

# EVU Betriebspraxis

Zeitschrift für die Elektrofachkräfte in der Energieversorgung

Herausgegeben  
von der Vereinigung  
Deutscher  
Elektrizitätswerke –  
VDEW

Mai 2000  
39. Jahrgang

**5 | 2000**

---

Technik – Einsatz – Wirtschaftlichkeit

## Teilentladungs-Überwachung in Mittelspannungsanlagen

Von Klaus May, Böhl-Iggelheim \*)

**Teilentladungen kündigen schwerwiegende Schäden an. Durch Einsatz des neuen preisgünstigen Teilentladungs-Überwachungssystems Indipard erfolgt eine frühzeitige Warnung, so dass die hohen Folgeschäden eines Durch- oder Überschlages verhindert werden können. Durch die Ausreizung der Lebensdauer der Einzelbauteile kann die Anlagennutzungsdauer verlängert, können die Wartungsintervalle verringert und damit die Kosten erheblich gesenkt werden.**

### 1 Allgemeines

Die fortschreitende Liberalisierung des Strommarktes zwingt die Energieversorger ihre Betriebs- und Instandhaltungskosten immer weiter zu optimieren. Betriebsmittel der elektrischen Energieversorgung müssen jedoch eine sehr hohe Verfügbarkeit haben. Nach Aufbau und Inbetriebnahme ist sicher zu stellen, dass sich ihre Qualität über Jahrzehnte nicht verschlechtert. Eine Instandhaltungsstrategie ist zwingend notwendig.

In letzter Zeit setzt sich die zustandsgesteuerte Instandhaltung immer mehr durch. Sie stellt einen guten Kompromiss dar zwischen der reinen Instandsetzung nach Ausfällen und der periodischen Instandhaltung. Dies setzt voraus, dass geeignete Methoden der Zustandsbewertung eingesetzt werden. Bei Schaltanlagen sind dies die Thermografie, Isolationswiderstands- und tan- -Messungen, Nachweis von Teilentladungen, vorwiegend durch Ultraschallmessungen oder Sichtkontrollen der Verschmutzung. Alle diese Methoden werden während den regelmäßigen Begehungen mobil eingesetzt und sind teilweise stark abhängig von der Erfahrung des Begehers. Anlagenfehler die nur sporadisch auftreten, oder verborgene Mängel können nicht zuverlässig erkannt werden.

Wünschenswert und optimal sind also Überwachungsgeräte, die fest in den Anlagen installiert, selbsttätig Störungen erkennen und das Servicepersonal anfordern, bevor ein kritischer Wert überschritten wird.

Solche Geräte müssen preiswert, einfach einsetzbar und selbst wartungsfrei sein.

### 2 Ausfallursache Isolations-schädigung

Häufigste Ausfallursache aller mit hohen Spannungen beanspruchter Betriebsmittel sind Schädigungen ihrer Isolierungen.

Auf Grund von

- Materialermüdung,
  - eingedungenen Fremdkörpern,
  - Feuchtigkeit und Verschmutzung,
  - Fertigungsmängeln u.a.
- bilden sich Störstellen in den Isolierungen aus.

Diese Störstellen sind auch der Ausgangspunkt von hochfrequenten elektrischen Entladungen, die als Teilentladungen (TE) bezeichnet werden. *Bild 1* zeigt das Ersatzschaltbild einer solchen Störstelle.



*Bild 1: TE-Störstelle*



*Autor K. May (im Hintergrund) zusammen mit H. Kreußel (links) und R. Schwalter, beide Stadtwerke Speyer, während der Felderprobung von Indipard. Am Sichtfenster der Schaltanlage im Hintergrund ist die montierte Feldsonde gut zu erkennen.*

### Teilentladungen – der »elektrische Rost«

Zu Beginn sind Teilentladungen noch ungefährlich, jedoch schädigen sie im Lauf der Zeit die Isolierung immer weiter und ihre Anzahl und Intensität nimmt zu.

Werden diese Vorgänge nicht rechtzeitig erkannt und beseitigt, führen fortschreitende Teilentladungsaktivitäten zu einem Über- oder Durchschlag und damit zum Ausfall des Betriebsmittels.

Teilentladungen sind Vorboten eines Totalausfalls.

In *Bild 2* ist der Folgeschaden mit Totalausfall nach einem Isolationsschaden gezeigt.

### 3 Teilentladungen messen

Die kontinuierliche Überwachung (Monitoring) und Trendanalyse von Teilentladungs-Aktivitäten bietet die Möglichkeit, eine Verschlechterung oder gravierende Zustandsänderung in der Isolierung der Betriebsmittel frühzeitig zu erkennen.

Teilentladungen verursachen hochfrequente Spannungsschwankungen und sind somit messbar.

#### Bekanntes Messverfahren

- Das standardisierte Messverfahren ist in der VDE 0434 und der IEC 270 genormt [1,2].

Es erfordert die direkte Ankopplung mit einem Hochspannungs-Koppelkondensator und einer Messimpedanz, die parallel zum Prüfling angeschlossen werden. Diese Methode ist bewährt. Sie wird u.a. bei Labormessungen, bei Endabnahmen und zur kontinuierlichen Überwachung in hochwertigen Anlagen eingesetzt. Jedoch ist sie wegen ihrer hohen Kosten für die Überwachung von Betriebsmitteln der Mittelspannungstechnik nicht wirtschaftlich einsetzbar. Der Koppelkondensator muss bereits bei der Konstruktion eingeplant sein und kann in den seltensten Fällen in vorhandene Anlagen nachgerüstet werden.

- Die berührungslose Ankopplung ersetzt den Koppelkondensator und die Messimpedanz nach VDE 0434 durch eine Antenne (Feldsensor). Der Feldsensor bildet einen kapazitiven Spannungsteiler zwischen Hochspannung und Erde. Diese Methode liefert vergleichbare Messergebnisse wie die Standardmethode und wird bereits bei mobilen Geräten eingesetzt [3,4]. Weiterhin wurden für gasisolierte Höchstspannungs-Schaltanlagen UHF-Detektoren entwickelt [5].

Der Vorteil liegt in der Ersparnis des grossen und teuren Koppelkondensators.

- Neben der elektrischen Messung werden zur Ortung von Teilentladungen noch akustische Verfahren benutzt. Die-

\*) Dipl.-Ing. K. May, Geschäftsführer May Elektronik, Böhl-Iggelheim

se eignen sich nicht zur quantitativen Bewertung.

## Warum wird die Teilentladungs-Messtechnik bisher nicht im Mittelspannungsnetz eingesetzt?

Die herkömmliche Teilentladungs-Messtechnik gilt allgemein als aufwendig, störempfindlich, teuer und nur durch Spezialisten bedien- und auswertbar. Deshalb wird sie bisher nur bei sehr hochwertigen Anlagen im Dauereinsatz betrieben. Es sind bisher keine praxisgerechten und kostengünstigen Betriebsmessgeräte am Markt verfügbar.

Das im folgenden Abschnitt vorgestellte neue Überwachungsgerät ermöglicht erstmals die Teilentladungs-Messtechnik auch bei Betriebsmitteln der Mittelspannungstechnik wirtschaftlich einzusetzen.

## 4 Indipard, ein kostengünstiges Betriebsmessgerät zur Teilentladungs-Überwachung

Ein Betriebsmessgerät muss die Erkenntnisse der Labormesstechnik praxisgerecht umsetzen.

Indipard wurde entwickelt, um die Vorteile der Teilentladungs-Messtechnik unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu nutzen. Das Gerät überwacht die Anlagen kontinuierlich und alarmiert beim Auftreten von gefährlichen Entladungen. Es erkennt zunehmende Teilentladungsaktivitäten auf Grund von Verschmutzungen ebenso wie durch eingedrungene Fremdkörper, Feuchtigkeit oder Materialfehler hervorgerufene.

Als Betriebsmessgerät konzipiert, erfüllt Indipard folgende Voraussetzungen:

- Für den Dauereinsatz geeignet.
- Robust und unempfindlich gegen Störeinflüsse.
- Einfach montier- und bedienbar.
- Wartungsfrei
- Kostengünstig und wirtschaftlich einsetzbar.

Indipard besteht aus kleinen, aktiven Feldsonden und einem zentralen Auswertegerät. Die Feldsonden werden in den Betriebsmitteln bei Einhaltung der Schutzabstände montiert. Mit dem Auswertegerät sind sie über Koaxialkabel verbunden. Die Feldsonden erfassen die durch die Teilentladungen erzeugten, hochfrequenten elektrischen Felder und leiten sie an das Auswertegerät weiter. In *Bild 3* ist beispielhaft die Montage von Feldsonden in der Tür einer Schaltzelle gezeigt.

Im Auswertegerät überwacht ein Microcontroller jede Feldsonde auf Überschreiten eines Grenzwertes. Wird der Grenzwert überschritten, zeigt Indipard die Messstelle an und setzt über einen potenzialfreien Kontakt eine Alarmmeldung ab. Zur Anzeige der Messwerte kann die Auswerteeinheit mit einem Display ausgerüstet werden.



*Bild 2: Totalausfall einer Schaltzelle*

Zusätzlich können die Messwerte über eine Schnittstelle, z.B. an ein Leitsystem, übertragen werden (Monitoring).

### Feldsonde

Eine Ausführung der Feldsonden zeigt *Bild 4*, sie ist zum Einsatz in luftisolierten Anlagen vorgesehen und besteht aus einer Antenne von 50 cm Länge und einem Vorverstärker. Durch diese Bauweise wird eine gute Störunterdrückung bereits am Entstehungsort erreicht. Weitere Störanteile werden durch Softwarealgorithmen in der Auswerteeinheit ausgefiltert. Der Vorverstärker ist in der Anschlussdose untergebracht. Er wird vom Auswertegerät gespeist. Das Kabel darf bis zu 50 m lang sein. Das Auswertegerät überwacht die Stromaufnahme der Feldsonde und erkennt Kurzschluss und Kabelbruch. Auf dem Display im Auswertegerät werden entsprechende Hinweise angezeigt.

Um die Anschaffungskosten zu senken, kann auf das Display verzichtet werden.

### Trenderkennung

Durch Vergleich aktueller Messwerte mit denen zurückliegender Messungen lässt sich ein Langzeittrend erkennen. Dadurch kann der Anwender besser entscheiden ob sofortiger Handlungsbedarf besteht oder ob noch ein gewisser zeitlicher Spielraum für eine Wartung verbleibt. Er muss nicht reagieren, er kann

agieren. Die Messwerte können durch Ablesen vom Display oder durch Auslesen der Momentanwerte über die Schnittstelle mittels eines Notebooks gewonnen werden.

Optional kann das Gerät mit einem netzausfallsicheren Trendspeicher ausgerüstet werden. Dessen Speicherinhalt kann ebenfalls über die Schnittstelle ausgelesen werden.

### Teilentladungs-Diagnostik

Mit Hilfe einer PC-Software können die Messwerte in einem Phasendiagramm dargestellt werden. Dies lässt detailliertere Aussagen über die Art der Entladungen zu und ermöglicht Rückschlüsse zur Auffindung defekter Teile. Aufgenommene Phasendiagramme sind in *Bild 5* und *6* für Gleitentladungen und Teilentladungen gezeigt.

### 5 Einsatzbeispiel: Indipard in einer luftisolierten Mittelspannungsschaltanlage

Im Normalfall sind Schaltanlagen teilentladungsfrei. Die nationalen und internationalen Normen erlauben jedoch leichte TE-Aktivitäten. Aus diesen Normen und nach Erfahrungen der Verfasser werden Teilentladungen in Schaltanlagen erst dann gefährlich, wenn ihre Intensität auf Dauer 100 pC übersteigt. Ist diese Schwelle überschritten, nimmt die Intensität und Häufigkeit im Lauf der Zeit weiter zu.

# Fachbericht

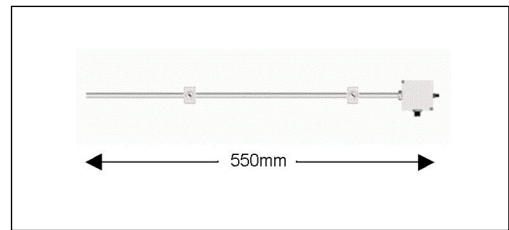
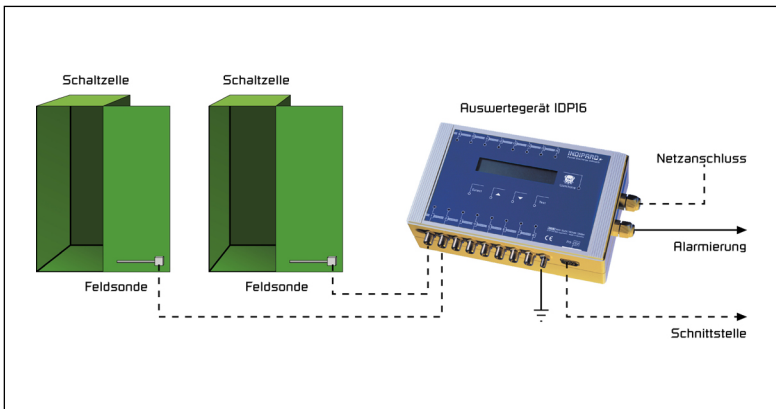


Bild 3 (links): Montagebeispiel in einer luftisolierten Schaltanlage

Bild 4 (oben): Feldsonde IDPS-A, mit 50-cm-Antennenstab Nennmessbereich  $h$  400 pC

## Montage

Die Nachrüstung von Feldsonden in einer bestehenden Schaltanlage ist einfach und erfordert keine Vorkenntnisse. Die Feldsonde wird mit zwei Schrauben an der Innenseite der Schaltzelltür oder im Kabelzuführungsbereich montiert. Zu beachten ist, dass sie unmittelbar auf einer geerdeten Fläche angebracht und die Schlagweite zu den hochspannungsführenden Bauteilen eingehalten wird (Bild 7).

Auf diese Weise ist der gesamte Innenbereich der Schaltzelle überwacht.

Das Auswertegerät wird im Schaltanlagenraum an einer gut sichtbaren Stelle platziert, zweckmässig in der Nähe der anderen Mess- und Überwachungseinrichtungen.

## Alarmierung

Die Alarmweiterleitung ist abhängig vom der vorhandenen Kommunikationsinfrastruktur. Bei vorhandener Fernwirkanlage wird der Kontaktausgang direkt angeschlossen. Ist keine Fernwirkanlage vorhanden, kann eine Alarmleuchte oder Hupe außerhalb des Gebäudes montiert werden. Die lange Vorwarnzeit erlaubt es abzuwarten, bis eine Routinekontrolle den Alarm meldet.

Weitere Einsatzmöglichkeiten sind

- SF<sub>6</sub>-isolierte Schaltanlagen im Kabelanschlussbereich,
- Transformatoren,
- Kondensatorbatterien in Kompensationsanlagen
- Hochspannungsmaschinen
- Wanddurchführungen u.a.

## 6 Wirtschaftlichkeit und Zusammenfassung

Die Anzahl der Ausfälle von Anlagen ist relativ gering. Diese hohe Verfügbarkeit wurde bisher durch häufige Inspektionen und vorbeugenden Austausch von gefährdeten Bauteilen erreicht. Der zunehmende Kostendruck auf die Netzbetreiber zwingt jedoch gerade in diesem Bereich zu Einsparungen. Die vorbeugende Instandhaltung wird im Extremfall durch eine reine Instandsetzung ersetzt. Obwohl die Wahrscheinlichkeit eines Anlagenausfalls mit steigendem Alter zunimmt, wird versucht die Nutzungsdauer zu verlängern um damit Neuinvestitionen weiter hinauszuzögern.

Der Nutzen von Indipard beruht auf der Früherkennung von Isolationsfehlern und der kontinuierlichen Überwachung. Mögliche Folgeschäden und Ausfallzeiten können verhindert werden, die Schadenshöhe bleibt auf das defekte Bauteil begrenzt.

Im Fehlerfall alarmiert Indipard das Servicepersonal. Bei der Anlageninspektion liefert das Gerät objektive Bewertungskriterien zur Beurteilung des Istzustands. Die Nutzungsdauer der Anlagen kann dadurch verlängert werden. Die Reinigungsintervalle können an die Erfordernisse angepasst werden.

Die Anschaffungskosten der Teilentladungsüberwachung Indipard liegen im Bereich der jährlichen Abschreibungskosten einer Schaltzelle. Wird die Nutzungsdauer einer durch Indipard überwachten Anlage nur um ein Jahr verlängert, hat sich die Investition bereits amortisiert.

## 7 Schrifttum

- [1] DIN VDE 0434/05.83 Teilentladungsmessungen
- [2] IEC - Publ. 270 (1981) Partial discharge measurements
- [3] Lemke, E. und Schmiegel, P.: Möglichkeiten und Grenzen der TE-Messung mit Feldkopplung Siemens-Tetex Kolloquium, Dresden 1993

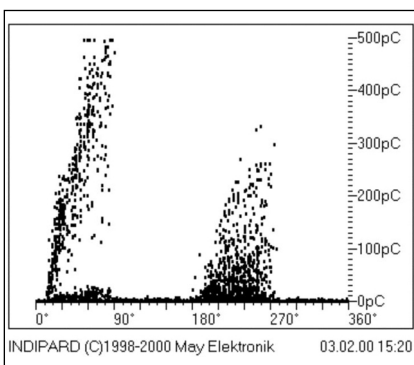


Bild 5: Gleitentladungen an Schrägflächen

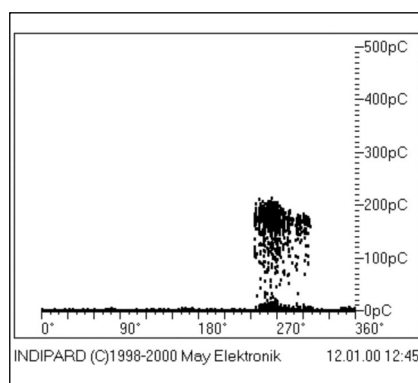


Bild 6: Starke äussere Teilentladungen



Bild 7: Feldsonde IDPS-A, montiert an der Innenseite einer Schaltzelltür

---

# Fachbericht

- [4] *Elze, H., Lange, T. und Weinmann, T.:* Erfahrungen mit Teilentladungs-Diagnose an in Betrieb stehenden öl-/papierisolierten Hochspannungswandlern, *Elektrizitätswirtschaft* 96 (1997); H.12; S. 604 - 612
- [5] *Huecker, T.:* UHF Partial Discharge Monitoring for GIS, 10. Intern. Symposium on High Voltage Engineering 1997; Quebec Canada ■