

Kabelstecksysteme bis $U_m = 245 \text{ kV}$, Möglichkeiten und Bedarfe einer Vor-Ort-Prüfung

Martin Schuster

PFISTERER Kontaktsysteme GmbH & Co. KG

1. Einleitung

Steckbare Kabelgarnituren gewinnen auch in Spannungsbereichen bis $U_m = 245 \text{ kV}$ immer mehr an Bedeutung. Vorgefertigte Komponenten, einfache Montage und kompakte Bauweise sind nur einige Begründungen für den Technologiewandel, der sich im Moment analog zum Mittelspannungsbereich wiederholt.

Diese Kabelstecksysteme, die an natürlichen Schnittstellen zwischen verschiedenen Betriebsmitteln eines Netzes eingesetzt werden, bieten ideale Möglichkeit um Netzabschnitte oder Betriebsmittel zu separieren und dann eine Zustandsüberprüfung vor Ort vorzunehmen.

Der Zusammenhang zwischen dem Niveau der Anforderungen aus der Typprüfung, der Qualität der Montage und dem Bedarf an Zustandsüberprüfung wird kurz angerissen.

2. Vorteile von steckbaren Kabelanschlusssystemen

Steckbare Kabelanschlusssysteme dienen zum Anschluss von Kunststoffkabeln an elektrische Betriebsmittel wie gasisolierte Schaltanlagen (GIS), Transformatoren (Trafo) und Muffen. Wie bei den bekannten Mittelspannungskabelgarnituren üblich /Lit. 1/, besteht es aus einem kabel- und einem geräteseitigen Bauteil (Bild 1).

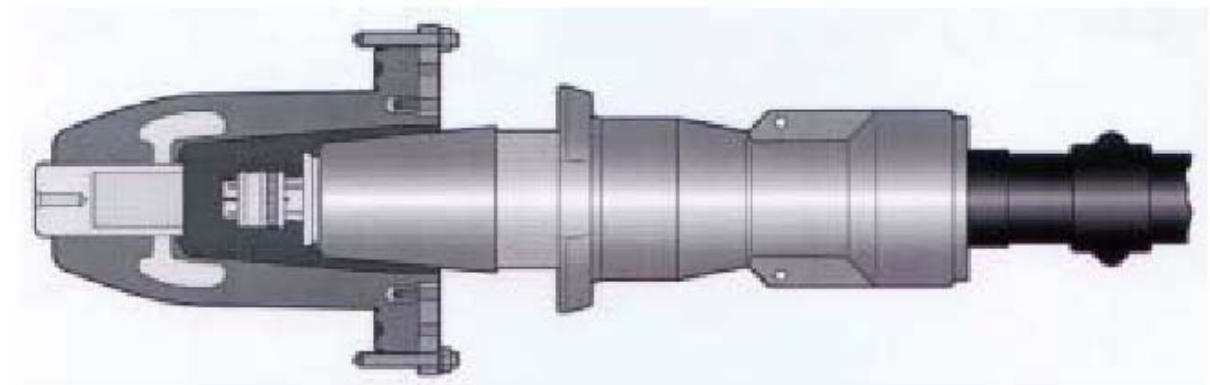


Bild 1: HV-CONNEX Kabelanschlusssystem während des Steckvorganges

Die Vorteile des steckbaren HV-CONNEX Kabelanschlusssystems gegenüber den herkömmlichen nassen SF₆-Endverschlüssen (Isolierölfüllung vor Ort erforderlich) sind:

- einfache Montage und Demontage
- die gegenüber den Ausführungsformen nach IEC 60 859-1 deutlich verkürzte Einbaulänge, die durch die kompakte Bauweise des HV-CONNEX Kabelanschlusssystems nur etwa 50% der herkömmlichen Bauart beträgt
- gasisolierte Schaltanlagen und Öltransformatoren können nun bis zu der Spannungsebene $U_m = 245 \text{ kV}$ mit den HV-CONNEX Geräteanschlussteilen werksseitig ausgerüstet, geschlossen, geprüft und somit anschlussfertig ausgeliefert werden

- am Einsatzort entfällt bei der Kabelmontage gegenüber dem üblichen IEC Anschluss das Öffnen des Kabelanschlussraumes mit den aufwendigen Gas oder Ölarbeiten, da das Geräteanschlusssteil bereits werksseitig installiert ist
- das HV-CONNEX Kabelanschlusssystem arbeitet auf der Basis fester Isolierstoffe, daher sind beliebige Anordnungen im Raum realisierbar: d.h. es sind horizontale, vertikale als auch geneigte Anordnungen von oben und unten möglich. Somit können bei GIS und Trafo bisher unbekannte Geometrien von Montagefenstern für die Kabelanschlüsse angewandt werden
- die Montagezeiten verringern sich erheblich gegenüber dem konventionellen Anschluss nach IEC 60 859-1, da das HV-CONNEX Kabelanschlusssystem gänzlich auf flüssige Isolierstoffe verzichtet
- geräteseitig bleibt der Gas- oder Ölraum durch die bereits werksseitig installierte Buchse am Einsatzort geschlossen
- die Verwendung von vorgefertigten und geprüften Komponenten bringt ein Höchstmaß an Sicherheit und Zuverlässigkeit
- Montagefehler werden minimiert, da mit dem HV-CONNEX Kabelanschlusssystem eine Verbindungstechnik zwischen Kabel und Anlagenteil zum Einsatz kommt, die aus wenigen, logisch angeordneten Elementen besteht
- die Steckbarkeit des Kabelanschlusssystems erlaubt im Fehlerfalle das schnelle und einfache Trennen des Kabels von dem Anlagenteil. Auf Grund der steckbaren, geschlossenen, verkürzten und nun beliebig anzuordnenden Kabelanschlussräume können in zukünftigen Generationen von GIS und Trafo gänzlich neue Konzepte realisiert werden
- Obige Vorteile wurden bei der weltweiten Montage von bisher 2000 Kabelanschlusssystemen eindrucksvoll unter Beweis gestellt.

3. Aufbau des Systems

3.1 Komponenten

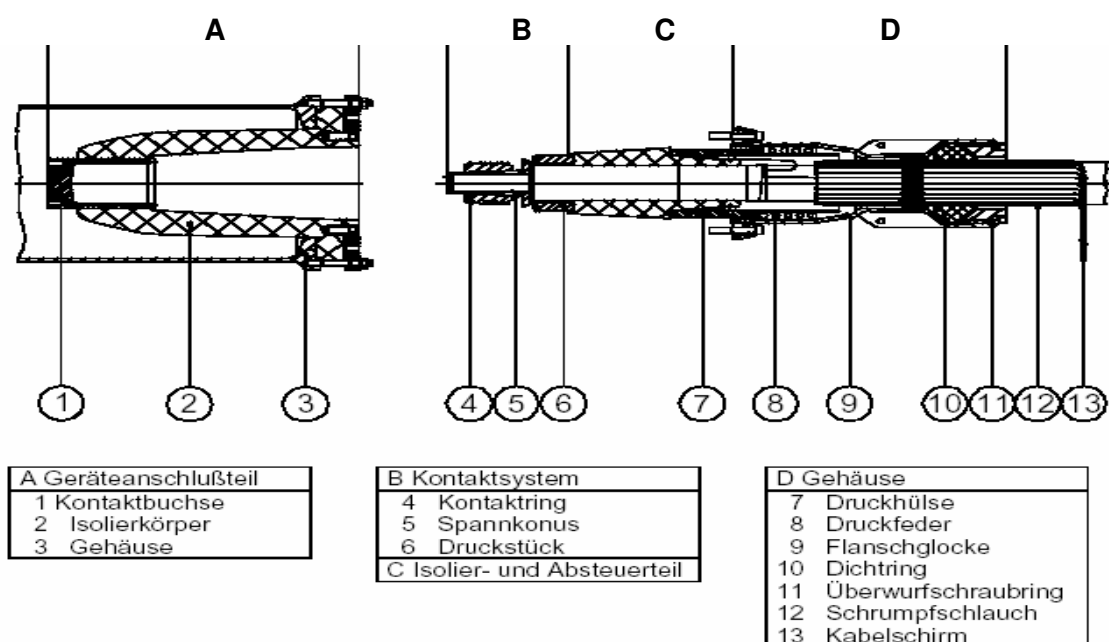


Bild 2: Aufbau HV-CONNEX Kabelanschlusssystem.

Das Kabelanschlussteil ist das kableseitige Bauteil. Dieses stellt ein axial auf dem abgesetzten Kabelende angeordnetes, coaxial aufgebautes System dar, dessen Bauteile durch ein metallisches Gehäuse gehalten werden. Es besteht aus dem Kontaktsystem, dem Isolier- und Absteuerteil und dem Gehäuse (Bild 2, Pos. B, C, D). Das Kontaktsystem seinerseits besteht aus dem Kontaktring, dem Spannkonus sowie dem Druckstück. (Pos. B) Das Isolier- und Absteuerteil (Pos. C) wird aus hochflexiblem Silikon hergestellt. Seine Aufgabe ist die Steuerung des elektrischen Feldes am abgesetzten Kabelende und die Sicherstellung der elektrischen Fugenfestigkeit. Das Gehäuse besteht aus der Flanschglocke, der Druckhülse und der Druckfeder (Pos. D). Nach der Montage mit dem Kabelende wird das Kabelanschlussteil in das Geräteanschlussteil gesteckt und anschließend verschraubt. Hierbei wird eine dauerhafte mechanische und elektrische Verbindung hergestellt, die allen hochspannungstechnischen, kontakttechnischen, thermischen und mechanischen Anforderungen entspricht.

3.2 Mechanische Funktionsweise

Das Kabelanschlussteil ist im montierten Zustand eindeutig durch die Auflager A und B fixiert (Bild 3). Im Betrieb auftretende mechanische Belastungen werden durch diese Auflager aufgenommen. Somit ist das Isolier- und Absteuerteil mit seinen dielektrischen Funktionen frei von derartigen mechanischen Belastungen. Gleiche Aussagen gelten für das Kontaktsystem. Während des Steckvorgangs übernehmen die Ringauflagen die automatische Zentrierung des Kabelanschlussteils. Anschließend dienen sie als statische Fixierung innerhalb der Kontaktbuchse. Die hochstromfesten Lamellenkontakte sind von den mechanischen Belastungen entkoppelt, die Stromübertragung erfolgt somit immer im definierten Arbeitsbereich.

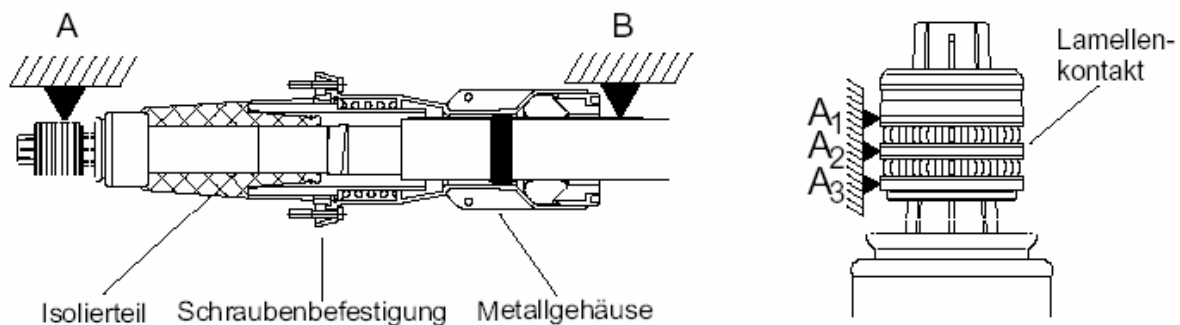


Bild 3: Mechanische Funktionsweise.

3.3 Elektrische Funktionsweise

Ausschlaggebend für die Funktionssicherheit der Steckanschlüsse sind die langzeitkonstanten Eigenschaften der sogenannten elektrisch beanspruchten Fugen. Diese Fugen übernehmen bei Steckanschlüssen die Funktion von Kriechweg und Schlagweite. Beim HV-CONNEX Kabelanschlussssystem sind die beiden Fugen, Kabel - Isolierteil und Isolierteil - Gießharzbuchse, parallel angeordnet.

Die Aufgabe der Druckfeder besteht in der Sicherstellung der notwendigen Anpresskraft in den elektrisch beanspruchten Fugen, unabhängig von Parametern wie Kabeltoleranz und Wärmedehnung. Dies sei anhand der Darstellung des Fugendrucks (Bild 4) für die innere Fuge erläutert. Drei Kraftkomponenten liefern ihre Beiträge zu den resultierenden Dichtkräften an den Fugen: die Federkraft (F_F), die Steckkraft (F_S) und die Vorspannkraft (F_V).

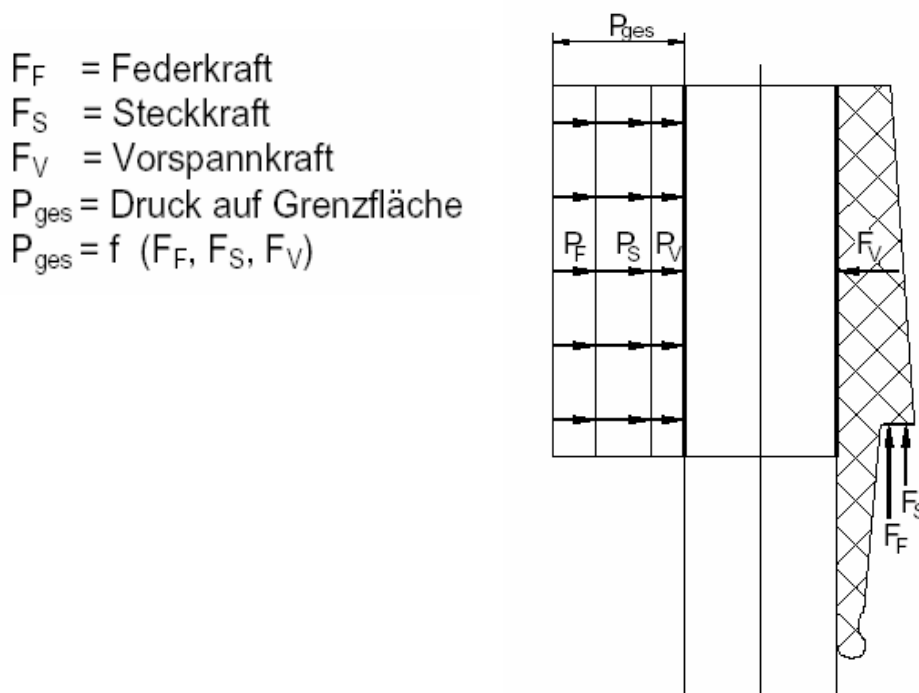


Bild 4: Kraftkomponenten zur Sicherstellung der Fugenfestigkeit.

Die Steckkraft entsteht durch das Zusammenfügen der konischen Anordnung, bestehend aus dem Isolierteil aus Silikon und dem Anschlusssteil aus Gießharz. Die Vorspannkraft ergibt sich aus dem Durchmesserunterschied des geschälten Kabels zur Bohrung des Isolierteiles. Die Federkraft entsteht durch das Spannen der integrierten Spiralfeder beim Anschrauben der Flanschglocke und stellt den Ausgleich von Kabeltoleranzen und Volumenänderungen durch Temperaturspiele, unabhängig von den zusätzlichen aufgebrachten Kräften wie Steckkraft und Vorspannkraft sicher.

Die elektrische Festigkeit der Fuge kann ab einem bestimmten Anpressdruck nicht mehr verbessert werden, wobei sich unsere Erfahrungen mit den Untersuchungen von Oesterheld decken /Lit. 2/. Andererseits führt ein abnehmender Anpressdruck nicht zum proportionalen Zusammenbruch der Fugenfestigkeit, wobei sich der Arbeitsbereich an der Fugenhysteresis nach Benken orientiert /Lit. 3/.

Zur Feldsteuerung im Bereich des abgesetzten Kabelendes dient im Isolierteil eine geometrisch-kapazitive Feldsteuerung mit Potentialanbindung an die äußere Leitschicht des Kabels. Eine Hochspannungselektrode zur Feldsteuerung im Bereich des Kontaktsystems ist in dem geräteseitigen Anschlusssteil integriert. Bild 5 zeigt den Verlauf der Feld- und Äquipotentiallinien im Bereich des Deflektors.

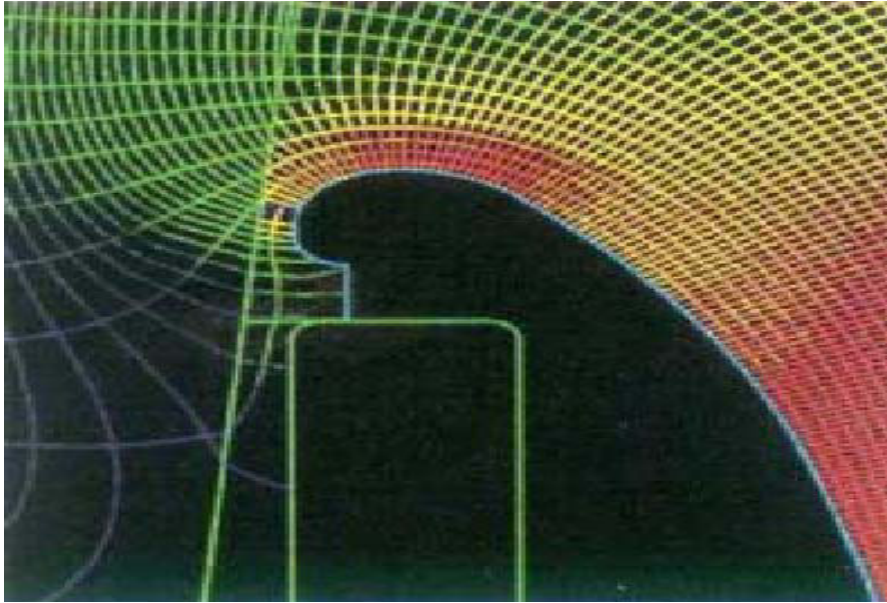


Bild 5: Darstellung Feld- und Äquipotentiallinien im Bereich des Deflektors.

4. Anwendungen

4.1 GIS-Anlagen

Im Zeitraum Mitte der 80-er bis Mitte der 90-er Jahre hat sich der MV-CONNEX Innenkonus Steckanschluss von SF₆ isolierten Leistungsschaltanlagen in der Mittelspannung durchgesetzt /Lit. 1/. Die bereits ausführlich beschriebenen Vorteile haben sich in der Praxis voll bestätigt. Dies hat sicherlich zu der großen, weltweiten Verbreitung des MV-CONNEX Kabelanschlusssystem beigetragen, z.Zt. sind weltweit mehr als 700.000 Systeme in der Mittelspannung im Einsatz. Seit einigen Jahren wurde der Anwendungsbereich auf die Spannungsebenen 52 kV und 72,5 kV ausgedehnt. Seit Mitte 1996 wurden auch im Spannungsbereich $U_m = 145$ kV GIS-Anlagen mit dem HV-CONNEX Kabelanschlusssystem ausgestattet und in Betrieb gesetzt. Die Adaption an herkömmliche GIS-Anlagen erfolgte in dem konventionellen Anschlussraum mit einem IEC-Verlängerungsadapter (Bild 6).



Bild 6: gasisierte Schaltanlage Typ 8DN9 / Siemens / SW Düsseldorf mit HV-CONNEX Kabelanschlusssystem. Dieses ist im klassischen Anschlussraum über den IEC-Verlängerungsadapter angeschlossen.

Neue kompakte Anlagengenerationen mit höchster Funktionsintegration sind bereits standardmäßig mit den verkürzten Anschlussräumen zur Aufnahme der modernen Kompaktendverschlüsse ausgerüstet.

4.2 Trafo

Ein großer Teil der z.Zt. in Betrieb befindlichen 110 / 20 kV Trafos ist analog zu obiger Beschreibung im Verlauf der letzten 10 Jahre unterspannungsseitig mit Mehrfach-Winkelsteckbuchsen zum Anschluss mit Innenkonus Kabelsteckern ausgestattet worden. Mit dem jetzt verfügbaren HV-CONNEX Kabelanschlusssystem werden auch auf der Oberspannungsseite die Vorteile der berührungssicheren vollgekapselten steckbaren Kabelanschlusstechnik angewendet (Bild 7).



Bild 7: HV-CONNEX Kabelanschlussteil an einem chinesischen Trafo

4.3 Steckbare Muffen

Mit dem HV-CONNEX Kabelanschlusssystem lassen sich mit wenigen Bauteilen steckbare Muffen für verschiedene geometrische Kabelkonfigurationen realisieren. Vorteil dieser Muffen ist es, dass der sogenannte Muffenkörper eine Einheit ist, der vollständig in der Fabrik hergestellt und geprüft wurde. In Bild 8 ist eine derartige steckbare Abzweigmuffe in ihrem Aufbau dargestellt.

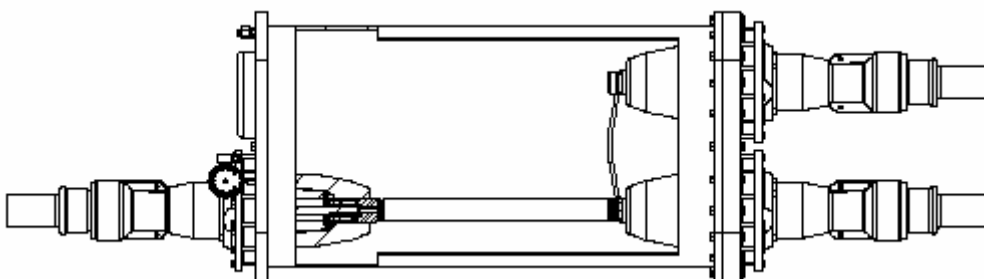


Bild 8: Schnittbild gasisolierte steckbare HV-CONNEX Abzweigmuffe $U_m=145$ kV.

Derartige Lösungen bieten enorme Vorteile, wenn z. B. während einer Bau – und Umbauphase Kabel mehrfach umgelegt werden müssen und dann die einfache Steckbarkeit voll zum Tragen kommt. Aber auch für die Realisierung von neuen und kostengünstigen Netzkonfigurationen können solche Muffen Anwendung finden. Mittels einer solchen Muffe kann z. B.

- ein zweiter Abgang an ein GIS-Feld angeschlossen werden
- ein Ringkabel getrennt und eine Anlage mit Transformator eingebunden werden
- ein durch einen Fehler beeinflusstes Kabel einfach getrennt und erneut verbunden werden
- ein zusätzlicher und einfacher Zugang für Kabelprüfzwecke geschaffen werden. Hierbei kann jeder Kabelstrang separat oder zusammen mit den anderen Kabeln getestet werden

5. Vor-Ort-Prüfungen

Noch vor wenigen Jahren war die Vor-Ort-Prüfung ausschließlich der Thematik der Inbetriebnahmeprüfung vorbehalten. Im Bereich der Kabelanlagen hat sich hierbei die DC-Spannungsprüfung, wie sie für Massekabel mit Werten von $4-8 \times U_0$ angewandt worden war, auch bei VPE – Kabeln hartnäckig gehalten. Erst in den letzten Jahren, parallel zum steigenden Einsatz von VPE-Hochspannungskabeln, haben sich für Kabel und Garnituren angepasste AC-Spannungsprüfungen als Inbetriebnahmeprüfungen durchgesetzt. In der Zwischenzeit ist bei den Vor-Ort-Prüfungen eine zweite Thematik, die der Zustandsüberwachung von Betriebsmitteln, hinzugekommen. Vor dem Hintergrund des steigenden Alters, der stärkeren Auslastung und des zusätzlichen Drucks, Neuinvestitionen zu vermeiden, wird bei Betriebsmitteln in Hochspannungsnetzen die Zustandsüberwachung eine aktuelle Herausforderung. Hauptziel hierbei ist es, über entsprechende Messungen den Zustand einer Anlage zu erfassen und zu analysieren und daraus Lebensdauerverbrauch und verbleibende Nutzungsdauer abzuleiten. Der Qualität derartiger Beurteilungen kommt im Spannungsfeld zwischen Betriebswirtschaft und Versorgungssicherheit steigende Bedeutung zu.

Die vorgestellten steckbaren Kabelanschlusssysteme bieten sowohl für die Inbetriebnahme-Prüfung als auch für Prüfungen zur Zustandsüberwachung eine Reihe von Möglichkeiten. Hauptvorteil dieser neuen Anschlusstechnik ist, dass sich auf Grund der verwendeten Stecktechnik verschiedene Betriebsmittel und Netzabschnitte einfach und reproduzierbar separieren lassen. Der Trennbarkeit ist in den entsprechenden Prüfreihen der Typprüfung ausreichend Rechnung getragen. Der in Bild 9 dargestellte Trafo ist vom Kabel getrennt und wird mit den ebenfalls dargestellten Prüf- und Übergangssteckern einer Spannungsprüfung unterzogen.

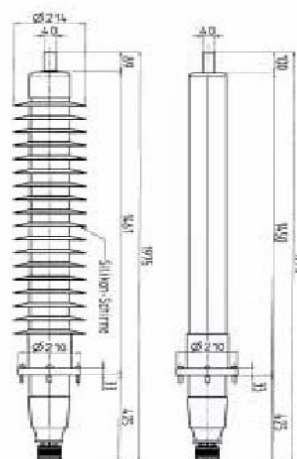


Bild 9: HV-CONNEX Prüf- und Übergangsstecker, Trafo SGB Regensburg

In Bild 10 ist eine weitere Möglichkeit der Vor-Ort-Prüfung mittels des CONNEX Stecksystems dargestellt. Ein von der Schaltanlage abgetrenntes Kabel wird über eine Prüfmuffe und einen Prüf- und Übergangsstecker einer Spannungsprüfung unterzogen.



Bild 10: Prüfmuffe mit Prüf- und Übergangsstecker

Die in Bild 11 skizzierte Anordnung ist eine weitere Alternative wie sie häufig bei Inbetriebnahmeprüfungen verwendet wird.

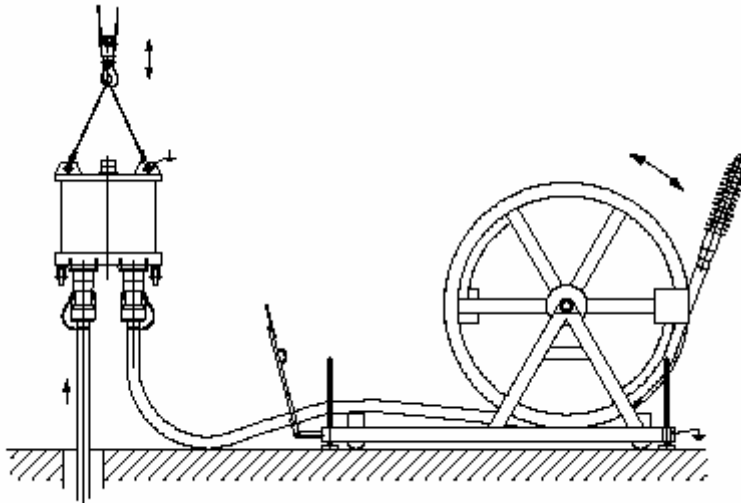


Bild 11: Prüfmuffe mit Prüfkabelwagen

Die bisher dargestellten Vor-Ort-Prüfungen sind so genannte Off-Line-Prüfungen. Die steckbaren Kabelanschlusssysteme bieten aber auch Möglichkeiten zur On-Line-Prüfung. Das HV-CONNEX –Stecksystem hat, wie aus der Mittelspannungstechnik bekannt, ein integriertes Spannungsprüfsystem. Dieses wird nach IEC 61243 zum Feststellen der Spannungsfreiheit verwendet. Hierzu ist im geräteseitigen Bauteil, der Buchse, eine Kapazität integriert. Mit Hilfe dieser Kapazität lassen sich, bei entsprechender Auslegung und Beschaltung, On-Line-Messungen z.B. zur Überwachung des TE-Pegels durchführen.

6. Zusammenfassung

Steckbare Kabelanschlusssysteme für VPE-Kabel sind aufgrund ihrer Vorteile, wie z.B. geringe Abmessung, vorgefertigte stückgeprüfte Komponenten und einfache Montage, weiter auf dem Vormarsch.

Die international erarbeiteten und akzeptierten Prüfreihen für Kabel und Garnituren haben sich bewährt und sind Basis für langfristige und störungsfreie Nutzung dieser Produkte.

In Verbindung mit der neuen IEC 60840 wird, durch die zusätzliche Forderung nach Stückprüfung für die geräteseitigen und kableseitigen Komponenten von Kabelanschlusssystemen, das Qualitätsniveau nochmals angehoben. Darüber hinaus bieten die beschriebenen Kabelstecksysteme in Verbindung mit dem vorgestellten Prüfzubehör nahezu ideale Voraussetzungen um in bestehenden Netzen die Betriebsmittel einer Zustandsüberprüfung zu unterziehen.

7. Literatur

- /1/ Bachmeier, A.; Schuster, M.: Kabelanschlusssysteme für metallgekapselte elektrische Betriebsmittel im Mittelspannungsbereich: 7,2 bis 52 kV
Elektrizitätswirtschaft Jg. 87, H. 16/17, S 783 – 786
- /2/ Oesterheld: Dielektrisches Verhalten von Silikonelastomer-Isolierungen bei hohen elektrischen Feldstärken. VDI Fortschrittsberichte Nr. 196 Reihe 21 1996
- /3/ Benken: Über die elektrische Festigkeit von Fugen zwischen festen Isolierstoffen.
ETZ-A Bd. 89/1986, H. 15, S 356 - 361