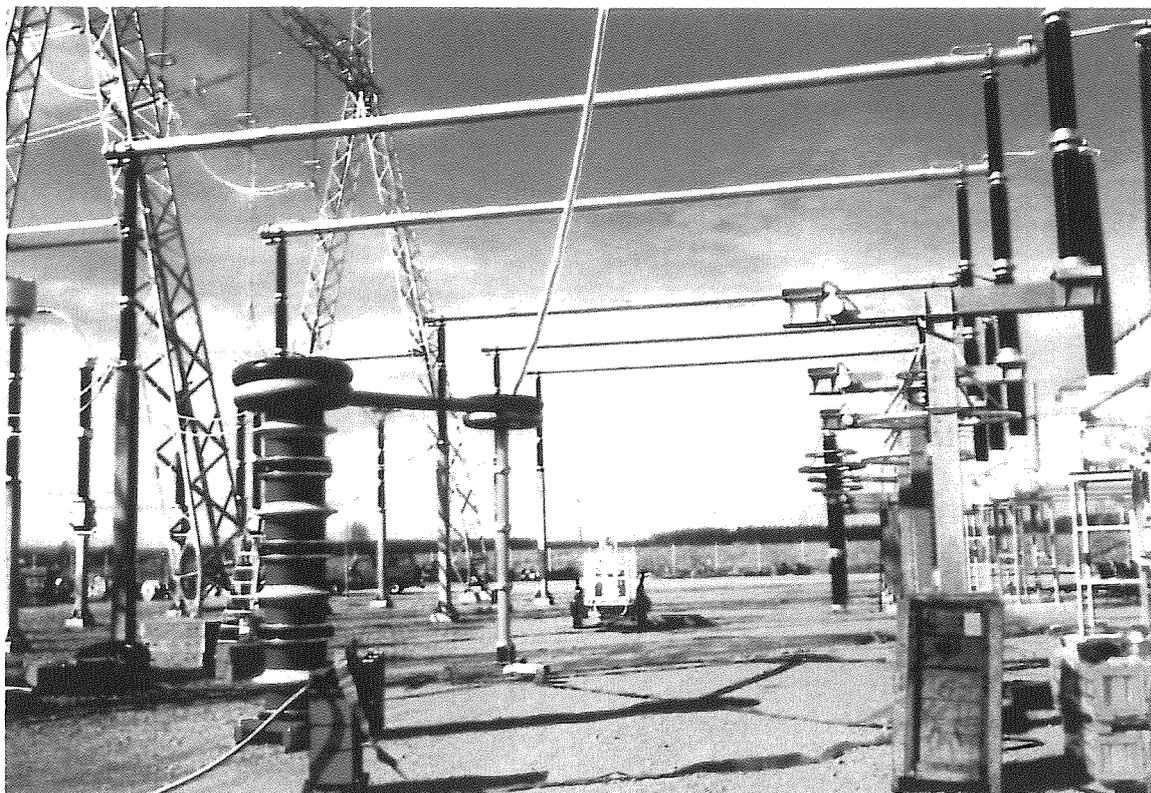


*Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)  
Commission d'étude des questions relatives  
à la haute tension (CEH)*

# **VOR-ORT-PRÜFUNG VON HOCHSPANNUNGSANLAGEN: MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN**



*Einsatz einer FKH-Serieresonanz-Prüfanlage bei der  
Wechselspannungsprüfung einer 420-kV-Schaltanlage  
(rechts: Freiluftdurchführungen der SF<sub>6</sub>-Anlage)*

**FKH-/ETG-Fachtagung  
17. November 1993  
Casino de Montbenon, Lausanne**

**VOR-ORT-PRÜFUNG VON  
HOCHSPANNUNGSANLAGEN:  
MÖGLICHKEITEN  
UND GRENZEN**

**FKH-/ETG-Fachtagung  
17. November 1993  
Casino de Montbenon, Lausanne**

**ZUSAMMENFASSUNG  
DER  
REFERATE**

# Vor-Ort-Prüfung von Hochspannungsanlagen: Möglichkeiten und Grenzen

Mit dieser von der Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH) organisierten Fachtagung sollen Mitarbeiter von FKH-Mitgliedunternehmen und andere Interessenten aus Kreisen der EWs, Industrie und Hochschulen über die technischen Möglichkeiten und die Anwendungspraxis von Vor-Ort-Prüfverfahren zur Beurteilung der Isolationsfestigkeit und des Alterungszustands von Hochspannungsgeräten und -Anlagen informiert werden.

Ziel der Tagung ist es, die Möglichkeiten und Grenzen der heute üblichen Hochspannungsprüfverfahren aufzuzeigen sowie neue Einsatzmöglichkeiten vorzustellen und zu diskutieren.

## TAGUNGSPROGRAMM

- ab 9.45     **Empfang der Teilnehmer**  
Kaffee und Erfrischungen, Abgabe der Tagungsunterlagen
- 10.15     **Begrüßung durch:**  
Dr. F. Schwab, Präsident der FKH  
M. Aguet, Präsident der ETG
- 10.30     **Vor-Ort-Spannungsprüfverfahren bei der Inbetriebnahme  
von SF<sub>6</sub>-Anlagen und Hochspannungskabeln**  
Dr. Th. Aschwanden, Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH
- 10.50     **Espoir et limite des méthodes diagnostiques pour câbles MT posés**  
Th. Heizmann, FG Hochspannungstechnik, ETHZ
- 11.10     **Evaluation de l'état de l'isolation de câbles à moyenne-tension à isolation  
papier-plomb**  
M. Fromentin, Service de l'électricité de la ville de Lausanne, SEL
- 11.30     **TE-Prüfungen an Hochspannungsmesswandlern im Unterwerk**  
Dr. R. Bränlich, Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH
- 11.50     **Vor-Ort-Diagnosemessungen an Leistungstransformatoren**  
Dr. J. Fuhr, ABB-Corporate Research Center, Baden-Dättwil
- 12.10     **Vor-Ort Prüfungen: Neue Erkenntnisse vom Internationalen Symposium  
für Hochspannungstechnik, ISH'93, Yokohama**  
Prof. W. Zaengl, FG Hochspannungstechnik, ETHZ

*FKH-/ETG-Fachtagung: VOR-ORT-PRÜFUNG VON HOCHSPANNUNGSANLAGEN:  
MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN, 17. November 1993, Lausanne.*

- 12.30      **Gemeinsames Mittagessen im Casino de Montbenon**
- Die Referenten werden während des Mittagessens für eine weitere Diskussion sowie zur Beantwortung spezieller Fragen zur Verfügung stehen. Interessenten werden gebeten, sich an die speziell dafür bezeichneten Tische zu setzen (pro Referent ein Tisch).
- 14.00      Transfer mit Extrabus nach Ecublens zur ETH-Lausanne, EPFL
- 14.30      **Besichtigung des Tokamak-Versuchsreaktors des CRPP an der EPFL**  
(Centre de Recherche en Physique des Plasma)
- 15.50      **Ende der Veranstaltung**
- 16.00      Abfahrt des Extrabusses ab EPFL zum Bahnhof SBB, Lausanne

**ORGANISATION**

- Tagungsleiter:**                      Mr. W. Moser, Service de l'électricité de la ville de Lausanne.
- Besichtigung des Tokamak an EPFL:**      Mr. A. Perez (Koordination), EPFL, CRPP  
MM. A. Favre und D. Fasel, EPFL, CRPP.
- Sekretariat:**                         Frl. H. Rütschi, FKH.
- Tagungsort:**                         Casino de Montbenon  
Alleé E.-Ansermet 3  
1000 Lausanne.
- Veranstalter:**                        Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH),  
Voltastrasse 9  
8044 Zürich
- in Zusammenarbeit mit
- Energietechnische Gesellschaft des SEV (ETG)  
Seefeldstrasse 301  
8034 Zürich.

## Vor-Ort-Spannungsprüfverfahren bei der Inbetriebnahme von SF<sub>6</sub>-Anlagen und Hochspannungskabeln

Th. Aschwanden

Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)  
Voltastrasse 9, 8044 Zürich

Es werden die verschiedenen Verfahren der Vor-Ort-Spannungsprüfung bei der Inbetriebnahme von SF<sub>6</sub>-isolierten Anlagen (GIS) und Energiekabelanlagen mit moderner Kunststoffisolation vorgestellt und verglichen. Anhand von Prüfbeispielen aus der Praxis werden die heutigen Prüfmöglichkeiten, insbesondere der Bereich der Vor-Ort-Wechselspannungsprüfungen mit Serieresonanzanlagen aufgezeigt [1]. Die Behandlung beschränkt sich hauptsächlich auf Inbetriebsetzungsprüfungen von Anlagen mit Betriebsspannungen ( $U_m$ ) von 123-kV bis 420-kV. Die prüftechnische Beurteilung von betriebsgealterten GIS-Anlagen oder Kabeln durch sogenannte Vor-Ort-Diagnoseprüfungen ist nicht Gegenstand des vorliegenden Referats.

Eine Vor-Ort-Prüfung einer Hochspannungsanlage ist immer dann sinnvoll, wenn wesentliche Teile dieser Anlage erst vor Ort erstellt und/oder durch die Montage massgeblich beeinflusst werden können. Bei SF<sub>6</sub>-isolierten Schaltanlagen (GIS) und Kabelanlagen im Hochspannungsbereich trifft dies gleichermassen zu, da einzelne, im Herstellerwerk geprüfte Komponenten oder Baugruppen erst am Aufstellungsort zu einer funktionsfähigen Gesamtanlage zusammengebaut werden.

### Vor-Ort-Prüfung von SF<sub>6</sub>-Schaltanlagen (GIS)

Die mehr als 25-jährige Erfahrung mit GIS-Anlagen und die Analyse der im Betrieb aufgetretenen Fehler zeigen deutlich, dass eine Vor-Ort-Spannungsprüfung bei neuerstellten GIS zur Sicherstellung der notwendigen Isolationsfestigkeit unbedingt erforderlich ist [2], [3]. Allgemein richten sich bei GIS die Art und der Umfang der Vor-Ort-Prüfverfahren nach der Spannungsebene, der Schaltanlagengrösse, den durchgeführten Routineprüfungen im Herstellerwerk und nach den Montagebedingungen vor Ort.

Heute werden weltweit folgende, von der IEC empfohlene Vor-Ort-Prüfverfahren für gasisolierte Schaltanlagen angewendet [4]:

- **Wechselspannungsprüfung (AC)**  
Bei diesem mit *Procedure A* bezeichneten Verfahren wird nach einer Konditionierungsphase im Normalfall eine Prüfspannung von 80% der Stehwechselspannung (Fabrikprüfspannung) angelegt. Prüfdauer: 1 Minute. Zulässiger Frequenzbereich: 10...300 Hz.
- **Wechselspannung und Blitzstoss-Spannung (LI/OLI)**  
Dieses mit *Procedure B* bezeichnete Verfahren beinhaltet eine Beanspruchung mit zwei Spannungsformen:

(1) Wechsellspannungsprüfung mit einer Amplitude von  $U_0$  (starr geerdetes Netz) bzw. von  $1.7 U_0$  (Netz mit isoliertem Sternpunkt). Prüfdauer: 5 Minuten. Zulässiger Frequenzbereich: 10...300 Hz.

(2) Blitzstossprüfung mit einem Pegel, welcher 80 % der Stehstossspannung (BIL) entspricht. Je 3 Impulse pro Polarität. Die Anstiegszeit der Blitzstoss-Spannung (LI) muss kleiner als  $8 \mu\text{s}$  sein. Bei oszillierenden Blitzstoss-Spannungen (OSI) sind  $15 \mu\text{s}$  Anstiegszeit zulässig.

- **Schaltstoss-Spannungsprüfung (SI/OSI):**

Diese Impulsform (aperiodisch gedämpft oder oszillierend) kann nach IEC-Empfehlung [4] zusätzlich oder als Ersatz für die Blitzstossprüfung in der Prozedur B angewendet werden. Prüfspannungspegel: 80 % der Schaltstehspannung bzw. der Blitzstosstehspannung. Je 3 Impulse pro Polarität.

- **AC-Prüfung mit Teilentladungsmessung (AC+TE)**

In den internationalen Prüfvorschriften ist dieses Verfahren noch nicht endgültig festgelegt. In [4] werden TE-Messungen bei  $1.1 U_0$  bzw.  $U_0$  nach der Durchführung einer Stehspannungsprüfung empfohlen.

Die von der CIGRE eingesetzten Arbeitsgruppen 33/23 und 15/23 kommen zum Schluss, dass bei gasisolierten Schaltanlagen aller Spannungsbereiche vor Ort insbesondere eine ausreichende Wechsellspannungsfestigkeit nachgewiesen werden muss. Ein Nachweis der Blitzstossfestigkeit vor Ort ist nur bei GIS-Anlagen der höchsten Spannungsebenen notwendig [5], [6].

Neben der hohen Empfindlichkeit beim Aufdecken von Fehlern, ist eine Wechsellspannungsprüfung verbunden mit einer begleitenden TE-Messung gegenüber einer reinen Stehspannungsprüfung (AC oder OLI) von erheblichem Vorteil, weil bei dieser Prüfung in den meisten Fällen ein Durchschlag in der Gasisolation der Anlage vermieden werden kann. Es ist bekannt, dass bei Durchschlagsvorgängen in  $\text{SF}_6$ -Anlagen der höheren Spannungsebenen (420-kV), insbesondere bei den hohen Prüfpegeln der Blitzstossprüfung, erhebliche Sekundärschäden (z.B. Überschläge an Stütz- oder Schottungsisolatoren) entstehen können.

### **Vor-Ort-Prüfung von Hochspannungskabelanlagen**

Bei Hochspannungskabelanlagen ( $U_m > 50\text{-kV}$ ) wird die Eignung von verschiedenen Vor-Ort-Prüfverfahren bereits seit längerer Zeit diskutiert [7]. Die Verfahren zur Spannungsprüfung von Hochspannungskabeln, welche heute praktiziert werden, sind die folgenden:

- **Gleichspannungsprüfung (DC)**                       $4 U_0 / 15 \text{ min}$
- **Wechsellspannungsprüfung (AC)**                       $1.7 \dots 2.5 U_0 / 15 \text{ bis } 30 \text{ min}$
- **Schwingende Schaltspannungsimpulse (OSI).**

Die Aussagekraft der in den IEC-Vorschriften [8] enthaltenen Vor-Ort-Prüfung mit hoher Gleichspannung muss bei modernen Kabelkonstruktionen mit extrudierter Kunststoffisolation (PE, VPE, EPR) nach heutigen Erkenntnissen sicherlich in Frage gestellt werden, da bei solchen Kabelanlagen mit einer DC-Prüfung auch gravierendste Montagefehler und Defekte nicht erkannt werden können.

Die Prüfung mit schwingenden Spannungsimpulsen (OSI, oscillating waves) ist heute nur bei relativ kurzen Kabelstrecken (< 1 km) realisierbar. Die Aussagekraft dieser Prüfung ist zur Zeit noch nicht abgeklärt.

Ein Vergleich der heute verfügbaren Vor-Ort-Prüfverfahren für kunststoffisolierte Kabel im Hochspannungsbereich ergibt, dass hinsichtlich Aussagekraft und technischem Aufwand eine Wechsellspannungsprüfung mit Resonanzanlagen allen anderen Verfahren überlegen ist [9]. Einerseits sind für diese Art der Beanspruchung das Verhalten bzw. die Grenzen von Polymerisolationssystemen genau bekannt, andererseits stehen heute leistungsfähige und flexible Prüfanlagen in der Form von Serie-Resonanzanlagen zur Verfügung, welche in mehr als 10-jähriger Prüfpraxis erprobt sind.

#### **Literaturhinweise**

- [1] *Aschwanden, Th.*, "Vor-Ort-Prüfungen von GIS und Kabeln mit Serieresonanz-Anlagen", Siemens-Tettex-Kolloquium, Dresden, 1993, Beitrag 07.
- [2] *Kopejtkova, D., T. Molony, S. Kobayashi, I.M. Welch*, "A twenty-five year review of experience with SF<sub>6</sub> gas insulated Substations (GIS)", CIGRE-Session 1992, Beitrag 23-101.
- [3] *Krüger K., C. Neumann, A. Strnad, G. Balzer, H. Härtel, O. Völker, W. Boeck, K. Feser, K.-H. Weck*, "Correlation between on-site test voltages and insulation-coordination of GIS", CIGRE-Session 1992, Beitrag 23/33-02.
- [4] *IEC-Publication 517*, "Gas-insulated metal enclosed switchgear for rated voltages of 72.5-kV and above", 1990.
- [5] *CIGRE WG 33/23.12*, "Insulation co-ordination of GIS: Questions on the influence of on-site tests and dielectric diagnosis", CIGRE-Session 1992, Beitrag 23/33-03.
- [6] *Weck, K.H.*, "GIS on-site testing and condition monitoring - Impact on insulation co-ordination", CIGRE-Session 1992, Special Report for Joint Group 23/33.
- [7] *Aucourt, C., W. Boone, W. Kalkner, R.D. Naybour, F. Ombello*, "Recommendations for a new after laying test method for high voltage extruded cable systems", CIGRE-Session 1990, Beitrag 21-105.
- [8] *IEC Publication 840*, "Tests for power cables with extruded insulation for rated voltages above 30 kV ( $U_m = 36$  kV) up to 150 kV ( $U_m = 170$  kV)", 1988.
- [9] *Aschwanden, Th.*, "Vor-Ort-Prüfung von Hochspannungs-Kabelanlagen, Bulletin SEV/VSE, Vol. 83, 1992, S 31-40.

## **Möglichkeiten und Grenzen von diagnostischen Methoden für kunststoffisolierte Mittelspannungskabel**

### **(Espoir et limite des méthodes diagnostiques pour câbles à moyenne-tension posés)**

**Th. Heizmann**

FG Hochspannungstechnik, ETH Zürich  
Physikstrasse 3, 8092 Zürich

Die Isolierung praktisch aller kunststoffisolierten Mittelspannungskabel ist nach einem mehrjährigen Betrieb durch Wasserbäumchen degradiert. Insbesondere Kabel aus den siebziger sowie den frühen achtziger Jahren erlitten und erleiden immer noch frühzeitige Ausfälle durch die Bildung von Wasserbäumchen. Obwohl die heute produzierten Kabel bezüglich der Bildung von Wasserbäumchen (Water treeing) ein wesentlich verbessertes Verhalten zeigen, wird auch ihre Lebensdauer eines Tages durch denselben Alterungsmechanismus limitiert werden.

Zur Zeit stehen den Betreibern von Kabelnetzen noch keine allgemein anerkannten Methoden zur Bestimmung des Alterungszustandes von gefährdeten Kabeln zur Verfügung. Im In- und Ausland befinden sich jedoch solche diagnostischen Verfahren in Entwicklung. Im Moment sind folgende Methoden für Vor-Ort-Messungen effektiv verfügbar und werden an verschiedenen Orten versuchsshalber eingesetzt:

- DC-Komponenten-Messung
- Verlustfaktor-Messung bei 0.1 Hz
- Nachentladestrom-Messung
- Spannungsprüfung mittels Serie-Resonanz-Anlagen.

**DC-Komponenten-Messung:** Dieses Verfahren wurde in Japan entwickelt und steht dort auch in Anwendung. Es handelt sich dabei um eine echte On-line-Messung, bei der eine sehr kleine DC-Komponente aus dem kapazitiven Ladestrom eines Kabels herausgefiltert wird. Ursprünglich wurde berichtet, dass diese DC-Komponente proportional zur Länge der Wasserbäumchen sei (Vented trees).

**Verlustfaktor-Messung bei 0.1 Hz:** Es handelt sich hierbei um ein in Europa entwickeltes Messverfahren, für das auch ein Mess-System kommerziell erhältlich ist. Das Mittelspannungskabel wird dabei mit einer sinusförmigen Spannung in der Grössenordnung der Betriebsspannung der Frequenz 0.1 Hz belastet, der Verlustfaktor wird mit einem auf digitaler Basis arbeitenden Gerät erfasst und ausgewertet. Publiizierte Messresultate lassen

darauf schliessen, dass der Verlustfaktor bei 0.1 Hz Information über den Alterungszustand des getesteten Kabels enthält und eine Einteilung in mehr oder weniger risikobehaftete Kabel zulässt.

**Nachentladestrom-Messung:** Das an und für sich schon sehr alte Grundprinzip wurde an der ETHZ auf die Diagnose von Mittelspannungskabeln angewendet. Dabei wurde ein Kriterium definiert, das eindeutige Informationen über den Gehalt eines Kabels an Wasserbäumchen enthält. Bei der Nachentladestrommessung wird das Kabel für eine bestimmte Zeit mit einer Gleichspannung in der Grössenordnung der Betriebsspannung aufgeladen; nachdem das Kabel relativ rasch entladen worden ist, wird der "noch verbleibende" Strom im kurzgeschlossenen Kabel während einigen Minuten gemessen (Nachentlade- oder Depolarisationsstrom). Messungen an einer grösseren Zahl von gealterten Kabeln haben ergeben, dass die Isolierung von Kabeln, bei denen der Nachentladestrom überproportional mit der Ladespannung zunimmt (**Nichtlinearität**), stark durch die Bildung von Wasserbäumchen degradiert ist.

**Spannungsprüfung mittels Serie-Resonanz-Anlage:** Bei dieser Methode handelt es sich um eine reine Spannungsprüfung: das Kabel wird für eine bestimmte Zeit mit einer gewissen Spannung belastet. Das Resultat der Prüfung ist die Ja-/Nein-Aussage "Durchschlag/kein Durchschlag", d. h. die Prüfung ist prinzipiell nicht zerstörungsfrei.

#### **Bewertung der Verfahren:**

Die **DC-Komponenten-Messung** ist die einzige echte On-line-Methode unter den hier besprochenen Verfahren, die ausserdem einen geringen apparativen Aufwand erfordert. Für die hierzulande gebräuchlichen 10 und 12 kV-Mittelspannungskabel liegen aber nur wenige positive Resultate vor. Nach den vorliegenden Untersuchungen sieht es eher so aus, als ob dieses Verfahren nur bei Water trees, welche die Isolierung vollständig überbrückt haben, ein messbares Signal liefert, und dass seine Anwendung auf die in Japan gebräuchlichen 3.3 und 6.6 kV-Kabel beschränkt ist. Zudem treten bei dem theoretisch sehr einfachen Verfahren unter Vor-Ort-Bedingungen grössere Probleme auf, falls Mantelfehler vorliegen.

Die reine **Spannungsprüfung** ist, unserer Meinung nach, keine echte diagnostische Methode, da es dazu einer *Messung* bedarf. Im Falle einer bestandenen Prüfung liegt nur sehr wenig Information über den Alterungszustand des Kabels vor. Wird die Prüfung nicht bestanden (Durchschlag) kennt man zwar die Durchschlagsspannung des Kabels, es ist aber gleichzeitig zerstört worden (eine Relativierung des Gesagten im positiven Sinne erfolgt weiter unten). Es wäre also auch bei dieser Methode wünschenswert, dass eine Messgrösse erfasst werden könnte (z. B.  $\tan \delta$  oder Teilentladungen).

Die **Verlustfaktor-Messung bei 0.1 Hz** sowie die **Nachentladestrom-Messung** erscheinen beide dazu geeignet, eine Aussage über den Alterungszustand von Kunststoffkabeln zu gewinnen. Die beiden Verfahren sind sozusagen dual, d. h. sie stellen die Realisierung einer Messung der dielektrischen Eigenschaften eines Kabels im Frequenz- bzw. im Zeitbereich dar.

Der Verlustfaktor bei 0.1 Hz liefert Hinweise auf den integralen Alterungszustand von verlegten Kabeln. Nach den vorliegenden Untersuchungen erscheint es glaubhaft, dass es vor allem Wasserbäumchen sind, die den Verlustfaktor bei 0.1 Hz erhöhen. Bei den verwendeten Prüfpegeln kann bei stark geschädigten Kabeln während der Messung ein Durchschlag erfolgen: dies kann sowohl als Vorteil als auch als Nachteil der Methode angesehen werden. Der apparative Aufwand für die Erzeugung der Prüfspannung sowie für die Messung des Verlustfaktors ist bei diesem Verfahren beträchtlich, was sich in einer entsprechend grossen und teuren Anlage niederschlägt.

Nach den vorliegenden Messresultaten darf es als gesichert gelten, dass die Beurteilung der Linearität der Nachentladeströme von gealterten Mittelspannungskabeln eine eindeutige Aussage über deren Gehalt an Wasserbäumchen liefert. Bei den verwendeten Spannungspegeln (max.  $2 \cdot U_0$  DC) ist das Durchschlagsrisiko auch von stark degradierten Kabeln minimal, und eine Vorschädigung des Kabels durch die Diagnose ist auch nicht zu erwarten. Die Messung ist vor Ort mit vergleichsweise geringem apparativem Aufwand durchführbar.

#### Zusammenfassung:

Insgesamt gesehen liegen also mindestens zwei Messverfahren vor, die mittels einer zerstörungsfreien Messung Auskunft über den Alterungszustand von verlegten, kunststoffisolierten Mittelspannungskabeln geben können. Das Resultat der Messung ist beim einen Verfahren der Verlustfaktor bei 0.1 Hz, also ein Mass für die gesamten dielektrischen Verluste, beim anderen Verfahren lässt die Beurteilung der Nichtlinearität der Nachentladeströme spezifischere Rückschlüsse auf den Gehalt an Wasserbäumchen zu. Was beide Verfahren nicht können, ist die Aufdeckung von singulären Fehlstellen, d. h. auch bei einer positiven Beurteilung einer Kabelstrecke durch eine der beiden Methoden kann nicht garantiert werden, dass nicht doch ein einzelnes sehr langes Wasserbäumchen vorhanden war, welches dann innerhalb kurzer Zeit doch zum Durchschlag führt.

Diese Feststellung rückt die beiden zuletzt besprochenen Verfahren und die reine Spannungsprüfung wieder etwas zusammen: Kein Verfahren kann für ein individuelles Kabel Gewissheit über dessen dielektrische Restfestigkeit, und schon gar nicht über die Zeitspanne bis zum nächsten Durchschlag, geben. Die Ursache für diese Einschränkung ist aber nicht (nur) in den unvollkommenen Messverfahren, sondern in der stochastischen Natur des Problems zu suchen. Neben der zufälligen Verteilung von potentiellen Fehlstellen im Kabel sind es auch äussere, stochastische Einflussfaktoren (z. B. Überspannungen) die mitspielen, und die es schlussendlich verbieten, dass man für die noch verbleibende Lebensdauer eines individuellen Kabels eine genaue Prognose machen kann. Realistischerweise darf man darum nur Aussagen über die *wahrscheinlich* verbleibende Restfestigkeit eines Kabels erwarten, was zu erreichen mit der Verlustfaktormessung bei 0.1 Hz sowie der Nachentladestrom-Messung möglich erscheint.

## Evaluation de l'état de l'isolement des câbles MT à isolation papier-plomb

M. Fromentin

Service de l'électricité de la ville de Lausanne, SEL  
Place Chauderon 27, 1000 Lausanne

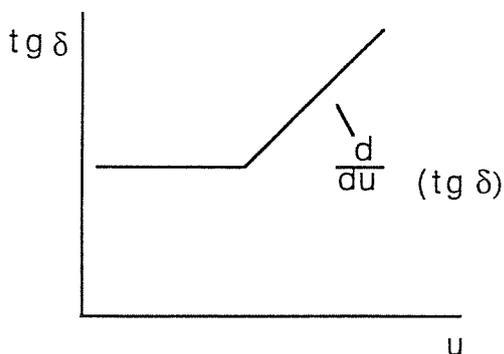
Depuis une quinzaine d'années, le service de l'électricité de la ville de Lausanne a engagé un processus de conversion de la tension d'exploitation de ses réseaux MT de 6.4-kV à 11.5-kV.

Le succès de l'opération paraissait assuré: or, après un temps de latence de 10 ans dans un cas et de 5 ans dans un autre, on a constaté une brutale aggravation du taux de défaillance pour des défauts dits "en plein câble".

Une analyse typologique de cas défauts ayant permis d'effectuer un certain tri des liaisons suspectes, il y a été recherché un dispositif de mesurage susceptible de conforter la première analyse et aussi de pouvoir disposer, si tant est que cela soit possible, d'un moyen de diagnostic objectif.

Le choix s'est porté sur le mesurage de la  $\text{tg } \delta$  en fonction d'une tension de mesure variant entre 0 et 6-kV contre terre.

Il s'en dégage deux critères, l'un étant celui de la  $\text{tg } \delta$  à tension relativement basse et l'autre où l'on considère la dérivée de la  $\text{tg } \delta$  en fonction de la variation de tension aux valeurs supérieures.



On infère alors que la valeur  $\text{tg } \delta$  est représentative de l'état actuel du câble alors que  $\frac{d}{du} (\text{tg } \delta)$  rend compte de la vitesse du vieillissement.

Des valeurs de seuils d'acceptation ont alors été fixées d'une manière expérimentale.

Il convient de souligner que la démarche est essentiellement conjecturale et qu'elle devra encore être soumise au feu de la critique et de l'expérience.

Néanmoins, d'après les premiers résultats et les travaux d'assainissement qui en ont découlé, on peut penser que la méthode est probablement efficace puisque nous n'avons pas eu d'incident du genre en 1993.

## Bestimmung des Isolationszustandes von Papier-Blei-Mittelspannungskabeln

M. Fromentin

Service de l'électricité de la ville de Lausanne, SEL  
Place Chauderon 27, 1000 Lausanne

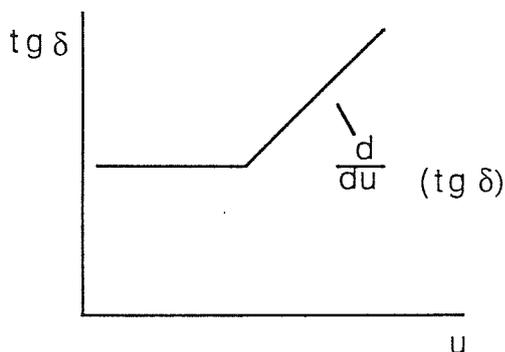
Seit etwa 15 Jahren befasst sich das Elektrizitätswerk der Stadt Lausanne mit der Umstellung der Betriebsspannung seines Mittelspannungsnetzes von 6.4-kV auf 11.5-kV.

Der Erfolg dieser Massnahme schien vorerst gesichert. Man stellte jedoch nach einer Latenzzeit von 10 Jahren im einen und nach 5 Jahren in einem anderen Fall eine sehr starke Zunahme der Ausfallraten fest, welche auf Fehler in den Kabelstrecken zurückzuführen waren.

Mit einer Analyse der Fehlertypen sollten die verdächtigen Kabelverbindungen bestimmt werden. Es wurde dabei nach einem empfindlichen Messverfahren gesucht, welches erlaubte, die ersten Analysen durchzuführen und nach Möglichkeit eine objektive Diagnose zu stellen.

Die Wahl fiel auf eine Messung des Verlustfaktors  $\text{tg } \delta$  in Funktion der angelegten Phase-Erde-Spannung im Bereich von 0 bis 6-kV.

Es ergaben sich daraus zwei Kriterien: das eine ist dasjenige des  $\text{tg } \delta$  bei relativ tiefen Spannungen und das andere ist die Ableitung des  $\text{tg } \delta$  bei der Beanspruchung mit höheren Spannungswerten.



Man führt nun den Wert des  $\text{tg } \delta$  auf den aktuellen Isolationszustand des Kabels zurück. Die Ableitung  $d/du(\text{tg } \delta)$  gibt Aufschluss über die Alterungsgeschwindigkeit.

Die zulässigen Grenzwerte wurden experimentell ermittelt.

Es muss hier betont werden, dass dieses Verfahren und die Aussagen noch diskutiert werden müssen und dass noch weitere Erfahrungen notwendig sind.

Trotzdem kann man aufgrund der ersten Resultate und der Sanierungsmassnahmen, welche sich daraus ergaben, schliessen, dass das Verfahren wahrscheinlich wirksam ist. Im Jahre 1993 haben sich keine solchen Kabelfehler mehr ereignet.

## Teilentladungs-Prüfungen an Hochspannungswandlern im Unterwerk

R. Bräunlich

Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)  
Voltastrasse 9, 8044 Zürich

In Hinblick auf die Entwicklung eines feldtauglichen standardisierten TE-Prüfverfahrens für Hochspannungsmesswandler führte die FKH während dreier Jahre ein Forschungsprojekt durch, welches vom Unterausschuss für Forschung der Überlandwerke (UAF) unterstützt wurde.

### Projektziel

Aufbauend auf bereits bestehenden Ideen und Erfahrungen von früheren Vorort-TE-Prüfungen an Messwandlern der FKH und der ETH, Fachgruppe Hochspannungstechnik, war eine Prüfmethode und Prüfeinrichtungen bereitzustellen, welche folgenden **Anforderungen** genügen sollten:

- feldtauglich, leicht transportierbar, freilufttauglich
- Eliminierung externer Störquellen, Grundstörpegel  $< 5\mu\text{C}$
- Effiziente Durchführung, Prüfung mehrerer Felder pro Tag
- Reproduzierbarkeit, Standardisierung des Prüfverfahrens und der Dokumentation.

Die gewünschte TE-Prüfmethode sollte vor Ort ein Kriterium liefern, welches in erster Linie folgende **Entscheidung** ermöglichen sollte:

- (a) ob der untersuchte Wandler weiterbetrieben werden kann
- (b) ob der Wandler im Werk näher überprüft werden soll
- (c) ob er ausgeschieden werden muss.

### Problemstellung

Die schwierigste Anforderung, welche den zeitlich grössten Anteil der Untersuchungen in Anspruch nahm, stellte die **Unterdrückung von externen Störquellen** dar. Die wesentlichen Störeinflüsse werden nachstehend aufgeführt:

- **Äussere Teilentladungen:** Entladungen ausserhalb des Wandlergehäuses, an Hochspannungsverbindungen, Wandlerköpfen Armaturen und Isolatoroberflächen.
- **Rundfunksender im Mittelwellenbereich:** hochfrequente elektromagnetische Signaleinkopplungen in den Teilentladungskreis.
- **Störungen aus der Anlage und dem Erdungssystem:** Koronaimpulse aus den in Betrieb stehenden Anlageteilen, impulsförmige Ströme im Erdungssystem durch leistungselektronische Einrichtungen.
- **Störungen aus dem Niederspannungsnetz,** welches die Prüfspannungsquelle speist.

Die zu lösende Hauptaufgabe bestand demnach in der Realisierung geeigneter Massnahmen, welche die aufgezählten Störeinflüsse auf die Teilentladungsmessung verhindern sollten.

#### **Realisierte Prüfeinrichtung der FKH**

Beim entwickelten Teilentladungsmessverfahren werden jeweils zwei Messwandler hochspannungsseitig miteinander verbunden und gemeinsam in einer Brückenschaltung geprüft (siehe Figuren 1 und 2). Die Wandler müssen dazu vom Netz getrennt werden.

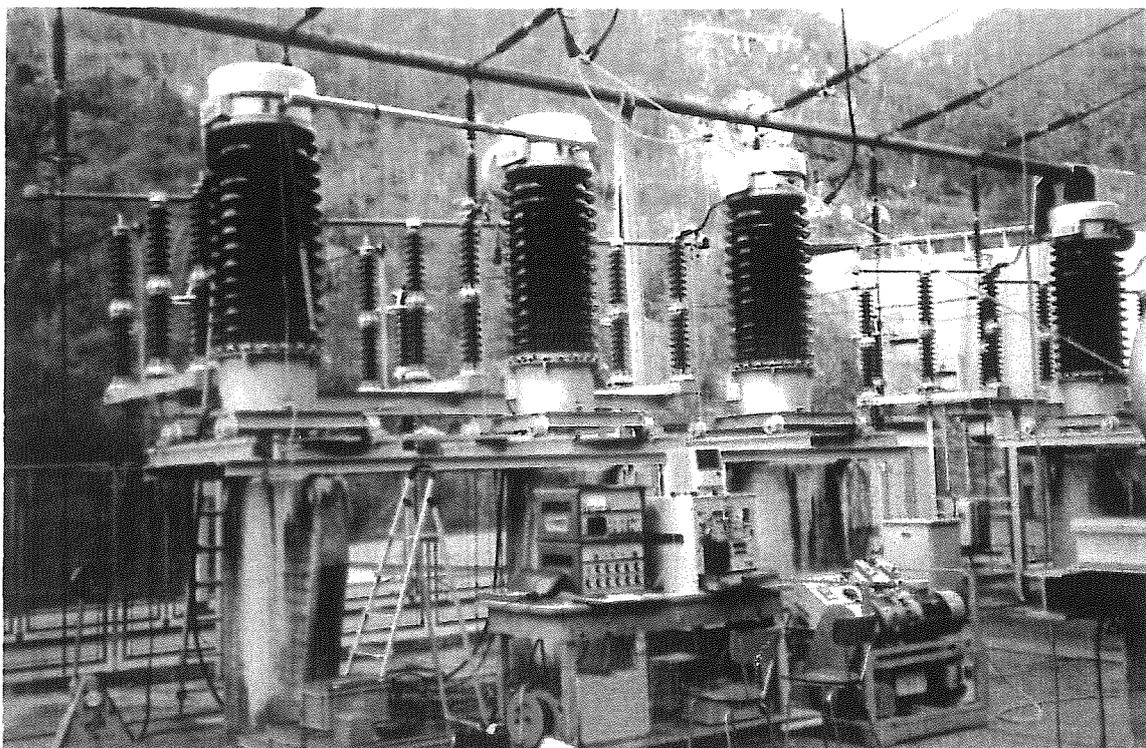
Im Falle von Spannungswandlern und Messgruppen (Kombiwandler) kann die Prüfspannung durch Einspeisung auf der Niederspannungsseite der Spannungswandler erzeugt werden. Auch eine Einspeisung über einen Hochspannungsresonanzkreis wurde erfolgreich ausgetestet. Die Prüfspannungsquelle ist mit Vorteil frequenzvariabel, wobei die optimale Frequenz der Prüfspannung je nach Wandlertyp zwischen 45 und 80 Hz liegt.

Sowohl die Einspeisung zur Erzeugung der Prüfspannung, wie auch die Auskopplung der TE-Impulse erfolgt an den Wandler-Messanschlusskästen. Die Teilentladungssignale von beiden Wandlern werden einem TE-Brückendetektor zugeführt.

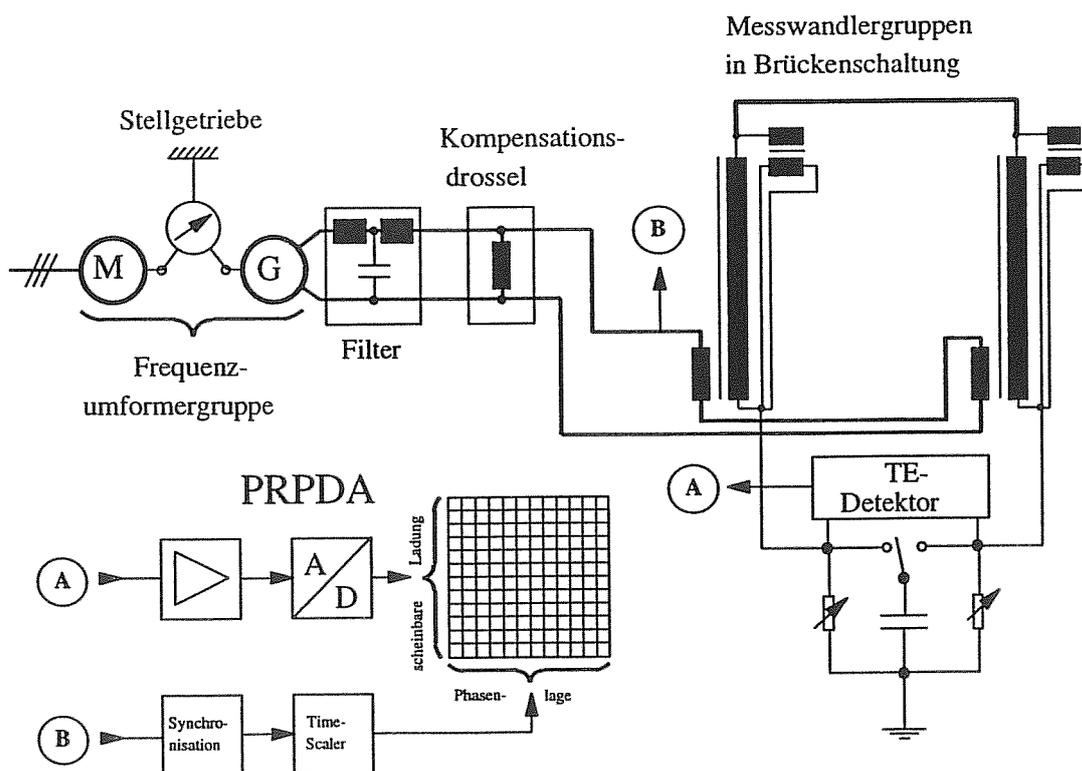
Mit einem elektronischen Impulsauswertesystem PRPDA<sup>1</sup> werden die erfassten Teilentladungsereignisse schliesslich quantifiziert und geordnet nach Phasenlage und scheinbarer Ladung dargestellt und abgespeichert.

---

<sup>1</sup> **PRPDA:** Phase Resolved Partial Discharge Analyser. Es wurde ein Konzept der Forschungsgruppe für Isolierstoffe des Forschungszentrum der ABB in Dättwil übernommen (B. Fruth, J. Fuhr, "Partial discharge pattern recognition - a tool for diagnosis and monitoring of aging", CIGRE-Session, Paris, 1990, Beitrag 15/33-12).



**Figur 1** Vor-Ort-Teilentladungsprüfung von Messwandlergruppen in einer 150 kV-Freiluftschaltanlage. Brückenschaltung und Einspeisung in die Spannungswandlersekundärwicklungen. Mitte: Teilentladungsmesseinrichtung bestehend aus Teilentladungsmessbrücke und PRPDA-System. Rechts: Motor-Generator-Frequenzumformergruppe.



**Figur 2** Blockschema der Teilentladungsprüfeinrichtung für die Vor-Ort-Prüfung von Spannungswandlern und Messgruppen (Kombiwandler).

Die gesammelten Erfahrungen bei der Behandlung von Hochfrequenz-Störsignalen führten zum kombinierten Einsatz folgender **Massnahmen**:

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Brückenschaltung</li><li>- Filterung und Schirmung der Speisequelle</li><li>- Eingrenzung der TE-Messbandbreite durch geeignete Filterung des TE-Signals</li><li>- Wahl einer von der Netzfrequenz abweichenden Frequenz der Prüfspannung</li><li>- Digitale Störunterdrückung mittels PRPDA, Diskriminierung der mit 50 Hz korrelierten Störimpulse.</li></ul> |
|---|

### **Standardisierter Prüfablauf**

Bei einer ersten Überprüfung einer Messgruppe werden sowohl die niederspannungsseitigen Stromwandleranschlüsse, als auch das erdseitige Ende der Hochspannungswicklung des Spannungswandlers, sowie allfällig vorhandene Steuerelektroden gemeinsam an die TE-Messbrücke angeschlossen. Mit diesem Vorgehen sollen Teilentladungsquellen in möglichst allen Isolationsteilen mit guter Empfindlichkeit erfasst werden. Bei positivem TE-Befund werden zur weiteren Eingrenzung des möglichen Fehlerorts einzelne Ausgänge selektiv an das Teilentladungsmesssystem angeschlossen.

In Absprache mit der Fachkommission 38 des CES (Messwandler) wird folgender Prüfablauf vorgeschlagen, welcher in allen durchgeführten Versuchen konsequent angewendet wurde:

1. Teilentladungsmessung bei $U_0$	Dauer: 1 min
2. Belastung mit $1.2 \cdot U_0$	Dauer: 5 min
3. Teilentladungsmessung bei $U_0$	Dauer: 1 min.

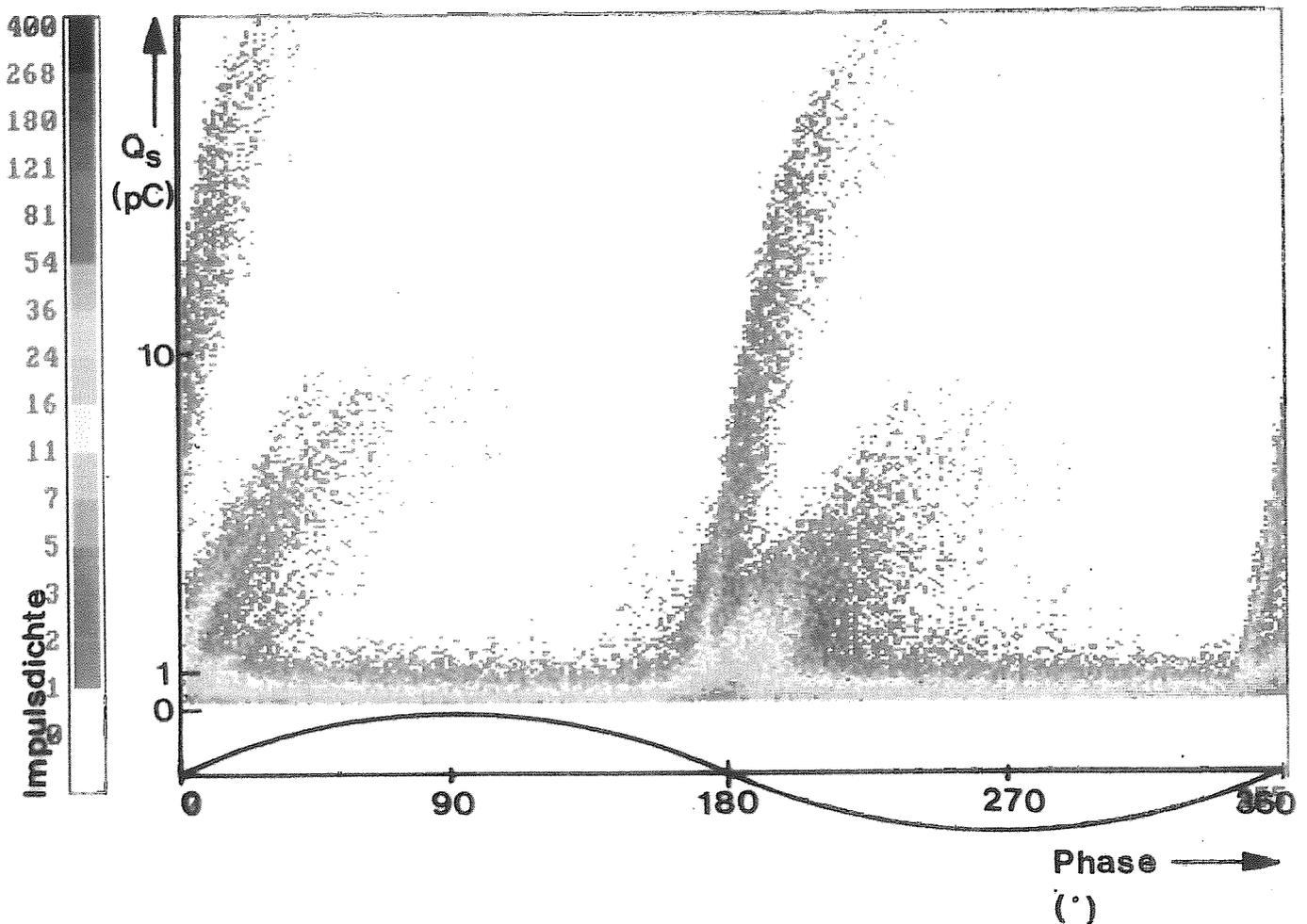
Während diesem Prüfablauf werden die untersuchten Wandler mit einer temporären Überspannung beansprucht, wie sie grundsätzlich auch im Betrieb auftreten kann. Neben den absolut gemessenen Teilentladungspegeln sind bei diesem Verfahren vor allem auch Veränderungen des TE-Erscheinungsbilds zwischen den Messungen vor und nach der 5-minütigen Überspannung von entscheidender Bedeutung. Ein Ansteigen des Teilentladungspegels oder das Auftreten einer neuen TE-Störstelle bei der zweiten Teilentladungsmessung weist auf eine fortschreitende Isolationsschädigung hin.

Zur Registrierung der Teilentladungen werden alle Impulse während einer Minute bezüglich Amplitude (scheinbarer Ladung) und Phasenlage der Prüfspannung erfasst und im PRPDA-System auf der Festplatte des Rechners abgespeichert.

Das Messergebnis kann anschliessend als Impuls-Häufigkeitsdiagramm (siehe Fig. 3) ausgedruckt werden. Diese Darstellung dient als standardisiertes Dokument für die vor Ort durchgeführte TE-Prüfung.

Wird ein Teilentladungseinsatz festgestellt, dann sind zur weiteren Abklärung mehrere PRPDA-Diagramme bei schrittweise zu erhöhenden Prüfspannungsstufen von der Einsatzspannung bis  $U_0$  und zurück bis zur Aussetzspannung notwendig.

Aus der Fachliteratur und aus eigenen Untersuchungen stehen bereits aussagekräftige Grundlagen zur Interpretation der TE-Impulsdiagramme zur Verfügung. Bei Fehlstellen der inneren Isolation in einem Messwandler entstehen verschiedenartige Muster, wobei die höchsten Amplituden meist in der Gegend der Nulldurchgänge, also im Zeitpunkt der grössten Spannungsänderungen, auftreten. Der TE-Befund in Figur 3 weist auf mehrere Entladungsstellen hin, die im Diagramm als bogenförmige Strukturen erscheinen.



Figur 3

Teilentladungsbefund bei einer bereits ausgemusterten 220-kV-Messgruppe mit Isolationschaden. Prüfspannung 127-kV gegen Erde. Messzeit: 1 Minute.

### Projektergebnisse

Durch eine verbesserte Mess- und Prüfeinrichtung und insbesondere durch Erweiterung der Störunterdrückungsmassnahmen bei der Speisequelle und in der Messkette konnte der Teilentladungs-Grundstörpegel soweit herabgesetzt werden, dass auch bei einer Vor-Ort-Prüfung die in der SEV-Norm SN 3304 "Teilentladungsmessung an Messwandlern" maximal zulässigen scheinbaren Ladungen von 5 pC bzw. 10 pC nachgewiesen werden können.

Die wichtigste Aufwertung der Teilentladungsmessausrüstung ist die Einführung des Computer-unterstützten TE-Impulserfassungs- und Auswertesystems PRPDA. Die Vorteile dieses Systems sind eine zusätzliche wirkungsvolle elektronische Diskriminierung der in Unterwerken vorkommenden Störimpulse und eine automatische Analyse sowie die Dokumentation der TE-Messergebnisse.

Der registrierte Grundstörpegel lag bei zwei durchgeführten Vororteinsätzen bei 1.5 pC (220 kV-Unterwerk, Rhonewerke AG, Mörel) und 1 pC (150 kV-Schaltanlage, Zentrale Gordola, Verzasca AG). Diese niedrigen, sonst nur unter Laborbedingungen erreichten Störpegel sind auf den kombinierten Einsatz von Brückenschaltung und PRPDA-System zurückzuführen.

Eine wesentliche Rolle bei der Störungsunterdrückung spielt die von 50 Hz abweichende Frequenz der Prüfspannung: Wird mit einer von der Netzfrequenz abweichenden Prüffrequenz gemessen, so können die Netzfrequenz-korrelierten Störimpulse wirkungsvoll diskriminiert werden. Die Störimpulse erscheinen dann als Hintergrund über die ganze Breite des PRPDA-Teilentladungs-Diagramms gleichmässig verteilt. Experimentelle Untersuchungen an Hochspannungswandlern in der FKH-Versuchsstation Däniken haben gezeigt, dass eine aussagekräftige TE-Messung selbst dann noch möglich ist, wenn der externe Korona-Störpegel den Teilentladungspegel übersteigt.

Mit der bestehenden Ausrüstung können im Mittel sechs Messfelder pro Tag geprüft werden. In zwei Einsätzen konnte die Vor-Ort-Tauglichkeit des Prüfverfahrens voll bestätigt werden.

### Beurteilung, Ausblick

Neben den grossen *Vorteilen* des untersuchten Prüfverfahrens mit Brückenschaltung und Sekundäreinspeisung - es muss insbesondere keine Hochspannungsquelle vor Ort transportiert werden - ergeben sich aber auch *Nachteile*: keine Prüfmöglichkeit für Stromwandler und die Gefahr der thermischen Überlastung der Spannungswandlerwicklung.

Muss auf die Sekundäreinspeisung an den Spannungswandlern verzichtet werden, so muss eine transportierbare Hochspannungsprüfquelle vor Ort einzurichtet werden. Zur Prüfspannungs-Erzeugung kommen die bei der FKH zur Verfügung stehenden *Serie-Resonanzkreise* in Frage. Entsprechende Versuche führten zu vergleichbaren Teilentladungsmessbedingungen wie bei der Sekundäreinspeisung. Der Zeitbedarf für eine solche

Prüfung ist aber bedeutend höher: Für die Prüfung eines Wandlerpaars muss ein teilentladungsfreier Prüfquellenaufbau bestehend aus Resonanzdrosseln und Belastungskondensatoren aufgestellt werden.

Eine *Einschränkung* der angewendeten Brücken-Messschaltung resultiert aus der gleichzeitigen Prüfung zweier Wandler: die Identifikation des teilentladungsbehafteten Wandlers in der Brückenschaltung ist bei hohen externen Störpegeln nicht immer ohne weiteres möglich. Zur Lokalisierung von solchen Fehlern in der Brückenschaltung sind Versuche mit verschiedenen Wandlerkombinationen bzw. ein Aufbau einer externen Kapazität notwendig.

Die Verwendung eines mobilen und kompakten Hochspannungsprüftransformators könnte bezüglich der genannten Probleme Abhilfe schaffen.

#### *Akustische Teilentladungsdetektion*

In der Fachwelt wird seit einiger Zeit die akustische Teilentladungsdetektion mittels Körperschallwandlern als aussichtsreiche *Alternative bzw. Ergänzung* zur elektrischen Vor-Ort-Teilentladungsmessung angesehen. Einige Versuche mit Körperschallsensoren an Hochspannungswandlern wurden in der FKH-Versuchsstation Däniken bereits durchgeführt. Es ergab sich bei der Körperschallregistrierung etwa die gleiche Messempfindlichkeit wie bei der elektrischen Messung.

Zwar lässt diese Technik keine eindeutige quantitative Erfassung der Teilentladungsaktivität zu; es werden aber folgende *Einsatzmöglichkeiten* als besonders erfolgversprechend angesehen:

- Einfache Vorabklärung im normalen Netzbetrieb.
- Bestätigung von elektrisch ermittelten Teilentladungsbefunden
- Identifikation des fehlerhaften Wandlers in einer Brückenschaltung.
- Lokalisierung von Teilentladungen.

Beim Einsatz von akustischen TE-Sensoren sind folgende wichtige Fragen noch ungeklärt:

- Ortsabhängigkeit der Empfindlichkeit
- Empfindlichkeit für hochfrequente Wandlerkerngeräusche
- Empfindlichkeit für äussere Teilentladungen

Ein Entscheid über die weitere Bearbeitung dieser Fragen steht noch aus.

## **Vor-Ort-Diagnosemessungen an Leistungstransformatoren**

**J. Fuhr**

ABB Forschungszentrum  
5405 Baden-Dättwil

### **Einleitung**

Die Messung von Teilentladungen (TE) während einer Spannungsprüfung von energietechnischen Komponenten in einem gegen äussere elektro-magnetische Störungen abgeschirmten Hochspannungslabor stellt eine sehr empfindliche, zerstörungsfreie Methode dar, welche zur Überprüfung der Integrität von Isolationssystemen seit mehr als 40 Jahren erfolgreich angewendet wird.

Für die Beurteilung des Isolationzustandes von **betriebsgealterten** Leistungstransformatoren in Unterwerken wird zur Zeit bei wichtigen Einheiten, eine Analyse der im Trafoöl gelösten Gase regelmässig durchgeführt. Im Fall eines sprunghaften oder kontinuierlichen Anstieges der gelösten Gase, wie z.B. Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid und Kohlendioxid (CO, CO<sub>2</sub>) oder Kohlenwasserstoff-Verbindungen (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), müssen geeignete Massnahmen ergriffen werden, welche den sicheren Betrieb des betreffenden Transformators gewährleisten.

Die Analyse der gelösten Gase im Oel basiert vorwiegend auf Erfahrungswerten [1]. In solchen Situationen kann eine empfindliche Teilentladungsmessung, basierend auf akustischen und/oder elektrischen Sensoren, einen wertvollen Hinweis über die Ursache und die Gefährlichkeit des Defektes im Isolationssystem des Transformators liefern.

### **Probleme bei Vor-Ort Teilentladungsmessungen**

Wegen den äusseren elektromagnetischen Störeinflüssen (Koronaentladungen, Rundfunksender, Leistungselektronik, usw.), die in jedem Unterwerk vorhanden sind, ist eine empfindliche TE-Messung unter Anwendung der konventionellen Messtechnik, welche in abgeschirmten Hochspannungslabors gebräuchlich ist, nicht möglich.

Die Anwendung von moderner Messtechnik [2], wie z.B. fernsteuerbare, selektive Filter, automatische Digitalisierung und Speicherung der Daten und eine "quasi On-line" Beurteilung des statistischen Verhaltens der TE-Signale [3], eröffnet neue Möglichkeiten und erlaubt, empfindliche TE-Messungen auch in der gestörten Umgebung eines Unterwerks oder in einem Kraftwerk durchzuführen [4].

### **Praktisches Beispiel einer durchgeführten TE-Messung in einem Unterwerk**

An einem 333 MVA, 400/230-kV Einphasen-Umspanntransformator wurden vor Ort mehrere Messungen der elektrischen Teilentladungen durchgeführt. Die Ausrüstung des Transformators mit entsprechenden TE-Sensoren (Stromwandlern) ist in Bild 1 dargestellt.

Während der Zeit von 6 Monaten wurde die Entwicklung des TE-Verhaltens dieses Transformators beobachtet (Trendanalyse). Schon während der ersten Vor-Ort TE-Messung wurde ein TE-Muster (scheinbare Ladung in Abhängigkeit der Phase und der Anzahl der TE-Impulse während einer vorgegeben Messzeit) festgestellt, welches auf eine gefährliche innere Teilentladung im Isolationssystem des Transformators hindeutete (siehe Bild 2). Nach der zweiten TE-Messung im Unterwerk wurde auf Grund der Entwicklung des "gefährlichen" TE-Musters der untersuchte Transformator ausser Betrieb genommen.

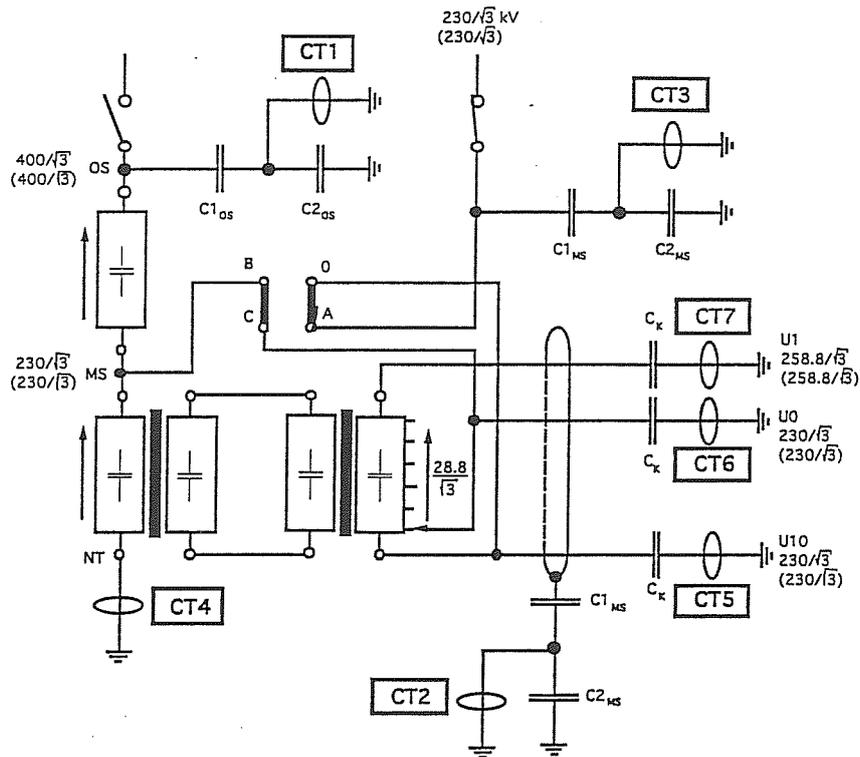
Eine TE-Messung im abgeschirmten Hochspannungslabor des Herstellers bestätigte die vor Ort getroffene Analyse: an dem ausgebauten Aktivteil des Regeltransformators sind TE-Spuren sowohl am Abschirmring als auch in den Barrieren der Hauptisolation der Regelwicklung gefunden worden.

### **Schlussfolgerung**

In diesem Beitrag wird gezeigt, dass bei Leistungstransformatoren vor Ort eine Erfassung der elektrischen TE-Signale mit Hilfe moderner Messtechnik möglich ist. Die erfassten "TE-Rohdaten" beinhalten sowohl äussere Störsignale als auch die Signalanteile von inneren Teilentladungen. Die statistische Analyse der digitalisierten TE-Signale bietet zusammen mit theoretischen Kenntnissen der typischen TE-Muster von spezifischen TE-Defekten eine gute Möglichkeit, die "gefährlichen" TE-Muster bei den vor Ort gemessenen TE-Mustern zu extrahieren. Erst durch diese Extraktion wird eine korrekte Analyse und Interpretation der gemessenen Resultate möglich.

### **Literaturhinweise**

- [1] *W. Molitor*: "Gasanalyse als Mittel zur Beurteilung des Betriebszustandes von Transformatoren", in "Transformatoren, Stand der Technik und Tendenzen" (W. Dietrich, Hrsg.), VDE Verlag, Berlin, 1986, ISBN 3-8007-1365-9.
- [2] *D. Königstein*: "Advances in Partial Discharge Detection Technic", Proceedings of NORD-IS 92, June 15-17, 1992, Västeras, Sweden, Paper 2.4.
- [3] *J. Fuhr, M. Hässig, D. Königstein, M. Florkowski*: "PD-Systems for On-Site Detection of Aging Processes in High Voltage Apparatus", Proceedings of the 7th International Symposium on High Voltage Engineering, 1991, Dresden, Paper 73.01.
- [4] *J. Fuhr, M. Hässig, B. Fruth, P. Brühlmeier, A. Kopp*: "Recognition of Defects in Seriously Aged Stator Insulation of Rotating Machines" IEEE Winter Power Meeting, January 26-30, 1992, New York, USA.



Spannungswerte ohne Klammern: von 230 kV - Seite erregt  
Spannungswerte mit Klammern : von 400 kV - Seite erregt

Bild 1

Vor-Ort Teilentladungsmessung an einem Umspanntransformator.  
Auskopplung der TE-Signale über Breitband-Stromwandler (CT).

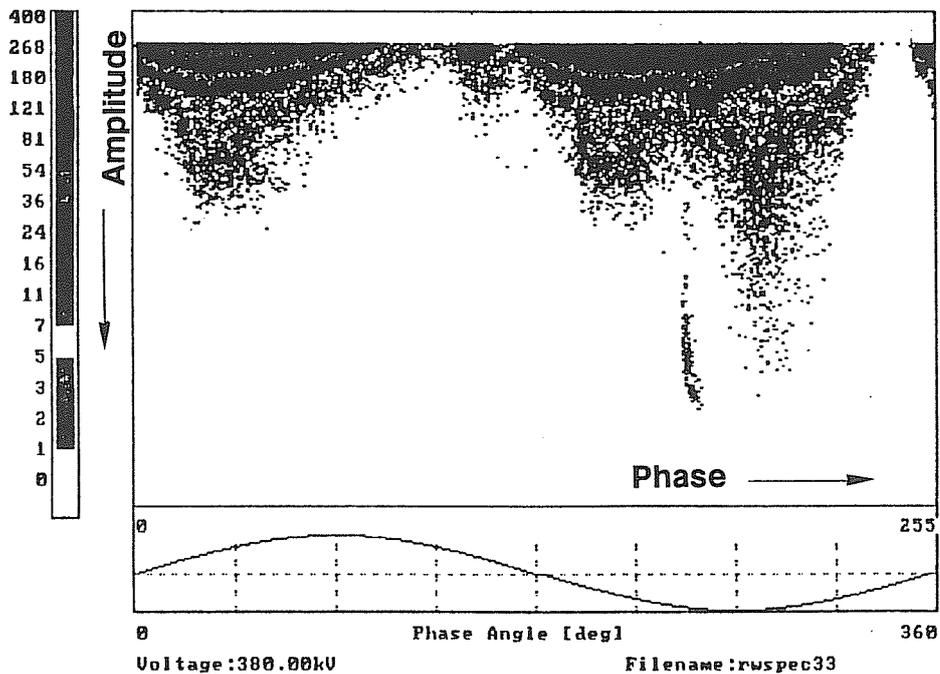


Bild 2

Resultat einer phasenaufgelösten TE-Messung (TE-Muster).

## **Vor-Ort-Prüfung: Neue Erkenntnisse vom Internationalen Symposium für Hochspannungstechnik ISH '93, Yokohama**

**W. Zaengl**

FG Hochspannungstechnik, ETH Zürich  
Physikstrasse 3, 8092 Zürich

Ende August dieses Jahres wurde in Yokohama, Japan, das 8. ISH (International Symposium on High Voltage Engineering) abgehalten. Bekanntlich wurde ein Symposium dieser Art vom im Jahre 1978 verstorbenen Professor Dr. Hans Prinz zum ersten Mal an der TU München (1972) organisiert. Seither ist diese regelmässige Zusammenkunft vieler junger und auch erfahrener, älterer Forscher und Ingenieure auf dem breiten Gebiete der Hochspannungstechnik zu einem international anerkannten Treffen geworden, an dem jeweils über die aktuellsten Entwicklungen auf den vielen Teilgebieten dieser Disziplin kurz berichtet wird.

Obwohl ursprünglich nur ein 4-jähriger Zyklus für die Durchführung dieses Symposiums - mit ausschliesslich europäischen Veranstaltungsorten - vorgesehen war (Zürich; 1975, Mailand 1979; Athen 1983; Braunschweig 1987; Dresden 1991) erzwang das grosse, internationale Interesse einen Übergang zu einem nur 2-jährigen Zyklus (1989 New Orleans/USA; 1993 Yokohama), wobei alle 4 Jahre **nichteuropäische** Länder diese jeweils 1-wöchige Tagung durchführen. So wird das 9. ISH im Jahre 1995 wieder in Europa (Graz, Oesterreich), das 10. ISH in Kanada (Montreal, 1997) stattfinden.

Beim Thema der gegenwärtigen FKH-/ETG-Fachtagung: "Vor-Ort-Prüfung von Hochspannungsanlagen" handelt es sich **nicht** um ein Vorzugs-Thema des ISH, obwohl bei der breiten Themenstellung dieses Symposiums immer wieder einschlägige Beiträge auftauchten. Am diesjährigen ISH ist die Ausbeute in dieser Hinsicht sehr gering, wenn man davon absieht, dass einige teils sehr intensiv behandelte Spezialgebiete, wie z.B. Verfahren zur Isolierstoff-Diagnose, darunter zur Teilentladungs-Messtechnik, die Grundlagen für Vor-Ort-Prüfungen liefern.

Der eigentliche Inhalt des Kurzvortrages wird sich daher auf eine kleine Auswahl von Themen beschränken, welche in der Zukunft entweder für eine unmittelbare Vor-Ort-Prüfung von Komponenten einer Hochspannungsanlage oder für eine Überwachung solcher Komponenten während des Betriebes (Überwachung, Monitoring) gebraucht werden könnten. Da sicher ein Teil der Teilnehmer an dieser Fachtagung an allen am 8. ISH behandelten Themen interessiert ist, werden in dieser Kurzfassung nachfolgend die Teilgebiete aufgelistet, in die die Einzelbeiträge gegliedert wurden. Die Titel der in 4 Bänden publizierten ca. 480 (!) Einzelbeiträge (von jeweils 4 Druckseiten) können hier natürlich nicht aufgeführt werden; die hinter den Teilgebieten (10...; 11...; 12... usf.) in Klammern angegebenen Zahlen geben aber die jeweilige Anzahl der Einzelbeiträge an, die als Mass für die Intensität der jeweils behandelten Gebiete gelten kann. Sämtliche Beiträge liegen natürlich nur in englischer Sprache vor.

## **Liste der Teilgebiete vom 8. ISH 1993**

### **Special Lecture**

Recent Topics on Power Transmission and Related High Voltage Engineering in Japan  
Kawamura, T. (Japan)

### **Special Session**

High Voltage Engineering Education in Future (9)

#### **1. Electric Field Calculation**

- 10 Applications of Numerical Field Calculation (5)
- 11 Improved Techniques in Electric Field Calculation (6)
- 12 Electric Field Calculation in High Voltage Equipment (3)

#### **2. Solid and Liquid Dielectrics and Insulation**

- 20 Water Trees (6)
- 21 Phenomena on Dielectric Interfaces (6)
- 22 Dielectric Properties, Electrical Conduction and Space Charge Effects of Solid Dielectrics (14)
- 23 Electrical Breakdown and Treeing Phenomena of Solid Dielectrics (12)
- 24 Dielectric Properties and Electrical Breakdown of Liquid Dielectrics (5)
- 25 Electrical Properties of Composite Dielectrics and Epoxy Resins, Interfacial Phenomena and Degradation of Dielectrics (8)

#### **3. Gaseous Dielectrics and Insulation, fast Transients, Vacuum**

- 30 Very Fast Transient Overvoltage in GIS (6)
- 31 Breakdown in SF<sub>6</sub> (5)
- 32 Breakdown in Vacuum I (5)
- 33 Very Fast Transient Overvoltage in GIS and Discharge in Non Uniform Field (12)
- 34 Surface Discharge in SF<sub>6</sub> and Discharge in Gas Mixture (9)
- 35 Application of Discharge (6)

- 36 Fundamental Process of Discharge (9)
- 37 Dielectric Recovery of SF<sub>6</sub> Arc (7)
- 38 Breakdown in Vacuum II (6)

#### **4. Air Discharge, Outdoor Insulation, Pollution**

- 40 Air Insulation (5)
- 41 External Insulation and Material (6)
- 42 Air Discharge I: Effect of Atmospheric Conditions (6)
- 43 Air Discharge II: Effect of Particle, Barrier and Various Parameters (12)
- 44 Air Discharge III: Phenomena and Modelling (9)
- 45 Basic Study of External Insulation and Pollution (11)
- 46 External Insulation Affected by Various Environmental Factors (7)
- 47 Performance and Evaluation of Composite Insulators (14)
- 48 Practical Consideration on Insulator Pollution (12)

#### **5. HV Testing and Measuring Techniques**

- 50 Measuring Uncertainty Clarified by Intercomparison Tests (5)
- 51 Application of Digital Recorders and Related Problems (7)
- 52 Intercomparison of Measuring Uncertainty with HV Test (6)
- 53 Digital Recorders, Response Parameters and their Analysis for HV Measurement (9)
- 54 New Measuring Technology (15)
- 55 HV Testing Apparatus for Field and Laboratory (6)
- 56 Various Proposals for HV Testing and Measuring Technologies (5)

#### **6. PD Measurement, Diagnostics, Machine Insulation**

- 60 PD Measurement Technique and Dielectric Degradation (5)
- 61 Diagnostic Techniques of High Voltage Apparatus (5)
- 62 Use of Computers in Characterizing PD Signals (12)
- 63 PD Measuring Techniques and Dielectric Properties (13)
- 64 Insulation Diagnosis of Rotating Machines (4)
- 65 Insulation Diagnosis of Power Transformers (8)
- 66 Diagnosis of GIS, Substations and Arresters (9)
- 67 Insulation Diagnosis of Cables and Lines (11)
- 68 Various Insulation Problems in High Voltage Apparatus (8)

**7. Lightning, Overvoltages, EMC**

- 70 Lightning (5)
- 71 Lightning Observation and its Modelling (13)
- 72 Triggered Lightning (9)
- 73 Lightning Protection and Insulation Design (3)
- 74 Surge Phenomena on Transmission Lines (10)
- 75 Surge Phenomena in Substations (9)
- 76 Induced Voltages on Distribution Lines and Grounding (8)
- 77 Surge Arrester I: Modelling and Test (7)
- 78 Surge Arrester II: Working Characteristics (9)
- 79 EMC and Corona (14)

**8. HV Applications, Electrostatics, Pulsed power**

- 80 High Voltage Application (6)
- 81 High Voltage Pulse Generator (3)
- 82 Flow Electrification (1)
- 83 Precipitator and Miscellaneous Subjects (5)

**9. Biological Effects, Cryogenic Insulation, Database, Expert System**

- 90 Electromagnetic Field Assessment and Biological Effects (5)
- 91 Electromagnetic Field Assessment (4)
- 92 Biological Effects (4)
- 93 Cryogenic Insulation (5)
- 94 CAD, Database and AI (5)

**FKH-/ETG-Fachtagung: VOR-ORT-PRÜFUNG VON HOCHSPANNUNGSANLAGEN:  
MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN, 17. November 1993, Lausanne**

## Teilnehmerliste

<b>Name</b>	<b>Vorname</b>	<b>Firma</b>	<b>Adresse</b>
Aguet	Michel	SEL	1000 Lausanne
Albanesi	Jean	Moser Glaser & Co. AG	4132 Muttenz
Albiez, Dr.	Manfred	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Amrein	Franz	CKW	6002 Luzern
Aschwanden, Dr.	Thomas	FKH	8044 Zürich
Aubert	Philippe	Bur. Ing. Perrottet SA	1211 Genève
Barbey	Daniel	ABB Sécheron SA	1211 Genève
Baumann	Walter		5000 Aarau
Bautz	René	Câbles Cortailod SA	2016 Cortailod
Bernasconi	Renato	Sprecher Energie AG	5036 Oberentfelden
Bernhard	Heiner	Städtische Werke Winterthur	8402 Winterthur
Bettler	Martin	Cie. Vaudoise d' Électricité	1110 Morges
Bircher	Peter	BKW	3000 Bern
Bleiker	Ueli	Kraftwerke Zervreila AG	7405 Rothenbrunnen
Borer, Dr.	Werner	AFIF	8005 Zürich
Borra	Danilo	EOS	1001 Lausanne
Boss	Pierre	ABB-Sécheron SA	1211 Genève
Bossart	Werner	EW Altdorf	6460 Altdorf
Bräunlich, Dr.	Reinhold	FKH	8044 Zürich
Braissant	Pierre	SEL	1000 Lausanne
Brettschneider	Josef	EKZ	8004 Zürich
Buchillier	Gérard	SEL	1000 Lausanne
Büsch, Dr.	Werner	Sprecher Energie AG	5036 Oberentfelden
Cramerli	Dario	EGL	4335 Laufenburg
Colliord	Christian	Entreprises Électr. Fribourgeoises	1700 Fribourg
Dahinden	Kurt	Dätwyler AG	6460 Altdorf
Décosterd	Claude	Stationenbau AG	5612 Villmergen
Déléze	Philippe	SEIC	1904 Vernayaz
Der Houhanessian	Vahe	ETHZ	8092 Zürich
Deschwanden von	Toni	FKH	4658 Däniken
Doessegger	Hugo	Stationenbau AG	5612 Villmergen
Domenig	Max	AG Bündner Kraftwerke	7250 Klosters
Ebnetter	Joseph		5034 Suhr
Elmiger	Ernst		5400 Ennetbaden
Fasel	Nicolas	CFF, Usines Électriques	1904 Vernayaz
Frey	Alex	NOK	5401 Baden
Friedli	Johannes	SBB, Direktion Kraftwerke	3052 Zollikofen
Fromentin	Michel	SEL	1000 Lausanne
Fruth, Dr.	Bernhard	Fruthmecoteg	5620 Bremgarten
Fuhr, Dr.	Jitka	ABB-Corporate Research	5405 Baden-Dättwil

Gabriel	Michael	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Genier	Maurice	EOS	1003 Lausanne
Grehn	Ulrich	Sprecher Energie AG	5036 Oberentfelden
Gsell	Bernhard	Eosson SA	1920 Martigny
Haberstich	Heinz	EW Kanton Schaffhausen	8201 Schaffhausen
Hadorn	Peter	Sprecher Energie AG	5036 Oberentfelden
Hager, Dr.	Helmut	Ingenieurschule Burgdorf	3400 Burgdorf
Heizmann	Thomas	ETHZ	8092 Zürich
Herbert	Georg	EWZ	8023 Zürich
Huber	Christof	Städtische Werke Winterthur	8402 Winterthur
Hünerbein von	Peter	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Imhof	Ulrich	EKZ	8022 Zürich
Jaeggi	Franz	ATEL	4600 Olten
Joss	Peter	ATEL	4600 Olten
Kolp	Andreas	EKZ	8002 Zürich
Kottmann	Charles	CKW	6002 Luzern
Krauss	Helmut	ETHZ	8092 Zürich
Krebs	Peter	AEW	5001 Aarau
Krummen	Bernhard	SEL	1000 Lausanne
Kull	Ulrich	Moser Glaser & Co. AG	4132 Muttenz
Laurent	Michel	Câbleries et Tréfileries Cossonay SA	1305 Cossonay-Gare
Loosli	Werner	FKH	4658 Däniken
Ludger, Dr.	Ullrich	Condis SA	1728 Rossens
Lüdin	Werner	KW Birsfelden AG	4127 Birsfelden
Macherel	Patrice	Entreprises Électr. Fribourgeoises	1700 Fribourg
Märke	Martin	ABB Kraftwerke AG	5401 Baden
Mailand	Marco	ETHZ	8092 Zürich
Marti	Roland	FKH	8044 Zürich
Mathis	Peter	SBB , Direktion Kraftwerke	3052 Zollikofen
Metzger	Fridolin	EGL	4335 Laufenburg
Michel	Heinz	BKW	3000 Bern
Minkner, Dr.	Ruthard	Emil Haefely & Cie. AG	4000 Basel
Miotti	Bruno	Sprecher Energie AG	5034 Suhr
Moser	Willy	SEL	1000 Lausanne
Munzinger	Karl		8156 Oberhasli
Murisier	René	SEIC	1904 Vernayaz
Narayan	Venkat	ETG /SEV	8034 Zürich
Nasciuti	Adriano	ETHZ	8092 Zürich
Neuhold	Stefan	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Onodi, Dr.	Tamas	Dätwyler AG	6460 Altdorf
Osvath, Dr.	Peter	TETTEX Instruments AG	8953 Dietikon
Ott	Heinrich		4632 Trimbach
Pedersen	Mogens	Brugg Kabel AG	5200 Brugg
Perez	Albert	EPFL, CRPP	1015 Lausanne
Petcharaks	Komson	ETHZ	8092 Zürich
Pfanzelter	Nicolas	NNH Equip. + Pfanzelter Eng.	1025 St. Sulpice
Piemontesi	Marco	ETHZ	8092 Zürich
Piquet	Jean-Pierre	SIG - Service de l'Électricité	1211 Genève
Portenier	Hans-Rudolf	Industrielle Werke Basel	4008 Basel

Rahm	Oskar	Elektrowatt AG	8034 Zürich
Rahm	Rudolf	AEW	5001 Aarau
Rappaz	Christian	Grande Dixence SA	1951 Sion
Renner	Gustavo	G.J. Renner & Partners	6490 Andermatt
Rey	Antoine	Moser Glaser + Co. AG	4132 MuttENZ
Rickmann	Johannes	Emil Haefely & Cie.	4028 Basel
Ried	Kurt	Elektra Baselland	4410 Liestal
Riedo	Alain	Condis SA	1728 Rossens
Ritter	Luigi	EWZ	8023 Zürich
Rozner	Walter	Ingenieur Bureau Rozner	3613 Steffisburg
Rütschi	Heidi	FKH	8044 Zürich
Sauvain	Hubert	EMC Fribourg SA	1728 Rossens
Sigg	Max	SBB, Direktion Kraftwerke	3052 Zollikofen
Sigrist	Charles	ETHZ	8092 Zürich
Schädeli	Bruno	EPFL, LRE	1015 Lausanne
Schafer	Daniel	ABB Kraftwerke AG	5401 Baden
Schauenberg	Rudolf	EW der Stadt Bern	3001 Bern
Schett	Georg	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Schibli	Josef	KW Laufenburg	4335 Laufenburg
Schleipen	Michael	Moser Glaser + Co. AG	4132 MuttENZ
Schlicht	Dieter	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Schmid	Kurt	AGEA KULL	4552 Derendingen
Schmid	Max	Câbleries et Tréfileries Cossonay SA	1305 Cossonay-Gare
Schmid	Roland	St. Gallisch-Appenzellische KW	9001 St. Gallen
Scholer	Andreas	Elektra Birseck	4142 Münchenstein
Schwab, Dr.	Fred	ATEL	4601 Olten
Schwarz	Matthias	Brugg Kabel AG	5200 Brugg
Strehler	Adolf	BKW	3000 Bern
Thelin	Frédéric	Cie. Vaudoise d'Électricité	1110 Morges
Tschannen	Christian	Sprecher Energie AG	5036 Oberentfelden
Uehlinger	Jean-Pierre	ABB-Sécheron SA	1211 Genève
Uehlinger	Roland	Sprecher Energie AG	5036 Oberentfelden
Vorwerk	Hans-Joachim	BKW	3000 Bern
Weber	Hans-Jürg	ETHZ	8092 Zürich
Wüthrich	Roger	EOS	1001 Lausanne
Zaengl, Prof. Dr.	Walter	FG Hochspannungstechnik, ETHZ	8092 Zürich
Zahnd	Eddy	Soc. des Usines de l'Orbe	1350 Orbe
Zuber	Armin	CKW	6002 Luzern
Zuber	Patrick	Siemens-Albis SA	1020 Renens
Zufferey	Jacques	Alusuisse-Lonza Energie SA	3965 Chippis
Zumwald	Yves	EOS	1003 Lausanne
Zweiacker	Pierre	EPFL, LRE	1015 Lausanne