

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 89 (1998)

Heft: 7

Artikel: Ein Grobverteilstromnetz mit reduzierter Isolation

Autor: Vorwerk, Hans-Joachim

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-902064>

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: 18.04.2026

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

Ein reduziertes Isolationsniveau von Hochspannungsnetzen kann wirtschaftliche Vorteile haben. Wie aber sieht es mit der Betriebssicherheit solcher Netze aus? Der vorliegende Beitrag berichtet von Erfahrungen, die von den Bernischen Kraftwerken (BKW) im Betrieb eines 132-kV-Netzes mit reduzierter Isolation gemacht wurden.

Ein Grobverteilsnetz mit reduzierter Isolation

■ Hans-Joachim Vorwerk

Für Grobverteilsnetze wird in der Regel die volle Isolation gewählt. Über ein Netz mit reduzierter Isolation liegen jetzt Betriebserfahrungen über gut zwei Jahrzehnte vor, was eine Beurteilung der seinerzeit getroffenen Entscheidung ermöglicht. Die wirksame Sternpunktterdung zusammen mit dem Einsatz von Überspannungsableitern erlaubte die Wahl des reduzierten Isolationsniveaus als kostengünstige Lösung ohne Beeinträchtigung der Verfügbarkeit des Netzes.

Einführung einer neuen Netzspannung

Bereits Ende der sechziger Jahre wurde bei den BKW erkannt, dass das bisher zur Grobverteilung dienende 50-kV-Netz bald an die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit stossen würde. Der Elektrizitätsverbrauch in den von den BKW versorgten Gebieten hatte durchschnittlich um etwa 6% pro Jahr zugenommen, das heisst alle zwölf Jahre verdoppelte sich der Verbrauch und eine Änderung dieser Entwicklung war nicht in Sicht (Bild 1). Es war deshalb zu überlegen, welche höhere Netzspannung in Frage kommen könnte. Einerseits stand ein auch von den Nordostschweizerischen Kraftwerken (NOK) ins Auge gefasstes

110-kV-Netz zur Auswahl, und andererseits bestand bereits das alte 150-kV-Übertragungsnetz, das ehemals zur Verbindung von Kraftwerken in den Alpen mit den Verbraucherzentren geschaffen worden war und zusammen mit den Städten Bern und Basel betrieben wurde. Allerdings hatte dieses Netz durch den fortgeschrittenen Ausbau des 220- und des 380-kV-Netzes seine ursprüngliche Funktion zumindest teilweise eingebüsst und erreichte nur mehr eine Betriebsspannung von nicht ganz 145 kV. Umfangreiche Studien, über die in dieser Zeitschrift 1973 ausführlich berichtet wurde [1], erbrachten klare technische und wirtschaftliche Vorteile zugunsten eines 132-kV-Netzes. Die maximal zulässige Betriebsspannung U_m beträgt hier 145 kV, eine Spannung, die auch

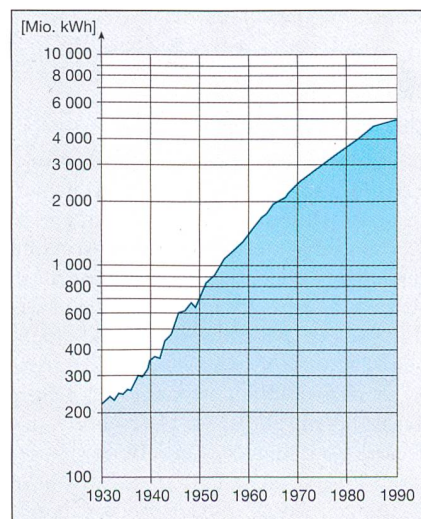


Bild 1 Entwicklung des Elektrizitätsverbrauchs seit 1930

Adresse des Autors
Hans-Joachim Vorwerk, Dipl.-Ing.
BKW Energie AG, Viktoriaplatz 2
3000 Bern 25

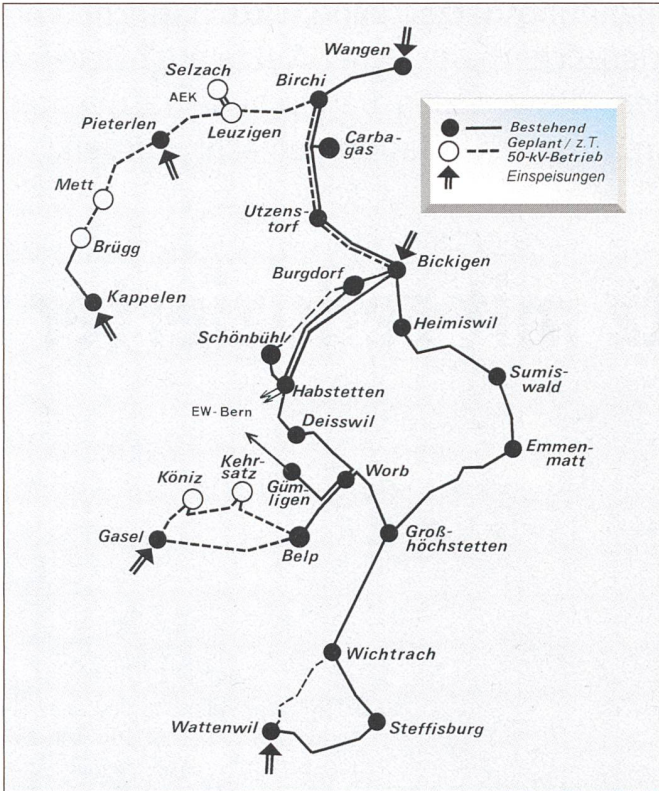


Bild 2 Das 132-kV-Netz der BKW

Umfang des 132-kV-Netzes	
Stranglänge (Kabel- und Freileitungen)	192 km
Anzahl Schaltanlagen	23
Anzahl Felder	109
Felderbetriebsjahre	1629

Tabelle I Daten des 132-kV-Netzes

Der Sternpunkt des neuen Netzes, das aus Kabel- und Freileitungen besteht, ist wirksam geerdet. Bei den eingebundenen Unterwerken handelt es sich um Freiluft- und SF₆-Anlagen.

Aus der wirksamen Erdung ergibt sich eine Erdungsziffer von 0,8 bzw. moderner ausgedrückt ein Erdfehlerfaktor von 1,4. Daraus folgt – von einigen nicht relevanten Sonderfällen abgesehen – ein Überspannungsfaktor von weniger als 3. Eine Begrenzung der Schaltüberspannungen durch den Überspannungsschutz ist damit nicht erforderlich. Lediglich beim Ausschalten älterer leerlaufender Transformatoren könnte eine Begrenzung der Überspannungen durch Ableiter nützlich und notwendig sein.

Das gemischte Netz aus Kabeln und Freileitungen zählt zu den exponierten Anlagen, weil sie im Gegensatz zu reinen Kabelnetzen atmosphärischen Überspannungen ausgesetzt sind. Für solche Netze gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten: die volle und die reduzierte Isolation. Letztere bleibt den wirksam geerdeten Netzen vorbehalten, weil hier zwischen den gesunden Phasen und Erde höchstens 80% der verketteten Betriebsspannung auftreten können. Daher lassen sich Ableiter mit tieferer Nennspannung und damit auch tieferem Schutzniveau verwenden als in Netzen mit nicht wirksam geerdetem Sternpunkt. Sofern Überspannungsableiter eingesetzt werden, kann daher das Material mit

vom damals vorhandenen 150-kV-Netz nicht überschritten wurde. Dieses Netz konnte somit ohne weiteres in das neue integriert werden. Die erste Anlage für die neue Netzspannung ging dann 1974 in Betrieb.

Das neue 132-kV-Netz ermöglicht allein durch die Spannungserhöhung einen rund dreimal höheren Leistungstransport als das alte 50-kV-Netz. Durch entsprechende Wahl der Seilquerschnitte lässt sich bei Bedarf ungefähr die siebenfache Leistung transportieren. Diese Leistungsfähigkeit erlaubt einen verhältnismässig einfachen Netzaufbau und wird selbst in den Agglomerationen zu keinen Engpässen führen.

Eine Zusammenstellung einiger wichtiger Daten des Netzes zeigt Tabelle I.

Isolationskoordination und Überspannungsschutz

Allgemeines

Die folgenden Überlegungen basieren auf den damaligen Grundlagen der Isolationskoordination. Der Blick in die Normen eröffnete für $U_m = 145$ kV verschiedene Möglichkeiten zur Wahl des Isolationsniveaus, die aus Tabelle II ersichtlich wird. Bei der Auswahl sind die Rahmenbedingungen des Netzes zu berücksichtigen, die nachstehend kurz beschrieben sind.

Aufbau und Umfang des 132-kV-Netzes der BKW

Das neue Netz wurde seit 1974 sukzessive aufgebaut. Bedingt durch häufige Bewilligungsverfahren für einige Leitungsabschnitte sind die Arbeiten auch heute noch nicht abgeschlossen. In den neunziger Jahren hat sich dann das Tempo des Ausbaus durch die abgeschwächten Zuwachsraten im Elektrizitätsbedarf deutlich verlangsamt. Bild 2 zeigt einen aktuellen Ausschnitt des Netzes zwischen Jura und Berner Oberland. Daraus ist ersichtlich (gestrichelte Leitungen), dass je nach Bedarf in Zukunft weitere Netzteile dazukommen werden.

Höchste Betriebsspannung des Materials		Nennblitzstosshaltespannung (SCHEITELWERT)	Betriebsfrequente Prüfspannung (EFFEKTIVWERT)
(EFFEKTIVWERT) U_m	(SCHEITELWERT) $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$		
kV	kV	kV	kV
123	100	450	185
145	118	550	230
170	139	650	275
		750	325

Tabelle II Standardisolationsniveaus

tieferem Isolationsniveau wirksam geschützt werden.

Diese Überlegungen führten dazu, das reduzierte Isolationsniveau mit einer Nennblitzstoss-Haltespannung von 550 kV zu wählen. Die zugeordnete Wechselprüfspannung beträgt 230 kV.

Die höchsten Schaltüberspannungen dürften den Scheitelwert der Wechselprüfspannung nicht übersteigen. Die Isolation wird daher diese Überspannungen aushalten und muss nicht speziell geschützt werden.

Die Entscheidung für eine reduzierte Isolation wurde damals als recht mutig angesehen, war man doch bei Grobverteilnetzen an die volle Isolation gewöhnt.

Im 380-kV-Netz war es inzwischen üblich geworden, das Blitzstosshaltespannungsniveau von 1550 auf 1425 kV zu reduzieren und lediglich die Transformatoren mit Überspannungsableitern zu schützen. Aber hier beträgt die Reduktion lediglich 8%, während sie beim 132-kV-Netz gut 15% ausmacht.

Die Daten der Überspannungsableiter (Tabelle III) wurden inzwischen geändert. Ursprünglich wurden Funkenstreckenableiter mit den damals üblichen Siliziumkarbid-Widerständen eingesetzt, die Mitte der achtziger Jahre im Zuge der Weiterentwicklung durch moderne Metalloxid(MO)-Ableiter abgelöst wurden. Aus dem Vergleich der Restspannungen ist erkennbar, dass der MO-Ableiter die Anlagen noch besser schützt. Hinzu kommt eine Kostenersparnis von 30%, die auch aus wirtschaftlicher Sicht für den Einsatz von MO-Ableitern spricht.

Freiluftschaltanlagen

Bild 3 zeigt die Einbauorte der Überspannungsableiter. Demnach ist jedes Leitungsfeld am Eingang mit Ableitern geschützt. Dieser Schutz ist selbst bei geöffnetem Leistungsschalter und/oder geöffnetem Ausgangstrenner wirksam, wodurch alle Schaltzustände einschliesslich des Auftretens von Folgeblitzen abgedeckt sind.

Ferner sind die Transformatoren sowohl ober- als auch unterspannungsseitig durch Ableiter geschützt. Diese Mass-

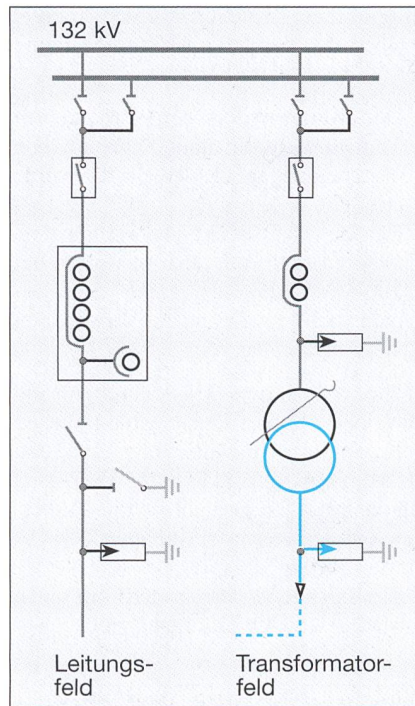


Bild 3 Einbauorte der Überspannungsableiter in einer Freiluftanlage

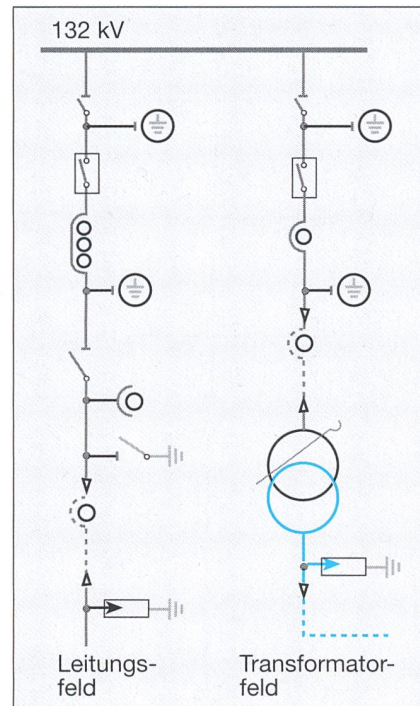


Bild 4 Einbauorte der Überspannungsableiter in einer SF₆-Anlage

nahme gilt bei modernen Konzeptionen als selbstverständlich.

SF₆-Anlagen (GIS)

Bild 4 zeigt die Einbauorte der Überspannungsableiter bei gasisolierten Anlagen. Die Leitungseinführungen erfolgen ausschliesslich per Kabel, wobei an jedem Übergang Freileitung/Kabel Ableiter montiert sind. Auf der 132-kV-Seite der Transformatoren fehlen sie. Die Frage nach dem Grund lässt sich wie folgt beantworten.

Die Transformatoren sind mit der Schaltanlage über Kabel verbunden. Die Länge der Kabel ist mit ungefähr 20 m relativ kurz. Durch diese Kabel und durch die Kabelstrecken der Leitungseinführungen wird die Stirn einlaufender Blitzüberspannungen deutlich abgeflacht, wodurch sich ein grosser Schutzbereich für den Ableiter ergibt. Hinzu kommt, dass, wie in Bild 5 dargestellt, die 132-kV-Leitungen Erdseile tragen, die bezüglich Material und Querschnitt den Phaseisen angepasst sind. Auf einer Länge der Freilei-

tung, die ungefähr der doppelten Länge des Einführungskabels entspricht, wird darauf geachtet, dass der Erdseil-Schutzwinkel 30 Grad nicht übersteigt. Direkte Einschläge ins Phaseisen sind damit praktisch ausgeschlossen oder so unwahrscheinlich, dass dieser Fall vernachlässigt werden kann. Im Hinblick auf rückwärtige Überschläge ist der Masterdung entsprechende Aufmerksamkeit zu schenken.

Im übrigen sei noch erwähnt, dass die Leitungsisolation wie die der Schaltanlagen ebenfalls für eine Blitzstosshaltespannung von 550 kV ausgelegt ist. Die ferneren Blitzschläge werden auf die Überschlagsspannung der Isolatoren begrenzt.

Auf teure gasgekapselte Überspannungsableiter wird bei den SF₆-Anlagen und am Transformator bewusst verzichtet.

Wirtschaftliche Gesichtspunkte

Seit eh und je spielen Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit einer Investition eine wichtige Rolle. Bei der Einführung des 132-kV-Netzes ging es grundsätzlich darum, die bestehenden 150-kV-Netzteile in das neue Netz zu integrieren und ferner die Aufgaben des 50-kV-Netzes zu übernehmen (Bild 6). Warum diesem Ansatz auch aus ökonomischer Sicht der Vorzug gegeben wurde, sollen die nachfolgenden Ausführungen zeigen.

Die Wahl des reduzierten Isolationsniveaus – 550 statt 650 kV Blitzstosshaltespannung – erforderte, wie erwähnt,

Daten	Funkenstrecken-Ableiter		Metalloxyd - Ableiter
	HM 120	HMM 120	MWL 088
Restspannung bei:			
• 1/5 µs 10 kA (Frontspg.)	325 kV	325 kV	299 kV
• 8/20 µs 10 kA (Blitzspg.)	275 kV	275 kV	268 kV
• 30/60 µs 1 kA (Schaltspg.)	290 kV	290 kV	219 kV
Dauernd zulässige max. Betriebsspg.	120 kV	120 kV	88 kV (≅ U _c)

Tabelle III Restspannungen von Funkenstrecken- und Metalloxidableitern

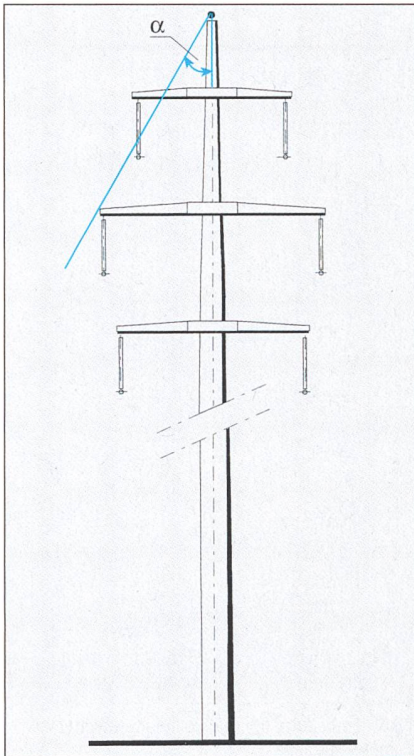


Bild 5 Der Erdseilschutzwinkel

den Einbau von Überspannungsableitern. Bezogen auf den spezifischen Feldpreis betragen die dadurch verursachten Zusatzkosten samt Apparaterüst, Fundament und Anschlüssen weniger als 2%. Demgegenüber stehen Einsparungen bei den Isolatorlängen und Luftabständen von 15%. Hinzu kommt, dass das auf dem europäischen Markt in reicher Auswahl vorhandene 110-kV-Material grundsätzlich eingesetzt werden kann. Aufgrund der höheren Betriebsspannung wird es aber für einen 18% höheren Leistungstransport genutzt.

Abgesehen vom reduzierten Isolationsniveau, das mit Hilfe der Überspan-

nungsableiter realisiert werden konnte, ergaben sich durch die wirksame Erdung des Netzes weitere Vorteile:

- Der Weiterbetrieb der vorhandenen Transformatoren und Schaltanlagen des ehemaligen 150-kV-Netzes wurde ermöglicht.
- Einsatz von 220/132-kV-Autotransformatoren statt Volltransformatoren. Bei 400-MVA-Einheiten ergab sich deshalb noch kein Zwang zur Verwendung von Einzelpolen.

Die reduzierten Trasseebreiten und Masthöhen liefern einen willkommenen Beitrag zum Umweltschutz. Aus den Mastskizzen in Bild 7 geht der Unterschied zwischen den alten 150-kV-Masten und den neuen, einstielligen 132-kV-Masten hervor.

Mittlerweile ist man in der Lage, auch einstiellige 150-kV-Leitungen zu bauen.

Betriebserfahrungen, Verfügbarkeit

Die geschilderte Netzkonzeption, bei der dank des Einsatzes von Überspannungsableitern das reduzierte Isolationsniveau verwirklicht werden konnte, hat sich bestens bewährt. Sowohl die ursprünglich ausgewählten magnetisch belassenen Funkenstreckenableiter als auch die modernen Metalloxidableiter haben ihre Aufgabe einwandfrei erfüllt. Bis heute sind 1629 Felderbetriebsjahre ohne jeglichen Lichtbogenfehler vergangen, und dies sowohl bei den Freiluft- als auch bei den SF₆-Anlagen.

Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass die seinerzeit getroffenen Entscheide richtig waren. Zweifler könnten die Frage stellen, ob denn überhaupt Blitzeinschläge in die Leitungen erfolgt seien. Schliesslich kann die Wirksamkeit von Überspannungsablei-

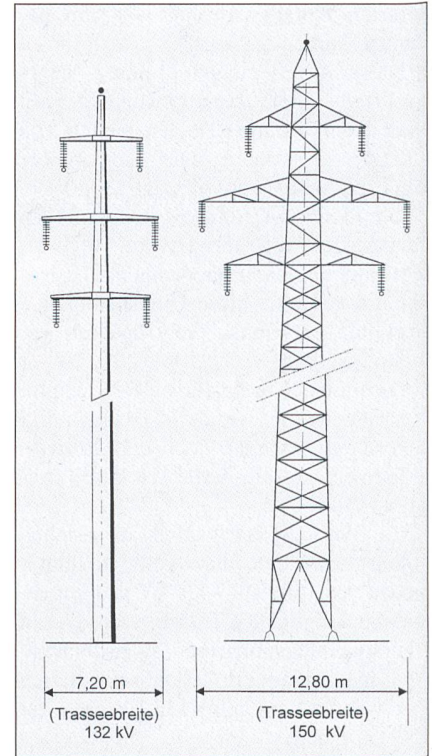


Bild 7 Trasseebreiten ein- und zwei-stieliger Hochspannungsmaste

tern praktisch nur dann geprüft werden, wenn auch tatsächlich Überspannungen auftreten. Nun, die Frage kann klar bejaht werden. Die Störungsstatistik zeigt, dass im Durchschnitt 1,8 Störungen pro 100 km Stranglänge und Jahr aufgetreten sind, was im Rahmen des Üblichen liegt.

Literatur

[1] H. R. Strickler: Überlegungen, welche die Bernischen Kraftwerke zum Einführen der 132-kV-Spannungsebene bewegen haben. Bull. SEV 64(1973)8, S. 525-531.

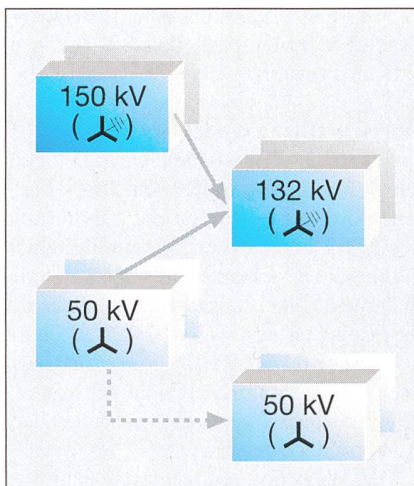


Bild 6 Aufgaben des 132-kV-Netzes hinsichtlich bestehender Netze

Un réseau de distribution principal à isolation réduite

Un niveau d'isolation réduit des réseaux de haute tension peut avoir des avantages économiques. Mais qu'en est-il de la sécurité de fonctionnement de tels réseaux? Le présent article rapporte des expériences que les Forces Motrices Bernoises SA (FMB) ont faites dans l'exploitation d'un réseau de 132 kV à isolation réduite.

Le niveau d'isolation réduit a pu être réalisé dans ce réseau avec neutre mis à la terre en utilisant des parafoudres. L'isolation a fait ses preuves depuis le milieu des années soixante-dix sur plus de 1629 travées-années de service sans aucun défaut d'arc. Tant les parafoudres à éclateur à soufflage magnétique initialement retenus que les parafoudres à oxyde métallique modernes ont pleinement accompli leur tâche.