

Hochspannungstechnische Gesichtspunkte zur Entwicklung, Prüfung und zum Betrieb von gasisolierten Übertragungssystemen (GIL)

H. Koch, E. Kynast
Siemens AG, Energieübertragung und Verteilung

1. Einleitung

Für die Übertragung hoher Leistungen bietet sich in der Hoch- und Höchstspannungstechnik neben den weit verbreiteten Techniken der Freileitungen und Kabel der Einsatz von gasisolierten Übertragungssystemen an. Jede Technik hat Ihre speziellen Eigenschaften, so daß der Einsatz der jeweiligen Technik sehr stark von den äußeren Gegebenheiten abhängig ist. Rohrleiter sind, zumindest was größere Übertragungsstrecken anbelangt, die am wenigsten verbreitete Technik. Seit dieses Thema vor ca. 4 Jahren initiiert wurde, sind erhebliche Entwicklungsaufwendungen geleistet und weltweit Diskussionen angeregt worden. Grundlegender Gedanke bei diesen Studien war, eine ökologisch und ökonomisch akzeptable Technik als Alternative zum Freileitungsbau zu finden.

Der Einsatz von gasisolierten Rohrleitern in der Hochspannungstechnik ist grundsätzlich keine neue Technik. Nach der Einführung von gasisolierten Schaltanlagen (GIS) mit SF₆-Isolierung vor mehr als 30 Jahren lag es nahe, diese Technik auch für Übertragungsleitungen zu nutzen. So ist zum Beispiel seit fast 25 Jahren eine GIL mit SF₆-Isolierung in Süddeutschland auf der 420-kV-Spannungsebene in Betrieb [1]. Insgesamt wurden seit 25 Jahren mehr als 30 km Systemlänge gebaut und sind zuverlässig in Betrieb.

Zwei Systeme, verlegt in einem 570 m langen Tunnel, verbinden ein Kavernenkraftwerk mit der Freileitung (Bild 1). Die eingesetzten Verbindungen haben jeweils eine Länge von 600 m und 700 m. Sie sind einphasig gekapselt, wobei die jeweiligen Aluminiumrohre der Gehäuse beziehungsweise der Innenleiter auf der Baustelle zusammengeschweißt wurden. Die Inbetriebnahme der Verbindung erfolgte 1975.

In Gegenden, in denen eine oberirdische Installation, also Freileitung nicht möglich ist, bietet sich die GIL als Alternative zu Kabeln an. Die Hauptvorteile für GIL sind die geringen ohmschen Verluste durch die großen Leiterquerschnitte und die geringe kapazitive Ladeleistung durch das gasförmige Dielektrikum. Im Gegensatz zu Kabeln können also extrem hohe Übertragungsleistungen und große Übertragungslängen ohne Kompensation realisiert werden. Als weiterer positiver Aspekt kommt hinzu, daß durch die koaxiale Stromführung über Innenleiter und Gehäuse nur ein sehr geringes äußeres Magnetfeld entsteht und somit zu unterquerende Objekte praktisch unbeeinflusst bleiben.

Für eine einphasig gekapselte GIL ist das Konstruktionsprinzip sehr einfach: Der Innenleiter wird durch wenige Isolatoren konzentrisch im Gehäuse gehalten. Je nach Funktion sind gasdichte Schottisolatoren, offene Isolatoren als axiale Festpunkte und axial verschiebbliche Stützisolatoren erforderlich. Wärmedehnungen der Leiter werden durch Gleitkontakte kompensiert (Bild 2). Bei der Verlegung in einem Tunnel fangen Kompensatoren die auftretenden Wärmedehnungen des Mantelrohres ab. Bei direkter Erdverlegung kann auf Kompensatoren sogar verzichtet werden, da das Erdreich das Rohr entsprechend fest hält.

Das Bausteinsystem für eine GIL, das alle Anwendungsfälle abdeckt, besteht lediglich aus geraden Rohrbausteinen, Winkelbausteinen und Trennbausteinen zum Anschluß der Hochspannungsprüfeinrichtung.



Bild 1:

**420-kV-Verbindung in
GIL-Technik,
Inbetriebnahme 1975**

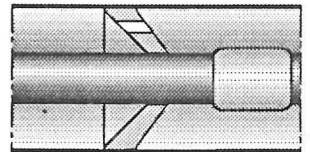
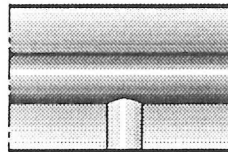
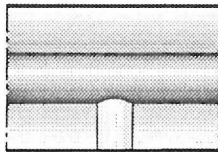
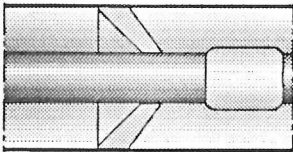


Bild 2: Prinzipaufbau von GIL
mit Schottisolator, Gleitkontakt, Stützisolatoren, gasdurchlässiger Isolator

2. Dimensionierende Größen und Bedingungen

Für die Entwicklung und den späteren Bau einer GIL sind eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen. Die wichtigsten Faktoren, die direkt oder indirekt die hochspannungstechnische Dimensionierung betreffen, sollen im folgenden kurz erläutert werden.

Ausgehend von der Nennspannung ergeben sich über die Isolationskoordination des Netzes für den jeweiligen Einsatzort die erforderlichen Bemessungsspannungen. Die zu berücksichtigenden Einflußfaktoren sind hier die Auslegung der angeschlossenen Netzkomponenten wie z.B. GIS, Kabel, Freiluft-Schaltanlagen oder Freileitungen. Bei der Einbindung einer GIL zwischen Kabel ist die Bemessung für Blitzüberspannungen von untergeordneter Bedeutung, im Gegensatz zu einer Einbindung zwischen zwei Freileitungen. Bei den angeschlossenen Freileitungen ist abhängig von den geographischen Gegebenheiten und den Mastbildern mit unterschiedlich hohen Blitzüberspannungen und ihren Wahrscheinlichkeiten zu rechnen.

Eine Reduzierung der Überspannungen durch Ableiter sollte in jedem Fall betrachtet werden. Ein integrierter Ableiterschutz, d.h. eine direkte Anflanschung von gekapselten Ableitern an den GIL jeweils an den Eingängen, gegebenenfalls auch an zu definierenden Punkten auf der GIL-Strecke, kann zu niedrigeren Isolationspegeln führen. Der Aufwand für den Einsatz der Ableiter ist in jedem Fall gerechtfertigt, wenn dadurch das Isolationsniveau reduziert und damit z.B. die Baugröße des Rohres und die entsprechenden Kosten reduziert werden können.

Neben der Nennspannung hat der Nennstrom auch eine entscheidende Bedeutung für die Festlegung der GIL-Abmessungen. Durch entsprechend große Querschnitte des Innenleiterrohres kann dessen Stromtragfähigkeit sehr hoch angesetzt werden. Daher wird die Grenztemperatur der verwendeten Materialien auch bei sehr hohen Strömen im Regelfall erheblich unterschritten, was einen positiven Einfluß auf die Lebensdauer des Systems hat.

Die Erwärmung des Innenleiters wird durch den Gasraum an den Mantel abgeführt, der durch den Rückstrom einen zusätzlichen Erwärmungsanteil erzeugt. Die am Mantel entstehenden Temperaturen bestimmen die Wärmemenge, die an die Umgebung abgegeben wird. Bei einem im Tunnel verlegten GIL kann die Erwärmung durch Zwangskühlung oder Konvektion abgeführt werden. Bei einer direkt im Erdreich verlegten GIL darf die Erwärmung des Bodens festgelegte Grenzen nicht überschreiten. Die für diese Bedingungen festzulegenden Rohrabmessungen können dimensionierend für den erforderlichen Gasraum zwischen Leiter und Mantel sein und nehmen somit direkten Einfluß auf die Isolationsabstände.

Der Kurzschlußstrom ist ebenfalls ein Parameter, der indirekt die hochspannungstechnische Dimensionierung beeinflusst. Durch die dynamischen Stromkräfte im Kurzschlußfall werden die Isolatoren an Krümmungen mechanisch hoch belastet. Die dafür erforderlichen Materialien und entsprechend großen Abmessungen müssen auf die dielektrischen Anforderungen abgestimmt werden, da aus dielektrischen Gründen so wenig Feststoffisolation wie möglich angestrebt wird. Gleiches gilt für weitere mechanische Belastungen, wie zum Beispiel Gasdruck, Erdlasten, Dehnungskräfte und auch Biegungen und Steigungen im Zuge der GIL.

Die erwartete hohe Lebensdauer beträgt mindestens 40 Jahre. Ein Alterungseffekt der Isolierteile aus Epoxydharz und der Gasisolation ist von der heutigen GIS-Technik her nicht bekannt, was auf die GIL übertragen werden kann.

Ein Hauptaugenmerk der Entwicklung lag natürlich auf der ökologischen Akzeptanz der GIL. Der Einsatz von reinem SF₆, wie vor 25 Jahren, ist heute vor dem Hintergrund der

Diskussion um den Treibhauseffekt nicht mehr uneingeschränkt realisierbar. Auf der anderen Seite ist SF_6 mangels fehlendem zumindest gleichwertigem Ersatz nicht vollständig substituierbar. Als mit Sicherheit unkritisch in bezug auf die Umweltverträglichkeit kann Stickstoff angesehen werden, weil er ohnehin als natürlich vorkommendes Gas mit großem Anteil in der Atmosphäre vorhanden ist. Damit bietet sich Stickstoff als Basis für eine Isolation an. Die reine Stickstoffisolierung würde jedoch zu einer unrealistisch aufwendigen Dimensionierung für die geforderten Isolationspegel führen. Doch schon mit geringen Beimengungen von SF_6 wird ein Isoliervermögen erreicht, das realistisch für den praktischen Einsatz ist. Auf die Eigenschaften der Mischgasisolation wird unten vertiefend eingegangen.

Der Einsatz von Mischgas statt reinem SF_6 führt des weiteren auch zu einer nicht zu vernachlässigenden Kostenreduktion.

3. Vergleich der GIL-Technik mit GIS

Die eingangs erwähnte Übertragbarkeit der bewährten GIS-Technik auf GIL ist eine große Hilfe bei Neuentwicklungen von GIL-Typen. Vergleicht man die Komplexität einer GIS mit ihren verschiedenen Funktionsbausteinen (Leistungsschalter, Trenner, Erder, Wandler, Leiterabzweige) mit einer GIL, zeigt allein der Vergleich der Schnittbilder die relative Einfachheit der GIL (Bild 3). Hervorzuheben ist, daß die GIL keine Schaltgeräte beinhaltet, so daß bei der Wahl des Isoliermediums der Aspekt der Lichtbogenlöschung und damit das Schaltvermögen unberücksichtigt bleiben kann.

Dielektrisch gesehen, ist die GIL eine koaxial aufgebaute Leiteranordnung mit nur wenig Inhomogenitäten. Die damit verbundenen erhöhten Feldstärken treten lediglich in den Bereichen um die Isolatoren und an den Abschirmungen der Steck- und Gleitkontakte auf. Die Feldstärken an der ungestörten koaxialen Anordnung, die im wesentlichen die GIL ausmacht, kann bei der dielektrischen Dimensionierung weitgehend außer acht gelassen werden, da sie lediglich bei ca. 60 % der maximal zulässigen Feldstärke liegt. Bestimmend für die Abmessungen sind die Bereiche der hohen Feldstärken.

Die besonderen hochspannungstechnischen Bedingungen der GIL, gemessen an der bekannten GIS-Technik, sind im wesentlichen zwei Punkte: Das Isoliermedium Mischgas N_2/SF_6 im Gegensatz zu Rein- SF_6 und die räumliche Ausdehnung der GIL im Gegensatz zur kompakten GIS.

Die räumliche Ausdehnung der GIL muß wegen der Wanderwellenvorgänge bei den Betrachtungen zur Isolationskoordination und bei der Prüfung mit Stoßspannungen beachtet werden [2].

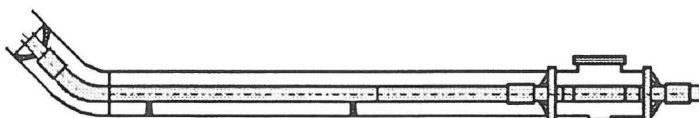
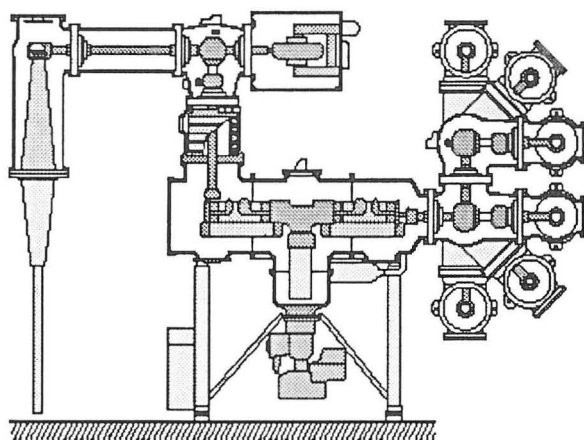


Bild 3:

Gegenüberstellung
GIS- zu GIL-Technik

4. Mischgasisolation N_2/SF_6

Die in den 70er und 80er Jahren von vielen Instituten durchgeführten Untersuchungen zum Isoliervermögen von Stickstoff und Stickstoff- SF_6 -Gemischen geben Anhaltspunkte für den Einsatz [3]. Die starke Zunahme der Spannungsfestigkeit für geringe Anteile SF_6 kommt dem Ziel der SF_6 -Reduzierung sehr entgegen (Bild 4). Für die Dimensionierung von GIL sind mit dem Mischgas Versuche an realgroßen Anordnungen erforderlich gewesen mit der Zielrichtung, gesicherte Stehspannungswerte und damit Stehfeldstärken für die Randbedingungen N_2/SF_6 -Mischungsverhältnis und Gasdruck zu ermitteln.

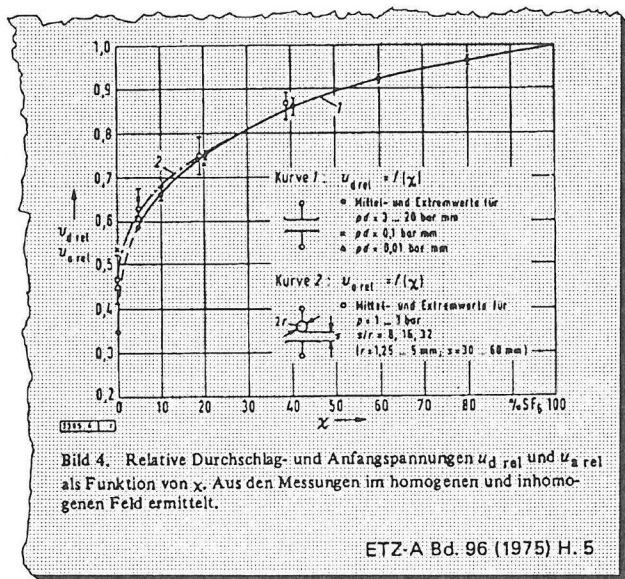


Bild 4:

Zunahme des Isoliervermögens von N_2/SF_6 -Mischgas mit steigendem SF_6 -Anteil [3]

Die Versuchsanordnungen bestanden zunächst aus coaxialen Zylinderfeldern (Durchmesser 120/400 mm und 190/400 mm) mit reiner Gasstrecke, um mögliche Beeinflussungen der Ergebnisse durch Feststoffisolatoren auszuschließen. Die Untersuchungen wurden im Druckbereich von 0,1 MPa bis 0,7 MPa durchgeführt. Die Auswirkungen des SF_6 -Anteils im Stickstoff wurden zwischen 0 % und 20 % untersucht. Die beiden Bereiche wurden vorausgewählt, weil sie für eine Mischgas-Auslegung realistisch sind, ohne in zu große Abmessungen oder zu hohe Druckbereiche zu gelangen.

Bild 5 zeigt das mit Blitzstoßspannung ermittelte Isoliervermögen in Abhängigkeit vom Druck für verschiedene Mischungsverhältnisse im Vergleich zu SF_6 . Das vom SF_6 bekannte nichtlineare Verhalten bei Druckerhöhung zeigt sich hier in gleicher Weise bei den verschiedenen Mischgasen. Die Kurven für die untersuchten Mischgase verlaufen entsprechend flacher. Bei Schaltstoßspannung sind die gleichen Tendenzen zu beobachten.

Anhand der Kurven kann abgeschätzt werden, wie hoch die Drücke für verschiedene Mischungsverhältnisse sein müssen, um eine jeweils gleiche Spannungsfestigkeit zu erreichen. Ein Isoliervermögen, das mit 100 % SF_6 bei 0,3 MPa erreicht wird, erfordert bei 20 % etwa 0,5 MPa, bei 10 % bereits etwa 0,7 MPa und mit entsprechend weiterer Extrapolation bei 5 % ca. 1,1 MPa. Bei diesen aus dielektrischer Sicht betrachteten Druckwerten, handelt es sich stets um den minimalen zulässigen Betriebsdruck. Für die Auslegung der Druckbehälter müssen noch 3 bar bis 4 bar zum maximal möglichen Betriebsdruck hinzuge-rechnet werden [4].

Für eine reine Stickstoffisolation kommt man in den Bereich von 2,0 MPa, was eine sehr aufwendige Auslegung der Gehäuse erfordern würde. Die Messungen unter N_2 , d.h. 0 % SF_6 sind nur orientierend durchgeführt worden. Dabei wurde auch eine erhöhte Streuung der Einzelwerte festgestellt, was im Anwendungsfall noch genauer untersucht werden müßte. Bereits die geringe Beimengung von 5 % SF_6 führte zu Ergebnissen, die mit dem grundsätzlichen Verhalten von reinem SF_6 übereinstimmte.

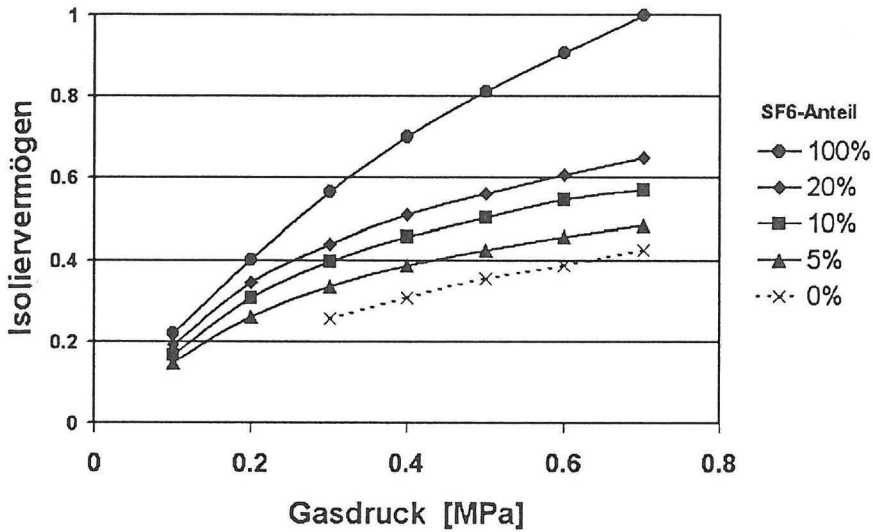


Bild 5

Isoliervermögen von
 SF_6 und N_2/SF_6
Mischgasen in
Abhängigkeit vom
Druck

5. Konstruktive Ausführung

Unter Berücksichtigung der beschriebenen dimensionierenden Größen und Bedingungen wurde nach Festlegung der Betreiberdaten eine GIL konstruktiv ausgeführt. In Bild 6 ist die konstruktive Lösung für einen Rohrbaustein gezeigt. Die Kenndaten für den Standard-GIL zur Übertragung der Leistung einer Freileitung über ein System mit bis zu 2000 MVA ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Ausführung ist für einen Tunnel ohne zusätzliche Kühlung vorgesehen.

Nennspannung	420kV	<u>Bemessungsspannungen</u> mit integrierten Ableitern	
Frequenz	50 Hz	Blitzstoßspannung	1300 kV
Betriebsstrom	2500/3150 A	Schaltstoßspannung	1050 kV
Übertragungsleistung	1600/2000 MVA	Wechselspannung	630 kV
Kurzzeitstrom	bis 63 kA/3 s		
Stoßstrom	165 kA	<u>Mischgasisolation N₂/SF₆</u>	
Innerer Lichtbogen	63 kA/500 ms	Fülldruck	7,0 MPa
Tunnel-Durchmesser	3 m	min. Betriebsdruck	6,0 MPa
Erwärmung des Erdreichs in 3 m Entfernung von der Tunnelwand	<= 5 K	Gasgemisch mit SF ₆ -Anteil	≤ 20 %
		Rohr-Durchmesser	500 mm

Tabelle 1: Anforderungen und Bemessungsgrößen für eine im Tunnel verlegte GIL

Für die dielektrische Auslegung sind die Isolatoren die wichtigsten Elemente. Neben den aus der GIS-Technik hinreichend bekannten Scheibenisolatoren, gasdicht und auch gasdurchlässig, sind die Stützisolatoren eine anspruchsvolle Aufgabe gewesen.

Die Gestaltung der Leiterkontur in diesem Bereich mußte über 3-dimensionale Feldberechnungen so ausgelegt werden, daß zum einen die Feldstärken im Gießharz und zum anderen die Randfeldstärken der Einstecköffnung im Gas die zulässigen Werte nicht überschreiten. Für die Feldstärke im Gießharz ist die betriebsmäßig anliegende Wechselspannung für die Lebensdauer des Materials dimensionierend. Für die Gasstrecke ist die Beanspruchung mit den Bemessungsspannungen unter Zugrundelegung der Parameter für die Gasisolation (Druck und SF₆-Anteil) maßgebend (Bild 7).

Zur Aufnahme der mechanischen Kräfte im Stützer ist ein möglichst großer Stützerquerschnitt erforderlich, wohingegen für die elektrische Feldgestaltung eher ein möglichst kleiner Durchmesser der Einstecköffnung besser ist. Die mechanisch-dielektrische Optimierungsaufgabe konnte hervorragend gelöst werden, wie die späteren Prüfungen zeigten.

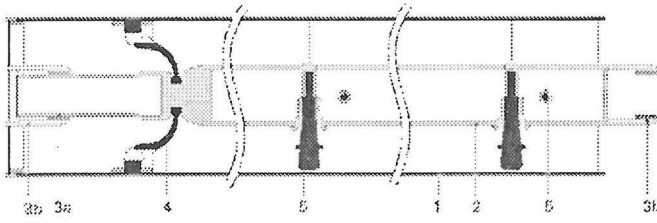


Bild 6:

**Konstruktive
Ausführung der
GIL-Elemente**

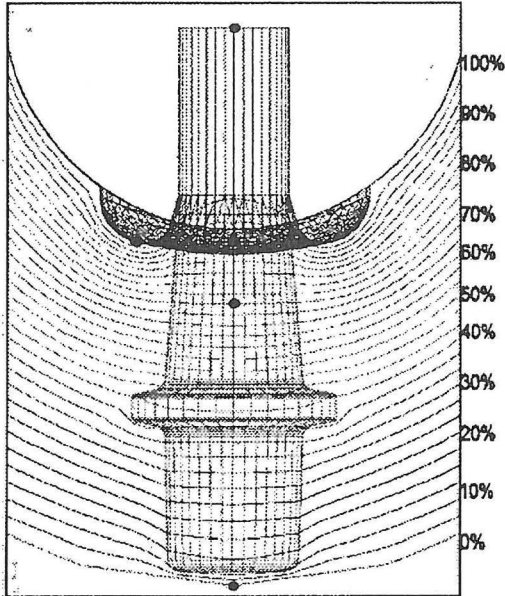


Bild 7:

**Ergebnisdarstellung
der 3-D-Feldrechnung
eines Stützisolators
(Äquipotentiallinien
der radialen Ebene)**

6. Prüfungen

Die Bestätigung der konstruktiven Auslegungen ist zusätzlich zu den Berechnungsmöglichkeiten im Hochspannungsversuch erforderlich. Fertigungsbedingte Abweichungen von den idealen Annahmen der Feldrechnungen müssen über die Prüfungen abgesichert werden. Die wesentlichen Komponenten der GIL-Konstruktion wurden deshalb Grenzwertprüfungen unterzogen [4], d.h. nicht nur der Nachweis der erforderlichen Spannungen wurde erbracht, sondern die tatsächlichen Stehwerte wurden ermittelt.

Abweichungen zum grundsätzlichen Isolierverhalten von SF_6 wurden weder bei den grundlegenden Vorversuchen, noch bei diesen Grenzwertprüfungen an einzelnen Konstruktionselementen und auch später bei größeren Aufbauten festgestellt. Das bestätigt nochmals, daß die Erfahrungen von der GIS-Technik auf die GIL angewendet werden können.

An einem ca. 20 m langen Prüfaufbau, der alle Komponenten der GIL-Konstruktion beinhaltet (Winkelbaustein, Trennbaustein, Kompensator mit Gleitkontakten, Stützisolatoren, gasdichte und gasdurchlässige Scheibenisolatoren), wurde die Hochspannungs-Typprüfung durchgeführt (Bild 8). Die oben aufgelisteten Bemessungsspannungen wurden an dem Aufbau mit einem Gasgemisch mit 20 % SF_6 -Anteil nachgewiesen.

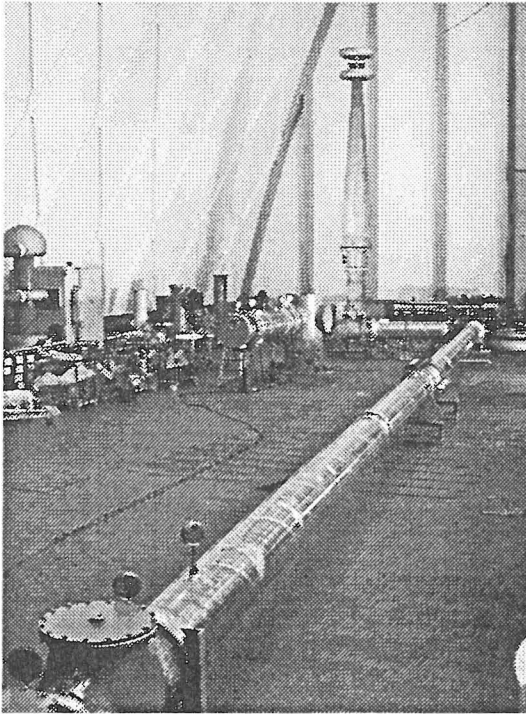


Bild 8:

Typprüfaufbau im
Hochspannungslabor

Mit einer Langzeitprüfung wurde die GIL auf ihre Zuverlässigkeit geprüft und qualifiziert [5]. Die wechselnde Belastung mit Spannung und Strom über einen Zeitraum von insgesamt 2500 Stunden sollte eine Lebensdauer von ≥ 50 Jahren nachbilden. Dazu wurde ein 70 m langer einpoliger Feldprototyp in einer Tunnelröhre mit 3 m Durchmesser aus Betonfertigteilen unter realen Baustellenbedingungen aufgebaut. Die Vormontage der einzelnen Rohrschüsse wurde in einem Saubereitsbereich vor dem Tunneleingang durchgeführt. Anschließend erfolgte die Verbindung der einzelnen GIL-Abschnitte (Mantelrohr und Innenleiter) durch eine Orbitalschweißmaschine.

Nach der Montage wurde zunächst das Isoliervermögen mit den Bemessungsspannungen nachgewiesen. In dem anschließenden Prüfprogramm wechselten sich Strom- und

Spannungsbeanspruchung in einem 12-h-Zyklus ab. Während der 5-h-Heizphase wurde die GIL mit 3200 A, dem 1,3fachen Nennbetriebsstrom belastet. In der 7-h-Abkühlphase wurde die Hochspannung mit 480 kV, d.h. etwa doppelter Leiter-Erd-Spannung, angelegt. Zusätzlich erfolgte alle 480 h eine Zwischenprüfung mit Schaltstoßspannung in der Höhe von 95 % der Bemessungsspannung. Zum Abschluß konnten wie zu Beginn die vollen Bemessungsspannungen nachgewiesen werden (Bild 9).

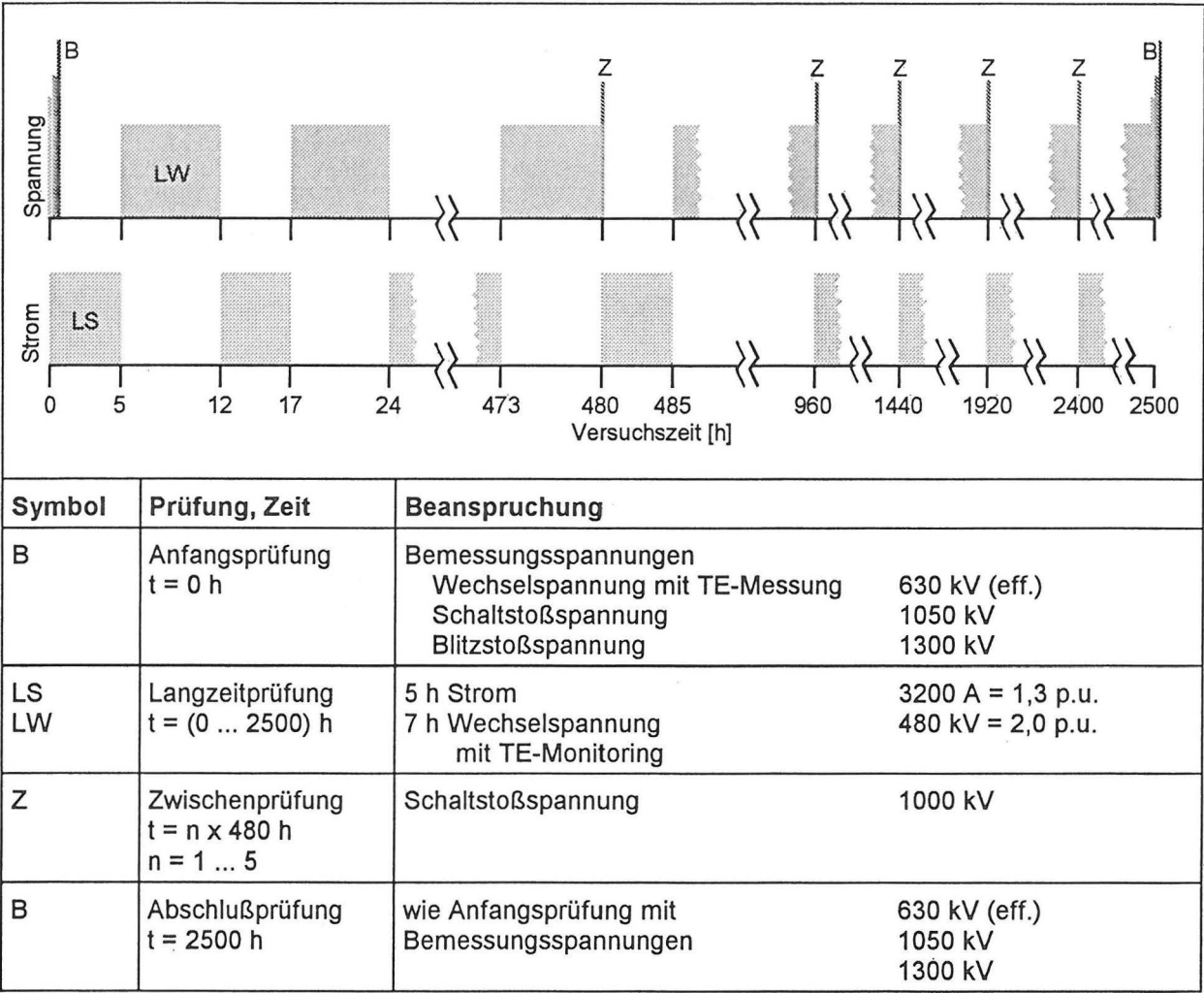


Bild 9: Ablauf der Qualifikationsprüfung zum Lebensdauernachweis

Ergänzend zu den Prüfungen an dem einphasigen Aufbau wurde ein Bereich des Tunnels mit den Rohren für zwei Drehstromsysteme bestückt, um die später realen, beengten Verhältnisse herzustellen. In dem Bereich wurde eine simulierte Reparatur durchgeführt. Ein 2 m langes Rohrstück inklusive Innenleiter wurde herausgetrennt und anschließend wieder eingesetzt. Für den kompletten Reparaturablauf einschließlich Wiederinbetriebsetzung wurden lediglich 3 Tage benötigt. Damit wurde gezeigt, daß trotz der begrenzten Platzverhältnisse im Tunnel an den Rohren eine Reparatur im Störfall möglich ist und auch sauber, d.h. ohne Einschränkungen in dielektrischer Hinsicht, ausgeführt werden kann.

7. Teilentladungsdetektion

Ein wichtiges Hilfsmittel für die Isolationsprüfungen und auch für den späteren Betrieb ist die Detektion von Teilentladungen. Die Anforderungen an die TE-Empfindlichkeit des eingesetzten UHF-TE-Monitoringsystems konnte entsprechend den Vorschlägen einer CIGRE-Arbeitsgruppe [6] in einem Zusatzversuch am 70 m langen Aufbau gezeigt werden. Entladungen mit einer Intensität von ca. 5 pC von einer am Ende des Leiters angebrachten Spitze konnten am anderen Ende des Aufbaus mit nur geringer Dämpfung durch die Aufbau­länge eindeutig detektiert werden (Bild 10). Damit wurde gezeigt, daß die UHF-Methode der TE-Detektion beim N_2/SF_6 -Gemisch sehr gut arbeitet.

Mit Hilfe des UHF-TE-Monitoringsystems [7] konnte der Konditionierungseffekt bei der Wechselspannungsprüfung gut beobachtet werden. Beim Steigern der Wechselspannung setzten TE ein, deren Ursache anhand der APH-Diagramme als "tanzende Teilchen" identifiziert wurden. Bei konstanter Spannung war zu beobachten, daß die TE-Aktivität abnahm und letztlich aufhörte, weil die Teilchen in feldschwache Räume (Teilchenfallen) abwanderten, wo sie auch später nicht mehr stören konnten. So wurde erreicht, daß bei der vollen Bemessungswechselspannung von 630 kV keine TE mehr im Prüfling festzustellen war. Mögliche äußere Störer können relativ leicht identifiziert werden, wenn sie mit der Spannungshöhe und Phasenlage nicht korrelieren (Bild 10). Für den Einsatz im Betrieb können solche äußeren Störer durch das TE-Monitoring-System automatisch unterdrückt werden, so daß eine kontinuierliche Überwachung möglich ist.

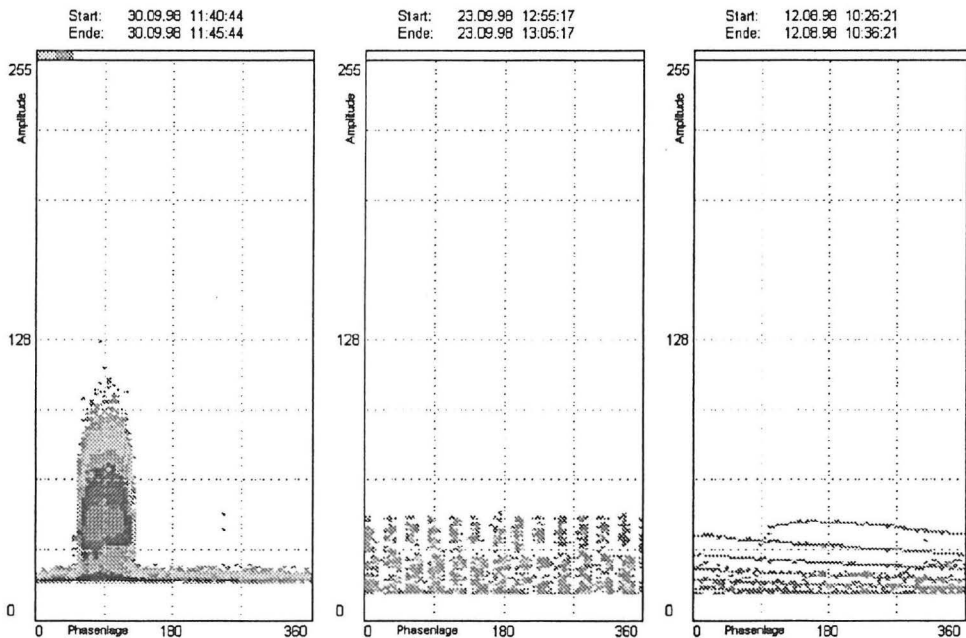


Bild 10: TE-Messungen (APH-Darstellung)

Links: Spitze am Innenleiter, 70 m entfernt; Mitte und Rechts: Störsignale

8. **Schlußbemerkungen**

Unter Berücksichtigung der dimensionierenden Größen für einen konkreten Anwendungsfall wurde eine GIL entwickelt , typ- und langzeitgeprüft und kann als Basis für alle auf andere Anwendungsfälle optimierte Lösung herangezogen werden.

Die hochspannungstechnische Auslegung konnte aufgrund der Bauweise mit integrierten Ableitern auf eine bemessende Blitzstoßspannung von 1300 kV erfolgen. Neben der bekannten Technik der Stützisolatoren aus Epoxydharz wurde als Isoliermedium das Gasgemisch N_2/SF_6 eingesetzt.

Das im großtechnischen Einsatz erstmalig verwendete Gasgemisch zeigt kein grundsätzlich abweichendes Verhalten gegenüber dem Einsatz von reinem SF_6 , was sich in der GIS-Technik seit Jahrzehnten bewährt hat. Die GIL-Technik läßt im Vergleich zur GIS ein noch geringeres Betriebsrisiko erwarten, da sie konstruktiv aus nur wenigen und hauptsächlich passiven Bauelementen aufgebaut ist.

Die zum Entwicklungsabschluß durchgeführte Typprüfung an einem etwa 20 m langen Prototypen wurde ergänzt durch einen Qualifikationstest, der eine mindestens 50jährige Betriebszeit nachbildete. Der Aufbau erfolgte unter realen Baustellenbedingungen, womit gezeigt wurde, daß Montage und auch Reparaturen vor-Ort zuverlässig möglich sind. In dem Lebensdauertest wurde mit abwechselnder überhöhter Strom- und Spannungsbelastung das thermische, mechanische und dielektrische Verhalten überprüft. Abschließend konnten die vollen Bemessungsspannungen ohne Beanstandungen nachgewiesen werden.

Literatur

- [1] Baer, G.P.; Diessner, A.; Luxa, G.F.
420 kV SF₆-insulated tubular bus for the Wehr pumped-storage plant; electric tests
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-95, No. 2, March/April 1976
- [2] Diessner, A.; Koch, H.; Kynast, E.; Schuette, A.
Progress in high voltage testing of gas insulated transmission lines
10th ISH, Montreal, August 1997
- [3] Ermel, M.
Das N₂-SF₆-Gasgemisch als Isoliermittel der Hochspannungstechnik
ETZ-A, Bd. 96 (1975) S. 231-235
- [4] Diessner, A.; Finkel, M.; Grund, A.; Kynast, E.
Dielectric properties of N₂/SF₆ mixtures for use in GIS or GIL
vorgesehen zum ISH 99, London; August 1999
- [5] Rigid high-voltage, gas-insulated transmission lines for rated voltages of 72,5 kV and above
IEC-Technical Report 61640 (1998-07)
- [6] Partial discharge detection system for GIS: Sensitivity verification for the UHF method and the acoustic method
Electra No. 183, April 1999
- [7] Achatz, N.; Gorablenkow, J.; Hücker, T.; Koch, H.
Den Teilentladungen auf der Spur
Siemens EV-Report 3/96 (1996)