

## 1. Einführung

Überspannungsableiter sollen Blitz- und Schaltüberspannungen begrenzen und damit die übrigen Apparate im Netz schützen. Wesentlich für die Schutzfunktion und die Funktionstüchtigkeit der Überspannungsableiter ist, daß

- der Schutzpegel, d.h. die Begrenzungsspannungen unverändert erhalten bleiben,
- nach dem Ableitvorgang der durch die anliegende Dauerbetriebsspannung bewirkte Strom reduziert wird,
- und der Ableiter wieder uneingeschränkt vom leitenden in den nichtleitenden Zustand zurückgeht.

Die heute verfügbaren Überspannungsableiter erfüllen diese Anforderungen mit großer Zuverlässigkeit während ihrer gesamten Lebensdauer. Wartungsarbeiten wie bei anderen Betriebsmitteln, z.B. Leistungsschaltern, üblich, werden bei Überspannungsableitern eher selten durchgeführt. Gelegentlich werden in Verbindung mit Anlagenrevisionen die Begrenzungsspannungen oder andere spezifische Daten wie die Leckströme überprüft und mit den Werten der Ausgangsprüfung des Herstellers verglichen. In den weitaus meisten Fällen wird aber auf solche Kontrollen verzichtet und allenfalls eine Reinigung des äußeren Isolators vorgenommen.

Heute sind zwei Haupttypen von Ableiterbauarten in Betrieb. Vom Ende der zwanziger Jahre bis etwa 1980 wurden ausschließlich Funkenstreckenableiter (FS) verwendet; danach überwiegend Metalloxid (MO)-Ableiter, häufig auch Zinkoxid- bzw. ZnO-Ableiter genannt. Der Anteil der letzteren nimmt stetig zu und ältere Funkenstreckenableiter werden zunehmend durch MO- Ableiter ersetzt.

Metalloxidableiter (MO) der neueren Bauart enthalten keine Funkenstrecken und bestehen ausschließlich aus einer Reihenschaltung von Zinkoxidwiderständen. Die Erfahrungen von 17 Jahren zeigen zweifelsfrei, daß diese Ableiter sicherlich eine höhere Zuverlässigkeit als die FS-Ableiter und wenigstens eine gleichlange Lebensdauer erwarten lassen.

Die zeitgemäße Betriebsführung von Schaltanlagen läßt den Wunsch aufkommen, auch Überspannungsableiter im Sinne einer Diagnose andauernd zu überwachen (Monitoring), um z.B. entsprechende Rückschlüsse auf deren Lebensdauer ziehen zu können und gegebenenfalls einen vorbeugenden Austausch durchzuführen.

Die hierzu erforderlichen Verfahren werden im vorliegenden Beitrag vorgestellt und diskutiert, und es wird der Stand der bis heute verfügbaren Ableiter-Monitoringsysteme aufgezeigt sowie die zukünftigen Entwicklungsrichtungen dargestellt.

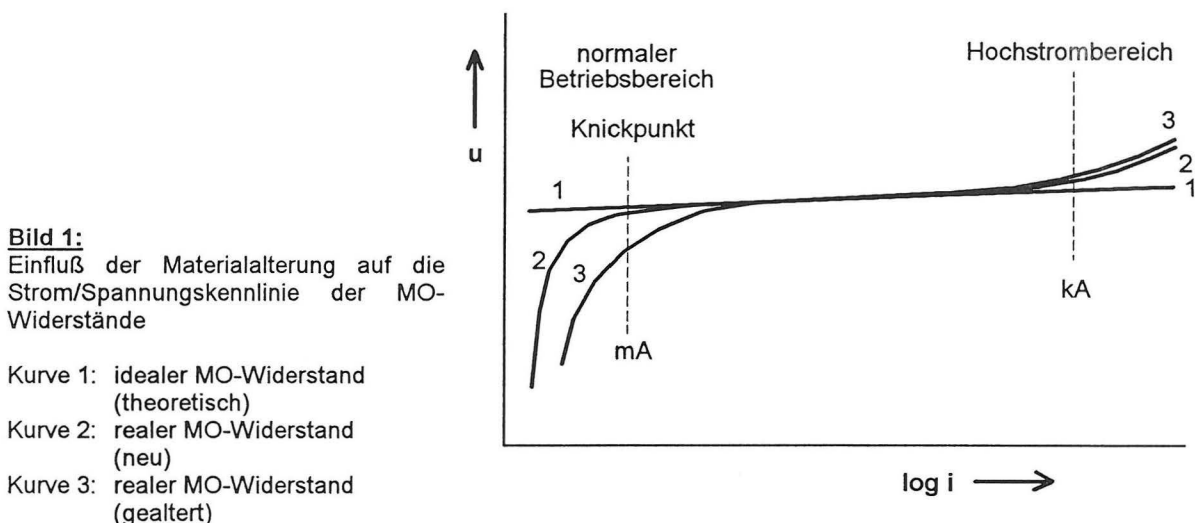
## 2. Alterung von Metalloxidableitern

Die heute vorliegenden Erkenntnisse über MO-Widerstände und -ableiter ergeben zwei mögliche Alterungseinflüsse. In beiden Fällen wurden diese Einflüsse bei stärkeren Einzel- und/oder Kumulativbeanspruchungen im Rahmen von gezielten Untersuchungen beobachtet:

- Thermisch/dielektrische Alterung mit Instabilität unter Einwirkung der Dauer-Betriebsspannung, speziell bei längerdauernder überhöhter Betriebstemperatur oder temporären Überspannungen.
- Impulsalterung durch sehr häufige steile Impulse oder Impulse mit hohen Stromdichten und/oder hohen Temperaturen.

In beiden Fällen ist die Alterung an der anhaltenden, d.h. bleibenden Erhöhung der Wattverluste der MO-Widerstände zu erkennen. Die Alterung ist vor allem dann bei MO-Ableitern signifikant, wenn diese Erhöhung irreversibel ist. In diesem Fall hat sich die Strom-Spannungskennlinie bleibend verändert.

Bild 1 zeigt ausgehend von der idealen Kennlinie eines Ableiters die prinzipiellen Auswirkungen der Materialalterung auf die U/I-Kennlinie des MO-Materials.



Die Kurve 1 im obigen Bild zeigt die U/I-Kennlinie eines idealen MO-Widerstandes, Kurve 2 die Kennlinie eines realen MO-Ableiters im ungealterten Zustand. Der Bereich der normalen Betriebsspannung liegt typischerweise links vom Knickpunkt der Kennlinie, und das elektrische Verhalten des Ableiters ist durch einen überwiegend kapazitiven Leckstrom mit geringem ohmschen Verluststromanteil gekennzeichnet. Typische Stromscheitelwerte in diesem Bereich liegen bei max. 1 bis 2 mA.

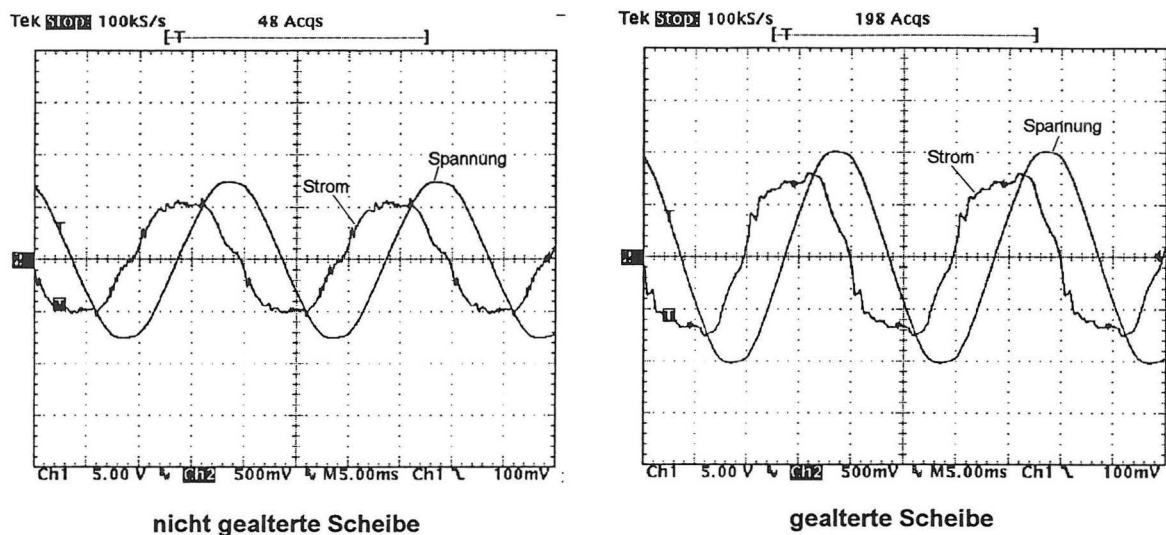
Bei Annäherung und Überschreitung des Knickbereichs wird das Verhalten mehr und mehr ohmsch, was eine deutlich erhöhte Verlustleistung des Ableitermaterials zur Folge hat.

Die Kurve 3 in Bild 1 verdeutlicht schließlich, wie bei einer starken Alterung unter extremen Bedingungen die Ableiterkennlinie sehr stark verändert sein kann. Die vorher im ungealterten Zustand sehr geringe ohmsche Verlustleistung hat dann signifikant zugenommen. Der Ableiter weist dabei meist keine signifikante Erhöhung der Restspannungen im Impulsstrombereich auf, ist aber dennoch unbrauchbar geworden.

Die oben qualitativ dargestellten Kennlinienveränderungen werden u.a. durch Stoßstrombeanspruchungen der Ableiter verursacht. Dabei wird die MO-U/I-Kennlinie unter dem Einfluß von Überbeanspruchung nachweislich verändert. Die Alterung äußert sich durch eine geringe Kennlinienveränderung im Leckstrombereich und damit am Ansteigen der Verlustströme. Die Folge davon ist eine Erhöhung der Wattverluste im normalen Betriebsspannungsbereich.

Als Folge davon können bei weiter zunehmenden Materialveränderungen unzulässige Aufheizungen und schließlich die thermisch elektrische Instabilität auftreten. Diese Instabilität äußert sich im sogenannten „Runaway“ und kann in extremen Fällen die Zerstörung des Ableiters bewirken.

Bild 2 zeigt zum Vergleich die zeitlichen Verläufe von Spannung und Strom an einer einzelnen Ableiterscheibe. Im linken Bild ist der Betrieb einer nicht gealterten Ableiterscheibe bei Nennspannung dargestellt, im rechten Bild der einer durch Laborversuche gealterten Scheibe.



**Bild 2:** Zeitlicher Verlauf von Strom und Spannung von neuen und gealterten MO-Ableiterscheiben

Im linken Bild ist der Stromverlauf rein kapazitiv. Die ohmsche Komponente ist verschwindend gering. Im rechten Bild ist kurz vor dem Scheitern der Spannung ein deutlich erhöhter Strom zu erkennen, welcher auch einen deutlichen Anstieg in der Verlustleistung zur Folge hat.

Letztlich gilt es also, solche Veränderungen rechtzeitig zu erfassen und hinsichtlich des noch möglichen Grenzenenergieverhaltens des Ableiters zu bewerten. Bei allen diagnostischen Methoden ist das Ziel, den Ableiter vor einem unerwarteten Ausfall zu ersetzen.

An dieser Stelle ist anzumerken, daß in den letzten Jahren die MO-Materialien zunehmend alterungsstabiler wurden und daher auch bei zahlreichen hohen wiederkehrenden Impulsbeanspruchungen stabil bleiben.

Durchgeführte Untersuchungen zeigen aber ebenfalls, daß als Folge von hohen Impulsbelastungen ohne Erholungspausen für das Material die Wattverluste deutlich ansteigen. Andererseits ist nachgewiesen, daß sich bei längeren Pausen ohne Impulsbeanspruchung die Zunahme der Wattverluste zumindest teilweise wieder zurückbildet. Das heißt, die Kennlinie verschiebt sich, wie bereits erläutert, besonders im Knickbereich. Der ohmsche Stromanteil nimmt zuerst deutlich zu und anschließend zu einem gewissen Teil wieder ab.

Die Betriebsüberwachung muß Veränderungen dieser Art mit ausreichender Zuverlässigkeit erfassen. Die Messung und zeitabhängige Erfassung und Interpretation der Verlustleistung wäre zweifelsohne der geeignetste Indikator. Speziell eine Trendanalyse über einen längeren Zeitraum kann Kriterien zur Alterung liefern. Aus wirtschaftlicher Sicht ist jedoch eine andere und einfachere Messung als die aufwendige Ermittlung der Verlustleistung wünschenswert. Hier ist speziell an eine Messung des Ableiterleckstromes und dessen spektrale Analyse gedacht.

### 3. Möglichkeiten der Betriebsüberwachung

#### Erfassung der Ansprechereignisse:

Die Anzahl der Ansprechereignisse eines Ableiters gibt einen brauchbaren Überblick über die Impulsstrombelastungen eines Ableiters. Diese Anzahl kann im Jahreszeitraum extrem unterschiedlich sein (von 0 bis zu mehreren 100 Ereignissen). Die Anzahl der Ereignisse allein läßt jedoch keine Rückschlüsse zu auf die Amplituden und die Steilheiten der Impulsströme oder gar auf deren Energieinhalt. Für die Erfassung dieser Parameter, welche für eine Beurteilung der Alterung interessant wären, ist ein sehr viel größerer Aufwand erforderlich, welcher aus wirtschaftlichen Gründen für fast alle Anwendungen nicht vertretbar ist.

#### Einfache Messung des MO-Verluststromes (Effektivwert oder Mittelwert):

Der Gedanke liegt nahe, den bereits bei gesteuerten Funkenstreckenableitern häufig überwachten Leckstrom auch bei MO-Ableitern zu kontrollieren. Dieser Verluststrom bei Betriebsspannung ist ein überwiegend kapazitiver Gesamtstrom. Der für die Beurteilung wesentliche ohmsche Stromanteil (3. Harmonische) ist im einfachen Meßwert (z.B. Effektivwert oder arithmetischer Mittelwert) kaum erkennbar enthalten und ist zudem stark temperaturabhängig. Eine Detektion stark überhöhter Leckströme ist jedoch möglich, falls im Falle von Freiluftableitern keine wesentlichen Fremdschichtströme beteiligt sind.

Ein einfaches Meßgerät, das in ähnlicher Form bereits bei Funkenstreckenableitern verwendet wurde, zeigt Bild 3. Zwei Varianten sind seit Jahren im Einsatz. Ein Gerät, welches mit einem einfachen Milliampereometer den Gesamtstrom überwacht und auch die Anzahl der Impulse zählt. Eine weitere Variante ausschließlich mit der Impulszählung. Die Betriebsüberwachung der Ableiter besteht also bei diesen Geräten darin, daß der Ansprechzähler Hinweise zur Impulsbelastung und das Milliampereometer zum Leckstrom geben soll. Bei im Quervergleich mit anderen gleichartigen Ableitern andauernd angezeigten hohen Leckströmen und/oder hohen Impulsbelastungen ist eine eingehende Kontrolle geboten. Heute sind Impulszähler mit Schwellwerten um 20 A verfügbar. Das Milliampereometer zeigt Veränderungen um einige mA signifikant an. Bei aller Unzulänglichkeit dieser Überwachung sind aber durch die Kombination beider Informationen grobe Hinweise zur Ableiterbeanspruchung gegeben.



**Bild 3:** Einfaches Meßgerät zur Ableiterüberwachung (Erfassung von Leckstrom und Ansprechereignissen)



### **Messung der irreversiblen Verlustleistungszunahme:**

Die Verlustleistung eines MO-Ableiters ist ein sehr empfindlicher Indikator für die Materialveränderung bzw. Alterung /1/, /2/, /3/. Die Zunahme oder auch die Abnahme der Verlustleistung kann mit entsprechenden Meßgeräten unter Prüffeldbedingungen, d.h. im Labor relativ problemlos gemessen werden. Leider ist für die meßtechnische Erfassung der Verlustleistung die gleichzeitige Aufzeichnung von Strom und Spannung erforderlich. Die Spannung steht am Ableiter kaum als Meßwert zur Verfügung und ihre Erfassung ist im Betrieb daher mit erheblichen Kosten verbunden, so daß der Aufwand für eine breite Anwendung in keinem Verhältnis zum Nutzen steht.

### **Neuere Methoden (Auswertung der 3. Harmonischen des Leckstromes):**

Die heute vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß der Alterungseinfluß bei MO durch Fourierzerlegung des Gesamtstromes nachweisbar ist /1/, /2/. Die auf diese Weise gewonnenen Informationen sind wesentlich aussagekräftiger als eine einfache Messung des Leckstromes.

Speziell die dritte Harmonische des Gesamt-Leckstromes reagiert auch bei niedrigen Betriebstemperaturen hinreichend sensibel auf sonst nur mit wesentlich mehr meßtechnischem Aufwand erfaßbare Kennlinienveränderungen. Diese Meßgröße ist durch geeignete Bezugsgrößen auch als weitgehend temperaturunabhängig anzusehen.

Bild 4 zeigt die zeitlichen Verläufe der Ableiterspannung und des Ableiterleckstromes für eine neue Ableiterscheibe und für eine im Labor gealterte Scheibe sowie den Gehalt an Harmonischen der beiden Leckströme.

Der zeitliche Verlauf des Ableitstromes der neuen Ableiterscheibe zeigt ein fast rein kapazitives Stromsignal. Die überlagerten höherfrequenten Stromanteile haben ihre Ursache im Gehalt an Harmonischen der Spannung. Dieser ist zwar relativ klein, jedoch werden die im Spannungssignal enthaltenen Harmonischen sich im Stromsignal durch Gewichtung mit der Ordnung (Frequenz) entsprechend stärker abbilden.

Betrachtet man dagegen das Stromsignal der gealterten Ableiterscheibe, so ist eindeutig eine höhere ohmsche Komponente zu erkennen, welche sich auch in einer gewissen Phasenverschiebung des Stromes bemerkbar macht ( $< 90^\circ$ ). Die Verlustleistung dieser Scheibe ist ca. 2,5fach höher als die der neuen Scheibe. Der Scheitelwert des Leckstromes ist im Vergleich zur neuen Ableiterscheibe aber nur unwesentlich höher.

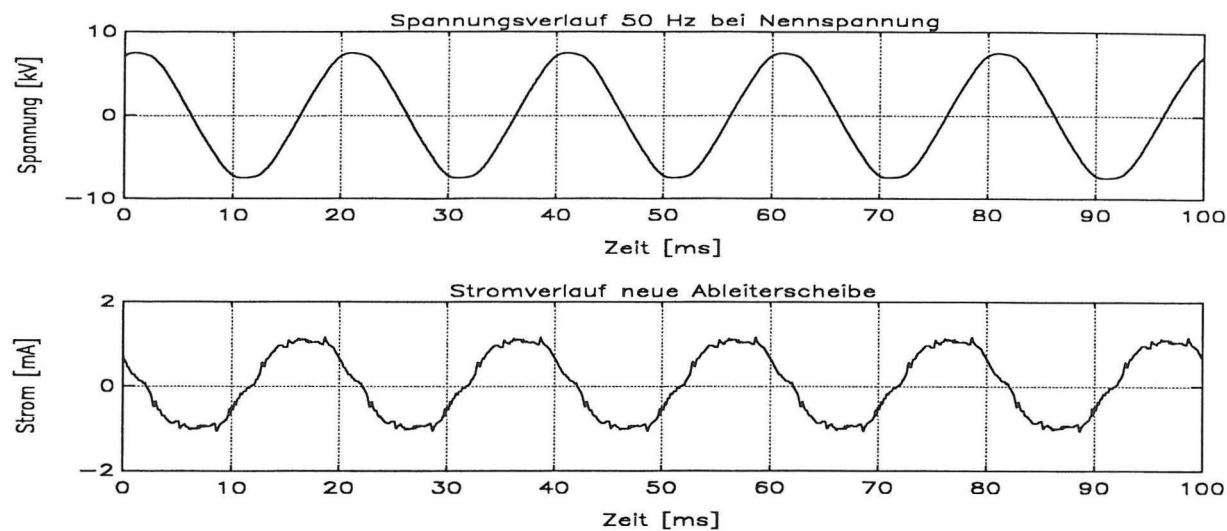
Die Alterung der MO-Scheibe ist noch wesentlich deutlicher zu erkennen, wenn man den Gehalt an Harmonischen der beiden Leckströme vergleicht. Speziell der Anteil der 3. Harmonischen zeigt deutliche Unterschiede. Im Fall der neuen Scheibe liegt er bei ca. 5 %, während bei der gealterten Ableiterscheibe ein Anteil von etwa 13 % zu verzeichnen ist.

Ein überhöhter Gehalt der 3. Harmonischen ist also ein guter Indikator für eine erhöhte Verlustleistung.

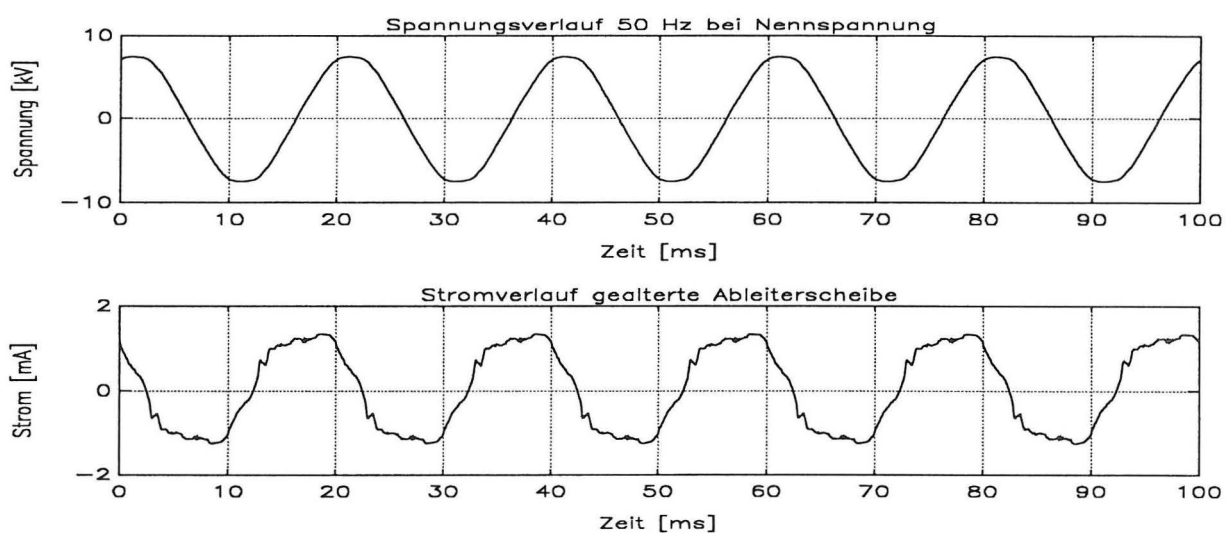
Der Einfluß der 3. Harmonischen in der Spannung soll hier nicht verschwiegen werden. Er kann jedoch zumindest teilweise durch Korrelations- und Plausibilitätsbetrachtungen eliminiert werden. Die durch Alterung verursachte 3. Harmonische hat eine Phasenlage im Bereich von 0 Grad und ist etwa konstant, während die 3. Netzharmonische i.a. eine beliebige Phasenlage haben wird, welche sich zeitlich ändern kann.

Ebenso ist ein hoher relativer Gehalt der 3. Harmonischen im Leckstrom bei absolut kleinen Leckströmen eher durch Spannungsharmonische als durch die Alterung des Ableiters verursacht und damit als nicht kritisch zu bewerten.

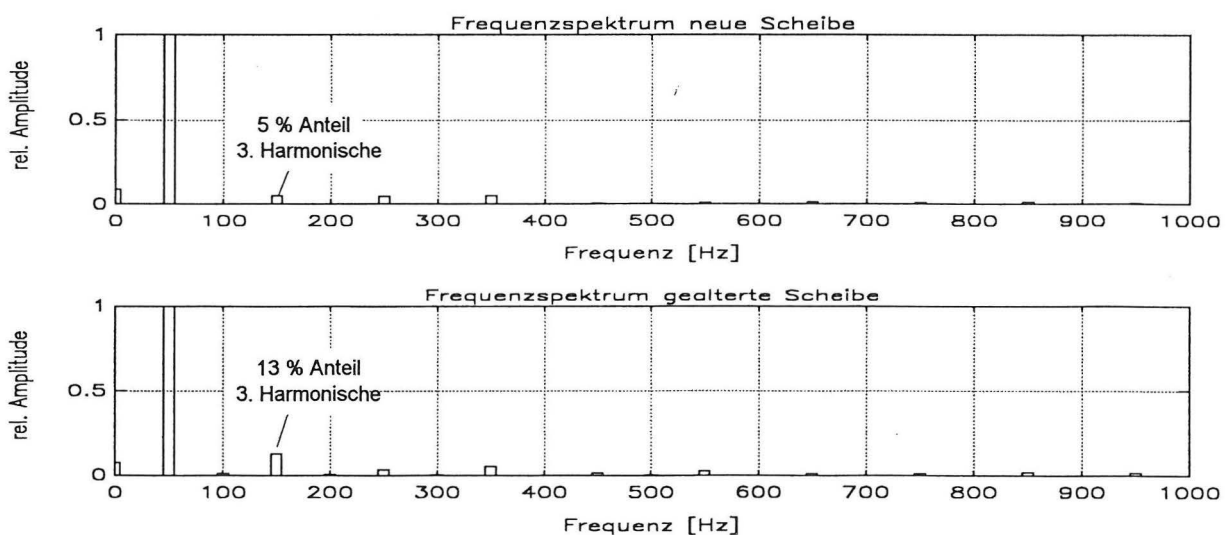
Es ist also festzuhalten, daß die Ermittlung der 3. Harmonischen des Ableiterleckstromes ein ähnlich guter Indikator für die Alterung eines MO-Ableiters ist wie die aufwendige Messung der Verlustleistung, wenn entsprechende Bewertungskriterien und Korrelationen mit anderen Größen beachtet werden. Die Ermittlung der 3. Harmonischen ist dagegen wesentlich einfacher als die Messung der Verlustleistung.



Spannungs- und Stromverlauf einer neuen Ableiterscheibe bei Nennspannung



Spannungs- und Stromverlauf einer im Labor gealterten Ableiterscheibe bei Nennspannung



Fourierzerlegung des Leckstromes für die neue und die gealterte Ableiterscheibe

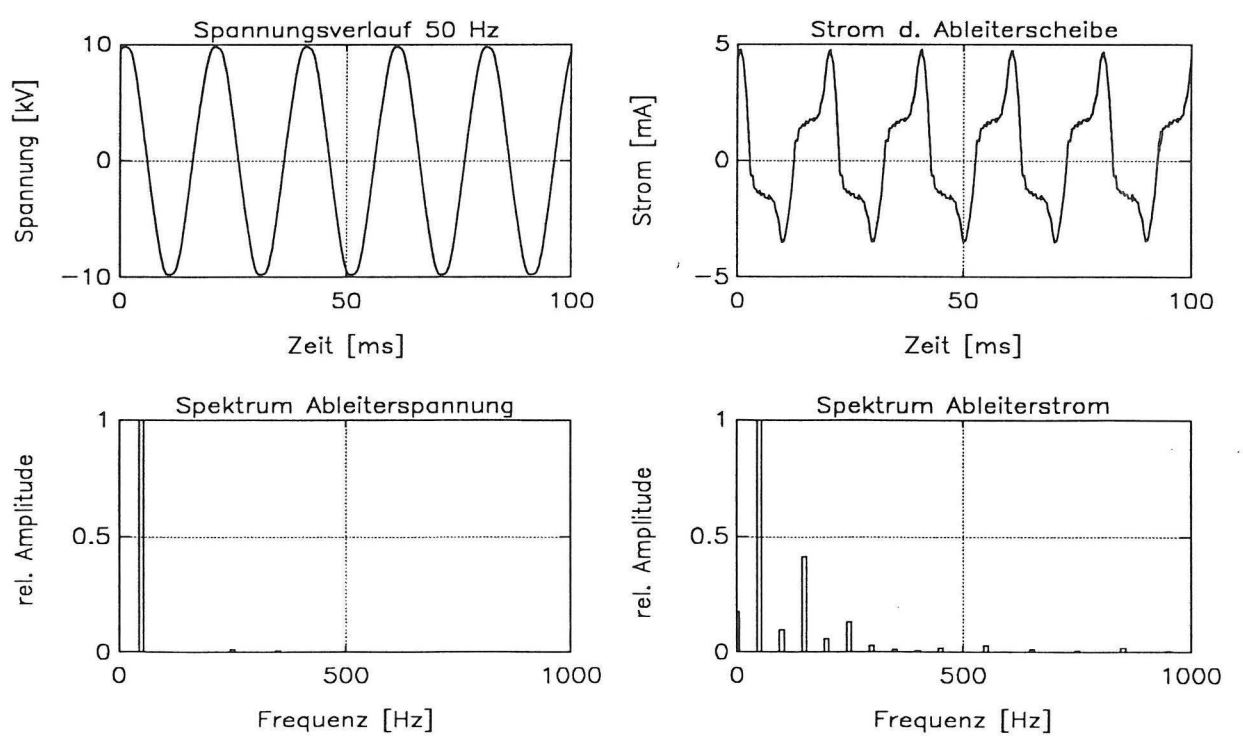
**Bild 4:** Einfluß der Alterung eines MO-Ableiters auf die 3. Harmonische des Ableiterleckstromes

Ebenso ist der Anteil der 3. Harmonischen von der Temperatur des Ableiters abhängig. Dieser Einfluß kann jedoch berücksichtigt werden, wenn diese Temperaturabhängigkeit für den ungealterten Ableiter bekannt ist.

Eine weitere Einflußgröße, welche die Beurteilung des Ableiterzustandes erschweren kann, sind im Falle von Freiluftableitern die Leckströme auf der äußeren Isolation des Ableitergehäuses. Die trifft vor allem für Ableiter mit Porzellangehäusen zu. Ob eine Beeinflussung des Gesamtleckstromes durch äußere Fremdschichtströme vorliegt, kann in der Regel daran erkannt werden, daß die Amplituden über längere Zeiträume sehr stark schwanken. Auch ist dann der Gehalt an Harmonischen zeitlich sehr unterschiedlich. Falls die Luftfeuchte erfaßt wird, ist eine Korrelation zwischen der Luftfeuchte und der Fremdschichtaktivität festzustellen. In solchen Fällen muß im schlimmsten Fall die Leckstromüberwachung unterbrochen werden.

Eine andere Methode zur Kompensation des von Spannungsharmonischen hervorgerufenen Leckstromanteils ist in /4/ angegeben. Dort wird der durch Spannungsharmonische hervorgerufene Anteil des Ableiterleckstromes durch ein über eine kapazitive Feldsonde gewonnenes Signal kompensiert. Diese Vorgehensweise setzt voraus, daß das am erdseitigen Flansch des Ableiters gewonnene Feldsignal auch tatsächlich ein Abbild der Spannung des Ableiters ist. Kapazitive Kopplungen zu Nachbarphasen sowie der Einfluß von elektrischen Entladungen durch Fremdschichtbildung lassen dies fraglich erscheinen.

Ein weiteres Beispiel zeigt Bild 5. Bei hohen temporären Überspannungen und/oder bei stark gealterten Ableiterscheiben können recht große Leckströme mit einem hohen Gehalt an Harmonischen auftreten (auch bei hohen Temperaturen). Neben einem beachtlichen Gleichanteil (unsymmetrische Kennlinie) treten auch geradzahlige Harmonische im Stromverlauf auf. Jedoch ist die 3. Harmonische auch hier mit deutlichem Abstand am ausgeprägtesten. Selbstverständlich kann der auftretende Gleichanteil nur mit einem geeigneten Stromsensor erfaßt werden. Er kann nicht mit induktiven Stromsensoren gemessen werden.



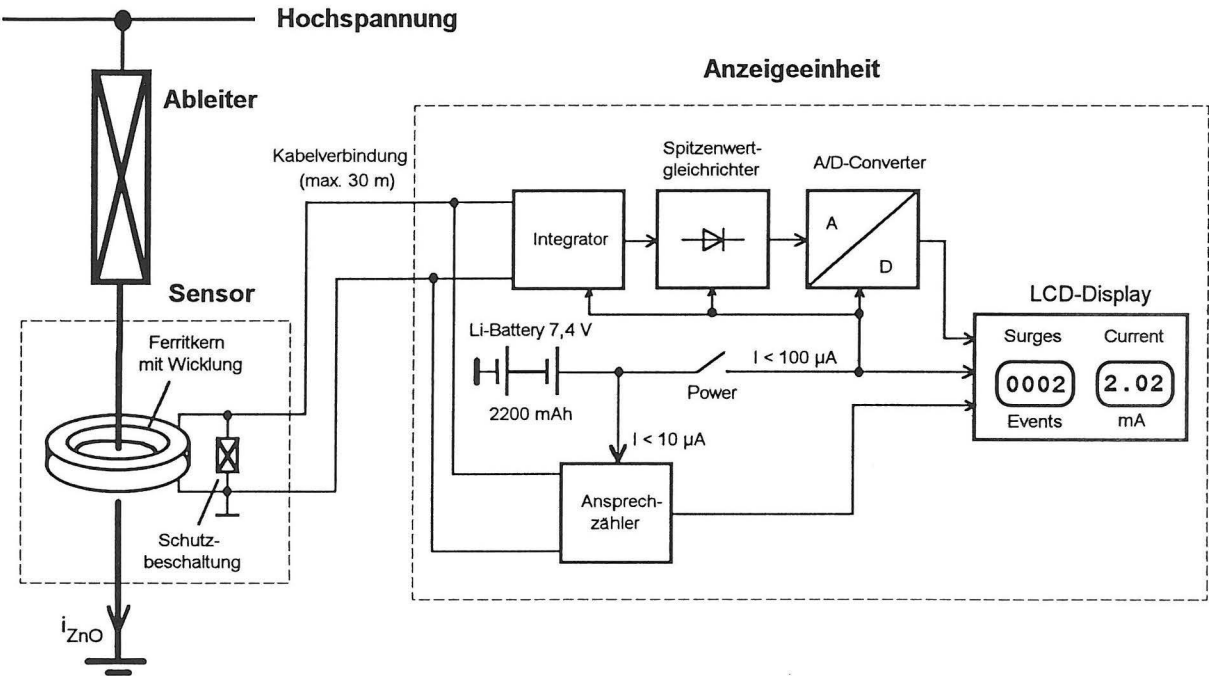
**Bild 5:** Spannungs- und Stromverläufe bei Überspannungen und/oder stark gealterten Scheiben

## 4. Ableiter-Monitoringsysteme für den Betrieb

Auf der Basis der zuvor beschriebenen Verfahren zur Ableiterüberwachung wurden in den letzten beiden Jahren unterschiedliche Geräte für den praktischen Einsatz im Netz entwickelt. Dabei wurden sowohl aufwendige Monitoringsysteme, als auch relativ einfache und preiswerte Überwachungsgeräte entwickelt. Zum Teil sind diese Geräte schon im praktischen Einsatz (15 Felder einer 500 kV GIS) bzw. werden derzeit in Feldversuchen erprobt. Die einzelnen Ableiterüberwachungssysteme werden im folgenden beschrieben.

### 4.1 "Low Cost"-Monitoringsystem für Ableiter

Für den breiten Einsatz in verteilten Anlagen mit überwiegend Freiluftableitern wurde ein kostengünstiges Monitoringsystem entwickelt. Durch den Einsatz kostengünstiger Verfahren und Hardwarelösungen ist damit auch eine einfachere Überwachung von Überspannungsableitern auf breiterer Basis wirtschaftlich vertretbar. Bild 6 zeigt ein Blockschaltbild des entwickelten "Low Cost"-Monitoringsystems für Ableiter.



**Bild 6:** "Low Cost"-Monitoringsystem für Überspannungsableiter

Der Leckstrom des zu überwachenden Ableiters wird mit einem bewickelten Ferrit-Ringkern als Stromsensor gemessen. Dieser Sensor wird in die Erdungleitung des Ableiters integriert und ist auch sehr einfach nachrüstbar. Die Länge des Erdungsanschlusses wird durch den Einbau des Monitoringsystems nicht vergrößert.

Das Signal des Stromsensors wird über ein geschirmtes Kabel zur Anzeigeeinheit geführt, wo es entsprechend aufbereitet (Integrator, Spitzenwertgleichrichtung) und auf einem LCD-Display angezeigt wird. Der Meßbereich beträgt 0 bis 20 mA, der analoge Frequenzbereich der Strommessung ist 10 Hz bis 1 kHz. Dieser Schaltungsteil wird durch den Bediener nur bei Bedarf aktiviert. Dadurch kann die Ruhestromaufnahme des gesamten Systems unter 10 µA gehalten werden.

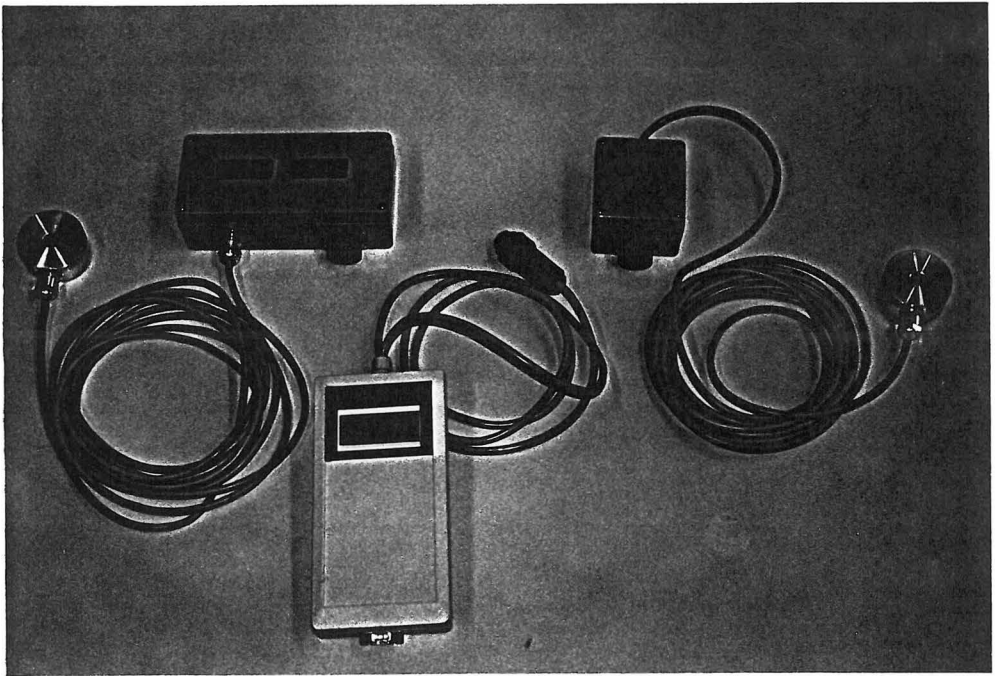
Derselbe Sensor wird auch verwendet, um die Ansprechereignisse des Ableiters zu registrieren. Alle Ableitvorgänge mit einem Stromscheitelwert größer als ca. 20 A werden erfaßt und gezählt. Um zu verhindern, daß bei bipolaren Ableitstromsignalen mehrfach

gezählt wird, wurde über ein entsprechendes Zeitglied eine Totzeit von ca. einer Sekunde realisiert. Die Anzahl der registrierten Ansprechereignisse wird zusammen mit dem Ableiterleckstrom angezeigt.

Durch den Einsatz spezieller Batterien mit hohen Kapazitäten, konnte eine Betriebsdauer des Systems von 10 Jahren erreicht werden. Falls die Batteriespannung einen bestimmten Wert unterschreitet, erfolgt eine Anzeige auf dem LCD-Display. Der Temperaturbereich des Gesamtsystems beträgt - 20 °C bis + 50 °C.

Eine noch kostengünstigere Variante ohne integrierte Leckstrommessung und Display, welche auch bei noch tieferen Temperaturen eingesetzt werden kann, ist ebenfalls entwickelt worden. Hier wird lokal nur die Anzahl der Ansprechereignisse elektronisch registriert und gespeichert (binärer Zählerstand).

Die Anzeige dieser Ansprechereignisse und die Messung des Leckstromes erfolgt durch ein separates, aufsteckbares Handgerät. Dieses Handgerät hat auch ein PC-Interface, wodurch der Zeitverlauf des Ableiterleckstroms auch am PC erfaßt und ausgewertet werden kann (spektrale Analyse). Zusätzlich wird die Batteriespannung der Ansprechzählerschaltung gemessen und angezeigt (vgl. Bild 7).

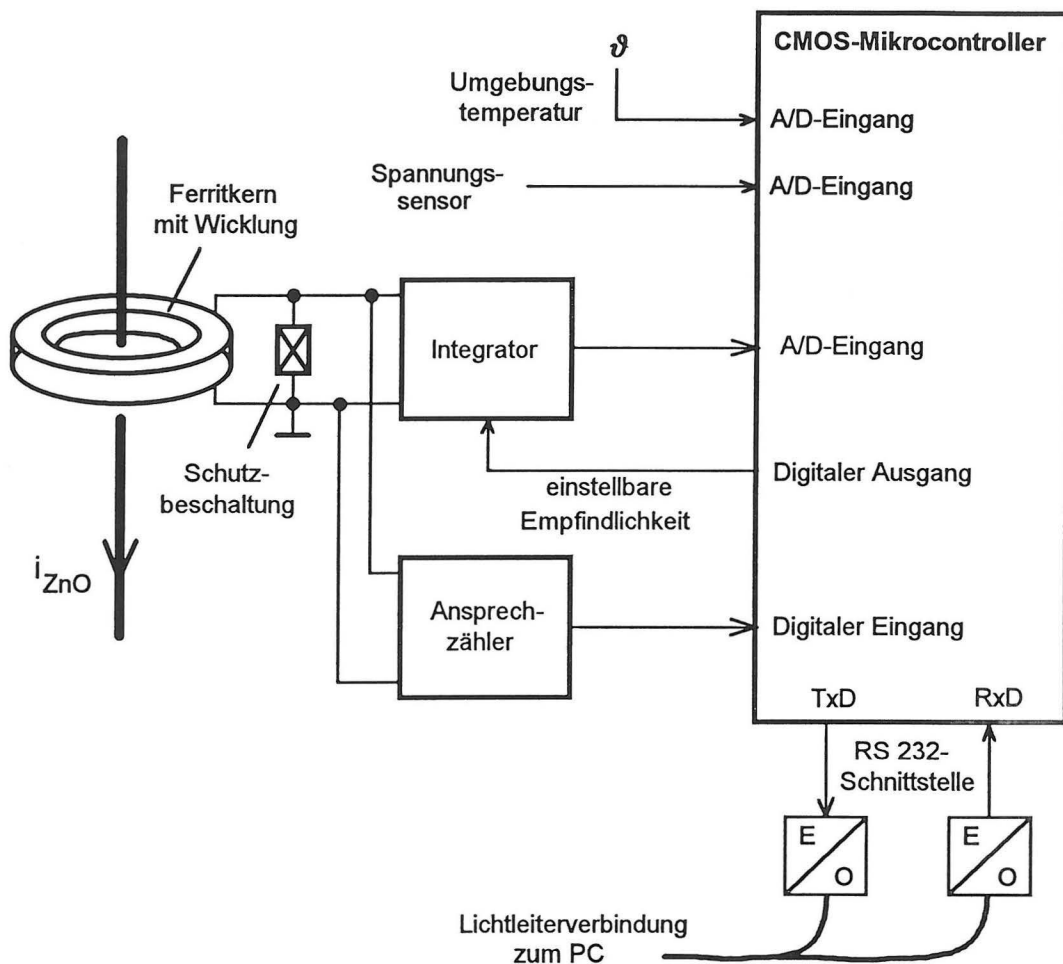


**Bild 7:** "Low Cost"-Monitoringsysteme für Überspannungsableiter  
Links im Bild: System mit integriertem Ansprechzähler und mit Leckstrommessung  
Rechts im Bild: System nur mit Ansprechzähler ohne Anzeige  
Unten im Bild: Lese- und Anzeigegerät mit PC-Schnittstelle (für beide Geräte geeignet)



## 4.2 "High End"-Monitoringsystem für Ableiter

Für eine gasisolierte 500 kV-Schaltanlage mit 15 Feldern wurde ein im Vergleich zum zuvor beschriebenen Ableiter-Monitoringsystem wesentlich komfortableres System entwickelt, welches an jedem der dort installierten GIS-Ableiter installiert wurde (45 Stück). Bild 8 zeigt das Funktionsschaltbild der entwickelten Ableiterüberwachungseinrichtung.



**Bild 8:** Funktionsschaltbild der "High End"-Ableiterüberwachung

Der Strom durch den Ableiter wird potentialfrei über einen Ferritkern mit einer Meßwicklung und einem nachgeschalteten aktiven Integrator gemessen. Eine Schutzbeschaltung am Integratoreingang verhindert eine Zerstörung der Elektronik, wenn der Ableiter hohe Impulsströme zur Erde ableitet. Der Integrator erzeugt aus dem differentiellen Signal der Meßwicklung (Signal proportional zu  $di_{ZnO}/dt$ ) ein Signal, welches zu  $i_{ZnO}$  proportional ist. Er hat einen Frequenzbereich von 5 Hz bis 10 kHz, so daß alle für die Beurteilung des Stromsignales erforderlichen Frequenzanteile erfaßt werden. Das analoge Stromsignal wird von einem 8 Bit A/D-Umsetzer mit einer maximalen Abtastrate von ca. 60 kHz abgetastet und ausgewertet (Fourieranalyse). Es werden die Stromscheitelwerte, die echten Effektivwerte und die Harmonischen ermittelt. Ein zusätzlicher Analogeingang kann für die Messung der Ableiterspannung benutzt werden, falls ein entsprechendes Signal zur Verfügung steht. Da die Umgebungstemperatur den Ableiterstrom wesentlich beeinflusst, wird über einen Temperatursensor auch die Umgebungstemperatur erfaßt. Auf diese Weise kann der Einfluß der Umgebungstemperatur auf den Varistorstrom bei der Beurteilung dessen Alterungszustandes berücksichtigt werden.

Eine weitere Funktionseinheit der Überwachungseinrichtung ist der Ansprechzähler. Bei Überspannungsvorgängen führt der Ableiter kurzzeitig hohe Ströme. Dadurch entstehen am Sensorausgang hohe Spannungsimpulse (begrenzt durch die Schutzbeschaltung). Diese Ereignisse lösen einen Interrupt des Mikrokontrollers aus, worauf dieser den Ansprechzähler entsprechend aktualisiert und dauerhaft in einem EEPROM abspeichert. Der Zählerstand ist jederzeit abfragbar. Der zeitliche Verlauf der Impulsströme wird nicht erfaßt.

Das Überwachungsgerät hat eine serielle RS 232 Schnittstelle, über die alle Funktionen von einem übergeordneten Rechner aus fernsteuerbar sind. Die Schnittstelle hat ein potentialfreies Opto-Interface mit Lichtleiteranschluß. Dadurch entstehen keine EMV-Probleme, und es ist ein Höchstmaß an Betriebssicherheit gegeben.

Die Stromversorgung erfolgt extern (24 bis 110 V Wechsel- oder Gleichspannung, max. 50 mA im aktiven Zustand, ca. 1 mA im stand by Modus). Das Gerät ist in einem spritzwassergeschützten Gehäuse aus Aluminiumdruckguß untergebracht.

Sämtliche ermittelten Daten des Überwachungsgerätes können über die serielle Schnittstelle abgefragt werden. Auch der zeitliche Verlauf des Ableiterstromes kann in Form der einzelnen Abtastpunkte über die serielle Schnittstelle abgerufen werden. Alle wichtigen Daten und Einstellungen werden in einem EEPROM-Speicher abgelegt und bleiben auch bei einem Ausfall der Versorgungsspannung erhalten.

Für zukünftige Entwicklungen ist auch daran gedacht, daß die lokal von verteilten Ableiter-Monitoringsystemen aufgezeichneten Daten von einem PC zentral erfaßt und archiviert werden. Ein Modem-Anschluß (Telefonleitung) sorgt dafür, daß auf dieses Datenarchiv von autorisierten Personen zugegriffen werden kann. Damit können die Monitoring-Daten von jedem beliebigen PC aus im Büro abgerufen werden, ohne daß vor Ort Personal eingesetzt werden muß.

Ein solcher Aufwand scheint aus heutiger Sicht für einen breiten Einsatz zur Ableiterüberwachung aus Kostengründen nicht gerechtfertigt. Jedoch für die Überwachung strategisch wichtiger Ableiter, deren Ausfall mit sehr hohen Kosten verbunden wäre, ist der Einsatz derartiger Systeme schon heute vertretbar.

In der Zukunft werden durch weiter fallende Kosten für Produkte der elektronischen Meßtechnik derartige Überwachungssysteme auch für breitere Anwendungsbereiche immer erschwinglicher werden.

## 5. Zusammenfassung

Es wurden unterschiedliche Möglichkeiten zur Beurteilung des Betriebszustandes von Metalloxid-Überspannungsableitern vorgestellt und die damit verbundenen Vor- und Nachteile erläutert:

Die Zählung der Ansprechereignisse des Ableiters ist technisch nicht sehr aufwendig und erlaubt grobe Rückschlüsse über die Impulsstrombelastung des Ableiters. Aufgrund der niedrigen Ansprechschwelle von ca. 20 A ist die Anzahl dieser Ansprechereignisse jedoch nicht repräsentativ für die Materialbeanspruchung.

Eine einfache Leckstrommessung in Form eines Effektiv- oder arithmetischen Mittelwertes ist die einfachste aber auch die ungenaueste Methode.

Die Messung der Verlustleistung ist wegen der erforderlichen gleichzeitigen Strom- und Spannungsmessung sehr aufwendig und daher aus Kostengründen nicht für eine breite Anwendung bei der Ableiterüberwachung geeignet.

Die Aufzeichnung des Ableitstromes und dessen spektrale Analyse ist mit der heute zur Verfügung stehenden Technik nicht sehr aufwendig und ermöglicht die Ermittlung der 3. Harmonischen des Leckstromes, welche ein guter Indikator für die Alterung eines MO-Ableiters ist.

Die Schwierigkeiten bei der Realisierung der vorgestellten Überwachungssysteme sind im Netzbetrieb vor allem der vorhandene Oberschwingungsgehalt der Netzspannung und der an der äußeren Isolation bei Verschmutzung auftretende Leckstrom.

Durch die Miteinbeziehung der Phasenlage der einzelnen Stromharmonischen und deren zeitlichem Trend und durch die Trendanalyse der Stromamplituden ist aber eine gewisse Separation der verschiedenen Störeinflüsse möglich.

Falls keine sicheren Methoden zur Trennung bzw. Diskriminierung der Störgrößen verfügbar sind, muß z.B. während starker Verschmutzung und Befeuchtung mit der Folge von äußeren Leckströmen eine Analyse des Ableiterzustandes temporär ausgesetzt werden.

Es wurde damit begonnen, Monitoringkonzepte für MO-Ableiter zu entwickeln. Versuchsausführungen von solchen Systemen sind realisiert, einige wenige Monitoringsysteme für GIS-Ableiter sind schon seit kurzem in Betrieb, so daß die Praxiserprobung im Netz beginnt.

Die Weiterentwicklung dieser Monitoringsysteme mit on line- und off line-Diagnosemöglichkeiten ist aber noch nicht abgeschlossen. In den nächsten Jahren wird der vermehrte Einsatz im Netzbetrieb den diesbezüglichen Erfahrungshorizont erweitern und dazu beitragen, derzeit noch offene Fragen zu klären.

### Literaturangaben:

- |  |   |
|--|---|
| /1/ K. Dengler, W. Köhler, K. Feser, W. Schmidt, B. Richter:<br>"On Line Diagnostics of MO-Varistors".<br>10th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH), Montreal, 1997, paper no. 3039 | /3/ K. Dengler, W. Köhler, K. Feser, W. Schmidt, B. Richter:<br>"A Thermal and Electrical Model for MO-Arrester Degradation".<br>EMC '97 Zürich, Int. Symposium on EMC, Febr. 1997, paper no. 108P5 |
| /2/ K. Dengler, W. Köhler, K. Feser, W. Schmidt, B. Richter:<br>"Einfluß von Hochstromimpulsen auf das Impulsalterungsverhalten von MO-Ableitern".<br>EMV-Kongress 1998, 10.-12. Februar 1998            | /4/ TransiNor As:<br>"LCM: Diagnostic instrument to monitor resistive leakage current of metal oxide surge arresters in service".<br>Firmenprospekt der Firma TransiNor, Trondheim/Norwegen         |