

# Neues Diagnosesystem mit schwingendem Schaltstoss zur Prüfung und Ortung von Teilentladungen an verlegten Mittelspannungskabeln

## Einleitung

Mittelspannungskabel haben eine Schlüsselstellung im Energieverteilungsnetz. Enorme Längen wurden bis heute installiert. Die Instandhaltungskosten für diese Kabelstrecken sind gewaltig. Die Kosten bei Ausfällen machen sie zu einem Ziel von möglichen Einsparungen.

In der Vergangenheit wurden Komponenten hoher Qualität in Mittelspannungsnetzen verwendet, wenn sie nach vielen Jahren Betrieb ausfallen, verursachen sie grosse Reparaturkosten, Reklamationen der Kunden, Einkommensausfall und manchmal sogar rechtliche Probleme. Viele Kabelstrecken haben schon ein schönes Alter erreicht. Sie bestehen meistens aus Kabeln mit Öl Papier Isolation und Muffen aus Teer. Ausfälle von gemischten Kabelstrecken mit verschiedenen Isolationen und Muffen sind sehr schwer vorherzusagen. Der Trend von modernen Management Verfahren in den Elektrizitätsunternehmen geht in Richtung Unterhaltsprogramme mit vorhersehbarem Risiko. Schlechte Komponenten sollen ersetzt werden bevor ein Stromausfall eintritt. Ein solches Programm sollte auch kostengünstiger als die herkömmlichen Methoden sein.

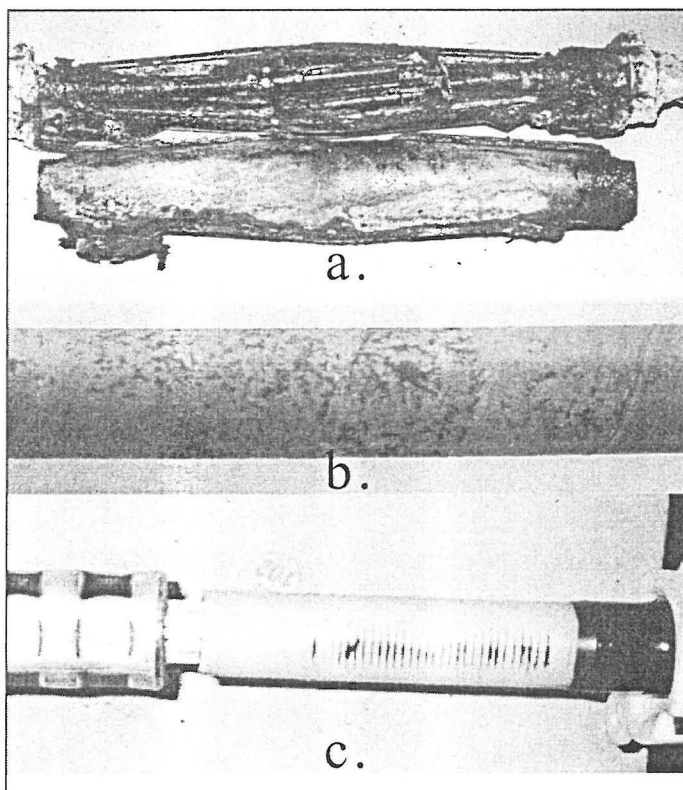


Fig 1

Beispiele von Fehlern in Mittelspannungskabeln

- a) Explodierte Oel-Papier Kabelmuffe eines Dreiphasen Mittelspannungskabel  
Wasser ist in die Muffe eingedrungen.
- b) Wasserbäumchen (Treeing) in der Isolation eines 45 jährigen Kabels
- c) Montage defekt in einer Kabelmuffe eines 10kV Polyäthylen Kabels.

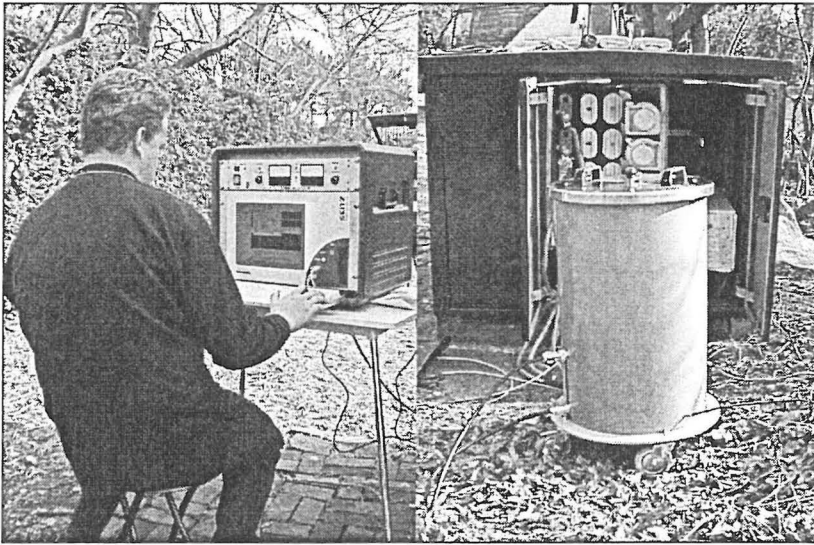
Die verkohlten Störstellen entstanden, da die Halbleiterschicht nicht total entfernt wurde.

Das Aufspüren von Teilentladungen, und deren Ortung ist für Unterhaltsprogramme von grosser Wichtigkeit. Die Unterhaltsarbeiten könne so viel besser geplant und kostengünstiger ausgeführt werden, wenn die Isolationsfehler in einem frühen Stadium gefunden werden.

Um kleine Teilentladungsfehler in Mittelspannungskabeln zu finden und zu analysieren, muss die Isolation möglichst mit einer Wechselspannung, wie die Netzspannung (50..60 Hz) beansprucht werden. Teilentladungsmessungen mit einer kontinuierlichen Wechselspannung ( Resonanz Systeme ) sind aufwendig und kostenintensiv und wegen Platzmangels und benötigter Leistung manchmal nur schwer durchführbar.

Darum wurden andere Methoden der Speisung gesucht um Teilentladungsmessungen Vorort durchführen zu können. z.B. Die VLF Methode (Very Low Frequency) mit einer Frequenz von 0.1 Hz. Diese Art hat den Nachteil, dass die Spannungsverteilung im Kabel und den Muffen mehr der Gleichspannung entspricht und die Teilentladungen zünden nicht wie bei Netzfrequenz.

Eine weitere Methode mit einem schwingenden Schaltstoss hat den Vorteil, dass die Spannungsverteilung während der Prüfung annähernd gleich ist wie im normalen Betrieb mit Netzspannung.



**Fig. 2**

**Ein Ingenieur misst ein Mittelspannungskabel in einem Einfamilienhaus Quartier im Feld**

# Beschreibung des Testsystems mit schwingendem Schaltstoss

auf Englisch (Oscillating Wave Test System) OWTS

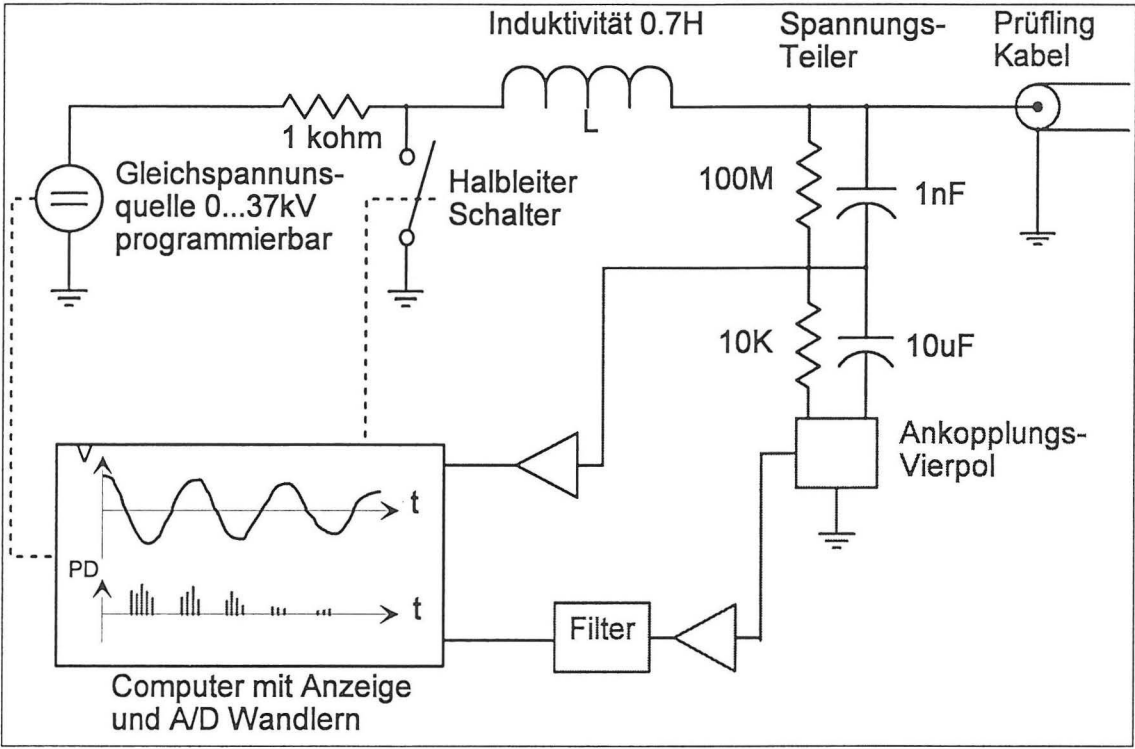


Fig. 3

Schemadiagramm des OWTS Systems für die Teilentladungsmessung und die Fehlerortung an Mittelspannungskabeln <50kV

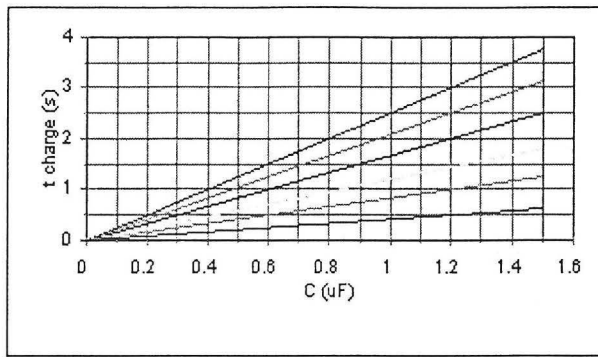
## Der Schwingende Schaltstoss

Das zu prüfende Kabel wird mit einer Konstantstrom-Gleichspannungspeisung während mehrerer Sekunden auf den Spitzenwert der Prüfspannung aufgeladen. (Fig. 4) Darnach wird mit einem sehr schnellen Halbleiterschalter (< 1usec) das Kabel über eine Luftinduktivität entladen. Die Entladespannung oszilliert mit der Resonanzfrequenz. (Fig. 5)

$$f = 1 / (2\pi * \sqrt{L * C})$$

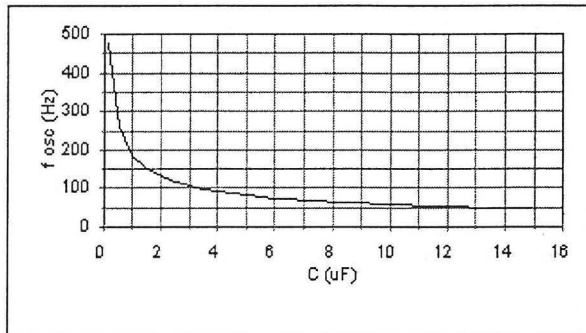
L Induktivität der Luftspule

C Kapazität des Kabels



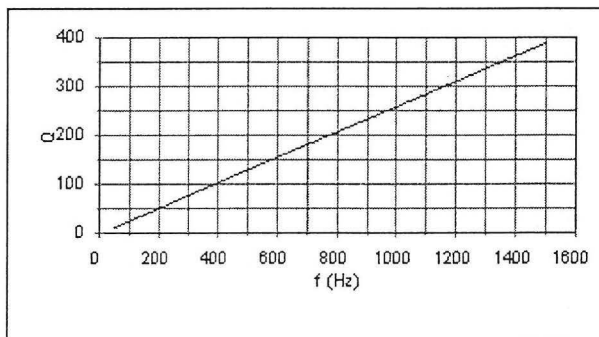
**Fig. 4**

**Ladezeit in Funktion der Kabelkapazität bei verschiedenen Prüfspannungen von oben nach unten 30, 25, 20, 15, 10, 5 kV**



**Fig. 5**

**Frequenz des schwingenden Schaltstosses in Funktion der Kabelkapazität**



**Fig. 6**

**Güte Q des Resonanzkreises in Funktion der Frequenz**

Die Luftspule ist so konstruiert, dass sie möglichst kleine Verluste aufweist. (Fig. 6) Der Halbleiterschalter hat einen sehr niedrigen Innenwiderstand im eingeschalteten Zustand. Mittelspannungskabel haben einen relativ kleinen Verlustfaktor, dadurch ist die Dämpfung des oszillierenden Schaltstosses relativ gering und das Abklingen dauert zwischen 0.3 und einer Sekunde. Während dieser Zeit wird die Isolation mit einer Wechselspannung beansprucht wie im normalen Betrieb. Die Teilentladung zündet wie bei Netzfrequenz (50..60Hz).

Die abklingende Spannung hat weiter den grossen Vorteil, dass in der Isolation keine Restladungen bestehen bleiben wie z.B. bei der Gleichspannungsbeanspruchung. Gleichzeitig wird die Teilentladung vom System gemessen, digitalisiert und auf der Festplatte gespeichert. Das System arbeitet mit zwei A/D Wandlern. Für die Aufzeichnung der Teilentladung nach IEC 270 wird ein A/D Wandler mit einer Abtastrate von 100kHz mit Spitzenwerterfassung verwendet. Für die Fehlerortung

wird ein A/D Wandler mit 100MHz Abtastrate eingesetzt, um möglichst gute Auflösung in Funktion der Länge zu bekommen.

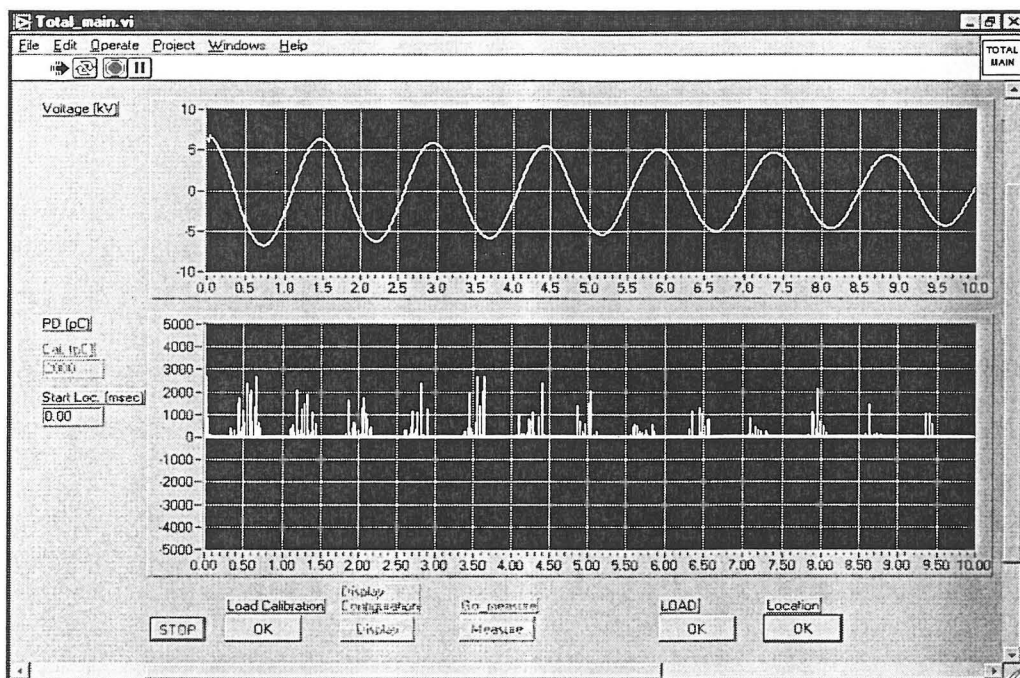


Fig. 7

Beispiel einer Messung mit dem OWTS an einem 12kV Kabel, das TE aufweist.  
Obere Anzeige die Spannung, untere Anzeige TE[pC]

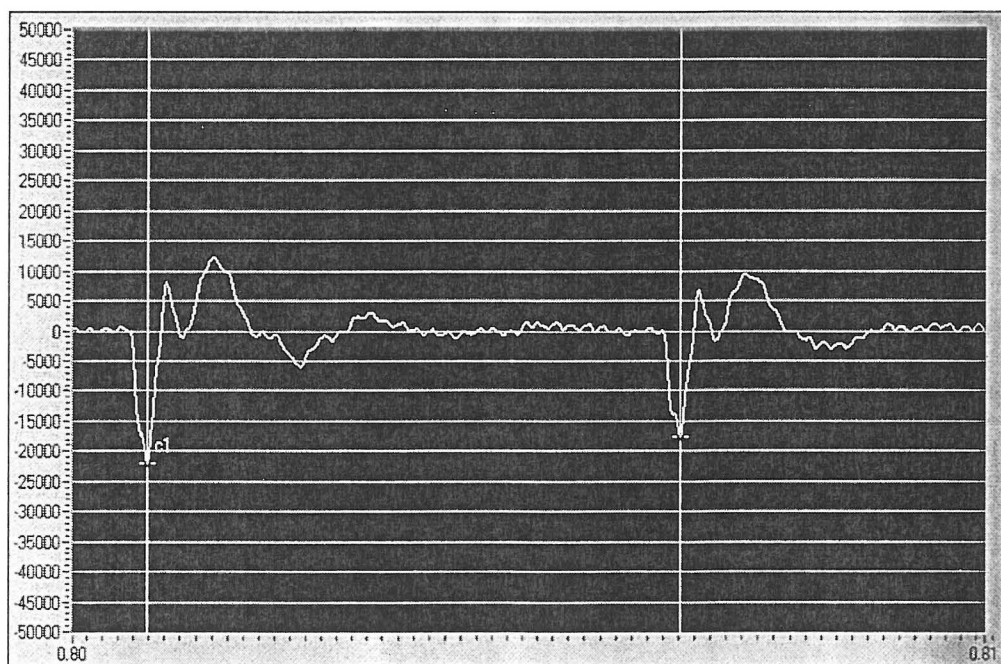


Fig. 8

Beispiel einer Fehlerortung an einem 10kV Oel-Papier Kabel bei 9kV angelegter Spannung.



## Teilentladungsmessung (TE)

Der Vorteil der Resonanzschaltung mit hoher Güte ist, dass die TE während mehrerer Halbwellen der Testspannung mit grosser Empfindlichkeit gemessen werden kann. Während des oszillierenden Schaltstosses wird der Zerhacker der Gleichspannungsspeisung abgestellt. Die Halbleiterschalter werden mit Gleichstrom geschaltet, deshalb sind die Störungen des Messsystems auf annähernd null reduziert. Die Störungen im Feld, an Mittelspannungskabeln, vergraben im Boden, sind erstaunlich gering. Es können TE Signale von 10pC an aufwärts nachgewiesen und geortet werden.

Während des schwingenden Schaltstosses herrschen Wechselspannungsverhältnisse am Kabel, wie im Betrieb, darum kann die TE Messung mit einer Bandbreite 40...400kHz wie nach IEC 60270 ausgeführt werden. Für die Ortung der TE im Kabel wird eine Bandbreite von 5 MHz verwendet, was die besten Abschwächungsfaktoren zwischen Signal und Reflexion im Kabel ergibt. Fehlerstellen können mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 0.2\%$  ( $\pm 2\text{m}$  auf einen Km Kabel) geortet werden.

## Verlustfaktor Messung (Tandelta)

Da die Güte der Spule bekannt ist, kann von der gemessenen Differenz der Dämpfung der oszillierenden Spannungskurven, der Verlustfaktor des Kabels errechnet werden.

Der Computer misst die positive Spitze der zweiten und der neunten Halbwelle des schwingenden Schaltstosses und aus der Differenz wird der Verlustfaktor der Kabels bestimmt. Eine Messgenauigkeit des Tandelta von  $\pm 1\text{E-}3$  wird mit dieser Messmethode erreicht.

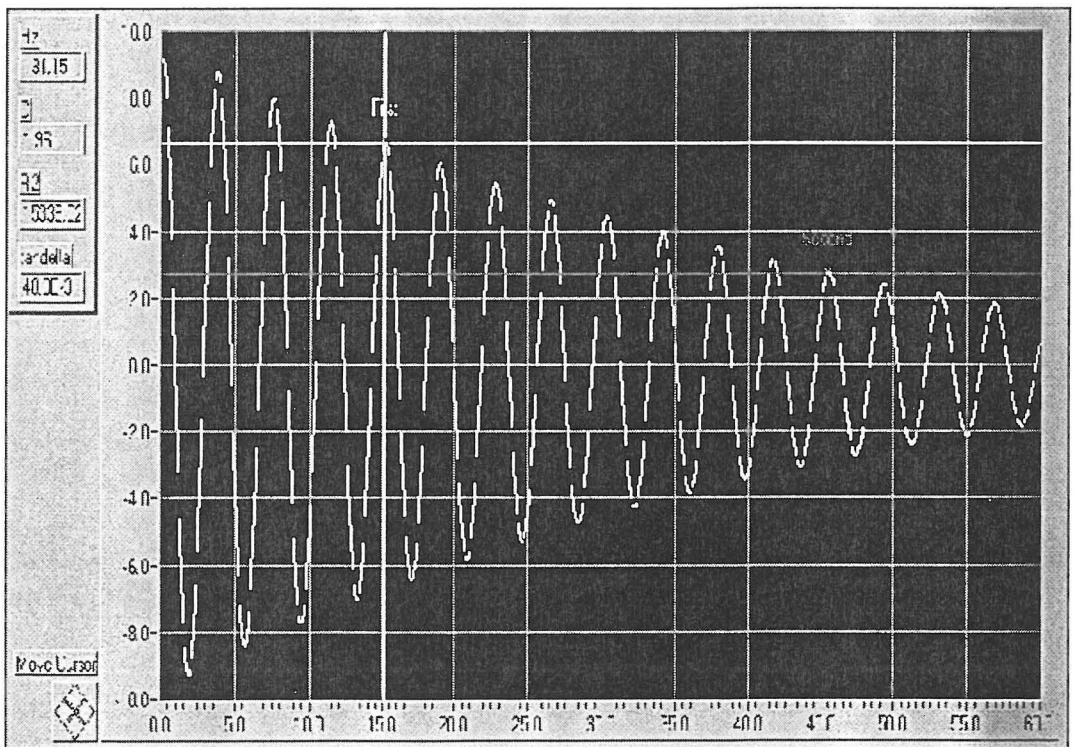


Fig. 9

Beispiel einer C und Tandelta Messung mit dem schwingenden Schaltstoss

Die Auflösung reicht für die Messung von alten Oel-Papier Kabeln. Bei Kunststoffkabeln wird der Tandelta normalerweise nicht gemessen, er hat keine grosse Bedeutung, ausser bei den ganz alten Kabelkonstruktionen mit vielen massiven Wasserbäumchen (Watertreeing).

## Literatur

- [1] IEC 60270 Third edition 1998-06, *Partial discharge measurements*
- [2] E. Pultrum, E. Hetzel, *VLF Discharge Detection as a Diagnostic Tool for MV Cables*, IEEE PES 1997 Summer Meeting, 20-24 July 1997, Berlin
- [3] E. Lemke, P. Schmiegell, H. Elze, D. Russwurm, *Procedure for Evaluation of Dielectric Properties Based on Complex Discharge Analysing*, IEEE International Symposium on EI, Montreal, Canada, June 16-19, 1996
- [4] R. Plath, W. Kalkner, I. Krage, *Vergleich von Diagnosesystemen zur Beurteilung des Alterungszustandes PE/VPE-isolierter Mittelspannungskabel*, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 96 (1997)
- [5] J.T. Holbøll, H. Edin, *PD-Detection vs. Loss Measurements at High Voltages with Variable Frequencies*, 10<sup>th</sup> Int. Symposium on HV Engineering, Montreal, Canada, 1997
- [6] E. Gulski, J.J. Smit, P.N. Seitz, R.F.F. Koning, M. Turner, *On-site PD diagnostics of medium voltage power cables*, Jicable'99, Paris, 20-24 June 1999
- [7] E. Gulski, J.J. Smit, P.N. Seitz, J.C. Smit, *PD Measurements On-site using Oscillating Wave Test System*, IEEE International Symposium on EI, Washington DC, USA, June 7 - 10, 1998
- [8] E. Gulski, P. Seitz, *Computer-aided registration and analysis of PD in HV equipment*, 8th ISH, Yokohama, Japan, 1993
- [9] E. Gulski, H.P. Burger, A. Zielonka, R. Brooks, *Classification of Deflects in HV Components by Fractal Analysis*, 1996 CEIDP, San Francisco, USA
- [10] E. Gulski, J. J. Smit and R. Brooks, *PD Databases for Diagnosis support of HV Components*, 1998 IEEE International Symposium on EI, Washington, USA
- [11] E. Gulski, J.J. Smit, P.N. Seitz, J.C. Smit, M. Turner, *On-site PD diagnostics of power cables using oscillating wave test system*, ISH'99, London, 23-27 August 1999
- [12] F.J. Wester, E. Gulski, J.J. Smit, P.N. Seitz, *Experiences from on-site PD measurements using oscillating wave test system*, ISH'99, London, 23-27 August 1999
- [13] F.J. Wester, E. Gulski, J.J. Smit, *Electrical and acoustical PD on-site diagnostics of service aged medium voltage power cables*, Jicable'99, Paris, 20-24 June 1999
- [14] E. Gockenbach, *Breakdown behaviour of polymer insulating material at different frequencies*, Heafely HV Testing & Diagnostics Seminar '99, San Antonio, 9-10 June 1999
- [15] R. Bach, W. Kalkner, *Comparative study on alternative test voltages for layed medium voltage cables*, ISH'91, Dresden, 26-30 August 1991