. Den wirklichen Verhältnissen und der Entstehung dieser kleineren Abweichungen entsprechend, sind daher auf der rechten Seite der Tabelle I und auf der Tafel II jeweilen diejenigen Spannungen zu einer Mittelspannung zusammengefasst, welche bis 5 % unter und bis 12,5 % über einer runden Spannungszahl liegen.

Hier sei noch darauf aufmerksam gemacht, dass in den beiden Tafeln als Abszissen-Masstab der Spannungen ein logarithmischer Masstab gewählt wurde. Dadurch kommen die um ein gleiches Vielfaches auseinanderliegenden Spannungen überall in denselben Abstand, so dass z. B. das wichtige Verhältnis $\sqrt{3}$ überall der gleichen (in der Tafel durch eine Strecke eingezeichneten) horizontalen Entfernung entspricht.

Zahlentabelle und Tafeln zeigen nun folgendes Bild:

Die Gruppe der *mässigen Hochspannungen* sondert sich ziemlich deutlich von derjenigen der Hochspannungen ab.

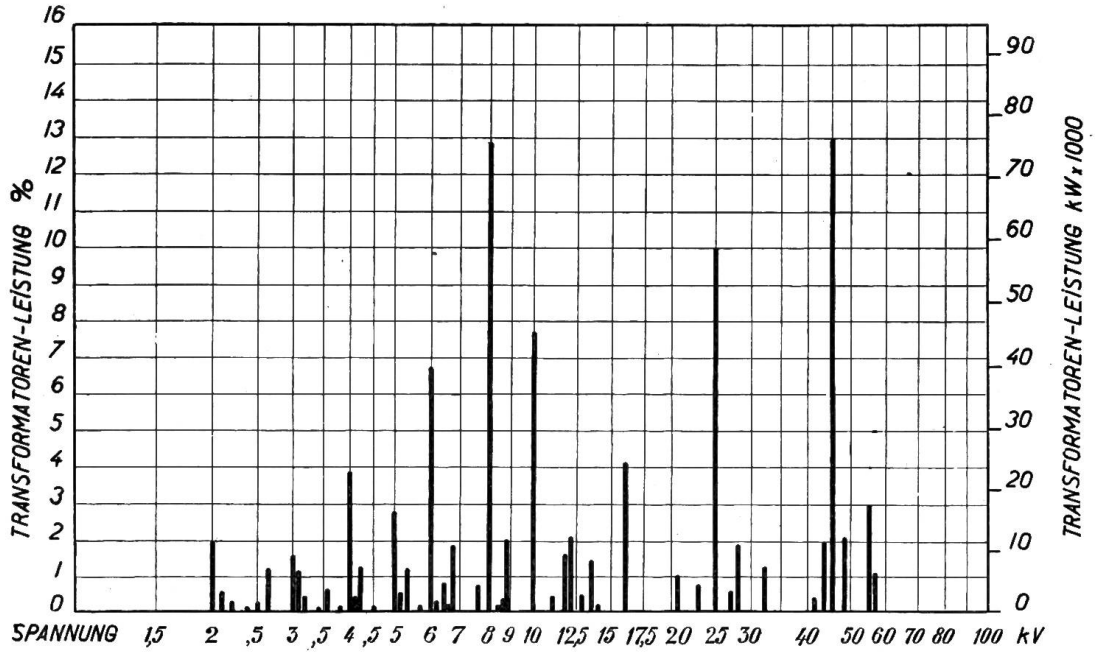
Bei den *mässigen Hochspannungen überwiegt* (wir bezeichnen die Gesamtheit der um einen Mittelwert gruppierten Spannungen nunmehr stets mit ihrem *abgerundeten* ungefähren Werte) *8000 V* mit einer investierten Leistung von nahezu 16 % aller (der mässigen wie der höchsten) Spannungen und nahazu 25% der „mässigen" Spannungen. Daneben kommen 6000 V und 10000 V ziemlich gleichmässig vor, aber nur je halb so viel wie 8000 V, mit je rund 8 %. Von den niedrigeren Werten kommen, von älteren Anlagen her, besonders noch 4000 und 5000 V vor, sind aber z. T. auch dort schon im Abbau begriffen. Auch etwas höhere Spannungen, nämlich 12000 V mit etwa 6 % und 15000 V mit etwa 4 % der Gesamtleistung, finden Verwendung.

Unter den *auftransformierten* oder *„Höchst"-Spannungen* überwiegt die Gruppe *42000 V* mit 15% der Gesamtleistung alle anderen und ca. *43*% aller „auftransformierten" Spannungen bei weitem. Ausserdem ist eigentlich die Gruppe 50 kV, als aus der 40 kV-Gruppe entstanden, noch als zu ihr gehörend zu betrachten, mit ungefähr 6 %. Eine erhebliche Investition zeigt sich dann heute noch für 25 kV. Diese rührt grösstenteils von den ältesten Anlagen mit Auftransformierung her. In denjenigen Werken, welche den grössten Teil der Anlagen dieser Spannung besitzen,

Die in der Schweiz vorkommenden Drehstromhochspannungen.

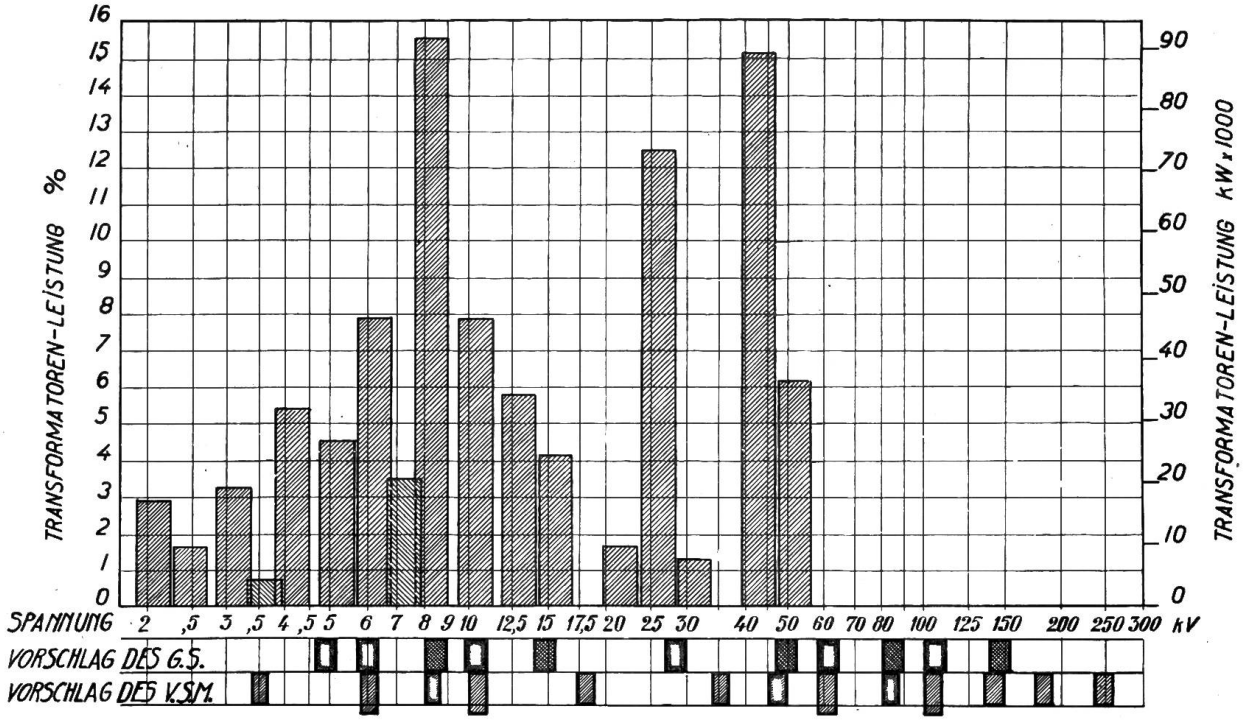
Leistungen der Unterwerks- und Ortstransformatoren geordnet nach ihren Primärspannungen.

Tafel I



Leistungen der Unterwerks- und Ortstransformatoren gruppenweise zusammengefasst (−5 ÷ +12%) geordnet nach Primärspannungen und Vorschläge zur Vereinheitlichung der Hochspannungen.

Tafel II



wurde jedoch später auch die Spannung 40 ÷ 50 kV eingeführt und ist jetzt ein Umbauprozess im Gange, bei welchem die Anlagen mit 25 kV sukzessive in solche von 40 bis 50 kV umgeändert werden. Diese Werke, die zusammen die grösste Investition in 25 kV besitzen, erklärten ausdrücklich, dass diese Spannung bei ihnen nun nach und nach verschwinden werde. Bringt man deren Anteil an dieser Spannung in

Die in der Schweiz (1920) vorkommenden Drehstrom-Hochspannungen und die in ihnen investierte Transformatorenleistung.

Tabelle I

Einzel-spannung	Darin aufgestellte Transformatorenleistung		Spannungs-gruppe	Darin aufgestellte Transformatorenleistung	
Volt	kW	% des Ganzen	Volt	kW	% des Ganzen
1 000	144	0,02	„<2000“	800	0,13
1 100	72	0,01			
1 500	50	0,01			
1 800	25	0,00			
1 900	509	0,09			
2 000	11 240	1,90	„2000“	16 176	2,74
2 100	3 471	0,59			
2 200	1 465	0,25			
2 350	1 071	0,18	„2400“	9 399	1,59
2 500	1 228	0,21			
2 650	7 100	1,20			
3 000	9 039	1,54	„3000“	18 830	3,21
3 100	6 923	1,18			
3 200	2 748	0,47			
3 300	120	0,02			
3 400	464	0,08	„3500“	4 456	0,76
3 600	3 690	0,63			
3 800	302	0,05			
4 000	22 380	3,84	„4000“	32 122	5,50
4 100	1 625	0,28			
4 200	7 347	1,25			
4 400	200	0,03			
4 500	570	0,10			
5 000	17 358	2,79	„5000“	27 385	4,50
5 200	2 927	0,50			
5 300	7 100	1,21			
5 700	500	0,09	„6000“	46 644	7,96
6 000	39 633	6,76			
6 200	1 540	0,26			
6 300	80	0,01			
6 400	4 676	0,80			
6 500	215	0,04			
6 800	10 700	1,83	„7000“	20 355	3,47
7 000	5 800	0,99			
7 200	10	0,00			
7 500	80	0,01			
7 600	3 565	0,61			
7 800	200	0,03			
Uebertrag	176 167	29,86	Uebertrag	176 167	29,86

Die in der Schweiz (1920) vorkommenden Drehstrom-Hochspannungen und die in ihnen investierte Transformatorenleistung. *Tabelle I*

(Fortsetzung.)

Einzelspannung	Darin aufgestellte Transformatorenleistung		Spannungsgruppe	Darin aufgestellte Transformatorenleistung	
Volt	kW	% des Ganzen	Volt	kW	% des Ganzen
Uebertrag	176 167	29,86	Uebertrag	176 167	29,86
8 000	74 876	12,85	„8000“	91 012	15,60
8 400	969	0,16			
8 500	1 700	0,29			
8 600	11 700	2,00			
8 800	1 747	0,30			
9 000	20	0,00			
10 000	44 711	7,65	„10 000“	46 706	7,99
11 000	1 995	0,34			
12 000	8 944	1,53	„12 500“	33 709	5,76
12 400	12 680	2,16			
13 000	2 800	0,48			
13 500	8 606	1,47			
14 000	679	0,12			
15 000	240	0,04	„15 000“	23 893	4,09
15 500	300	0,05			
16 000	23 353	4,00			
21 000	5 250	0,90	„21 000“	9 250	1,58
23 000	4 000	0,68			
25 000	58 980	10,05	„25 000“	73 370	12,51
27 000	2 800	0,48			
28 000	11 590	1,98			
30 000	300	0,05	„30 000“	7 610	1,30
32 000	7 310	1,25			
41 500	1 420	0,24	„42 000“	88 920	15,19
44 000	11 000	1,88			
45 000	76 500	13,07			
48 500	12 000	2,04	„50 000“	36 000	6,12
55 000	17 600	3,00			
56 000	6 400	1,08			
Summen	586 637	100	Summen	586 637	100

Die 1920 investierte Transformatorenleistung ist für die grössten Werke, die zusammen mehr als 70 % der Totalleistung aller Schweizer Werke umfassen, durch Einzelbefragung für 1919 bezw. 1920 festgestellt; für den Rest der Werke wurde sie nach der Statistik von 1916 eingetragen.

Die zur *Auf*transformierung in den Kraftwerken aufgestellten Transformatoren sind nicht mitgezählt, wohl aber die, dieselbe Leistung in den Unterwerken wieder herabsetzenden Transformatoren und sodann die, in den Ortsstationen auf Gebrauchsspannung herabsetzenden Transformatoren.

Jeder Transformator ist aber nur *einmal*, nämlich bei seiner *primären* oder *Ober*spannung gezählt.

Abzug, so reduziert sich die in 25 kV investierte Leistung auf weniger als die Hälfte der angegebenen. Dieser Spannung kommt also wesentlich geringere Bedeutung zu, als nach Tafel II und Tabelle I scheint. Andere Spannungen der Höchstspannungsgruppe sind bisher nur in ganz verschwindendem Masse bei uns verwendet.

Wünschenswerte und mögliche Eigenschaften der Hochspannungsnormalien vom idealen und vom praktischen Standpunkt aus.

Gruppe der mässigen Hochspannungen. Wie schon am Schlusse des allgemeinen Teils angegeben, wäre als *ideal* anzustreben, nur *eine einzige solche Spannung* als normale zu bezeichnen, und am zweckmässigsten diese so hoch zu nehmen, als mit Rücksicht auf die dort angegebenen Anforderungen (besonders der Generatoren wegen) möglich, d. h. also etwa von der Höhe von 15÷16 kV. Dafür sind *Generatoren* wie *Freileitungen* technisch gut und wirtschaftlich ausführbar und solche Anlagen unterscheiden sich bei den heutigen Verhältnissen auch in den Apparaten weder in Ausführung noch Kosten sehr wesentlich von denjenigen mit 8÷10 kV. Aehnliches dürfte heute wohl mit Bezug auf die Verwendung dieser Spannung für *Kabel* gesagt werden. Für eine zweckmässigste, die technischen Möglichkeiten voll ausnützende, ideale Ausführung von Neuanlagen dürften daher wohl 15÷16 kV *als bestes Normal dieser Gruppe* ins Auge gefasst werden. Dies, trotzdem diese Spannung, da wo ganz kleine Transformatorenstationen anzuschliessen sind, vielleicht etwas hoch ist und auch nur für Motoren erheblicher Grösse ganz bequem. Wie die Statistik zeigt, ist auch schon ein gewisser Stamm solcher Anlagen vorhanden, und diese beweisen, dass diese Spannung wirtschaftlich und technisch für unsere Verhältnisse gut anwendbar ist.

Darf man nun aber den grossen Bestand vorhandener Anlagen niedrigerer Spannungen bei Festsetzung dieser Normalien wirklich ganz vernachlässigen? Obwohl diese ideale Anschauung selbst in Kreisen einzelner Elektrizitätswerke vorhanden zu sein scheint [1]), hegen wir doch Zweifel, ob die grosse Mehrheit unserer Werke sich zu solchem Entschluss bereit fände. Man halte sich vor Augen, dass der weitaus überwiegende Teil der bestehenden Anlagen mit *niedrigeren* Spannungen, die aber zum Teil den Bedürfnissen vollauf *genügen,* ausgeführt ist. Für manche Werke würde aus solchem Uebergang, ohne dass er Bedürfnis wäre, ein ganz enormer Aufwand entstehen und es wäre deshalb vielleicht zu befürchten, dass ein solcher radikaler Beschluss auf dem Papier bliebe. Muss man aber riskieren, dass auf alle Fälle ein grosser Teil der Werke bei niedrigerer Spannung bleibt, so ist es wohl besser, *von vornherein noch ein niedrigeres Normal* oder vielleicht mehrere zu schaffen. Dafür spricht ausser der Kostenfrage auch noch der Umstand, dass manche Werke und wohl auch Konstrukteure diese Spannung von 15 kV für gewisse Verhältnisse (z. B. wo sehr viele kleine Transformatoren sowie Motoren geringerer Grösse an die Hochspannung angeschlossen werden sollten) technisch für zu hoch halten.

Sobald man unter den mässigen Hochspannungen mehr als eine als normal einführen will, tritt die Frage des *Verhältnisses der Spannungen* zueinander, des *Spannungsschrittes* auf. Die Konstrukteure postulieren in allen ihren Vorschlägen das Verhältnis $1 : \sqrt{3}$ mit Rücksicht auf die Umschaltbarkeit der Drehstromtransformatoren. (Wir hatten in unseren vorläufigen Vorschlägen die Frage zur Diskussion gestellt, ob nicht gemäss der Idee *Rüdenberg* vielleicht das nahezu gleiche Verhältnis $1 : \sqrt[4]{10}$ einzuführen sei, welches stets wieder die selben Dekadenzahlen [z. B. 11000 und 110000] liefert. Eine Besprechung der Fabrikationsfirmen hat diesen Vorschlag abgelehnt, und gewiss ist richtig, dass das genaue Verhältnis $1 : \sqrt{3}$ eine richtigere Basis für die Fabrikation schafft, während die Aeusserlichkeit der Wiederholung derselben Zahlen keinen so grossen Wert hat. Uebrigens kann letztere, wie wir noch sehen werden, bei einer gewissen Anordnung dennoch erzielt

[1]) Ein Elektrizitätswerk, das bisher ganz andere Spannungen verwendet, schlägt diese Lösung direkt vor.

Vorschläge zur Vereinheitlichung der Hochspannungen (für Wechselstrom bezw. Drehstrom).

Effektive Normalspannungen in Volt.

Tabelle II

Neuer Diskussions-Vorschlag des G. S. des S. E. V. (Min. ÷ Max.)	Vorschläge des N.-B. des V. S. M.			Ausländische Vorschläge von:				
	in 1. Linie A (Reihe I und Nebennormal) (Min. ÷ Max.)	in 2. Linie B („Reihe I") (Min. ÷ Max.)	in 3. Linie C („Reihen I und II") (Min. ÷ Max.	Deutschland Beschluss des V. D. E. („Mittel")	Italien für Isolatoren (Max.)	Comité Electrotechn. Français („Mittel")	British National Committee an C. E. J. (Min. ÷ Max.)	Diskussion im C. E. J. (Min.)
						÷ 1 000 ÷		1500 ÷
	3 400 ÷ 3 700	3 400 ÷ 3700	3 400 ÷ 3 700	(÷ 3000 ÷)	÷ 3 300	÷ 3 000 ÷	3 000 ÷ 3 300	3000 ÷
(4 650 ÷ 5 200)			÷ 5 000	(÷ 5000 ÷)		÷ 5 500 ÷		
(5 700 ÷ 6 400)	5 800 ÷ 6 400	5 800 ÷ 6400	5 800 ÷ 6 400	÷ 6000 ÷	÷ 6 600		6 000 ÷ 6 600	6000 ÷
8 000 ÷ 9 000	(8 000 ÷ 8 700)		8 000 ÷ 8 700					
(9 800 ÷ 11 000)	10 000 ÷ 11 000	10 000 ÷ 11 000	10 000 ÷ 11 000	(÷ 10 000 ÷)		÷ 10 000 ÷	10 000 ÷ 11 000	10 000 ÷
					÷ 13 200	÷ 13 500 ÷		
13 900 ÷ 15 600			÷ 15 000	÷ 15 000 ÷		÷ 15 000 ÷		15 000 ÷
	17 300 ÷ 19 000	17 300 ÷ 19 000	17 300 ÷ 19 000					
					÷ 22 000	÷ 22 000 ÷		20 000 ÷
(26 800 ÷ 30 000)			÷ 26 000	(÷ 25 000 ÷)				
					÷ 33 000	÷ 30 000 ÷	30 000 ÷ 33 000	30 000 ÷
	34 000 ÷ 37 000	34 000 ÷ 37 000	34 000 ÷ 37 000	÷ 35 000 ÷				
46 500 ÷ 52 000	(45 000 ÷ 50 000)		45 000 ÷ 50 000	(÷ 50 000 ÷)	÷ 49 500	÷ 45 000 ÷		45 000 ÷
(58 000 ÷ 65 000)	58 000 ÷ 64 000	58 000 ÷ 64 000	58 000 ÷ 64 000	÷ 60 000 ÷	÷ 66 000	÷ 60 000 ÷	60 000 ÷ 66 000	60 000 ÷
						÷ 75 000 ÷		
80 000 ÷ 90 000	(80 000 ÷ 87 000)		80 000 ÷ 87 000		÷ 88 000	÷ 90 000 ÷		
(100 000 ÷ 112 500)	100 000 ÷ 110 000	100 000 ÷ 110 000	100 000 ÷ 110 000	÷ 100 000 ÷	÷ 110 000		100 000 ÷ 110 000	
						÷ 120 000 ÷		
139 000 ÷ 156 000	135 000 ÷ 150 000		135 000 ÷ 150 000					
							150 000 ÷ 165 000	
	173 000 ÷ 190 000	173 000 ÷ 190 000	173 000 ÷ 190 000					
	235 000 ÷ 260 000		235 000 ÷ 260 000					

Bemerkungen. 1. Wo zwei Zahlen als „Min." und „Max." angegeben sind, geben dieselben die *niedrigsten* bezw. *höchsten normalen vorkommenden Betriebsspannungen* an. Deren Definition ist formell bei den verschiedenen Vorschlägen etwas abweichend.

2. Bei den verschiedenen Vorschlägen zum Teil voneinander abweichend wird je eine dieser Grenzzahlen oder eine abgerundete zwischenliegende Zahl als *„Nennspannung"* zur einfachen Bezeichnung des betr. Normals vorgeschlagen. Da es nicht von wesentlicher Bedeutung ist, wie man das betr. Spannungsintervall *bezeichnen* will, ist die Markierung dieser „Nennspannung" in dieser Zusammenstellung weggelassen.

3. Die eingeklammerten (....) Spannungen sind solche, die nach dem betr. Vorschlage nur für Erweiterungen bestehender Anlagen verwendet werden sollen, sofern der Uebergang auf die nicht eingeklammerten Normalspannungen nicht gut möglich ist.

4. Die in Vierecke eingeschlossenen Zahlen [....] bedeuten nach dem betr. Vorschlage *„bevorzugte* Normalien".

werden.) Zu der „idealen" Spannung von ungefähr *15 kV* passt nun im Verhältnis $1 : \sqrt{3}$ eine nächsttiefere *zwischen 8 und 9 kV,* und dies ist nun gerade die *bisher meistverwendete Spannung,* besonders für Anlagen mit Freileitungen. Die Rücksicht auf das Bestehende wird also sehr gut gewahrt werden mit dem zugehörigen Werte von ca. *8 kV.*

Daneben sind allerdings, wie wir sahen, noch andere niedrigere Spannungen angewandt, insbesondere ungefähr 10 kV, meist für Freileitungsanlagen, und ungefähr 6 kV, meist für städtische Kabelnetze, in denen ganz enorme Werte investiert sind. Gewiss kann man zwar heute Kabelanlagen ebensogut und wirtschaftlich mit 10 oder 15 kV ausführen wie mit 6 oder 8 kV, aber die vollständige Auswechslung ausgedehnter Kabelnetze wäre doch wirtschaftlich im allgemeinen schwer durchführbar. Eine gewisse Berücksichtigung der Spannungen von ca. 6 und ca. 10 kV ist wünschenswert.

Alle vorstehenden Desideraten liessen sich nur dadurch *befriedigen,* dass man *zu der Reihe „8-15 kV" eine zweite von ungefähr „6-10" kV* (die auch wieder das Verhältnis $1 : \sqrt{3}$ repräsentierte), als normal beifügen würde. Das ist gewiss eine unerwünschte Komplikation, denn je weniger Normalspannungen, deste grösser der Fortschritt für die Zukunft. Bei den Fabrikationsfirmen scheint aber das Bedürfnis nach ziemlich vielen Stufen zu bestehen.

Von gewisser Bedeutung mag, wie bereits erwähnt, auch noch die Frage sein, ob im Interesse der direkten Bedienung mittelgrosser Fabrikmotoren mit Hochspannung noch eine solche zwischen 2 und 5 kV als Normale zu bezeichnen nötig wäre.

Gruppe der Höchstspannungen. Wir haben bereits im allgemeinen Teil begründet, dass für diese Gruppe kein reihenmässiger Zusammenhang mit den „mässigen" Hochspannungen notwendig ist und nach den schon dort gemachten Erörterungen wird die niedrigste dieser Hochspannungen aus wirtschaftlichen Gründen zweckmässig so weit von der höchsten der „mässigen" Spannungen entfernt sein, dass mit Umschaltbarkeit Stern/Dreieck nicht mehr zu rechnen ist. Uns scheint hier in erster Linie *eine zwischen 40 und 50 kV liegende Spannung* in Betracht zu kommen, nicht nur, weil sie weitaus die grösste Verbreitung hat, sondern auch technisch und wirtschaftlich besonders zweckmässig ist. Sie erlaubt für die Freileitungen noch die Anwendung der stehenden Isolatoren und nicht allzu grosser Abstände der Drähte, damit eine relativ einfache Bauart der Leitungsträger (Masten usw.). Ferner ist wohl auch Aussicht vorhanden, dass diese Spannung in nicht allzuferner Zeit allgemein für *Kabel* wirtschaftlich Anwendung finden kann. (Die Promotoren der Kabel-Fernleitungen rechnen bereits damit.) Für wesentlich höhere Spannungen kann dagegen diese letztere Aussicht heute wohl noch nicht festgelegt werden und für Freileitungen in solchen muss eine ganz andere Leitungsbauart eintreten. Anderseits beweist schon der bei mehreren Werken im Gang befindliche Abbau der 25 kV-Anlagen und deren Ersetzung durch solche von $40 \div 50$ kV die längst erkannte Tatsache, dass die erstere Spannung heute nicht mehr wirtschaftlich ist, weil die allgemeine bauliche und die Apparaten-Einrichtung bei 25 kV nicht sehr wesentlich billiger sind als bei $40 \div 50$ kV.

Könnte man also vielleicht in dieser Gruppe mit *einer einzigen Normalspannung von $40 \div 50$ kV* auskommen?

Gewiss ist eine *niedrigere* Spannung, wenn man nur die *Neu*anlagen berücksichtigt, technisch und wirtschaftlich nicht notwendig. Ob aber mit Rücksicht auf *Bestehendes* eine $\sqrt{3}$ mal kleinere Spannung, also von ungefähr 25 kV etwa als *Nebennormal,* beizubehalten sei, mag diskutiert werden.

Eine oder mehrere *höhere Spannungen* können dagegen auch bei uns in der Schweiz heute *nicht mehr entbehrt* werden. Die beiden Unternehmungen, welche gegenwärtig schweizerische Sammelnetze ausbilden, haben bereits solche Anlagen im Bau und im Projekt. Die eine baut für 110 kV, die andere bevorzugt etwa

135 kV, zwei Spannungen, die nicht in einer Reihe zusammenpassen. Ob nun wirklich in diesen höchsten Spannungen eine Reihenbildung mit dem Faktor $\sqrt{3}$ noch ebenso notwendig ist, ist vielleicht diskutabel; die Maschinenfabriken wünschen sie. Sicher aber ist, dass *mindestens noch eine Spannung* in der Höhe von *110÷150 kV* auch für uns als Normal notwendig ist, und wenn immer möglich sollte diese, für die Schweiz wohl höchste angewendete Spannung im Interesse des Zusammenschlusses für das ganze Land eine einzige, einheitliche sein. Darüber hinausliegende Spannungen haben wohl für die schweizerische Verteilung und Uebertragung heute keine praktische Bedeutung, da sie solche aber gewinnen können und für das Ausland bereits haben, mag man sich im Interesse unserer Exportindustrie auch bei uns noch über eine solche Spannung in der Gegend von 200÷260 kV einigen.

Die *allgemeinen Hauptfragen,* über die man sich für die Festsetzung der Hochspannungsnormalien bei uns entscheiden muss, werden sein:

Will man dabei mehr nur den *idealen Zukunftszustand* ins Auge fassen und darnach sehr *wenige,* für die betreffende Gruppe *möglichst hohe Spannungen* festsetzen, oder will man sich den bedeutenden *bestehenden Anlagen* mehr anpassen, oder will man noch weiter gehen, indem man auch die Wünsche unserer Fabrikationsindustrie für den *Export* restlos berücksichtigt, also dementsprechend mehr Normalspannungen einführen? Diese Fragen werden am besten anhand der bisher vorliegenden konkreten Vorschläge erörtert werden.

Die bisherigen Vorschläge für Normalwerte der Hochspannungen und ihre Anpassung an die aufgestellten Forderungen.

Die ersten Vorschläge gingen in der Schweiz von den Fabrikationsfirmen aus. Das Generalsekretariat des S. E. V. versuchte zunächst durch Bekanntgabe verschiedener Vorschläge an die meistinteressierten Mitglieder des S. E. V. die Stimmung der letzteren zu ermitteln. In der letzten Zeit hat seitens der Fabrikationsfirmen eine weitere Behandlung der Angelegenheit eingesetzt, die zu neuen Vorschlägen führte. *Das Normalienbureau des Verbandes Schweizer. Maschinenindustrieller (V. S. M.)* als Organ der Fabrikationsfirmen hat nach diesen Beratungen seine ersten Vorschläge etwas abgeändert und erweitert. Wir stellen diese Vorschläge mit den wichtigsten *ausländischen* und *internationalen* auf der *Tabelle II* zusammen mit einem *Vorschlag von uns selbst,* den wir zur Diskussion stellen möchten. (Dessen Zahlen sind gegenüber einem früher einigen Werken mitgeteilten Vorschlag unbedeutend abgeändert). Diese Zusammenstellung dürfte wohl ziemlich alles enthalten, was für diese Normalisierung in der Schweiz in Betracht kommen kann.

Im Wesentlichen und mit gewissen Abweichungen lassen sich in allen Vorschlägen *hauptsächlich zwei verschiedene Reihen von Werten* konstatieren, die sich als geometrische Reihen mit dem Faktor $\sqrt{3}$ oder auch ungefähr $\sqrt[4]{10}$ darstellen. *Abgerundet* lassen sich diese Reihen etwa schreiben wie folgt:

Reihe I: 3300 – 6000 – 10000 – 18000 – 33000 – 60000 – 100000 – 180000
Reihe II: 4800 – 8500 – 15000 – 27000 – 48000 – 85000 – 150000 – 270000

(Wir geben den Reihen dieselben Nummern, wie sie in den Vorschlägen des V. S. M. enthalten sind.)

Die *internationalen* Vorschläge sind noch unabgeklärt. Die in den *vorläufigen Beratungen der C. E. I. in Brüssel 1920* vorgenommene Reihe wollte zunächst nur ungefähre Stufen mit runden Zahlen zur Diskussion stellen. Diese Zahlen lehnen sich, wie man sieht, in den unteren Spannungen an die Reihe I an, während sie in den oberen beide Reihen berücksichtigen. Der Vorschlag des *britischen Komitees der C. E. I.* entspricht (mit Ausnahme der höchsten vorgeschlagenen Spannung) der Reihe I. Dasselbe kann gesagt werden zum Vorschlag *Italiens,* der indessen in den mittleren Hochspannungswerten in keine der beiden Reihen passt. Die Bestimmungen

des *französischen Komitees* enthalten in den wichtigen *oberen* Spannungen so ziemlich die Werte beider Reihen, im übrigen Bereiche nähern sich ihre Werte bald der einen, bald der anderen Reihe. Trotz der relativ grossen Zahl von Werten weist dieser Vorschlag Lücken auf, die für uns empfindlich wären und er scheint uns überhaupt der zweckmässigen Systematik etwas zu entbehren. In *Deutschland* hat der *V. D. E. Normen* bereits angenommen, die ungefähr der Reihe I entsprechen mit Ausnahme der ebenfalls aufgenommenen 15 kV und der als Nebennormal angenommenen 25 und 50 kV, die zur Reihe II gehören.

Sehen wir uns nun die *schweizerischen Vorschläge,* die wohl alles für uns etwa in Betracht kommende enthalten, genauer an.

Bezüglich des *allgemeinen Zusammenhanges* sind wir bereits zum Schlusse gekommen, dass zwischen den „mässigen" Hochspannungen und den nur durch Auftransformierung erreichten „Höchst"-Spannungen kein Zusammenhang der Reihen, keine durchgehende geometrische Reihe zu bestehen brauche und dass zwischen beiden Gruppen überhaupt eine grössere Lücke zulässig ist. Damit stimmen nun die bisherigen Entschliessungen und Vorschläge der Fabrikantenkreise insofern überein, als sie sagen, dass „von der geometrischen Reihe der Normalspannungen an einer Stelle eine Ausnahme gewährt werden" müsse. Der V. S. M. schlägt diese Lücke „zwischen 26 000 und 37 000 V" vor. Uns will scheinen, dass es zweckmässig wäre, diese Lücke grundsätzlich da zu machen, wo man von den direkt in Generatoren erzeugbaren Spannungen zu den durch Auftransformierung erzeugten übergeht, d. h. an der Stelle, an der sich nach unseren früheren Auseinandersetzungen aus wirtschaftlichen Gründen schon natürlicherweise ein grösseres Intervall ergibt, in dem keine normalen Spannungen nötig bezw. zweckmässig sind: also den Sprung etwa zu machen „von 15÷16 kV nach oben".

Dass im übrigen innerhalb jeder Gruppe (der „mässigen" Spannungen und der „Höchst"-Spannungen) zwischen den gleichwertigen Normalzahlen (also z. B. deren *Maximal*werten) das Verhältnis $1 : \sqrt{3}$ herrschen soll mit Rücksicht auf die Fabrikation (namentlich der Transformatoren) und die Möglichkeit des Zusammenschlusses verschiedener Werke, und zwar nach dem Vorschlag des *V. S. M.* bis auf etwa 1 % genau, darf wohl als Regel angenommen werden.

Zufälligerweise gelingt es dabei sowohl bei den Vorschlägen des *V. S. M.* wie denen des *Generalsekretariats,* in der *oberen Gruppe genau auf die zehnfachen Werte der unteren Gruppe* zu kommen, was zwar nicht notwendig, aber immerhin praktisch ist.

Entsprechend unseren allgemeinen Entwicklungen betrachten wir die beiden Gruppen für sich.

Zunächst die *Gruppe der mässigen Spannungen:*

Der *V. S. M.* bevorzugt dafür die *Reihe I.* Sie befriedigt die mit je 8 % der Totalleistung bisher vertretenen Spannungen von rund 6 kV und 10 kV, sie *berücksichtigt* aber *das Gros* der bis jetzt bestehenden Anlagen mit ungefähr *8 kV* nicht. Um dem abzuhelfen, schlägt der *V. S. M.* (heute in *erster* Linie „Vorschlag A") vor, zu der Reihe I (nach den Maxima 3700 – 6400 – 11 000 genannt) die Spannung *„8000 ÷ 8700"* noch beizufügen, aber *nur* zur Benutzung *„für Erweiterung bestehender Anlagen,* sofern der Uebergang auf die (anderen) Normalspannungen nicht gut möglich ist". Da nun ausserdem noch gewisse Spannungswerte, und zwar in diesem Bereiche gerade *6400 und 11000 V,* durch besondere Markierung als *„bevorzugte" Normalien* bezeichnet werden, die meistverbreitete 8000 V dagegen gewissermassen nur als „aussterbendes" Normal, so ist anzunehmen, dass dadurch die Transformatoren und Apparate für 8000 V als solche eines „Normals dritter Güte" gegenüber den andern in der Fabrikation zurückgesetzt und dadurch teurer und schwerer lieferbar würden. Trotzdem blieben vielleicht diese 8000 V weit verbreiteter als die Anlagen mit 6 und 10 kV, weil die grossen mit 8 kV ausgeführten

Werke mit ihren Erweiterungen wahrscheinlich bei uns immer eine grössere Leistung umfassen würden als die bestehenden und die Neuanlagen mit 6 und 10 kV. Wenn das Bureau des *V. S. M.* sagt, dass aus der Anwendung der Reihe *II* (Vorschlag des Generalsekretariats) „keine zweckmässige Normalisierung resultieren werde", so können wir uns der Befürchtung nicht erwehren, dass gerade bei Einführung der Reihe *I* die Normalisierung überhaupt faktisch nie durchgeführt würde, ja die Mehrheit „abnormal" bliebe. Wir können eben nicht recht daran glauben, dass eine ideale Auffassung so grosse Opfer bringen würde, bloss um die bestehenden grossen Anlagen mit 8 kV auf *10* kV umzubauen. Denn der Gewinn wäre dabei unwesentlich. Viel eher denkbar wäre allenfalls ein solcher Umbau der 8 kV-Anlagen, wenn das neue Normal etwa 15 kV wäre, d. h. ein Wert, der ca. $\sqrt{3}$ mal die 8 kV ist und im Vorschlag des Generalsekretariats enthalten ist. Deshalb erscheint es dem Generalsekretariat besser, die 8 kV als wirkliches Hauptnormal einzuführen. Die damit eingeleitete Einführung der Reihe II nach dem Vorschlag des Generalsekretariats trägt dann den weiteren Vorzug in sich, dass diese Reihe eine zwischen 14 und 16 kV liegende Spannung enthält, d. h. die wohl heute und noch für länger als höchste Generatorspannung zu betrachtende Spannung, welcher viel eher die Bedeutung eines Zukunftsnormals für Neuanlagen zukommt. Denn sie nützt die höchste technische Möglichkeit bei den Generatoren aus und hängt durch die Stern-Dreieckschaltung mit den vielen 8 kV-Anlagen zusammen, was bei den 10 oder 11 kV nicht der Fall ist.

In der Reihe I schlägt der *V. S. M.* dann allerdings noch eine Spannung von ca. 19 kV vor. Es scheint uns fraglich, ob dieser Spannung eine praktische Bedeutung zukommt. Die Maschinenfabrikanten geben nicht an, dass sie diese Spannung in Zukunft direkt mit den Generatoren erzeugen wollten. Liegt dies auch nicht ausser dem Bereiche der absoluten Möglichkeit, so dürfte es doch kaum allgemein beabsichtigt und zweckmässig sein. Als „auftransformierte" Spannung hat aber dieser Wert wirtschaftlich kaum Bedeutung, denn er ist gegenüber einer direkten Generatorspannung von 15 ÷ 16 kV zu wenig erhöht. Bessere Belehrung vorbehalten glauben wir daher, es könnte dieses Normal von 18 ÷ 19 kV weggelassen werden. Dagegen sollte man nicht darauf verzichten, die 14 ÷ 16 kV, als noch durch Generatoren erzeugbar, gegenüber den 10 ÷ 11 kV festzusetzen.

In der Gruppe der *mässigen Spannungen* dürfte daher die *Reihe II unsere Bedürfnisse besser berücksichtigen als die Reihe I.* Das Normalienbureau des *V.S.M.* führt zwar an, dass „die Reihe I eine Grosszahl der Interessen der schweizerischen Werke vertrete". Richtig ist nur, dass die Werke mit ungefähr 6 und ungefähr 10 kV dabei ihre Spannung behalten können, aber diese besitzen keineswegs die Mehrheit der Investition, die gegenteils überwiegend bei 8 kV liegt. Das Normalienbureau fügt denn auch bei: „Immerhin wäre bei dieser Lösung in der Schweiz eine bedeutende Minderheit von Werken vorhanden, deren Zusammenschluss, sofern nicht der Umbau auf Normalspannungen erfolgt, vorläufig nicht gefördert würde". Es träfe dies aber nicht nur eine „bedeutende Minderheit", sondern die Mehrheit der Werksleistungen. (Es ist möglich, dass dieser Irrtum daraus entstanden ist, dass eine erste Umfrage bei grösseren Werken scheinbar ergeben hatte, dass sich eine Gesamtheit von Werken mit grösserer Totalleistung für 6 und 10 kV aussprechen würde als für 8 kV. Genauere Untersuchung und Nachfragen ergaben aber, dass hier Missverständnisse vorherrschten. Unsere Aufklärung für die Fragenstellung war offenbar ungenügend, und es sind zur Ermittlung der wahren Mehrheitsanschauungen weitere Besprechungen und Entscheide notwendig.)

Als Hauptgrund für die Einführung der *Reihe I* führt das *V.S.M.* Normalienbureau an: „Die meisten Spannungsstufen dieser Reihe *entsprechen angenähert den im Auslande bereits festgesetzten Normalspannungen.* Die Festsetzung dieser Reihe als Normalreihe würde für die Mitglieder des *V. S. M.* die zweckmässige Lösung ergeben"; dagegen wird von der Reihe II (8 – 15 kV) gesagt, dass „die Spannungswerte dieser Reihe in denjenigen andern Ländern, welche bereits Normalspannungen fest-

gelegt haben, nicht vorhanden seien", so dass „die Fabrikationsfirmen, die ebenfalls auf den *Export* angewiesen sind, bei dieser Festsetzung gezwungen würden, die Einrichtung für die Reihe II fast ausschliesslich mit Rücksicht auf den schweizerischen Markt und daneben für diesen und den Export auch noch die Einrichtungen für die Reihe I herzustellen. Die Annahme der Reihe II allein hätte daher für die Fabrikationsfirmen praktisch dieselbe Bedeutung, wie wenn die Reihe I *und* II zusammen festgelegt würden".

Es ist begreiflich, dass die Fabrikationsfirmen darnach trachten, Normalien zu erhalten, die ihnen auch für den Export dienen können, und es muss unserer Industrie hierin bis zu einem gewissen Masse sicherlich Rechnung getragen werden. Ob es aber angezeigt ist, diese Rücksicht soweit gehen zu lassen, dass gerade die bei den guten Schweizer Kunden *meist vorkommenden* Spannungen, wie *8 kV* (und, wie weiterhin zu zeigen, auch *40 ÷ 50 kV*) vollständig *ignoriert* oder nur als *mit der Zeit verschwindende Nebennormale* behandelt werden, ist denn doch fraglich. Auf diese Weise würde das Ausland die billigen Normalkonstruktionen, die meisten Schweizer Kunden dagegen die teureren Ausnahmekonstruktionen erhalten. Das Normalienbureau des *V. S. M.* hat denn auch die Lösung „*Reihe I allein*" bei seinen neuen Vorschlägen in *zweite Linie* gestellt, und beantragt in *erster Linie, neben den Spannungen der Reihe I noch die 8 kV* zu berücksichtigen, jedoch eben nur in der Form eines später verschwindenden *Nebennormals*. Wir sind nicht sicher, ob die Schweizer Werke sich hiermit begnügen können. Als Ergebnis einer weitern Beratung bringt dann der *V. S. M.* als *Vorschlag in dritter Linie* noch die Festsetzung der *Reihe I und der Reihe II gleichwertig nebeneinander*. Das würde aber doch wohl etwas viele Normalspannungen ergeben. Daher bringen wir vom *Generalsekretariate* aus einen Vorschlag, der uns den Bedürfnissen der Schweizer Werke besser zu entsprechen scheint und auch diejenigen der Fabrikanten befriedigen dürfte: Er stellt die *Reihe II* mit 8 und 15 kV als *Hauptnormal* auf und die für den Export und einige bestehende Schweizer Werke bedeutsamen *6* und *10 kV* als *Nebennormale*. Von der Einführung eines, natürlich auch in dieser Reihe möglichen, tieferen Normals (von ca. 4,5 kV) und eines noch höhern, wie sie der *V. S. M.* mit ca. 3,5 und ca. 18 kV vorschlägt, dürfte vielleicht Umgang genommen werden.

In den

durch Auftransformierung erreichten Höchstspannungen

liegen bei den verschiedenen Vorschlägen ganz analoge Verhältnisse und Begründungen vor wie bei den „mässigen" Hochspannungen. Bei der vom *V. S. M.* auch hier bevorzugten *Reihe I* sind die in der Schweiz *am häufigsten vorkommenden* und bei grossen Werken auch für die Zukunft als durchaus rationell betrachteten Spannungen von *40 bis 50 kV* (mit ihrer guten Eigenschaft bester Ausnützung einfacher Freileitungskonstruktionen und eventuell zukünftiger Verwendbarkeit für Kabel) gänzlich *weggelassen* bezw. im „Vorschlag A" wiederum nur als verschwindendes „*Nebennormal*" behandelt. Wir glauben nicht fehlzugehen, wenn wir annehmen, dass dies der Mehrheit der schweizerischen Werke nicht passen kann. Der Vorschlag, der auch hier *in dritter Linie vom V. S. M.* gemacht wird, *die beiden Reihen nebeneinander* festzusetzen, ist aus bereits angegebenen Gründen auch für diese Gruppe nicht empfehlenswert.

Wir kommen daher auch hier zum *Vorschlage,* die *Reihe II* festzusetzen mit den Spannungen ca. *45 – 80 – 140 kV.* Sollte es für unsere schweizerischen Fabriken des Exportes wegen unumgänglich sein, auch noch die Normalien von ca. *35 – 60 – 100 kV* zu führen, so könnten dieselben als *Nebennormale* angenommen werden. Eine Spannung in der Gegend von 26 kV als Normal beizubehalten, scheint uns nicht durchaus nötig. Nachdem die grösseren Werke, welche diese Spannung bisher benützten, selbst davon abgehen wollen, könnte sie jedenfalls höchstens noch als *Nebennormal* verbleiben.

Eine ganz besondere Farge ist nun noch diejenige nach *unserer höchsten schweizerischen Spannung.* Es wäre im Interesse der schweizerischen Sammelnetze

gewiss sehr bedauerlich, wenn nicht zwischen den beiden Gesellschaften, von denen die eine 110, die andere 135 kV anwenden will, eine Einigung erzielt werden könnte. Leider ist zu befürchten, dass die beiderseitigen Festlegungen vielleicht schon zu weit gediehen seien. Dann müssten wohl zwei Spannungen als höchste Normale eingeführt werden, jede in eine der beiden Reihen passend.

Neben der Bestimmung der Haupt-Normalwerte sind dann noch einige *Nebenpunkte* zu erledigen: Zwischen dem höchsten und niedrigsten normalen Betriebswert einer Spannung, die als „Normal" bestimmt wird, muss ein den Betriebsverhältnissen entsprechender Spielraum liegen, der prozentual überall gleich sein sollte. In den Vorschlägen des *V. S. M.* beträgt dieser Spielraum 10 % des Minimalwertes. Es bleibt zu untersuchen, ob dies allen Anforderungen entspricht. Aus tatsächlich vorkommenden Verhältnissen möchten wir schliessen, dass dieses Spatium in manchen Fällen eher etwas zu niedrig sei. Wir haben im neuen Vorschlag des Generalsekretariats daher einen Spielraum angenommen, der einer Erhöhung des Minimums um 12 % zur Erreichung des Maximums entspricht. Diese Zahl mag diskutabel sein, und es werden hier namentlich die Elektrizitätswerke nach ihren Bedürfnissen mitsprechen müssen. Die Festsetzung dieses Spielraums kann aber ganz gut *nach* der grundsätzlichen Festlegung der angenommenen Reihen, bezw. von ungefähren Mittelwerten vorgenommen werden. und es wird zur Vermeidung von Komplikationen vorteilhafter sein, diesen Nebenpunkt vorläufig nicht zu behandeln.

Aehnlich ist es mit der Festsetzung der sogenannten *„Nennspannungen"* (besser vielleicht: „Nenn*werte*" der Normalspannungen). Denn diese Nennspannungen haben tatsächlich zunächt nur die Bedeutung einer *konventionellen vereinfachten Bezeichnung des,* durch Maximum und Minimum genau festgesetzten *Intervalls einer Normalspannung.* Ob man die Benennung mit einem Grenzwert zusammenfallen lässt oder nach bestimmtem, rundem Mittel benennen will, ist eine Sache, die ebenfalls *nach* Festlegung der Normalspannungen vorgenommen werden kann.

* * *

Die Ueberlegungen und Entschlüsse, welche für die Normalisierung der Hochspannungen für Wechselstrom in der Schweiz nunmehr notwendig sind, könnten sich nach der bisher vorsichgegangenen Abklärung nun wohl auf die Behandlung folgender Fragen konzentrieren, mit denen das Notwendigste erledigt wäre:

Frage 1: *Ist es für die Schweiz wirtschaftlich und technisch zulässig und angezeigt, aus Rücksicht auf den Export schweizerischer Firmen und auf ausländische Festsetzungen die* ***Reihe I allein*** *(Vorschlag B des VSM) als Wertreihe der normalen Hochspannungen festzusetzen?*

Wir haben das Gefühl, dass die schweizerischen Elektrizitätswerke diese Frage mehrheitlich verneinen müssten. Es frägt sich dann weiter:

Frage 2: *Ist es notwendig und zweckmässig, zur möglichsten Befriedigung aller Kreise (sowohl der Elektrizitätswerke wie der Maschinenfabriken)* ***alle Spannungen der Reihe I und der Reihe II*** *als gleichwertige Normalien für Hochspannung zu bezeichnen (Vorschlag C des VSM)?*

Wir halten es für wahrscheinlich, dass dies der Boden sei, auf welchem eine *internationale* Einigung erzielt werden könnte, dagegen halten wir es nicht für notwendig und vorteilhaft, dass alle diese vielen Spannungen auch von der Schweiz als ihr Normal angenommen werden. Dann stellt sich die weitere

Frage 3: *Wenn nicht alle Werte beider Reihen als Normalspannungen bezeichnet werden, ist es dann zweckmässig und genügend, nach dem Vorschlag A des VSM in der Hauptsache die* ***Reihe I*** *anzunehmen und* ***dazu*** *die Spannungen von* ***ca. 8 und ca. 45 kV*** *(eventuell auch diejenige von ca. 80 kV) lediglich als* ***Nebennormal*** *für Erweiterungen, aber nicht zulässig für Neuanlagen, anzufügen?*

Wie bereits bemerkt, scheint es uns unrichtig, dass die viel vorkommenden und hohen technisch-wirtschaftlichen Wert besitzenden Spannungen von 8 und 45 kV auf den Aussterbeetat gesetzt werden sollen, und dass anderseits die Möglichkeit der Verwendung der praktisch höchsten Generatorspannung von ungefähr 15 kV als Normal ausgeschlossen sein soll. Daher:

Frage 4: *Ist es nicht vorzuziehen, gegenüber dem Vorschlag A des VSM nach dem Vorschlage des Generalsekretariats in der Hauptsache die* ***Reihe II*** *als Normal einzuführen, welche die wichtigen Spannungen von 8, 15 und 45 kV enthält, unter gleichzeitiger Aufnahme der Werte von ca.* ***6,*** *ca.* ***10*** *(und eventuell* ca. ***60*** und *ca.* ***100)*** *kV als* ***Nebennormal?***

Bessere Belehrung vorbehalten, will uns diese Lösung als die passendste erscheinen. Sie entspricht dem Vorhandenen; sie lässt ferner die technisch höchstmögliche Ausnützung der direkten Generatorenspeisung sowie des Freileitungstypus mit stehenden Isolatoren zu und gibt mit den 45 kV eine Spannung, die voraussichtlich in absehbarer Zeit auch als höchste Kabelspannung in Betracht kommen kann; sie enthält endlich auch nur solche Spannungen, die vermutlich internationales Normal werden können.

Nach Erledigung dieser *Hauptfragen* wären dann noch folgende *Nebenfragen* zu erledigen:

Frage 5: *Welches prozentuale Intervall zwischen minimalem und maximalem Wert einer Normalspannung ist festzusetzen?*

Frage 6: *Welche Werte des Intervalls einer Normalspannung sind als „Nennspannung" zu wählen?*

Wir hoffen, dass die Interessenten sich nunmehr lebhaft an der Diskussion dieser Fragen beteiligen werden. Das Generalsekretariat erwartet Meinungsäusserungen und nimmt in Aussicht, geeignete derartige Mitteilungen im Bulletin zu veröffentlichen. Sowohl bei den Werken wie bei den Fabrikationsfirmen besteht der Wunsch und für einige Fälle ist es dringende Notwendigkeit, dass die Frage *rasch* erledigt werde. Es werden daher bald dem V.S.E. und dem S.E.V. definitive Anträge zur Beschlussfassung vorgelegt werden müssen, für welche das Generalsekretariat auf die zu erwartenden Aeusserungen der Mitglieder abstellen muss.

Zur Bestimmung der Eigenkapazität von Transformatoren.

Von Dr. *J. Goldstein,* Dipl.-Ing., Zürich.

1. Kritische Bemerkungen zum Aufsatz von Paul Joye und Marius Besson: „Note sur la capacité répartie des transformateurs ou des bobines d'induction". [1])

Im obigen Aufsatz entwickeln die Verfasser eine Näherungsmethode zur Bestimmung der Eigenkapazität von Transformatoren. Auf Grund der Formeln, die für ein magnetisch gekoppeltes System gelten, wird aus der Bedingung für die Resonanz eine Formel zur Bestimmung der Eigenkapazität hergeleitet. Der Resonanzzustand wird erreicht, indem man durch Regulierung der Frequenz ein Strommaximum im offenen Sekundärkreis erhält. Die Verfasser bemerken richtig, dass dieses Verfahren nur eine Annäherung ist. Die Vorgänge sind derart kompliziert, dass es nicht leicht gelingen dürfte eine exakte mathematische Fassung für das physikalische Wesen der Sache zu finden. Wenn es auch klar ist, dass nur durch Einführung der verteilten Kapazität und des Ladestromes und durch die Auflösung der partiellen Differentialgleichungen des Stromkreises mit verteilter Induktivität und Kapazität unter Berück-

[1]) Bulletin No. 2, 1921.