

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 42 (1951)

Heft: 13

Artikel: Vereinheitlichung der Höchstspannungen und der Erdungssysteme in der Schweiz

Autor: Hunziker, G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061002>

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: 10.01.2026

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Vereinheitlichung der Höchstspannungen und der Erdungssysteme in der Schweiz

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 26. April 1951 in Zürich,
von G. Hunziker, Baden

621.315.027.7 : 621.315.053 (494)

Die auf Veranlassung des Eidgenössischen Post- und Eisenbahn-Departementes untersuchten Fragen über die Vereinheitlichung der Nennspannungen über 150 kV und der Erdungssysteme werden dargelegt. Ferner werden die auf weite Sicht massgebenden Gründe und Überlegungen erläutert, welche zu den im Bulletin SEV 1951, Nr. 8, S. 285, veröffentlichten Weisungen geführt haben.

Exposé sur la question de l'unification des tensions nominales de plus de 150 kV et des systèmes de mise à la terre, dont l'étude fut entreprise à la demande du Département fédéral des postes et des chemins de fer. Explication des motifs et des considérations à longue échéance, qui ont conduit aux instructions publiées dans le Bulletin de l'ASE 1951, n° 8, p. 285.

Im April 1948 teilte das Eidg. Post- und Eisenbahn-Departement der Eidg. Kommission für elektrische Anlagen mit, dass es dem Problem der Energieübertragung im Hinblick auf den stets wachsenden Energieverbrauch und auf die zahlreichen noch ausbaufähigen Wasserkräfte vorausschauend die grösste Aufmerksamkeit schenke. Es beauftragte in diesem Zusammenhang die Eidg. Kommission für elektrische Anlagen mit dem Studium der Frage, welche einheitlichen Spannungsstufen über 150 kV für ein rationelles Übertragungsnetz und zur möglichsten Beschränkung der Zahl der zukünftigen Leitungen am geeignetsten erscheinen. Ferner wurde darauf hingewiesen, dass es wohl im Interesse einer weitgehenden Verbundwirtschaft liegen würde, beim zukünftigen Höchstspannungs- und vielleicht auch beim vorhandenen 150-kV-Netz auf ein einheitliches Erdungssystem überzugehen.

Zum Studium der aufgeworfenen Fragen hat die Eidg. Kommission einen Arbeitsausschuss bestellt, welchem zwei Mitglieder der Kommission, die Vorsteher des Eidg. Starkstrominspektoreates und des Eidg. Amtes für Elektrizitätswirtschaft sowie die Vertreter des SEV angehörten, der zur Mitarbeit durch die Kommission eingeladen wurde. Die Mitarbeit des SEV war insbesondere deshalb gegeben, weil sich das Fachkollegium 30 des CES bereits mit Fragen der Normung der Höchstspannungen auf nationalem Boden und in Zusammenarbeit mit internationalen Stellen befasst hat. Auf diese Weise erhielt der SEV Gelegenheit, mitzuarbeiten an der Koordination der Bemühungen des Bundes und seiner eigenen auf dem landeswichtigen Gebiet der Spannungsnormung. Das FK 30 des CES hat die im wesentlichen ihm bereits angehörenden, an den Fragen direkt interessierten Elektrizitätswerke, nämlich die Atel, BKW, CKW, EOS, EW Basel, EW Zürich und NOK eingeladen, als Delegation des SEV dem Arbeitsausschuss beizutreten.

Für die Behandlung besonderer Fragen wurden zeitweise die Vertreter der Elektroindustrie im

FK 30 des CES beigezogen und die PTT zur Mitarbeit eingeladen.

Im Januar 1949 trat der Arbeitsausschuss zu seiner ersten Sitzung zusammen. Er behandelte zunächst das Problem der *Vereinheitlichung der Übertragungsspannungen* und untersuchte dabei folgende Fragen:

- Welche Vorarbeiten in Bezug auf Spannungsvereinheitlichung sind in der Schweiz und im Ausland bereits geleistet worden?
- An welche internationale Normungsbestrebungen sollte man sich vernünftigerweise halten?
- Welche Bedürfnisse werden an ein Landesnetz gestellt werden und welche technischen, wirtschaftlichen und weiteren Faktoren beeinflussen die Wahl der Spannung?

Die höchste bis heute in der Schweiz verwendete Nennspannung beträgt 150 kV. Einige bestehende Anlagen sind jedoch ausbaufähig für eine höhere Spannung. Die Tragwerke der Leitung Klingnau-Tiengen sowie der Alpenleitungen von Lavorgo über den Gotthard bzw. den Lukmanier nach Amsteg und von dort nach Mettlen sind für eine Spannung von 380 kV dimensioniert.

Schon im Jahre 1946/47 hat sich das Fachkollegium 30 des CES im Rahmen der vorbereitenden Arbeiten für die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) mit den Fragen der Höchstspannungsnormung befasst und die damals von Direktor Marty, Bern, veranlasste Umfrage ergab die Stellungnahme der Überlandwerke dahingehend, dass sie mehrheitlich die Stufen 225 und 380 kV befürworteten. Ohne hiegegen Opposition zu machen, befürwortete die EOS damals die Stufe 275 kV.

Die CEI empfahl auf Grund der in Luzern 1947, Paris 1948 und Stresa 1949 gefassten Beschlüsse den Nationalkomitees die Normung der Höchstspannungen der Stufen 225, 275 und 380 kV, wobei die in Raum und Zeit höchsten Betriebsspannungen 250, 300 und 400 kV sein sollten.

Die Stufe 225 kV ist seit langer Zeit in den verschiedensten Ländern und in dem uns umgebenden Ausland eingeführt und genormt. Leitungen, die mit dieser Spannung betrieben werden, führen in die unmittelbare Nähe der Landesgrenze bei Kembs, Génissiat, Cislago, Stilfserjoch, Meiningen, Tiengen.

In Deutschland besitzen die Hauptleitungen des RWE bereits Tragwerke für 380 kV. In Frankreich sind Leitungen mit solchen Tragwerken ebenfalls schon erstellt worden. In Schweden ist zur Zeit eine rund 900 km 380-kV-Leitung im Bau. Alle uns umgebenden Länder sowie Portugal, Schweden und die Tschechoslowakei befürworten die Einführung der Spannung von 380 kV, sofern sie mit der Spannung 225 kV nicht mehr auskommen.

Die Stufe 275 kV wurde auf speziellen Wunsch der USA und von England aufgenommen. Die USA betreiben die Boulder-Dam-Leitungen mit 287,5 kV. Englands höchste Spannung ist zur Zeit 132 kV. Beide Länder befürworten für ihr Gebiet die Einführung der Stufe 275 kV.

Auf Grund der in der Schweiz und auf internationalem Gebiet geleisteten Vorarbeiten befasste sich der Arbeitsausschuss nur mit den von der CEI zur Normung empfohlenen Spannungsstufen 225, 275 und 380 kV und beschränkte sich auf die Untersuchung der Frage, ob davon eine, zwei oder alle drei Stufen zur Verwendung in der Schweiz vorzusehen seien.

Für den Vergleich der drei verschiedenen Spannungsstufen war die Beschaffung der erforderlichen technischen und wirtschaftlichen Unterlagen notwendig. Jeder Spannungsstufe entspricht eine bestimmte Leistungsfähigkeit der Übertragungsanlage, welche von deren Charakteristiken, von wirtschaftlichen und betriebstechnischen Faktoren abhängig ist. Den Berechnungen der mittleren Leistungsfähigkeit wurden für 225 kV *Vollseile*, für die höheren Spannungen *Hohlseile* zu Grunde gelegt. Die über 200 km übertragbaren Leistungen bei bestimmtem $\cos\varphi$ wurden für die verschiedenen Spannungsstufen unter der Annahme gestaffelter Spannungsabfälle bestimmt (Tab. I).

Um sich über die Bedürfnisse klar zu werden und über die Anforderungen, die an das Höchstspannungsnetz beim Ausbau aller Wasserkräfte gestellt werden, Rechenschaft geben zu können, wurde auf Grund bestehender genereller Projekte die maximale Leistung geschätzt, welche im Alpengebiet aus den noch ausbaubaren Wasserkräften erzeugt werden kann. Diese maximale Leistung wird für das Höchstspannungsnetz in erster Linie bestimmt sein, da ein grosser Teil dieser Leistung aus dem bestehenden Produktionsgebiet der Alpen in das Konsumgebiet des Mittellandes abzutransportieren ist. Die noch ausbaubaren Alpenwasserkräfte wurden in 6 Hauptgruppen unterteilt, deren Leistungsfähigkeit sich wie folgt abschätzen lässt:

Wallis	1250 MW
Waadt	90 MW
Berner Oberland	430 MW
Urseren	1200 MW
Tessin	860 MW
Graubünden	960 MW

Total sind also im Alpengebiet an Grosswerken noch ausbaubar rund 4800 MW.

Die bereits ausgebauten Leistung der im Alpengebiet liegenden Kraftwerke beträgt rund 1100 MW ohne Berücksichtigung der Werke mit weniger als 10 MW Leistung. Im maximalen Endausbau der Alpenwasserkräfte werden also insgesamt nahezu 6000 MW verfügbar sein. Unter der Annahme, die etwa den heutigen Verhältnissen entspricht, dass rund 20 % dieser Leistung in den Gebirgskantonen verbleiben (Elektrochemie) und für den direkten Export aus dem Alpengebiet bestimmt sind, müssen rund 4800 MW in die eigentlichen Konsumgebiete übertragen werden, wofür die notwendigen Übertragungsanlagen zu irgendeinem Zeitpunkt bereitzustellen sind.

Es bestehen heute insgesamt 19 Leitungsstränge über 100 kV, die aus dem Alpengebiet ins Mittelland führen. 6 davon sind für 130 kV ohne SBB, 13 für 150 kV vorgesehen, wovon 2 ausbaufähig für 380 kV.

Tabelle I

	Spannungsstufe			
	150 kV	225 kV	275 kV	380 kV
1. Für den Vergleich angenommen:				
Leitungslänge	km	200	200	200
Seilart		Vollseil	Vollseil	Hohlseil
Cu-Seilquerschnitt	mm ²	150	350	430
Seildurchmesser	mm	15,8	24,4	33,5
Spannungsabfall in % der max. Betriebs spannung	%	16	14	12
2. Spannungen:				
Max. Betriebsspannung	kV	170	250	300
Empfangsspannung	kV	143	215	264
3. Vergleich der übertragbaren Leistungen:				
Wirkleistung P am Empfangsort (auf 5 MW auf- bzw. abgerundet):				
P bei $\cos\varphi = 0,95$	≈ MW	75	180	255
P bei $\cos\varphi = 0,9$	≈ MW	65	150	210
P bei $\cos\varphi = 0,85$	≈ MW	55	125	180
4. Bezogen auf die Stufe 150 kV verhalten sich:				
die max. Betriebsspannungen wie	≈	1	: 1,5	: 1,8
die übertragbaren Wirkleistungen, im Mittel, wie	≈	1	: 2,3	: 3,2

Diese 19 Stränge weisen bei 130 bzw. 150 kV Betriebsspannung insgesamt eine Leistungsfähigkeit von rund 1300 MW auf, so dass für rund 3500 MW zum Teil bestehende Leitungen auf höhere Spannung umgebaut, zum Teil neue Leitungen erstellt werden müssen. Diese Zahlen geben nur eine rohe Schätzung an und vermitteln einen Begriff über die Grössenordnung der in Frage stehenden Leistungen. Die in Flusskraftwerken des Mittellandes und in thermischen Kraftwerken noch erzeugbaren Energien sind für diese Frage weniger entscheidend, da sie in der Nähe des Konsumgebietes liegen und den Ausbau des Übertragungsnetzes in Bezug auf die Höchstspannungen nicht grundsätzlich beeinflussen.

Für den Abtransport der oben erwähnten rund 3500 MW Leistung der Alpenwasserkräfte wären erforderlich:

- 9...10 Stränge 380-kV-Leitungen, oder
- 15...16 Stränge 275-kV-Leitungen, oder
- 23...24 Stränge 225-kV-Leitungen.

Auf dem Weg vom Alpengebiet ins Mittelland haben die Übertragungsanlagen in der Regel den Flussläufen zu folgen (Rhone, Aare, Reuss, Rhein) oder sie haben Pässe zu überqueren (Col des Mosses, Gemmi, Grimsel, Brünig, Gotthard, Lukmanier). Diese Wege führen meistens durch eigentliche Engpässe, welche nur mit einer beschränkten Zahl von Leitungssträngen belegt werden können. Diese geographischen und topographischen Verhältnisse bilden eine Behinderung in der freien Entwicklung eines beliebig grossen Netzes mit parallelen Strängen und legen die Verwendung möglichst hoher Spannungen nahe. Wir befinden uns mit diesen Verhältnissen im krassen Gegensatz zu den Verhältnissen in den USA.

Die Zahl der Alpenpässe, welche mit betriebsicherem, auch im Winter zugänglichen Hochspannungsleitungen überquert werden können, ist beschränkt. Um in Wetterstaugebieten (Alpenkette) nicht mehrere Leitungen durch lokale klimatische Einwirkungen gleichzeitig zu gefährden, ist anzustreben, die erforderliche Zahl von Leitungen nach Möglichkeit über verschiedene Übergänge zu verlegen. Die Zahl der Alpenleitungen wird daher begrenzt sein. Auch diese Gedankengänge legen die Verwendung einer möglichst hohen Spannung nahe, welche erlaubt, mit einem Minimum an Leitungen auszukommen. Dadurch werden im übrigen auch die Wünsche des Natur- und Heimatschutzes nach einer möglichst Beschränkung der Zahl der Leitungen gebührend berücksichtigt.

Die *zeitliche Staffelung* im Ausbau unserer Alpenwasserkräfte wird für die zeitliche Staffelung des Ausbaues der Höchstspannungsanlagen von entscheidendem Einfluss sein. Heute kann in keiner Weise überblickt werden, in welchem Zeitraum die Wasserkräfte im Alpengebiet ausgebaut und welche Anforderungen in den verschiedenen Ausbauetappen an die Leistungsfähigkeit des Übertragungsnetzes jeweilen gestellt werden.

Die Studien, die für die Maggia-Kraftwerke ausgeführt worden sind, zeigen, dass die Energie dieser Kraftwerke in 225 kV wohl von den einzelnen Zentralen abgeleitet, aber im Endausbau mit nahezu 400 MW nicht in dieser Spannung mit den vorhandenen, noch andern Bedürfnissen dienenden Leitungen über die Alpen geführt werden kann. Weitere Studien im Zusammenhang mit andern Grossspeicherwerken ergeben ein ähnliches Bild.

In einer ersten Etappe vermag die Spannung von 225 kV den an die Höchstspannungsanlagen gestellten Anforderungen in technisch und wirtschaftlich einwandfreier Weise zu genügen, wenn auch der Sprung von 150 auf 225 kV mit einer Verdopplung der Leistungsfähigkeit pro Leitungsstrang eher klein ist. In einem späteren, heute noch nicht überblickbaren Zeitpunkt ist die Spannung von 225 kV in bestimmten Netzteilen zu wenig leistungsfähig und muss erhöht werden. Ein kleiner Sprung von beispielsweise 225 auf 275 kV dürfte die dannzumal erforderliche Leistungssteigerung nicht bringen.

Im Hinblick auf die grossen Kapitalien, die der Ausbau der Höchstspannungsanlagen beansprucht, sollen die Anlageteile dort nicht überdimensioniert werden, wo eine niedrigere Spannung ihren Zweck erfüllt. Es steht fest, dass für gewisse Netzteile 225 kV vollauf genügen werden und dass wichtige Produktionsgebiete mit dieser Spannung erschlossen werden können. Die Verwendung einer höheren Spannung wäre daher für solche Netzteile nicht zu rechtfertigen.

Entsprechend dem sukzessiven Ausbau der Energiequellen und der Unmöglichkeit, in unserm Land beliebig viele 225-kV-Leitungen nebeneinander zu erstellen, besteht aber für später das Bedürfnis nach einer noch höheren Spannung. Hierfür kommen gemäss den vorstehenden Ausführungen nur 380 kV in Frage. Mindestens zwei Spannungsstufen sind also nötig, um eine organische und wirtschaftliche Entwicklung der Netze zu gewährleisten.

Die auf einem 225-kV-Strang übertragbare Leistung von 150...200 MW scheint noch für längere Zeit ein Maximum als Einzelleistung eines Stranges darzustellen mit Rücksicht auf die Auswirkung einer Leitungsstörung und des plötzlichen Ausfalles dieser Leistung. Grössere Leistungen pro Strang kommen erst dann in Frage, wenn eine grössere Anzahl von Leitungen elektrisch parallel arbeitet (Vermischung), und die Gesamtbelastung der Hauptkonsumgebiete wesentlich höher sein wird als heute.

Auch dieser Gedanke zeigt, dass die zu wählenden Spannungen eine organische Entwicklung der Netze ermöglichen sollten und die Höchstspannung von 380 kV erst in Betracht kommt, wenn die Hauptkonsumgebiete von einer plötzlichen Abschaltung grosser Leistungen weniger stark betroffen werden.

Betrachtet man die Verhältnisse innerhalb der Landesgrenzen, so ist festzuhalten, dass gewisse Netzteile endgültig mit 225 kV zu betreiben sein werden. Die Spannung anderer Teile, die als Hauptübertragungsanlagen dienen werden, würden in

einem späteren Zeitpunkt auf 380 kV erhöht oder von Anfang an für diese Spannung gebaut.

Um die Frage der Höchstspannungsnormung allseitig abzuklären, müssen wir auch die Bedeutung der *Auslandanschlüsse* untersuchen. Wenn die internationalen Energieaustauschgeschäfte auch für die Wahl der Höchstspannungen nicht in erster Linie massgebend sind, so sind doch die Vor- und Nachteile von direkten Verbindungen mit dem Ausland bzw. der Zwischenschaltung von Transformatoren an der Landesgrenze gegeneinander abzuwegen. Alle uns umgebenden Länder haben die Spannung 225 kV eingeführt und entsprechende Leitungen verlaufen an verschiedenen Orten in unmittelbarer Nähe der Landesgrenze. Sämtliche Nachbarstaaten befürworten die Einführung der Stufe 380 kV. Das Ziel der Energieversorgung unseres Landes ist, den Bedarf an Normalenergie auch in trockenen Jahren zu decken. In allen anderen Jahren steht dann eine sehr stark schwankende Energiemenge zur Verfügung, welche die Minimalerzeugung bis zu 30 % übersteigen kann, so dass 2...3 TWh pro Jahr verfügbar wären.

Der Wiederaufbau des Energieexportes und der Ausbau des internationalen Energieaustausches wird in kommenden Zeiten eine vermehrte volkswirtschaftliche Bedeutung erlangen. Durch die technischen Einrichtungen sollte ermöglicht werden, solche Austausche über die Grenze im weiten Leistungsbereich den jeweiligen Bedürfnissen anzupassen. Um auf energiewirtschaftlichem Gebiet volle Freiheit zu wahren, dürfen wir die Schweiz nicht zur Spannungsinsel auf dem europäischen Festland werden lassen. Aus diesen und wirtschaftlichen Gründen soll vermieden werden, dass wir auf die Transformierung an der Grenze, die unter Umständen auch gewisse Vorteile bietet, angewiesen sind.

Es musste auch abgeklärt werden, wie sich die Industrie zur Spannungsnormung stellt, ob leitungsbautechnische Fragen eine besondere Rolle spielen und wie die Dringlichkeit der Einführung höherer Spannungen einzuschätzen sei.

Die *elektrotechnische Industrie* unseres Landes hatte durch Auslandaufträge an der Entwicklung des 225-kV-Materials namhaften Anteil. Dieses Material ist seit Jahren erprobt und bietet dieselbe Sicherheit, wie das 150-kV-Material. Bei der Einführung der Spannung von 225 kV in der Schweiz profitieren die Elektrizitätswerke von den durch unsere Industrie im Ausland gemachten Erfahrungen.

Für 275-kV-Material müsste eine neue Reihe entwickelt werden. Bereits erhielten unsere Lieferfirmen Aufträge für die Ausführung von 380-kV-Material. Es darf damit gerechnet werden, dass das Ausland bei Einführung dieser Spannung die schweizerische Industrie zu weiteren Lieferungen beziehen wird. In der Schweiz wird erst in einem späteren Zeitpunkt das Bedürfnis zur Einführung von 380 kV sich geltend machen. Dann wird auch zuverlässiges Material zur Verfügung stehen, welches im Ausland durch langjährige Betriebserfahrung erprobt ist. In jenem Zeitpunkt wird somit

voraussichtlich in Bezug auf 380 kV die ähnliche Situation bestehen, wie heute in Bezug auf das 225-kV-Material. Unsere Industrie wird für jede Spannungsstufe das erforderliche Material entwickeln können. Immerhin stellten die Vertreter der elektrotechnischen Industrie im FK 30 des CES, welche zeitweise bei den Beratungen mitgewirkt haben, mit Genugtuung fest, dass für die Vereinheitlichung der Spannungen über 150 kV nur Stufen aus der internationalen Reihe gewählt werden und begrüssten es, wenn für die Schweiz höchstens zwei Spannungsstufen zur Anwendung kommen.

Vom *leitungsbautechnischen Standpunkt* aus gesehen wird die Erstellung von 225-kV-Leitungen keine grundsätzlichen Schwierigkeiten bieten. Leitungen mit Tragwerken für 380 kV sind in der Schweiz schon gebaut worden. Für Spannungen über 225 kV ergibt sich die Notwendigkeit, wegen der Koronaverluste grössere Seildurchmesser zu verwenden, als Vollseile in wirtschaftlicher Weise ergeben würden. Die Frage, ob Hohlseile oder Bündelleiter zweckmässiger seien bzw. für welche Gebiete und Spannungen der einen oder andern Seilart der Vorzug zu geben ist, bleibt noch abzuklären. In diesem Zusammenhang sei vermerkt, dass Elektrizitätswerke und Industrieunternehmungen der Schweiz die Finanzierung eingehender Koronauntersuchungen übernommen haben, wodurch die Abklärung dieser wichtigen Fragen gewährleistet ist. Die Durchführungen dieser Untersuchungen liegt in den Händen der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH).

Der im Gang befindliche Ausbau von Grosskraftwerken erheischt bis Ende 1952 die Einführung einer höheren Spannung als 150 kV. Für 225 kV lassen sich das erforderliche Material und die Leitungen rechtzeitig beschaffen. Die Einführung einer höheren Spannung wäre jedoch innert dieser kurzen Zeit im Hinblick auf die noch notwendigen Entwicklungsarbeiten an Schaltmaterial und Leitungen kaum möglich, abgesehen davon, dass sie für jenen Zweck unwirtschaftlich und wohl auch mit grossen Risiken verbunden wäre.

Auch unter Berücksichtigung des *Faktors Zeit* ergibt sich die Wünschbarkeit nach Einführung von zwei Spannungen, die der technischen Entwicklung angepasst sind und in jedem Ausbauzustand des Höchstspannungsnetzes die auftretenden Bedürfnisse zu befriedigen vermögen.

Zusammenfassend lässt sich heute festhalten, dass die Spannung von 150 kV mit der Zeit mehr den Charakter einer Verteilspannung erhalten und als solche ihre Berechtigungen stets behalten wird. 225 kV werden für den Abtransport der Energie aus zahlreichen Produktionsgebieten und für die Verbindung wichtiger Konsumzentren genügen und kommen für den direkten Anschluss an das uns umgebende Ausland in Betracht. Sie wird auf lange Zeit den Bedürfnissen genügen. Das notwendige Material ist erprobt und gewährleistet die erforderliche Betriebssicherheit. Es lässt sich innert nützlicher Frist für den Ausbau unserer Grosskraftwerke beschaffen.

Beim Endausbau aller unserer Wasserkräfte vermag jedoch die Spannung von 225 kV im Hinblick auf eine unerwünschte Anhäufung von Leitungen und auf die vorhandenen geographischen Engpässe nicht den an das dannzumalige Höchstspannungsnetz zu stellenden Anforderungen zu genügen.

380 kV vermögen die heute überblickbaren Bedürfnisse beim Endausbau zu befriedigen und ermöglichen den späteren direkten Anschluss an das Ausland. Der Sprung von 225 auf 380 kV zieht eine bedeutende Steigerung der Leistungsfähigkeit der Übertragungsanlagen nach sich und trägt damit der wünschbaren Entwicklungsfähigkeit Rechnung. Bei einem Sprung von 150 auf 275 und von dort auf 380 kV wäre dies in weniger grossem Masse der Fall.

Im Interesse einer gesamtschweizerischen Verbundwirtschaft liegt es, dass das künftige Höchstspannungsnetz den direkten Zusammenschluss aller Landesteile ermöglicht. Diese Forderung ist nur mit einheitlichen Spannungsstufen erfüllt. Das Gebiet der Schweiz ist zu klein und die Bedürfnisse der einzelnen miteinander zu verbindenden Landesteile sind zu wenig verschieden voneinander, als dass sich die Einführung von drei Spannungsstufen auf ihrem Territorium rechtfertigen würde. Die beiden Spannungsstufen 225 und 380 kV vermögen die Bedürfnisse zu befriedigen.

Der sukzessive Netzausbau, der sich dem Ausbau unserer Wasserkräfte anpassen wird, dürfte sich in der Weise entwickeln, dass auch in Zukunft gewisse neue 150-kV-Leitungen erstellt werden, von welchen einige, je nach Aufgabe, die sie zu erfüllen haben werden, für einen späteren Übergang auf 225 kV vorzusehen sind. Andere Leitungen werden zum vornehmesten für diese Spannung gebaut und werden nie mit einer höheren Spannung zu betreiben sein. Wieder andere Anlagen werden zunächst mit 225 kV betrieben, jedoch für 380 kV vorgesehen. Diese Leitungen werden als Haupttransportleitungen die Hauptproduktionsgebiete mit den wichtigsten Energieübergabeorten, z. B. Mettlen, Landquart usw. und diese unter sich verbinden und auch für den direkten Anschluss an das Ausland in Betracht fallen. An den Energieübergabeorten erfolgt die Transformierung auf 225 kV (oder 150 kV), mit welcher Spannung die 150-kV-Speisepunkte der Hauptkonsumgebiete beliefert werden. Gewisse Produktionsgebiete lassen sich mit 225 kV erschliessen, wobei die Energie in dieser Spannung den Konsumgebieten zugeführt wird.

Im Hinblick auf die Forderung, mit einer minimalen Zahl neuer Leitungen auszukommen, muss für jede Leitung geprüft werden, welche der oben skizzierten Aufgaben sie in Zukunft zu erfüllen haben wird. Aus diesem Grunde müssen heute schon beide Spannungsstufen festgelegt werden, da sie die Grundlagen für einen sinnvollen wirtschaftlichen und zweckentsprechenden Ausbau des Höchstspannungsnetzes bilden.

Gestützt auf die vorstehenden Erläuterungen erscheint es als richtig und zweckmässig, für das schweizerische Höchstspannungsnetz die internatio-

nal genormten Nennspannungen 225 und 380 kV als alleinige Spannungsstufen über 150 kV einzuführen. Für besonders wichtige Leitungen müssen die zuständigen Behörden auch die Möglichkeit haben, den späteren Übergang auf eine höhere Stufe verlangen zu können.

Und nun zur Frage der *Vereinheitlichung des Erdungssystems* für Anlagen von 150 kV und darüber. Die schweizerischen Anlagen für 130 und 150 kV sind entweder starr geerdet oder der Netznulnpunkt ist über eine Löschspule an Erde gelegt. Die Untersuchungen erstreckten sich nur über diese beiden Erdungsarten.

Darüber lässt sich festhalten, dass die Löschspule vorteilhafterweise in Radialnetzen verwendet wird, bei welchen es unangenehme Folgen hätte, wenn jeder Erdschluss zum Kurzschluss und damit zur Abschaltung führt. Die räumliche Ausdehnung von gelöschten Netzen ist jedoch begrenzt und in gewissen Fällen kann die Löschspule Ursache von gefährlichen Resonanzerscheinungen werden. Die starre Erdung ist bei vermaschten Netzen am Platze. Der zum einpoligen Kurzschluss führende Erdschluss kann abgeschaltet werden, ohne dass in der Belieferung der Konsumgebiete ein Unterbruch entsteht. Die Netzausdehnung ist unbeschränkt.

Die CEI hat anlässlich der Konferenz in Paris im Juni 1948 beschlossen, den Nationalkomiteen zu empfehlen, für alle genormten Spannungen über 225 kV die direkte Sternpunktterdung einzuführen.

Die bestehenden 225-kV-Netze in Frankreich sind starr geerdet. Dieselbe Erdungsart wird in Italien angewendet. In Deutschland sind die 225-kV-Anlagen über Löschspulen geerdet. Das RWE soll zur Zeit im Hinblick auf die wachsende Netzausdehnung die Frage des Überganges auf die starre Erdung prüfen. Die USA und England betreiben die Höchstspannungsnetze mit starr geerdetem Nullpunkt. Schweden geht vom gelöschten zum starr geerdeten 225-kV-Netz über und verwendet dieses Erdungssystem auch für die 380-kV-Anlagen.

Die Einführung der Spannungsstufe 225 kV wird den Zusammenschluss der Netze der verschiedenen schweizerischen Elektrizitätsgesellschaften mit sich bringen. Diese Anlagen sollen auch mit den ausländischen Netzen verbunden werden. Infolgedessen kann mit Sicherheit vorausgesagt werden, dass die als kritisch bezeichnete Grenzleitungslänge von ungefähr 2500 km früher oder später überschritten wird. Auf Grund dieser Feststellung sowie in Anlehnung an die in Paris von der CEI gefassten Beschlüsse und an das in den Nachbarländern mehrheitlich angewendete Erdungssystem erscheint es als richtig und zweckmässig, in der Schweiz für die 225-kV- und 380-kV-Anlagen einheitlich die starre Nullpunktterdung vorzusehen.

Zur Abklärung der Frage der Vereinheitlichung der Erdungssysteme der bestehenden 130 bzw. 150-kV-Netze, welche teils starr, teils über Löschspulen geerdet betrieben werden, hat der Arbeitsausschuss eine Unterkommission unter dem Vorsitz von Direktor Marty eingesetzt. Dieser hat

das komplexe Gebiet vom technischen und wirtschaftlichen Standpunkt aus eingehend geprüft und gelangt zu folgenden Ergebnissen, denen sowohl der Arbeitsausschuss, als auch die Eidg. Kommission, wie auch das Eidg. Post- und Eisenbahn-Departement sich angeschlossen haben.

Es darf mit Sicherheit angenommen werden, dass Energieverschiebungen grösseren Umfanges innerhalb der Landesgrenzen sich immer mehr auf dem 225-kV-Netz abwickeln werden. Die regionale Bedeutung der 130- und 150-kV-Leitungen wird wachsen; die Notwendigkeit einer weitgehenden Verbundwirtschaft tritt daher in den Netzen mit diesen Spannungen mit der Zeit eher zurück.

Bis heute weisen beide Erdungssysteme bei den verschiedenartig gestalteten Netzen ihre besonderen Vorzüge auf und haben ihre Berechtigung. Die PTT, welche bei den Beratungen durch ihren Sektionschef Koelliker mitgewirkt hat, gibt auf Grund der bis heute gesammelten Erfahrungen keinem der beiden Systeme den Vorzug. Die beiden Netzarten lassen sich im Normalbetrieb metallisch zusammenschalten; gegebenenfalls werden im Erderschussfalle durch besondere, automatisch wirkende Einrichtungen die Netze voneinander getrennt. Bei Kupplung der Netze über Zweiwicklungstransformatoren kann die Auftrennung vermieden werden.

Der Übergang von einem System auf das andere würde beim heutigen Bestand an Anlagen rund 5 Millionen Franken kosten. Die Vereinheitlichung der Erdungssysteme erscheint aus technischen Gründen nicht notwendig und ist im Hinblick auf die damit verbundenen hohen Kosten praktisch nicht durchführbar. Die im Landesinteresse liegende Verbundwirtschaft ist dennoch kaum behindert und in den Netzen mit Spannungen über 150 kV ohne Einschränkung entwicklungsfähig.

Es zeichnet sich immerhin die Tendenz ab, dass bei einer späteren Vereinheitlichung der Erdungssysteme aller Voraussicht nach die Netze starr geerdet werden. Die in der Unterkommission vertretenen Elektrizitätsunternehmungen einigten sich daher auf die Empfehlung, die Transformatoren zum Anschluss an die 130- bzw. 150-kV-Netze so auszuführen, dass der Sternpunkt direkt geerdet werden kann, auch wenn sie vorerst in induktiv geerdeten Netzen aufgestellt werden. Das Eidg. Post- und Eisenbahn-Departement nahm von dieser Empfehlung in zustimmendem Sinne Kenntnis und leitete sie an den SEV und den VSE weiter zur Bekanntgabe an die an diesen Fragen interessierten Werke bzw. Mitglieder.

Daraus entstand der Abschnitt e) der nachfolgenden Zusammenfassung, deren Abschnitte a) bis d) einer vom Eidg. Post- und Eisenbahn-Departement am 27. April 1950 an das Eidg. Amt für Elektrizitätswirtschaft und an das Eidg. Starkstrominspektorat ergangenen Weisung entsprechen.

Vereinheitlichung der Höchstspannungen.

a) Planvorlagen für neue Leitungen über der Stufe 150 kV können nur genehmigt werden, wenn sie für eine Nennspannung von 225 kV oder 380 kV vorgesehen sind.

b) Für besonders wichtige Leitungen können die zuständigen Behörden verlangen, dass durch entsprechende Dimensionierung der Tragwerke und Fundamente ein späterer Übergang auf eine Nennspannung von 225 kV oder 380 kV ermöglicht wird.

c) Die höchstzulässigen Betriebsspannungen der zwei Spannungsstufen werden durch den Schweizerischen Elektrotechnischen Verein in Anlehnung an die Normen der CEI festgelegt.

Vereinheitlichung der Erdungssysteme.

d) Für die Spannungsstufen über 150 kV wird als einheitliches Erdungssystem die starre Nullpunktterdung eingeführt.

e) Auf den Erlass von bestimmten Weisungen für die Erdung der bestehenden 130-kV- und 150-kV-Netze wird verzichtet. Dagegen empfiehlt das Eidgenössische Post- und Eisenbahndepartement im Hinblick darauf, dass sich die Vereinheitlichung der Erdungssysteme später als wünschbar erweisen könnte, die Transformatoren so auszuführen, dass der 130-kV- bzw. der 150-kV-Sternpunkt direkt geerdet werden kann, auch wenn die Transformatoren vorerst in induktiv geerdeten Netzen aufgestellt werden.

Durch die erwähnte Weisung des Eidg. Post- und Eisenbahn-Departementes sind in der Schweiz die Höchstspannungsstufen mit 225 und 380 kV festgelegt und es wird hierfür als einheitliches Erdungssystem die starre Nullpunktterdung eingeführt. Die direkte Zusammenschaltung der Höchstspannungsnetze der verschiedenen Landesteile wird somit in Zukunft möglich sein. Der Arbeitsausschuss und seine Unterkommission für Erdungsfragen, welche diese Probleme im Auftrage der Eidg. Kommission für elektrische Anlagen zu untersuchen hatten, wurden aufgelöst. Die Festlegung der höchstzulässigen Spannungswerte der beiden Spannungsstufen 225 kV und 380 kV in Anlehnung an die Normen der CEI ist gemäss Weisung des Departementes Sache des SEV, d. h. des zuständigen Fachkollegiums 30 des CES. Es darf der Hoffnung Ausdruck verliehen werden, dass diese Festlegung der Höchstspannungen und des zugehörigen Erdungssystems der gesunden Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft unseres Landes und damit unserer gesamten Volkswirtschaft förderlich sei.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. G. Hunziker, Direktor der Motor-Columbus A.-G., Baden.