

Über den Einsatz von SF6-Schaltanlagen aus der Sicht eines Überlandwerkes

Autor(en): **Vorwerk, H.-J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **69 (1978)**

Heft 23

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-914966>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Über den Einsatz von SF₆-Schaltanlagen aus der Sicht eines Überlandwerkes

Von H.-J. Vorwerk

Ausgehend von den Gründen, die zum Einsatz von SF₆-Schaltanlagen führten, wird über die Auslegung solcher Anlagen im Zusammenhang mit der Konzeption ganzer Unterstationen berichtet. Schliesslich werden die bisher gemachten Betriebserfahrungen mitgeteilt.

1. Einleitung

Vor allem die Raumnot in den Städten, die starke Luftverschmutzung in Industriezentren oder die beachtliche Einbusse an Isoliervermögen bei Hochspannungs-Freiluftanlagen in Meeresnähe infolge Auftretens salzhaltiger Niederschläge riefen im Schaltanlagenbau nach neuen und den Umständen besser angepassten Lösungen. Vor etwas mehr als zwei Jahrzehnten setzte die Entwicklung von SF₆-isolierten, voll gekapselten Schaltanlagen ein, und die damit erreichbare platzsparende Bauweise sowie die Unempfindlichkeit gegen Verschmutzung ermöglichten umweltfreundliche und betriebs-sichere Anlagen, was der SF₆-Technik inzwischen zum Durchbruch verhalf.

Auch bei einem Überlandwerk wie den Bernischen Kraftwerken AG (BKW), bei dem die genannten Zwänge für den Einsatz von SF₆-Anlagen nicht ohne weiteres zu vermuten sind, musste man sich bereits Ende der sechziger Jahre erstmals mit solchen Lösungsmöglichkeiten auseinandersetzen, weil die Landbeschaffung für eine geplante Unterstation anfänglich auf Schwierigkeiten stiess. Heute stehen im Netz der BKW zwei SF₆-isolierte 132-kV-Anlagen seit rund drei Jahren in Betrieb, eine 220-kV-Anlage sowie eine dritte 132-kV-Anlage im Bau und weitere sind geplant. Wie es dazu kam, welche Lösungen gewählt und welche Betriebserfahrungen bisher gesammelt wurden, wird nachstehend mitgeteilt.

2. Gründe für die Wahl gekapselter Schaltanlagen

Die fortschreitende Überbauung hat dazu geführt, dass es immer schwieriger wird, das für die Erstellung neuer oder den Ausbau bestehender Unterstationen notwendige Land zu beschaffen. Vielfach werden die neuen Unterstationen gerade dort benötigt, wo die Siedlungsdichte hoch und damit der Bedarf an elektrischer Energie entsprechend gross ist. Ganz allgemein macht sich bemerkbar, dass die Schweiz mit ihren rund 6,3 Millionen Einwohnern [1], was unter Abzug der nicht bewohnbaren Gebiete, wie Felsen, Gletscher und Seen

Après avoir cité les raisons qui ont conduit à l'utilisation de postes de couplage blindés, ce rapport traite de la conception et du dimensionnement de tels postes. En conclusion, on indique les expériences d'exploitation faites jusqu'à ce jour.

eine Bevölkerungsdichte von 199 Einwohnern pro Quadratmeter ergibt, mit zu den dichtbesiedeltsten Ländern Europas gehört. Ausserdem sieht man sich in den letzten Jahren aus den verschiedensten Gründen einer zunehmenden Abneigung gegen technische Bauwerke gegenüber. Es wird eher der Anblick eines Gebäudes als der einer konventionellen Schaltanlage in Freiluft-Bauweise toleriert.

Zur Überwindung der genannten Schwierigkeiten bietet sich in idealer Weise der Einsatz von SF₆-Schaltanlagen an, wobei im Versorgungsgebiet der BKW bisher aus wirtschaftlichen Erwägungen dieser neuen Technik gegenüber eine gewisse Zurückhaltung geübt wurde. Unter Berücksichtigung der im Vergleich mit grösseren Städten niedrigeren Landpreise kamen SF₆-Anlagen bisher immer noch etwas teurer zu stehen als konventionelle, wobei die Preisdifferenz eine abnehmende Tendenz aufweist. Es bleibt zu hoffen, dass die fortschreitende Rationalisierung auf die Verkaufspreise durchschlägt, um die SF₆-Technik noch attraktiver zu machen. Zusätzlich zu diesen allgemeinen Betrachtungen sollen die folgenden Beispiele im einzelnen zeigen, weshalb für SF₆-Anlagen entschieden wurde.

In Worblauen ging es darum, die bestehende und veraltete Unterstation mit den Spannungsebenen 150, 50 und 16 kV und den entsprechenden Transformatoren durch eine neue, leistungsfähigere 132/16-kV-Anlage zu ersetzen. Über die Gründe zur Einführung der Nennspannung von 132 kV wurde bereits berichtet [2]. Bis zur Inbetriebnahme der neuen Unterstation musste die alte noch ihre Dienste versehen, und der Standort der neuen sollte am gleichen Ort bleiben, da die 132-kV-Leitungsanschlüsse und das 16-kV-Netz des betreffenden Versorgungsgebietes auf diesen Standort zugeschnitten und Veränderungen in der Regel sehr kostspielig sind. Eingeklemmt zwischen Vorortsbahn und Strasse stand inmitten der alten Anlage zwischen den 50- und 132-kV-Anlagenteilen ein Landstreifen zur Verfügung, der es gerade noch erlaubte, eine normierte Unterstation, wie sie nachstehend beschrieben wird, aufzustellen (s. Fig. 1).

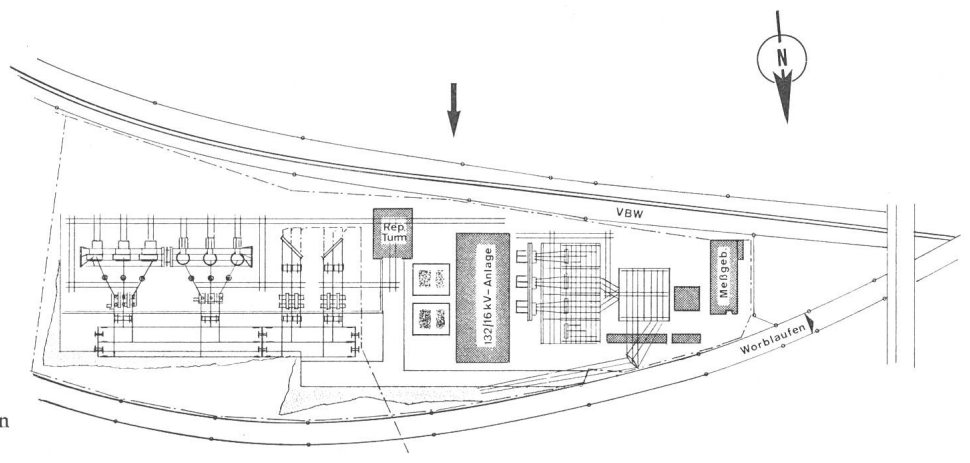


Fig. 1
132/16-kV-Unterstation Worblauen
Typenbezeichnung C/S

Der Pfeil kennzeichnet den Standort der neuen Anlage mit den im Freien aufgestellten Transformatoren

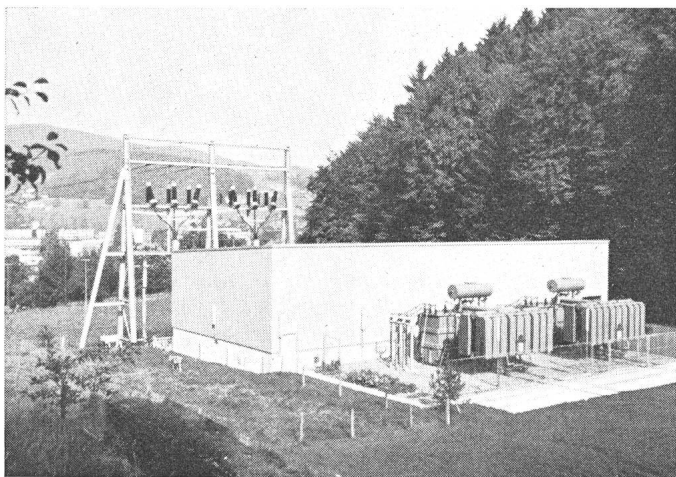


Fig. 2 132/16-kV-Unterstation Deisswil
Typenbezeichnung C/S

Ein zweites Beispiel ist die Unterstation Deisswil, wofür das notwendige Stück Land nur in einem engen Tal nahe der Tal-mündung beschafft werden konnte. Auch hier musste aus Platzgründen zur SF₆-Technik gegriffen werden. Es wurde der gleiche Stationstyp wie in Worblausen erstellt (Fig. 2).

Bezogen auf den Vollausbau der Unterstationen dieses Typs beträgt der Flächenbedarf nur 35 % dessen einer konventionellen Unterstation.

Die Unterstation Pieterlen ist ein weiteres Beispiel prekärer Platzverhältnisse. Hier ging es darum, die alte 150-kV-Anlage durch eine neue leistungsfähigere 132-kV-Anlage zu ersetzen, neu die 220-kV-Spannungsebene mit der entsprechenden Transformierung auf 132 kV einzuführen und den Weiterausbau dieses immer wichtiger werdenden Stützpunktes einzuplanen. Für den gesamten Anlagenkomplex in konventioneller Technik war die zur Verfügung stehende Parzelle zu klein. Als Ausweg wurde für die Schaltanlage mit der höchsten Nennspannung die SF₆-Technik gewählt, wodurch die eingesparte Grundfläche am grössten wurde. Das Gebäude der 220-kV-Schaltanlage tritt im Grundriss der Gesamtanlage kaum in Erscheinung, vergleiche Fig. 3. Sein Flächenbedarf beträgt nur 11 % der Grundfläche einer Freiluft-Schaltanlage.

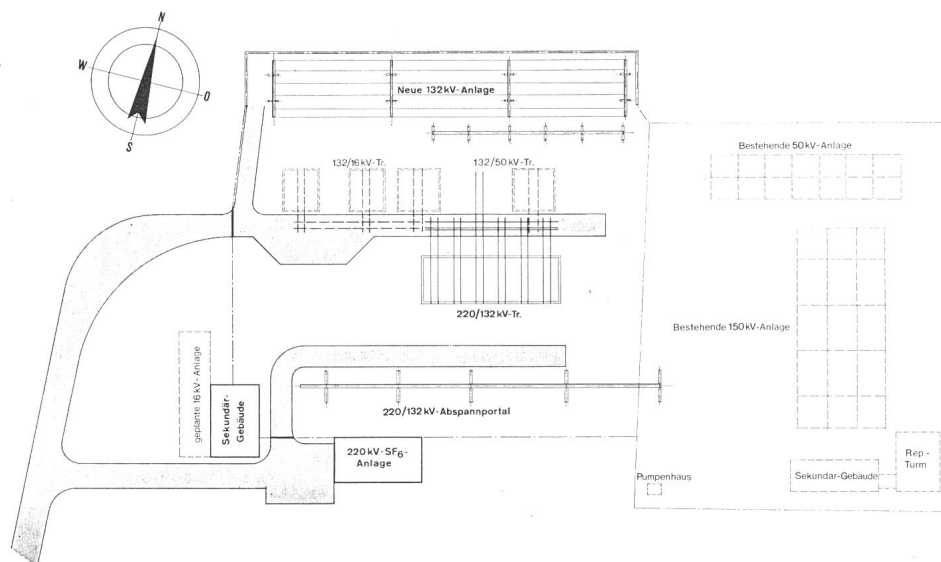


Fig. 3
Grundriss der Unterstation Pieterlen

SF₆-Schaltanlagen bringen neben der Platzersparnis noch Gewinne hinsichtlich Ästhetik und lassen eine erhöhte Betriebssicherheit durch weitgehende Ausschaltung störender Umwelteinflüsse sowie einen verminderten Unterhaltsaufwand erwarten. Schliesslich sei noch erwähnt, dass bei der Umstellung ganzer Netzteile auf höhere Betriebsspannungen die SF₆-Technik die in den Unterstationen notwendigen Umänderungen vereinfachen hilft, vergleiche Kapitel 3.1.

3. Auslegung der normierten Unterstation Typ C/S

3.1 Allgemeines

Im Hinblick auf die Normierung von Unterstationen seien hier nur folgende wesentliche Gesichtspunkte kurz erwähnt:

- Eine Normierung lohnt sich bei mehreren Anwendungen innerhalb einer Zeitspanne von etwa 5 bis 10 Jahren.
- Beim Projektierungsaufwand ist der Rationalisierungseffekt sehr beachtlich.
- Weitere Einsparungen ergeben sich durch Montage-routine, Routine bei der Ausprüfung und Inbetriebnahme und durch Anschlussbestellungen zu günstigen Konditionen.

Aus dem Übersichtsschema (Fig. 4) ist ersichtlich, dass die SF₆-Schaltanlage aus einer Einfachsammelschiene mit doppelter Längstrennung besteht. Dies erlaubt den Betrieb einer Sammelschienenhälfte auch bei Arbeiten an einem der Längstrenner. Bei Störungen, Unterhalts- oder Reparaturarbeiten ist die Stromversorgung des 16-kV-Netzes über einen der 40-MVA-Transformatoren in jedem Fall sichergestellt. Dabei wird wie üblich vorausgesetzt, dass nicht mehrere Störungen gleichzeitig auftreten, und ferner, dass die Transformatoren sich gegenseitig Reserve stehen, das heisst dass die transformierte Leistung der Unterstation höchstens bei 40 MVA liegt. Eine Doppelsammelschienen-Anlage kommt etwas teurer, und ausserdem entstehen beachtliche Mehrkosten durch das bei solchen Anlagen übliche Kuppelfeld. Wie aus dem Grundriss (Fig. 5) der Unterstation hervorgeht, kann die 132-kV-Schaltanlage um drei Felder erweitert werden, und falls notwendig, ist auch der spätere Ausbau auf Doppelsammelschiene ohne Gesamtanstellung möglich. Sind noch grössere Felderzahlen von der Netzentwicklung her zu erwarten, so kann der Platz dafür von Anfang an durch ein beliebig längeres Gebäude

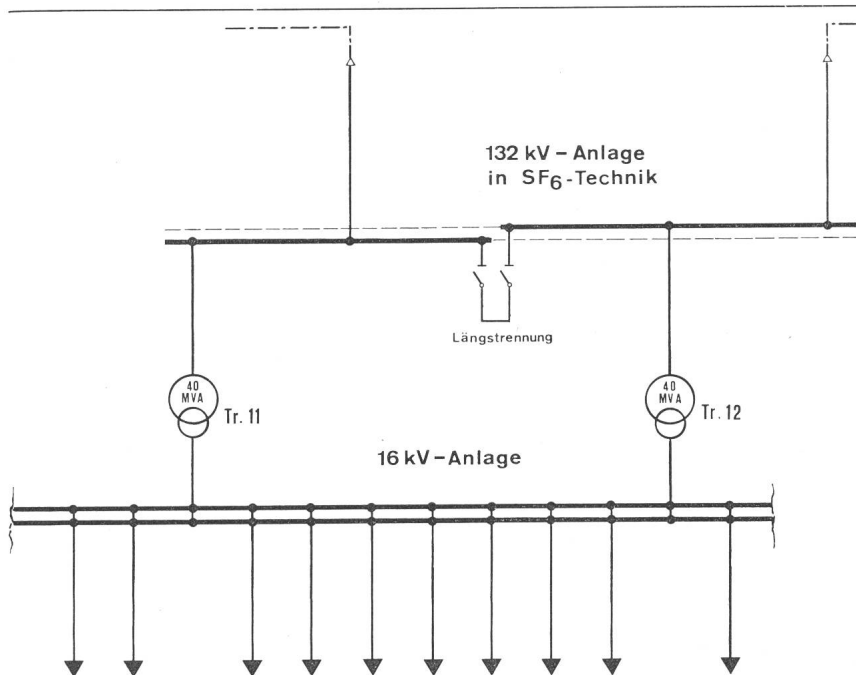


Fig. 4
Übersichtsschema der C/S-Station

bereitgestellt oder das Gebäude auch später erst ergänzt werden.

Bei der Betrachtung des Grundrisses sei noch auf folgende Besonderheit aufmerksam gemacht. Die Planung über den Ausbau des BKW-Netzes hat gezeigt, dass gewisse 50-kV-Netzteile nach und nach auf 132 kV angehoben werden müssen. Es kann nun der Fall eintreten, dass eine Unterstation benötigt wird, die zunächst mit 50 kV angespeist und erst zu einem späteren Zeitpunkt auf 132 kV umgestellt wird. An die Stelle der SF₆-Anlage tritt dann bei der C/S-Station anfänglich eine konventionelle 50-kV-Innenraumanlage, wobei das Feldvolumen recht gut mit dem eines 132-kV-Feldes überein-

stimmt. Die Ablösung des 50- durch das 132-kV-Material lässt sich später ohne weiteres feldweise vornehmen, wobei so vorgegangen wird, dass die Speisung der 16-kV-Anlage während der Umbauphase nicht unterbrochen wird. Auch bei älteren Unterstationen sind solche Spannungsumstellungen dank der SF₆-Technik auf relativ einfache Art möglich.

Das Stationsgebäude ist doppelgeschossig, wobei sich oben die Hochspannungshalle befindet, vergleiche Fig. 6. Es ist möglich, die verschiedensten SF₆-Fabrikate einzubauen. Die Schaltanlagen verschiedener Nennspannung sind durch ihre Kapselungen auch bei Störungen voneinander getrennt. Für die Montage sowie für Wartungsarbeiten und Reparaturen

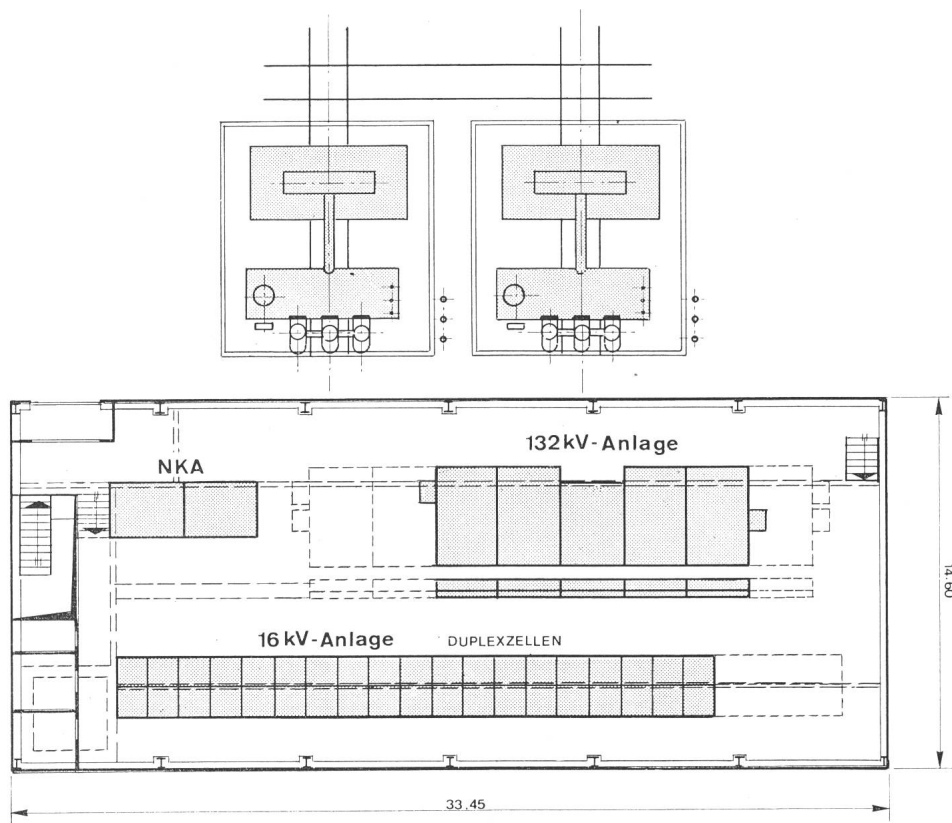


Fig. 5
Grundriss der C/S-Station
(NKA: Tonfrequenz-Rundsteueranlage)

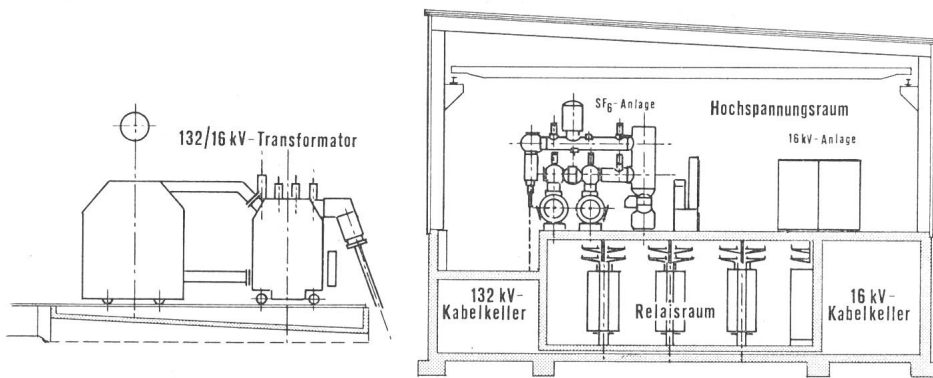


Fig. 6
Schnitt durch die C/S-Station

steht ein 1,7-t-Kran zur Verfügung. Der Absatz über dem 132-kV-Kabelkeller bietet eine Erleichterung während der Kabelmontage, vor allem für den Endverschluss. Die baulichen Mehrkosten sind vernachlässigbar.

Im unteren Geschoss befinden sich die Kabelkeller, der Relaisraum mit den äusserst kurz gehaltenen Verbindungskabeln zu den Hochspannungsanlagen, und ferner der Kommando-, Batterie-, Fernwirk-, Abstell- und Luftschutzraum.

Die Transformatoren sind per Ölkabel mit der SF₆-Anlage verbunden. Dieser Lösung wurde gegenüber der direkten SF₆-Kabelverbindung zwischen Transformator und Schaltanlage der Vorzug gegeben, weil sie neben den geringeren Investitionskosten eine grössere räumliche Flexibilität bietet und eine sichere mechanische Entkopplung gewährleistet, wodurch explosionsartige Störungen im Transformator ohne mechanische Auswirkungen in der Schaltanlage bleiben und umgekehrt. Transformator und Kühler sind getrennt aufgestellt, um an Orten, wo Lärmschutzmassnahmen erforderlich sind, den Transformator allseitig durch Lärmschutzwände gegen aussen abschliessen zu können. Lärmschutzmassnahmen lassen sich je nach Bedarf auch erst später vornehmen, wenn die Überbauung die Unterstation erreicht. Um sich diesen Weg von Anfang an nicht zu verbauen, sind die Verbindungsrohre zwischen Transformator und Kühler verhältnismässig lang.

Auch die 132-kV-Leitungen werden mit Ölkabeln an der SF₆-Anlage angeschlossen. Zur Abspannung von ankommenden Freileitungen dient das neben dem Gebäude aufgestellte Gerüst, siehe Fig. 2. Auch für 220-kV-Anlagen weisen die Untersuchungen in die Richtung, dass erst bei Nennströmen oberhalb etwa 2000 A die SF₆-Rohrverbindung grössere Vorteile als das Ölkabel bietet. Diese Angabe ist lediglich als grober Richtwert aufzufassen und kann gezielte Untersuchungen nicht ersetzen.

Für den Fall grösserer Gasverluste oder ausgetretener Zersetzungsprodukte infolge von Lichtbogenfehlern befinden sich am Eingang zur Unterstation eine Signallampe und eine Drucktaste zur Betätigung der Ventilation, die in der Lage ist, innerhalb von 20 Minuten das gesamte Gebäudevolumen einmal abzusaugen. Ausserdem kann von dort ein Windlicht auf den Rundgang mitgenommen werden, das erlischt, wenn der Sauerstoffgehalt zu stark abgesunken ist bzw. die Luft durch SF₆ verdrängt wurde, so dass Erstickungsgefahr besteht. Allerdings ist dieses Licht eher nur von psychologischem Wert, da ausgerechnet wurde, dass selbst beim Ausströmen des gesamten Gasinhalts der Schaltanlage sich im Untergeschoss der Unterstation ein SF₆-See von nur 25 cm Tiefe ansammeln kann.

3.2 Kenndaten

Die wichtigsten Kenndaten der SF₆-Anlagen Worblaufen und Deisswil sind in Tabelle I zusammengestellt. Daraus geht hervor, dass die von der Industrie angebotenen Schaltanlagen gewisse Nennspannungsbereiche überdecken. Es kann demnach der Fall eintreten, dass eine Anlage für eine höhere Nennspannung offeriert wird. Vom Anwender her kann dies nur dann akzeptiert werden, wenn keine preislichen Nachteile damit verbunden sind.

Die in der Unterstation fertig montierten SF₆-Anlagen wurden mit der vollen Prüfwechselfspannung 1 min. lang geprüft. Orientierungshalber wurden diese 50-Hz-Prüfungen mit TE-Messungen gekoppelt. Die Spannungswandler und Hochspannungskabel waren dabei abgehängt. Die Beanspruchung mit Wechselfspannung entspricht in ihrer Art der während vieler Jahre anliegenden Betriebsspannung und dürfte somit am meisten Gewähr für eine hohe Zuverlässigkeit der Anlage bieten. Man muss sich aber darüber im klaren sein, dass die abgehängten Teile mit ihren Verbindungen in der Schlussprüfung nicht erfasst und auch die während des Betriebes möglichen Blitzüberspannungen, die der Typenprüfung vorbehalten bleiben, in ihrer vollen Höhe nicht berücksichtigt werden. Das heisst mit anderen Worten, dass nur die grösseren Montagefehler mit der abschliessenden Spannungsprüfung erfasst werden können. Der Montageüberwachung und -kontrolle kommt demnach grosse Bedeutung zu.

Kenndaten der SF₆-Anlagen Worblaufen und Deisswil

Tabelle I

	Verlangt	Geliefert
Nennspannung	132 kV	132 kV
Höchstzulässige Betriebsspannung	145 kV	145...170 kV
Nennströme:		
Sammelschiene	1600 A	1600...2500 A
Leitungsfeld	1000 A	1250 A
	1600 A ¹⁾	2500 A ¹⁾
Kurzschlussfestigkeit	25/62,5 kA	30/75...40/102 kA
Nennausschaltstrom	25 kA	40 kA
Isolationsniveau:		
Normstoss	550/630 kV ²⁾	550/630...750/860 kV
Wechselfspannung	230/310 kV ²⁾	230/310...325/440 kV

¹⁾ Unterstation Deisswil

²⁾ Der 2. Wert gilt über die offene Trennstrecke der Trenner

3.3 Überspannungsschutz

Am Übergang Freileitung/Kabel sind moderne magnetisch beblasene Überspannungsableiter mit folgenden Daten angeordnet:

Nennspannung	120 kV
Nennableitstrom	10 kA
Grenzableitstrom	100 kA
Maximale Ansprechspannung bei Normstoss	275 kV
bei Schaltspannung	290 kV
in der Front (1000 kV/ μ s)	325 kV
Maximale Restspannung bei Ableitströmen (8/20 μ s)	
von 5 kA	250 kV
von 10 kA	275 kV
von 20 kA	310 kV

Ausserdem haben die Freileitungen Erdseile, deren Schutzwinkel wenigstens in den ersten ein bis zwei Spannweiten vor der Unterstation $\leq 30^\circ$ beträgt, was in der ersten Spannweite zwei Erdseile erfordert. In jedem Fall ist sichergestellt, dass die so geschützte Leitungsstrecke mindestens doppelt so lang wie die Länge des Einführungskabels ist [3; 4]. Mit den zu erwartenden Blitzkennwerten [5] und der werkeigenen Statistik über die Einschlagwahrscheinlichkeit in Leitungen wurde für Deisswil eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $< 10^{-4}/a$ ermittelt, das heisst innerhalb mehr als 10000 Jahren ist statistisch gesehen nur mit einem einzigen Über- bzw. Durchschlag in der SF₆-Anlage infolge von Blitzeinschlägen zu rechnen.

3.4 Netzschutz

Fig. 7 zeigt die einzelnen Elemente eines Leitungsfeldes und die Schutzkonzeption. Als Schutzrelais wurden schnelle elektronische Relais mit Auslösezeiten um bzw. unterhalb 20 ms gewählt.

Als Sammelschienenchutz dient der elektronische Hochimpedanzschutz. Weil es sich um eine Einfach-Sammelschiene handelt, kann auf den aufwendigeren Stromvergleichsschutz verzichtet werden. Die Strommessung übernehmen Kabelstromwandler ausserhalb der SF₆-Anlage. Auf diese Weise überlappen Distanz- und Sammelschienenenschutz im Bereich zwischen den SF₆-Stromwandlern nahe beim Leistungsschalter und dem Kabelstromwandler. Der Bereich, in dem sich Spannungswandler und Kabelendverschluss befinden, ist somit von den Relais her doppelt und damit sicherer als die eigentliche Sammelschiene geschützt. Beim Ansprechen des Schnell-distanzschutzes wird nämlich der Leistungsschalter der Gegenstation über die HF-Kupplung ebenfalls ausgelöst, so dass die ganze Leitung in Grundzeit ausgeschaltet wird. Spricht der Sammelschienenenschutz an, so werden sämtliche Leistungsschalter, und zwar auch die in den Gegenstationen, in Grundzeit ausgelöst und die Wiedereinschaltung in allen Leitungsfeldern sowie über die HF-Kupplung auch in den Gegenstationen blockiert.

Den Reserveschutz übernehmen die Distanzrelais der Gegenstationen in 2. Stufe.

4. Betriebserfahrungen

Die beiden beschriebenen Unterstationen gingen am 5. September 1975 bzw. 3. März 1976 in Betrieb und haben sich in den rund drei Betriebsjahren gut bewährt. Abgesehen von einigen zutage getretenen undichten Stellen wurden keine Mängel entdeckt.

Bei der einen SF₆-Anlage trat insgesamt dreimal und bei der anderen viermal das Signal «Druckabfall» auf. Es handelte sich in drei Fällen um kleine Leckstellen, die es erlaubten, Gas nachzufüllen und den betroffenen Anlagenteil betriebsbereit zu halten oder sogar weiterhin eingeschaltet zu lassen, um erst zum passenden, frei gewählten Zeitpunkt den Mangel zu beheben. Mit der Überlegung, beim Ansprechen der Druck- bzw. Dichtewächter keine Ausschaltung auszulösen, sondern dies dem Schutz zu überlassen, liegt man demnach bisher richtig. Es hat sich nämlich gezeigt, dass die Einrichtungen zur Gasüberwachung störanfällig sind und damit zu Fehlauflösungen führen können. Von den genannten sieben Gasalarmen waren vier auf ungünstige Einstellung bzw. falsche Anzeige der Überwachungsorgane zurückzuführen.

Die Leckstellen traten an der Wellendichtung eines Arbeitserders auf, der daraufhin ausgewechselt wurde, ferner an der Verschraubung eines Kompressor-Druckschalters und an einem Manometer. Der Druckschalter wurde neu abgedichtet und das Manometer ersetzt.

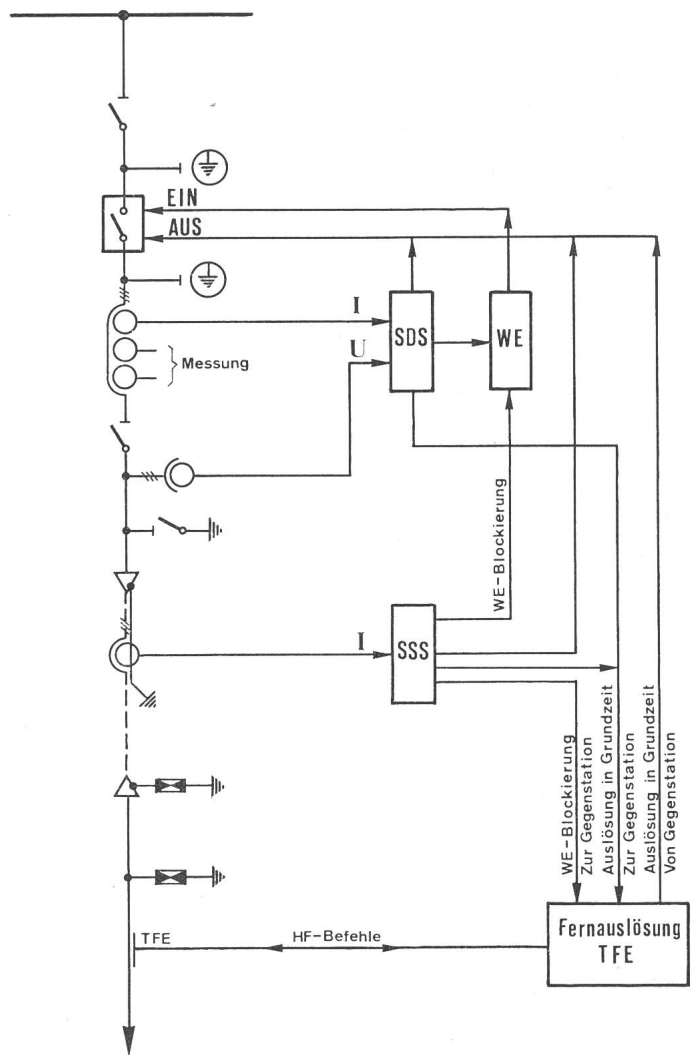


Fig. 7 Leitungsfeld in einpoliger Darstellung mit Schutzkreisen

- Arbeitserder
- SDS Schnelldistanzschutz
- SSS Hochimpedanz-Sammelschienenenschutz
- WE Wiedereinschaltapparat
- TFE Trägerfrequenzübertragung über Erdseile mit eingebettetem Koaxialkabel

Es sei hervorgehoben, dass die aufgezeigten Mängel in den ersten beiden Betriebsjahren auftraten und seit einem Jahr keinerlei Störungen mehr zu verzeichnen waren. Offensichtlich ist die in der Technik allgemein bekannte Erscheinung der in den ersten Betriebsjahren abnehmenden Ausfallrate nun überwunden, und man befindet sich im horizontalen Teil der sogenannten Badewannenkurve.

Die Kontrollen der Gasfeuchtigkeit ergaben bei der einen Anlage Wassergehalte < 60 ppm ($\triangleq < 10\%$ relative Feuchtigkeit) und bei der anderen < 140 ppm ($\triangleq < 20\%$ relative Feuchtigkeit). Diese Werte liegen weit unter den kritischen Bereichen [6].

Gesamthaft gesehen haben die im Netz der BKW betriebenen SF₆-Anlagen seit ihrer Inbetriebnahme gezeigt, dass ihre Zuverlässigkeit mit der anderer Einrichtungen der elektrischen Energieversorgung vergleichbar ist.

Literatur

- [1] Allgemeine Wirtschaftszahlen. Die Volkswirtschaft, 1978, Heft 6.
- [2] H. R. Strickler: Überlegungen, welche die Bernischen Kraftwerke zum Einführen der 132-kV-Spannungsebene bewogen haben. Bull. SEV 64(1973)8, S. 525...531.
- [3] M. Christoffel: Der Einfluss von Kabelstrecken auf die Überspannungsvorgänge in Übertragungssystemen mittlerer und hoher Spannung. Brown Boveri. Mitt. Bd. 51 (1964), H. 7, S. 31...38.
- [4] U. Burger: Zum Problem des Überspannungsschutzes von gekapselten, SF₆-isolierten Hochspannungsanlagen und Rohrgaskabeln. Brown Boveri, Mitt. Bd. 61 (1974), H. 4, S. 179...186.
- [5] K. Berger, R. B. Anderson, H. Kröninger: Paramètres des coups de foudre. Electra Nr. 41, S. 23...37.
- [6] W. Schmidt: Elektrische Festigkeit von verdichtetem SF₆-Gas im trockenen und feuchten Zustand. Beitrag A3 am Symposium Elektrische Isolationstechnik 1972 in Zürich.

Adresse des Autors

Hans-Joachim Vorwerk, Vorsteher der Elektromechanischen Abteilung, Bernische Kraftwerke AG, Viktoriaplatz 2, 3000 Bern 25.

Cecil Frank Powell

1903–1969

Cecil Frank Powell wurde am 5. Dezember 1903 in Tenbridge (Kent) als Sohn eines Büchsenmachers geboren. Wegen eines Schiessunfalles wurde sein Vater zivilrechtlich verfolgt, wodurch die Familie in grosse finanzielle Not geriet. Der junge Powell, der sich schon früh für Naturwissenschaften interessiert hatte, konnte dann aber dank Stipendien in Cambridge studieren. Im Cavendish-Laboratorium machte Powell unter Professor Wilson, dem Erfinder der nach ihm benannten Nebelkammer, im Jahre 1927 sein Dokorexamen. Im Jahre darauf zog er als Forschungsassistent von Prof. A. M. Tyn-dall an die Universität Bristol, wo er sich bald als Dozent etablierte.

1932 heiratete er, und als die erste Tochter kam, war er drauf und dran, eine besser bezahlte Stelle in der Industrie anzunehmen. Seine Frau hielt ihn von diesem Schritt ab, weil sie fühlte, dass ihr Mann bei jener Tätigkeit keine Befriedigung fände.

Der Wilson-Kammer, die dazu dient, Elementarteilchen-Umwandlungen kurzlebiger Teilchen nachzuweisen, haftete der Fehler an, dass die Teilchenspuren nur während der Expansion des Gases, also nur äusserst kurzzeitig sichtbar blieben. Während Powell am Projekt einer grösseren Nebelkammer arbeitete, berichteten deutsche Physiker über Versuche, Teilchenspuren direkt auf fotografischen Platten zu erzeugen. Powell stellte sofort auch solche Versuche an, baute besondere Kassetten und setzte darin verpackte Platten auf Meereshöhe und auf dem Jungfrauoch der kosmischen Strahlung aus. Er erkannte aber bald, dass die Empfindlichkeit des Fotomaterials viel zu gering war. Nach dem Krieg veranlasste er dann die Industrie, empfindlichere Emulsionen herzustellen.

Seit der Japaner Yukawa 1935 aufgrund theoretischer Überlegungen die Existenz eines neuen Elementarteilchens, eines Mesons mit einer etwa 200mal grösseren Masse als die des Elektrons vorausgesagt hatte, wurde in aller Welt nach diesem Teilchen gesucht. Zwar fand man Mesonen, aber deren Eigenschaften entsprachen nicht den Voraussagen. Mit Hilfe des neuen Fotomaterials entdeckte dann Powell im Jahre 1947 die Spuren eines Teilchens, das dem gesuchten voll entsprach. Seine Masse war 273mal grösser als die des Elektrons. Es ist sehr kurzlebig, zerfällt es doch in wenigen 10^{-8} s in ein μ -Meson (Myon) mit einer Masse von 206 Elektronenmassen und andere Partikel. Solche Myonen hatte man früher beobachtet.

In den folgenden Jahren verbesserte Powell die neue Messmethode. Er löste die Fotoschichten von den Glasplatten, stapelte 100 und mehr solcher Folien aufeinander und exponierte die ganzen



Physikalisches Institut der ETHZ

Pakete der Strahlung. Nachher zerlegte er die Stapel wieder, entwickelte die Folien und liess diese dann durch Dutzende von angelegerten Mädchen mikroskopisch nach Spuren untersuchen. Die Pakete mit den Filmfolien liess man mit Ballonen in die Stratosphäre emportragen. Powell organisierte unter mehr als 20 Universitäten eine Zusammenarbeit, so dass innert kurzer Zeit viel Material ausgewertet und die Kosten auf verschiedene Partner verteilt werden konnten.

Powell, der seit 1946 Professor der Physik an der Universität Bristol war, erhielt für seine Entdeckung im Jahre 1950 den Nobelpreis und daneben viele andere Ehrungen, worunter als erstem Westeuropäer eine Goldmedaille der UdSSR. Als die Wasserstoffbombe erfunden wurde, machte er sich grosse Sorge um die Zukunft der Menschheit und unterschrieb das Russell-Einstein-Manifest. Er war Mitbegründer und später Präsident der Pugwash-Bewegung. Von 1961 bis 1964 amtierte er als Präsident des CERN in Genf. Anfang 1969 trat er in den Ruhestand, aber noch im gleichen Jahr, am 9. August, als er mit seiner Frau in Italien in den Ferien weilte, erlitt er plötzlich den Tod.

H. Wüger