

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 64 (1973)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Untersuchungen der NOK zur Einführung einer neuen Spannungsebene zwischen 100 und 150 kV  
**Autor:** Nohl, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915543>

### **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:** 22.02.2026

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

# Untersuchungen der NOK zur Einführung einer neuen Spannungsebene zwischen 100 und 150 kV

Von E. Nohl

Im folgenden Referat möchte ich Ihnen über die Untersuchung der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG betreffend die Einführung einer neuen Spannungsebene zwischen 100 und 150 kV berichten. Dabei werde ich meine Ausführungen in folgende Teile gliedern:

1. Der heutige Zustand des 50-kV-Netzes
2. Die Gründe der Umstellung des 50-kV-Netzes auf eine höhere Spannungsebene
3. Die Gründe für die Wahl der neuen 110-kV-Nennspannung
4. Die Schlussfolgerungen

## I. Heutiger Zustand (Fig. 1)

Die Aufgabe des 50-kV-Netzes, welches das Versorgungsgebiet der NOK überspannt, ist heute gegenüber den Verhältnissen im Zeitpunkt seiner Entstehung grundlegend verändert. Währenddem den 50-kV-Leitungen früher neben der vertragsgemässen Belieferung der 50-kV-Anlagen der Kantonswerke noch die Kupplung der verschiedenen Kraftwerke sowie der Zustransport der Energie von den entfernt liegenden Kraftwerken zum Versorgungsgebiet zufiel, ist diese letzte Aufgabe heute im wesentlichen dem 150/220/380-kV-Netz zugewiesen. Die 50-kV-Leitungen haben dadurch vorwiegend den Charakter von Verteilleitungen angenommen, welche die Energie von den 220/50-kV-Stützpunkten der NOK den 50-kV-Unterwerken der Kantonswerke zuführen. Der Anschluss von Laufkraftwerken und die Reserveverbindung von Verteilanlagen bilden jedoch auch noch heute wichtige Nebenaufgaben des 50-kV-Netzes.

Die Anspeisung der Kantonswerke erfolgt also im wesentlichen von einem sich über das ganze Versorgungsgebiet der NOK erstreckenden 50-kV-Netz aus. Dieses Netz besteht aus ca. 1150 km Freileitungen sowie 80 km Kabelleitungen und wird weitgehend vermascht betrieben. Die Betriebsspannung des Netzes beträgt heute ca. 48 bis 51 kV, es ist entsprechend der Reihe 72,5 kV isoliert und wird seit 1968 als nicht wirksam geerdetes Netz betrieben. Die Erdung des Netzes erfolgt über sieben im ganzen Netz verteilt aufgestellte Erdschlussdrosseln, die im Nullpunkt von Kuppeltransformatoren 220/50 kV angeschlossen sind. Fehlerhafte Teile des Netzes werden sofort abgeschaltet. Der Schutz des Netzes wird durch BBC-Distanzschutzrelais übernommen.

Im Geschäftsjahr 1970/71 betrug die Energieabgabe über dieses 50-kV-Netz an die Kantonswerke ca. 5,9 Mia kWh bei einer maximalen Leistung von 1160 MW. 1960/61, also vor zehn Jahren, betrugen die entsprechenden Zahlen 3,1 Mia kWh bei einer maximalen Leistung von 600 MW. Der Energieverbrauch und die maximale Leistungsspitze hat sich also in den letzten zehn Jahren beinahe verdoppelt. Falls die Zu-

nahme in Zukunft weiter anhält, muss mit einer weiteren Verdoppelung des Energieverbrauches in zehn bis zwölf Jahren gerechnet werden.

## II. Gründe der Umstellung des 50-kV-Netzes auf eine höhere Spannungsebene

Diese Energieverbrauchszunahme stellt grosse Probleme nicht nur für die Beschaffung der Energie, sondern auch an deren Verteilung. Im Höchstspannungsnetz wurden und werden in diesem Zusammenhang noch immer neue Leitungen gebaut und bestehende Leitungen auf höhere Spannungen umgebaut. So werden vor allem die 150-kV-Leitungen auf 220/380 kV umgebaut und einzelne Stränge davon bereits mit 380 kV betrieben. Auch das 50-kV-Netz wurde in den letzten Jahren durch den nahezu vollständigen Umbau von den vorhandenen Holzstangenleitungen mit 50- oder 95-mm<sup>2</sup>-Cu-Seilen auf leistungsfähige 400-mm<sup>2</sup>-Aldrey-Betonmastenleitungen verstärkt. Es hat sich nun auf Grund von eingehenden Studien gezeigt, dass die weiter zu erwartenden starken Verbrauchszunahmen in weiterer Zukunft grosse Probleme an das bestehende und noch zu erweiternde 50-kV-Netz stellen werden. Dies trotz der erwähnten, fast vollständigen Verstärkung des 50-kV-Netzes.

Insbesondere werden sich in Zukunft folgende Probleme stellen:

### a) Wirtschaftlicher Transport der Energie über bestehende und neue 50-kV-Leitungen

Die heutigen modernen Aldrey-Betonmastenleitungen sind in ihrer Übertragungsfähigkeit beschränkt durch die thermische Belastbarkeit, die wirtschaftliche Belastbarkeit und den Spannungsabfall. Falls für eine dieser drei Kriterien Grenzwerte erreicht werden, müssen entweder zusätzliche Einspeisestellen 220/50 kV in das 50-kV-Netz mit den dazu nötigen 220-kV-Zuleitungen oder neue 50-kV-Verbindungen geschaffen werden. Eine weitere Verstärkung des Leiterquerschnittes der bestehenden 50-kV-Betonmastenleitungen kommt aus technischen Gründen nicht in Frage. Neue Freileitungen werden sich aber in Zukunft in den hier zur Diskussion stehenden, belastungsintensiven Regionen wohl nicht mehr bauen lassen. Höchstens Kabelverbindungen mit den bekannten Nachteilen sind noch möglich.

### b) Kurzschlussleistungen

Mit der Zunahme der zu übertragenden Leistungen im 50-kV-Netz werden auch die Kurzschlussleistungen noch mehr steigen. Die in den Unterwerken nötigen Apparate, insbesondere die 50-kV-Schalter, werden dadurch immer kostspieliger, wenn überhaupt noch erhältlich. Als erste Lösung ist eine Aufspaltung des 50-kV-Netzes in nur *lose* ge-



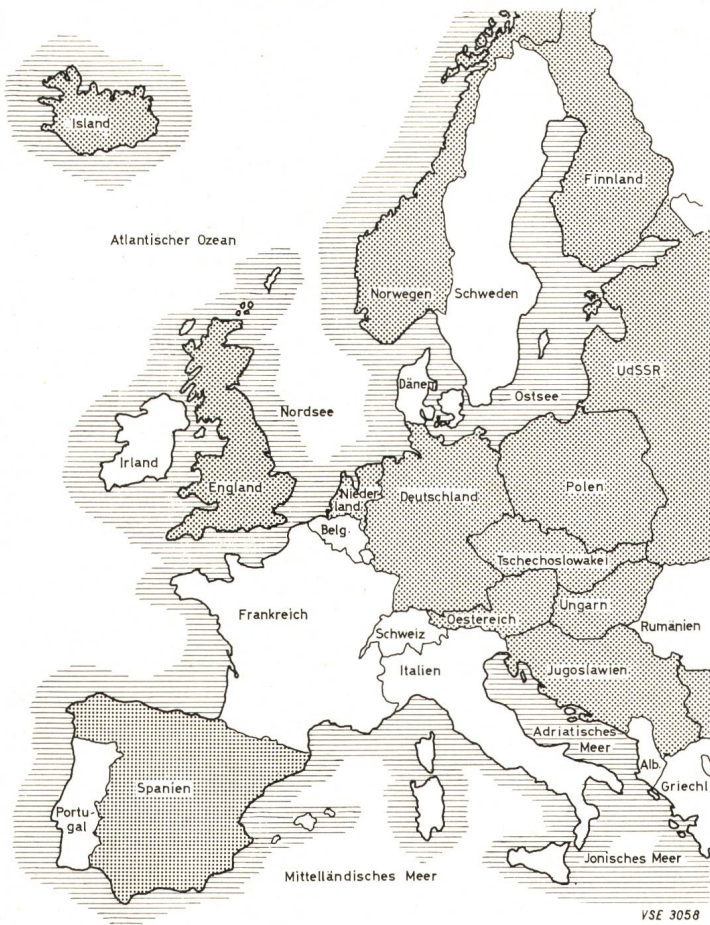


Fig. 3  
110 kV Nennspannung

■ Länder mit 110 kV Nennspannung

denen während eines Erdschlusses die *betriebsfrequente* Spannung zwischen der oder den gesunden Phasen und Erde an einer beliebigen Stelle den Wert von 80 % der höchsten verketteten Spannung überschreiten darf. Gemäss Definition VDE 0111 fallen hierunter im allgemeinen Netze mit induktiver Sternpunktterdung über Erdschlußspulen und solche mit isoliertem Sternpunkt.

Beispiel: Das heutige 50-kV-Netz der NOK ist nicht wirksam geerdet. Erdung über sieben Erdschlußspulen.

– Bei der in der Tabelle an zweiter Stelle angeführten Spannungsreihe handelt es sich um ein Netz mit 132 kV Nennspannung und 145 kV höchste Betriebsspannung, mit reduzierter Isolation, das darum wirksam geerdet sein muss. Als wirksam geerdete Netze können dabei solche bezeichnet werden, in denen während eines Erdschlusses die betriebsfrequente Spannung zwischen der oder den gesunden Phasen und Erde an keiner Stelle des Netzes den Wert von 80 % der höchsten verketteten Spannung übersteigen kann. Hierunter fallen auch Netze mit induktiver Sternpunktterdung über Sternpunktdrosseln, die diese Bedingung erfüllen, und stets solche mit durchwegs geerdetem Sternpunkt.

Beispiel: Die heutigen 220- und 380-kV-Netze sind über die meisten Transformatorensternpunkte direkt und somit wirksam geerdet.

Für die beiden vorstehend aufgeführten 110-kV- bzw. 132-kV-Netze sind nach CEI die gleichen Stoss- und Prüfspannungen vorgeschrieben, nämlich

50-Hz-Prüfspannung: 230 kV  
Stoßspannung: 550 kV

Es kann demnach für beide Netze das gleiche marktgängige 110-kV-Material verwendet werden. Eine Ausnahme bilden die Transformatoren und Spannungswandler. Gleichfalls sind die vorgeschriebenen Phasendistanzen und Abstände Phase-Erde gleich gross. Die bestehenden 50-kV-Betonmastenleitungen können also für beide Spannungsebenen verwendet werden. Gleichfalls wäre der Umbau der bestehenden 50-kV-Anlagen für beide Spannungsebenen in derselben Art möglich, mit Ausnahme der Transformatoren.

#### b) Diskussion der Wahl der neuen Spannung

Es stehen uns also für den Umbau des 50-kV-Netzes im Prinzip zwei Spannungsreihen zur Auswahl zur Verfügung, deren Eignung wir nun punktweise prüfen werden:

##### 1. Erdung des Netzes

Bis 1968 wurde das 50-kV-Netz der NOK bezüglich Erdschluss mittels induktiver Löschspulen kompensiert. Infolge der grossen Netzausdehnung und der laufenden Umbauten auf Kabel erreichte der Reststrom im Erdschlussfall ca. 110 A, wobei die Löschung nicht mehr einwandfrei erfolgte. Das heute bestehende 50-kV-Netz wurde daher über sieben Erdschlussdrosseln von je 35 Ohm geerdet. Mit dieser Massnahme lässt sich der Erdschlußstrom an jeder Stelle des Netzes auf maximal 3000 A begrenzen. Umgekehrt wird der für das selektive Arbeiten des Distanzschutzes für die vorliegenden Verhältnisse minimal notwendige Strom von 300 A zu den gestörten Anlagenteilen an keiner Stelle unterschritten. Fehlerhafte Teile des Netzes werden sofort abgeschaltet.

Der Vorteil dieser Erdungsart liegt darin, dass an Steuer-, Melde- und Telephonanlagen keine unzulässig hohen Beeinflussungen zu erwarten sind und dass die auftretenden Schritt- und Berührungsspannungen im Bereiche von elektrischen Anlagen und Masten ohne kostspielige Massnahmen innerhalb zulässiger Grenzen gehalten werden können. Bei Einhaltung eines maximalen Kurzschlußstromes von 3000 A hat uns die Generaldirektion PTT schriftlich zugesichert, dass im ganzen Netzbereich für uns und die Kantonswerke keinerlei Kosten für den Schutz der Schwachstromnetze erwachsen werden. Dies scheint speziell für das vorliegende 50/110-kV-Netz im NOK-Versorgungsgebiet von grosser Wichtigkeit, weil die daran angeschlossenen Verteilunterwerke sich teilweise in direkt überbauten Gebieten befinden. Auch Zerstörungen, insbesondere an den empfindlichen Kabeln und in Zentralen, werden durch die Begrenzung der Erdschlußströme nach Möglichkeit klein gehalten.

Die heute im 50-kV-Netz der NOK angewendete Erdungsart bedingt auf alle Fälle ein vollisoliertes Netz, da in Fehlerfällen Spannungen an den gesunden Phasen von über 80 % der verketteten Spannungen gegenüber Erde auftreten könnten. Zudem besteht im Störfalle die Möglichkeit, dass Inselnetze ohne Erdung auftreten können, was auf alle Fälle ein vollisoliertes Netz nötig macht. Die Bedingungen werden nur vom 110-kV-Netz mit voller Isolation erfüllt. Mit Rücksicht auf die guten Betriebserfahrungen mit dem 50-kV-Netz möchten die NOK diese Erdungsart auch bei der neuen Nennspannung anwenden.

Das 132-kV-Netz mit reduzierter Isolation verlangt eine wirksame Sternpunktterdung, die verhindert, dass im Fehler-

fallte die Spannung zwischen einem Leiter und Erde 80 % der höchsten verketteten Betriebsspannung überschreitet.

Bei dieser Erdungsart würden sich für die zur Diskussion stehenden Verhältnisse im NOK-Netz folgende Probleme stellen:

Das Netz muss direkt oder über eine grosse Anzahl ohmscher oder induktiver Widerstände geerdet werden, wobei bedeutend höhere Erdschlußströme auftreten werden.

Zur Verhinderung der Bildung von Inselnetzen mit nicht wirksam geerdeten Sternpunkten in einem Störfall müssen auch in sämtlichen Anlagen der Kantonswerke eine hohe Anzahl von Transformatoren direkt oder über niederohmige Impedanzen geerdet werden.

Die Erdschlußströme können nur beschränkt limitiert werden. Um schädliche Auswirkungen auf Schwachstromanlagen und die Gefährdung von Mensch und Tier in der Nähe von Anlagen und Masten vermeiden zu können, werden in manchen Fällen besondere und kostspielige Schutzmassnahmen nicht zu umgehen sein.

## 2. Transformatoren

Bei Verwendung der neuen Spannung von 110 (123) kV könnten in der Übergangsphase der Umstellung von 50 auf 110 kV umschaltbare Transformatoren verwendet werden. Bei den 220/50-kV-Transformatoren könnte die Sekundärseite so ausgelegt werden, dass eine Parallelschaltung der Wicklung 55 kV und eine Serieschaltung 110 kV ergeben würde. Auch bei den 50/16-kV-Transformatoren der Kantonswerke wäre eine solche Umschaltmöglichkeit auf der 50-kV-Seite vorzusehen. Dabei müsste allerdings die Spannungsregulierung entgegen der heutigen Praxis auf die 16-kV-Seite verlegt werden. Es wäre also durchaus möglich, mit den gleichen Transformatoren zuerst auf 50 kV und später auf 110 kV zu transformieren. Dabei müsste die Umschaltung unter Deckel erfolgen und wäre in einigen Stunden möglich.

Bei der Wahl einer Betriebsspannung von 132 kV wäre die Umschaltung bei den vorliegenden Verhältnissen des

NOK-50-kV-Netzes auf die neue Spannung umständlicher und somit erheblich kostspieliger, da eine Serie-Parallelschaltung der Transformatoren nicht in Frage kommen könnte. Wahrscheinlich müsste man bei der Einführung der neuen Spannung neue Transformatoren mit einer 132-kV-Wicklung anschaffen oder die Transformatoren so auslegen, dass später eine 132-kV-Wicklung eingebaut werden könnte.

## 3. Normalmaterial

Nachdem in Europa viele Länder, wie Deutschland, Österreich, Holland, Tschechoslowakei, Finnland usw., als Nennspannung die Reihe 110 kV eingeführt haben, besteht die Möglichkeit, hier Normalmaterial verwenden zu können (Beilage 3). Mit Ausnahme von Transformatoren und Spannungswandlern ist die Verwendung des gleichen Normalmaterials auch für die Spannungsreihe 132 kV möglich. Die Verwendungsmöglichkeit von Normalmaterial ist insbesondere im Hinblick auf den späteren Einbau von SF<sub>6</sub>-Anlagen von grossem Vorteil.

## 4. Kupplung mit ausländischen Netzen im Notfalle

Da sowohl in Deutschland wie in Österreich, d. h. in den unserem Absatzgebiet angrenzenden Nachbarländern, ein 110-kV-Netz betrieben wird, besteht im Notfalle die Möglichkeit einer gewissen gegenseitigen Reservestellung.

## IV. Schlussfolgerungen

Auf Grund der vorstehenden Ausführungen und mit Rücksicht auf die speziellen Verhältnisse des Überganges des bestehenden 50-kV-Netzes auf eine höhere Netzspannung scheint uns als Nennspannung die folgende Spannungsreihe geeignet:

110/123 kV mit voller Isolation

50-Hz-Prüfspannung: 230 kV

Stoßspannung: 550 kV

Erdung des Netzes über im ganzen Netz verteilt aufgestellte Erdschlußspulen zur Begrenzung des Erdschlußstromes auf ca. 3000 A.

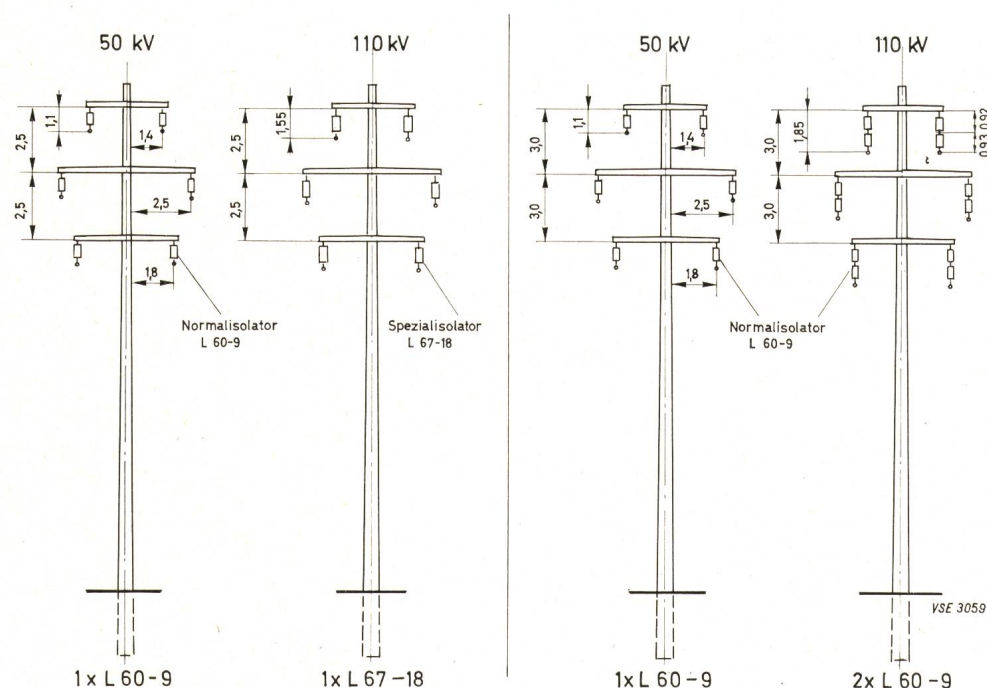


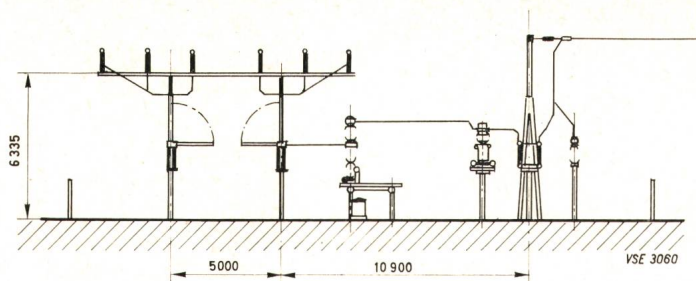
Fig. 4  
Leiterisolation bei Spannungserhöhung  
50 auf 110 kV

Links:

Bis 1972 verwendete Betonmasten  
Mastbild Typ 2

Rechts:

Ab 1972 zu verwendende Betonmasten  
Mastbild Typ 2 (3)



50 kV-Anlage  
Feldteilung 7,5 m

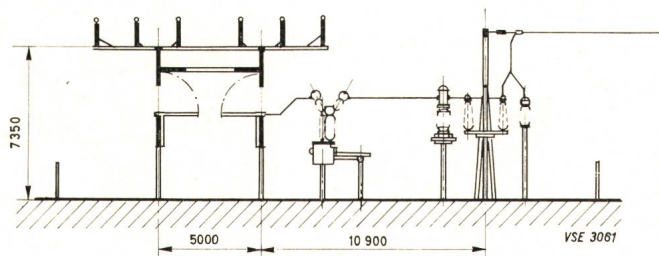


Fig. 5  
110 kV-Anlage  
Feldteilung 7,5 m

Das zukünftige 110-kV-Netz soll durch Distanzschutzrelais überwacht werden und mit Schnellwiedereinschaltung ausgerüstet werden.

*Auswirkungen für die verschiedenen Netzteile wie Leitungen, Unterwerke, Transformatoren usw., die die Umstellung von 50 auf 110 kV mit sich bringen.*

#### a) Freileitungen (Fig. 4)

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die modernen Betonmasten ohne wesentliche bauliche Veränderungen der Gestänge auf 110 kV umgestellt werden können. Dabei wären allerdings gemäss hier gezeigter Fig. die heute verwendeten Normalisolatoren L 60/9 durch Spezialisolatoren L 67/18 zu ersetzen.

Um diesen Nachteil bei neugebauten Leitungen zu umgehen, soll künftighin der Etagenabstand der der neuen Spannung angepassten Ausleger von 2,5 auf 3 m vergrössert werden. Im übrigen bleiben die Betonmasten, insbesondere die grösste Auslegerlänge von 5 m, unverändert. Als Isolatio-

nen dienen bei 110 kV zwei Normalisolatoren L 60/9, d. h., durch Einbau eines zweiten Isolators ist der Betrieb mit 110 kV möglich.

#### b) Kabelleitungen

Bestehende 50-kV-Kabelverbindungen, die im Endausbau fast durchwegs als zwei parallele Dreileiterkabel  $3 \times 240 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$  ausgeführt sind, müssen ersetzt werden. Für die neuen 110-kV-Kabelleitungen kommen für die geforderten Übertragungsleistungen nur Einleiterkabel in Frage. Die Kabeltrassen sind daher künftig pro Strang für die Auslegung von drei Einleiter- anstatt zwei Dreileiterkabeln vorzusehen.

#### c) Freiluftanlagen (Fig. 5)

Die heute bestehenden modernen 50-kV-Freiluftanlagen sind gemäss dieser Fig. mit einer Rohrsammelschiene ausgeführt. Die Feldbreite beträgt durchwegs 7,5 m. Eingehende Studien haben ergeben, dass durch die Erhöhung des Sammelschienenengerüstes um ca. 1 m ein Umbau der heutigen 50-kV-Anlage auf die vorgesehene 110-kV-Spannungsebene auf dem zur Verfügung stehenden Platz durchaus möglich ist. Selbstverständlich sind dabei alle Apparate gegen solche der 110-kV-Spannungsreihe auszuwechseln. Der Umbau der Anlagen ist felderweise vorgesehen. Für neue 50-kV-Anlagen in Freiluftausführung werden die 50-kV-Sammelschienenengerüste schon heute für 110 kV ausgerüstet.

#### d) Innenraumanlagen (Fig. 6)

Die bestehenden 50-kV-Innenraumanlagen gestatten einen konventionellen Umbau auf die neue Nennspannung 110 kV mit Rücksicht auf den erhöhten Platzbedarf im allgemeinen nicht. Vielmehr wäre hier der Einsatz einer  $\text{SF}_6$ -Anlage zu prüfen. Die vorliegende Fig. zeigt den Vergleich einer 50-kV- mit einer 110-kV-Anlage in konventioneller Bauweise und mit einer entsprechenden  $\text{SF}_6$ -Anlage. Eine spätere 110-kV-Anlage in konventioneller Ausführung bedingt also heute schon eine wesentliche Vorinvestition für den benötigten Mehrraum. Nur bei Anwendung einer 110-kV- $\text{SF}_6$ -Anlage würde der Raum einer konventionellen 50-kV-Anlage genügen.

Wir sind uns bewusst, dass diese ersten Abklärungen des möglichen Überganges auf eine Spannung von 110 kV noch viele Fragen offenlassen. Insbesondere ist in nächster

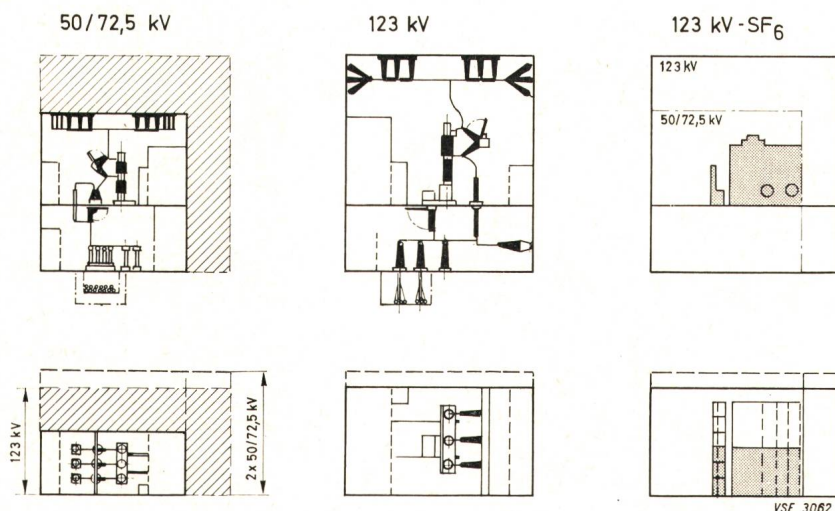


Fig. 6  
50/72,5—123 kV Innenraumanlage-Vergleich  
Doppel-Sammelschiene isoliert

zu empfehlende Bauvolumenvergrösserung bei späterem Umbau auf eine konventionelle 110 kV-Anlage

Zeit abzuklären, wie und in welcher Zeitspanne der stufenweise Übergang auf die neue Spannung zu erfolgen hat. Wir sind jedoch der Meinung, dass bei Neubauten oder Umbauten von 50-kV-Anlagen die spätere Umstellung auf 110 kV durch Vorleistungen erleichtert werden sollte, die heute ohne grossen Kostenaufwand möglich sind und deren Unterlassung eine Umstellung sehr erschweren würde. Wir haben uns daher entschlossen, in diesem Sinne folgende Massnahmen ab sofort zu treffen:

1. Für neue 50-kV-Leitungen werden nur noch Normalmasten des gezeigten Types mit 3-m-Traversenabstand verwendet. Damit ist der Übergang auf 110 kV einfach durch Einfügen eines zweiten Isolators möglich.

2. Für neue 50-kV-Kabelleitungen wird in Zukunft das Trasse so gewählt, dass dieses pro Strang für drei Kabel Platz bietet, d. h., es werden an kritischen Stellen drei statt wie bisher zwei Rohre verlegt. Diese Massnahme dient dem späteren Einzug der nötigen 110-kV-Einleiterkabel.

3. Für neue 50-kV-Freiluftanlagen werden die 50-kV-Sammelschienenengerüste heute schon für 110 kV ausgerüstet. Der spätere Umbau auf 110 kV kann dann felderweise unter Beibehaltung der heutigen Feldteilung erfolgen.

4. Für neue 50-kV-Innenraumanlagen muss von Fall zu Fall abgeklärt werden, ob der Hochbau für eine spätere konventionelle 110-kV-Anlage auszubauen sei oder ob später eine SF<sub>6</sub>-Anlage in der 50-kV-Anlage einzubauen sei.

In einem späteren, der Netzumstellung näher liegenden Zeitpunkt, sind folgende Massnahmen zu treffen:

1. Anschaffung umschaltbarer Transformatoren 55/110 kV.

2. Verlegung von 110-kV-Einleiterkabeln zum vorläufigen Betrieb mit 50 kV.

Ich hoffe, Ihnen mit diesen Ausführungen die Gründe dargelegt zu haben, die die NOK bewogen haben, die Einführung der 110-kV-Nennspannung anstelle der 50-kV-Spannung für die Zukunft vorzusehen. Damit habe ich geschlossen, und ich möchte Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit danken.

**Adresse des Autors:**

*E. Nohl, El.-Ing., Prokurist, Nordostschw. Kraftwerke AG, 5401 Baden.*