

# Praxiserfahrungen aus dem Einsatz der akustischen Teilentladungsdetektion an Mittelspannungs-Schaltanlagen

## Practical experience using acoustic partial discharge detection for medium-voltage switchgear

Christopher Johae, M. Sc., Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, christopher.johae@uni-wuppertal.de

Dominik Beerboom, M. Sc., Universität Wuppertal, Wuppertal, beerboom@uni-wuppertal.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, zdrallek@uni-wuppertal.de

Dipl.-Ing. Patrick Klöckner, Netrion GmbH, Mannheim, patrick.kloeckner@netrion.de

Frank Wirkner, Energieversorgung Offenbach AG, Offenbach, frank.wirkner@evo-ag.de

### Kurzfassung

Durch einen Durchschlag einer Durchführung in einer 20kV-Schaltanlage eines Umspannwerkes kam es zu einer Versorgungsunterbrechung in einem größeren Versorgungsgebiet des Netzbetreibers. Die Fehleranalysen zeigten, dass dieser Durchschlag auf Teilentladungen an der Durchführung zurückzuführen war. Um frühzeitig Teilentladungen an weiteren Durchführungen gleichen Typs zu erkennen, wurde an 116 Schaltfeldern zweier verschiedener Mittelspannungs-Schaltanlagen eine vorbeugende Teilentladungsdetektion durchgeführt. Dabei konnten Teilentladungen unterschiedlicher Intensität an verschiedenen primärtechnischen Komponenten der Schaltanlagen (z.B. an Löschkammern) erkannt werden, die während einer reinen Sichtkontrolle nicht hätten aufgedeckt werden können.

### Abstract

A breakdown of a duct in 20kV- switchgear has led to an interruption of a big supply area. Further analyses showed that partial discharge activity at this duct caused the failure in supply. Regarding to this, all ducts of same type should be investigated by using acoustic partial discharge detection. Therefore 116 fields of different switchgear were tested and on different components partial discharge activity with various intensities occurred. Most electric faults can't be revealed by visual inspection, for example on arcing chambers.

## 1 Ausgangslage

Der Anlass für die in diesem Beitrag erläuterte messtechnische Überprüfung von MS-Schaltanlagen mit Hilfe der akustischen Teilentladungsdetektion war ein Durchschlag an einer Durchführung in einem MS-Schaltfeld einer Umspannanlage, der eine Störung, die mit einer Versorgungsunterbrechung in einem größeren Netzgebiet einherging, hervorgerufen hatte. Die ausgebaute Durchführung nach dem Durchschlag ist in **Bild 1** dargestellt.



**Bild 1** Durch einen Durchschlag beschädigte Durchführung

Die Störungsanalyse der betroffenen Durchführung ergab, dass der letztendliche Durchschlag durch Teilentladungen verursacht worden ist, die aufgrund des bereits langen Vorliegens zu einer fortschreitenden Zerstörung des Isolierstoffs beigetragen haben. Durch die daraus resultierende unzureichende Isolierfähigkeit kam es letztendlich dann zu einem Durchschlag an der Durchführung.

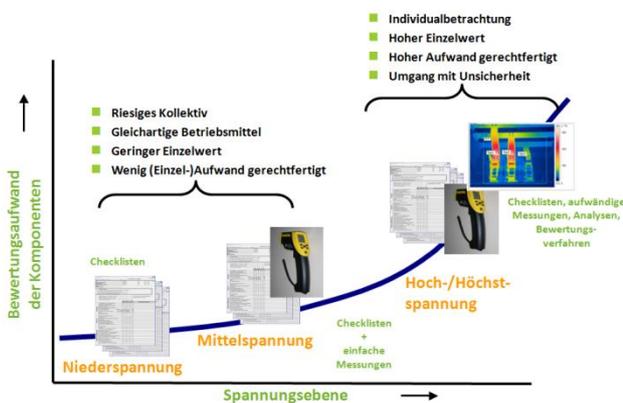
Die Teilentladungen konnten jedoch ohne Einsatz von Messtechnik nicht frühzeitig erkannt werden, um einen Durchschlag dieser Durchführung zu vermeiden. Es sollten daher vorbeugend alle weiteren verbauten Durchführungen gleicher Bauart auf Teilentladungen überprüft werden.

Die beiden im Rahmen der Untersuchungen überprüften Schaltanlagen bestanden aus luftisolierten Schaltfeldern älterer Bauart, so dass die einzelnen Baugruppen der Schaltfelder gut zugänglich waren. Zudem standen Erneuerungsentscheidungen an verschiedenen Schaltanlagen im Netzgebiet an, die durch die Erkenntnisse aus der Teilentladungsdetektion und die zusätzlichen Informationen in Form von fundierten Messwerten ergänzt werden sollten. Es sollten ebenfalls Ansätze zur Priorisierung der Erneuerungsentscheidungen gewonnen werden. Insgesamt sind während der Überprüfung 116 Schaltfelder in zwei 20kV-Mittelspannungsschaltanlagen analysiert worden.

## 2 Einsatz von Messtechnik an Mittelspannungsbetriebsmitteln

### 2.1 Gerechtfertigter Bewertungsaufwand in der Mittelspannung

Im Vergleich zu Hoch- und Höchstspannungsbetriebsmitteln haben die Komponenten in der Verteilnetzebene einen geringen Einzelwert, wobei das Kollektiv an Betriebsmitteln im Bereich der Mittelspannung deutlich größer ist als das im Hoch- und Höchstspannungsnetz. Das nachfolgende **Bild 2** zeigt den Zusammenhang zwischen dem gerechtfertigten Aufwand einer Zustandsermittlung und der Spannungsebene der einzelnen Betriebsmittel. Damit einher geht auch der gerechtfertigte Aufwand des Einsatzes von Messtechnik in den jeweiligen Spannungsebenen. Die Messtechnik kann vor allem dafür eingesetzt werden, um gesicherte Informationen über den tatsächlichen, elektrischen Zustand der Betriebsmittel zu gewinnen, da deren Beurteilung über eine reine Sichtkontrolle meist nicht ausreichend möglich ist.



**Bild 2** Bewertungsaufwand für Komponenten in Abhängigkeit von der Spannungsebene

Im Bereich der Mittelspannungsebene ergeben sich demnach Restriktionen für den Einsatz der Messtechnik, so dass es nur sinnvoll ist, einfache Messverfahren und keine aufwändigen Monitoring-Systemen einzusetzen. Erste anwendbare Messverfahren bspw. für die messtechnische Analyse von Mittelspannungs-Ortsnetzstationen sind in [1] zu finden.

Die messtechnische Analyse der Schaltanlagen sollte im Rahmen dieser Untersuchung während des Betriebs durchgeführt werden, um so Freischaltungen zu vermeiden. Dieses Vorgehen ist im Bereich der Mittelspannung üblich, so auch beispielsweise bei der messtechnischen Analyse von Mittelspannungs-Ortsnetzstationen. Auch dort wird diese ohne Freischaltmaßnahmen durchgeführt. Sofern Freischaltmaßnahmen möglich sind, können weitere Messverfahren und Analysen durchgeführt werden. Dabei wird jedoch meist keine Teilentladungsmessung durchgeführt, sondern es werden vielmehr Antriebsparameter von Leistungsschaltern oder auch Übergangswiderstände überprüft. Im Rahmen dieses Aufsatzes soll jedoch genauer auf die Möglichkeiten einer Teilentladungsdetektion zur Zustandsbewertung von Mittelspannungs-

Schaltanlagen eingegangen und dargelegt werden, welchen Mehrwert Teilentladungsmessungen hinsichtlich konkreter Messwerte liefern können und welche Erkenntnisse mit Hilfe dieser gewonnen werden können.

### 2.2 Einsatz der akustischen Teilentladungsdetektion

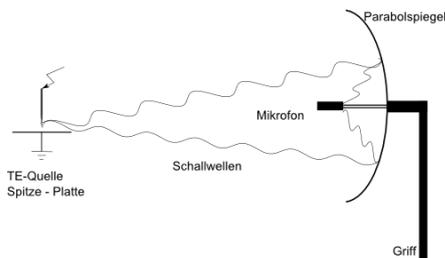
Für die Teilentladungsdetektion an Mittelspannungsschaltanlagen soll in diesem Beitrag die Vorgehensweise des Einsatzes der akustischen Teilentladungsdetektion beschrieben werden. Näheres zu den Grundlagen der Teilentladungen bspw. zu deren Entstehung wurde in der Literatur ([2], [3]) schon häufig beschrieben und soll in diesem Beitrag nicht noch einmal zusammengefasst werden.

Eine konventionelle Teilentladungsmessung nach DIN EN 60270/VDE0434 [4] ist für die hier vorgesehene Verfahrensweise nicht sinnvoll einsetzbar, da dieses Verfahren ein Freischalten des Untersuchungsgegenstands bedingt, um die jeweiligen Messgeräte anschließen und damit Teilentladungen auskoppeln und messen zu können. Weiter ist der Aufwand für die elektrische Messung nach Norm ebenfalls höher einzuschätzen und zudem lässt sich hierüber keine exakte Ortung der Fehlstelle ermöglichen, da nur die scheinbare Ladung aus dem gesamten Kreis ausgekoppelt und gemessen wird.

Teilentladungen sind jedoch nicht nur elektrisch, also über die konventionelle Methode nach DIN EN 60270/VDE0434 detektierbar, sondern lassen sich auch über akustische Methoden feststellen. [3] Dabei wird die Eigenschaft ausgenutzt, dass äußere Teilentladungen Ultraschallwellen erzeugen, die als Wanderwellen von den einzelnen Teilentladungsquellen ausgehen. [5] Hierdurch werden bei Verwendung geeigneter Mikrofone, die eine hohe Empfindlichkeit im Ultraschallbereich besitzen, die Ultraschallwellen für den Menschen hörbar und störende Umgebungsgeräusche werden nahezu ausgeblendet. Damit ist eine sichere Detektion von Teilentladungen möglich. [3] Die akustische Detektion von äußeren Teilentladungen kann über Mikrofone / Richtmikrofone und über Ultraschallaufnehmer durchgeführt werden. Ein Vorteil der akustischen Detektion von Teilentladungen ist die Möglichkeit der exakten Ortung des Teilentladungsurprunges. Aus diesem Grund wird dieses Messverfahren auch häufig zur Teilentladungsanalyse genutzt. [6] Ein weiterer wesentlicher Vorteil der akustischen Teilentladungsmessung ist die Anwendbarkeit des Verfahrens während des Betriebs und somit im Zuge von Inspektionen.

Das eingesetzte Messmikrofon besitzt eine Empfindlichkeit im Ultraschallbereich und ist damit für die Detektion von äußeren Teilentladungen geeignet. Da es sich bei den untersuchten Schaltanlagen um luftisolierte Anlagentypen handelte, konnten diese vollständig analysiert werden, da alle potentiellen Quellen von äußeren Teilentladungen zugänglich waren. Die jeweilige Analyse wurde mit einem Richtmikrofon durchgeführt, um auch die Ortung der Fehlstelle zu ermöglichen. Bei einem Richtmikrofon wer-

den dabei die von den Teilentladungen ausgehenden Schallwellen an dem parabolförmigen Reflektor so reflektiert, dass diese gebündelt auf ein zentral angeordnetes Mikrofon treffen. Je genauer die Teilentladungsquelle angepeilt wird, desto mehr akustische Wellen können vom parabolförmigen Reflektor auf das Mikrofon reflektiert und von diesem aufgenommen werden. Dementsprechend steigt auch das gemessene Signal an und es ist möglich über diesen Zusammenhang die Teilentladungsquelle zu orten. Die prinzipielle Funktionsweise des Richtmikrofons ist in **Bild 3** für eine einfache Anordnung einer äußeren Teilentladung (Spitze-Platte) dargestellt. Grundsätzlich ist es möglich mit der akustischen Teilentladungsdetektion alle äußeren Teilentladungen zu detektieren, also Koronaentladungen, Oberflächenentladungen oder auch leitende Partikel zwischen Elektroden, wie auch Labortests im Hochspannungslabor der Bergischen Universität Wuppertal gezeigt haben. Die Detektion dieser Teilentladungsarten wurde in ausgiebigen Labortests an Versuchsanordnungen, aber auch bereits an gealterten Betriebsmitteln überprüft. Grundsätzlich ist über das eingesetzte Messverfahren jedoch keine Unterscheidung zwischen den einzelnen Teilentladungsarten möglich. Dies ist jedoch auch für den geforderten Praxiseinsatz und die für die in diesem Aufsatz beschriebene Anwendung nicht erforderlich.



**Bild 3** Schematische Darstellung der Funktionsweise des Richtmikrofons

Neben der rein akustischen Ausgabe können mit verschiedenen Messgeräten auch Signalpegel in Form von Messwerten erfasst werden, nicht jedoch die tatsächliche scheinbare Ladung, die ein Maß für die Teilentladungsstärke darstellt. Die akustische Teilentladungsdetektion ist im Gegensatz zu dem elektrischen, nach DIN EN 60270/VDE0434 durchführbaren Verfahren nicht kalibrierbar. Somit ist es nicht möglich, eine direkte Korrelation zwischen akustisch gemessenem Teilentladungspegel und der an der Fehlerstelle umgesetzten scheinbaren Ladung zu ziehen. Lediglich ein Funktionscheck des Gerätes ist regelmäßig durchzuführen, um sicherzustellen, dass Teilentladungsquellen sicher detektiert werden können. [7]

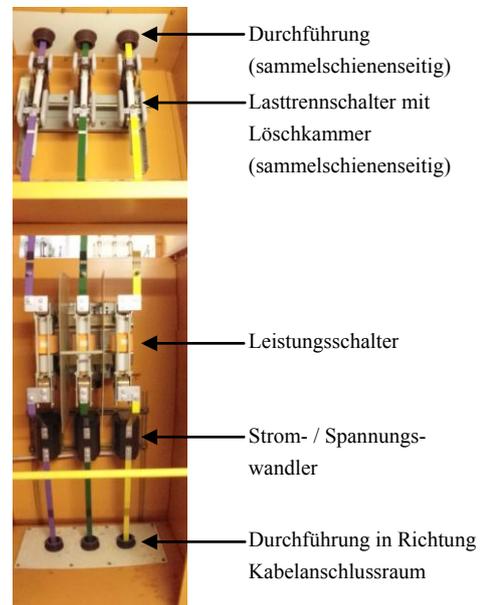
Die Nachweisgrenze der Teilentladungen hängt stark von der Teilentladungsart ab. Während bei Oberflächenentladungen auch schon geringe Teilentladungspegel von 5pC im Rahmen von Labortests detektiert werden konnten, liegt die Detektionsgrenze bei Entladungen an einer Spitze-Platte-Anordnung bei ungefähr 20pC und resultiert aus den unterschiedlichen Eigenschaften dieser Anordnungen.

Diese Detektionsgrenzen können jedoch als ausreichend empfindlich eingestuft werden.

### 3 Durchführung der akustischen Teilentladungsdetektion

Beispielhaft ist in **Bild 4** ein Schaltfeld der analysierten Mittelspannungs-Schaltanlagen dargestellt.

Es ist notwendig, dass für die akustische Teilentladungsdetektion über Richtmikrofone der bereits zuvor angesprochene direkte Zugang zu den elektrischen Komponenten, also ein freier Weg für die Ausbreitung der Schallwellen zum Richtmikrofon, gegeben sein muss, wie auch Bild 4 zeigt. Die jeweilige Teilentladungsdetektion an den Mittelspannungsschaltfeldern erfolgt bei geöffneter Schaltfeldtür, da nur über diese Vorgehensweise eine Ortung der Teilentladungsquelle möglich ist. Bei geschlossener Schaltanlagentür müsste ein Ultraschallaufnehmer verwendet werden, jedoch ist mit diesem eine exakte Ortung der Teilentladung nicht in gleicher Weise möglich



**Bild 4** Schaltfeld einer Mittelspannungs-Schaltanlage

Das eingesetzte Messgerät bietet neben der rein akustischen Ausgabe der Teilentladungsaktivität, über die auch eine direkte Aussage über die Wiederholrate der Teilentladungsereignisse möglich ist, eine Anzeige von Messwerten. Durch die Kombination von Messwertanzeige und akustischer Wahrnehmung ist eine sehr gute Teilentladungsdetektion möglich, da geringe Teilentladungen nur rein akustisch wahrnehmbar sind. Stärkere und demnach kritischere Teilentladungen können neben der akustischen Detektion für eine spätere Auswertung über einen konkreten Messwert erfasst werden.

Mit der akustischen Teilentladungsdetektion kann eine komponentenbezogene Analyse erfolgen, da gezielt einzelne Komponenten anvisiert werden können und so die Teilentladungsstärke der jeweiligen Stelle bestimmt werden kann. So konnten entsprechend alle folgenden Kom-

ponenten in Bezug auf äußere Teilentladungen analysiert werden:

- Durchführungen
- Sammelschienen
- Trennschalter
- Löschkammern
- Kontakte
- Spannungs- / Stromwandler
- Kabelanschlüsse

Die Leistungsschalter konnten bauartbedingt nur äußerlich überprüft werden. Eine Analyse der eigentlichen Schalterpole der Leistungsschalter ist über die akustische Teilentladungsdetektion nicht möglich, da kein direkter Zugang zu diesen besteht. Eine Analyse dieser ist nur mit Freischaltmaßnahmen und anderen dann einsetzbaren Verfahren möglich. Beachtet werden müssen bei der akustischen Teilentladungsdetektion jedoch auch immer Störeinflüsse von außen, gerade wenn mit sehr empfindlichen Ultraschall-Richtmikrofonen gemessen wird. Typische Störeinflüsse ergeben sich z.B. durch Leuchtstofflampen, die zur Schaltfeldbeleuchtung eingesetzt werden bzw. durch deren Starter. Auch von diesen können Schallwellen im Ultraschallbereich ausgesendet werden. Durch Reflektionen dieser Schallwellen an Komponenten eines Mittelspannungs-Schaltfeldes kann es zu Fehlinterpretationen kommen und somit können falsche Rückschlüsse gezogen werden. Ebenfalls können auch weitere Schallwellen, die Frequenzanteile im Ultraschallbereich besitzen, zu Verfälschungen der Messung führen. Der Aufwand für die akustische Teilentladungsdetektion an den analysierten Mittelspannungsschaltfeldern lag bei rund 12 min pro Schaltfeld. Jede Komponente der dreiphasigen Anordnung wurde mit dem Richtmikrofon untersucht, um so alle möglichen Teilentladungsquellen erfassen zu können. Explizit wurden die Durchführungen messtechnisch untersucht, da diese den eigentlichen Ansatzpunkt für die messtechnische Analyse der Schaltfelder darstellen.

## 4 Ergebnisse der akustischen Teilentladungsdetektion

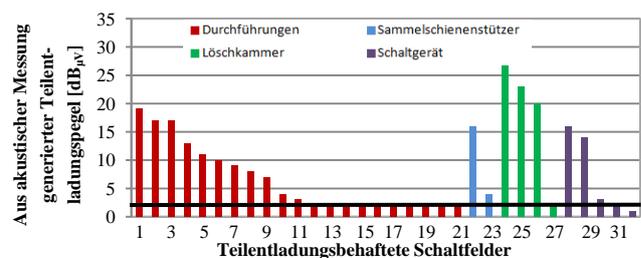
Im Rahmen der Überprüfung der Schaltfelder auf Teilentladungsaktivitäten sind dabei nicht nur an Durchführungen, sondern auch an übrigen elektrischen Komponenten Teilentladungen detektierbar gewesen. An folgenden Komponenten konnten mit dem angewendeten Verfahren Teilentladungen aufgedeckt werden:

- Durchführungen
- Sammelschienenstützer
- Löschkammern
- Schaltgerätkontakte

Die jeweiligen detektierten Teilentladungen wiesen dabei deutliche Unterschiede in der Intensität des gemessenen Schallpegels auf. Die Intensität gibt dabei eine Auskunft

über die Stärke der Teilentladungen. Eine Abgrenzung der Teilentladungspegel untereinander und eine Ableitung des Handlungsbedarfs muss heuristisch erfolgen, da keine Literatur- oder Normgrenzwerte zur Bewertung der Teilentladungspegel vorliegen. [8] Zudem kann mit dem eingesetzten Verfahren nicht zwischen Koronaentladungen und Oberflächenentladungen unterschieden werden, da generell alle Teilentladungsaktivitäten, die akustische Signale im Ultraschallbereich aussenden, ermittelt werden. Allerdings ist diese Differenzierung nach der jeweiligen Teilentladungsart, wie sie mit anderen Verfahren prinzipiell möglich ist, mit einem erhöhten Aufwand (z.B. Freischalten) verbunden und war auch in diesem Einsatzfall nicht zwingend gewesen, da das Erkennen einer Fehlstelle jeglicher Art entscheidend war, um darauf aufbauend eine Wartungs-/Instandsetzungsempfehlungen abzugeben.

Teilentladungen konnten, wie vermutet, an verschiedenen Durchführungen detektiert werden. Diese waren jedoch meist noch von geringem Ausmaß und konnten nur rein akustisch erfasst werden. Die Messwertanzeige des eingesetzten Messgerätes zeigte an diesen Fehlstellen dagegen noch keinen konkreten Messwert an, da die Teilentladungsstärke für die Empfindlichkeit der Messwertanzeige noch zu gering war. Da Teilentladungen jedoch langfristig einen Isolierstoff beschädigen, ist eine frühzeitige Detektion bereits sinnvoll, um diese potentiellen Fehlstellen weiter zu beobachten und bei Veränderungen Erneuerungs- bzw. Instandsetzungsmaßnahmen durchzuführen. [8] Neben diesen geringfügigen Teilentladungen konnten jedoch auch an verschiedenen Durchführungen Teilentladungspegel mit hohem Signalpegel detektiert werden. Hierbei besteht ein direkter, zeitnaher Handlungsbedarf, um Durchschlägen an den Durchführungen vorzubeugen und damit unvorhersehbare Störungen zu vermeiden. Neben diesen Teilentladungen waren zudem Teilentladungen an Schaltgerätekontakten und auch an Löschkammern der Sammelschienen-Lasttrennschalter detektierbar. In **Bild 5** sind die jeweiligen akustisch gemessenen Teilentladungspegel an den unterschiedlichen Komponenten der Schaltfelder, an denen Teilentladungen festgestellt werden konnten, aufgetragen. Die sehr geringen Teilentladungspegel in Bild 5 stellen die nur rein akustisch über das Messgerät detektierbaren Teilentladungen dar. Die schwarze durchgängige Linie repräsentiert die Grenze zwischen der rein akustischen Detektierbarkeit und der Möglichkeit zur Angabe eines konkreten Messwertes, der aus dem akustisch erfassten Signal generiert wird.



**Bild 5** Akustisch detektierter Teilentladungspegel an unterschiedlichen Komponenten der teilentladungsbehafteten Schaltfelder

Grundsätzlich sollten alle Komponenten an denen Teilentladungen detektiert werden konnten überprüft werden, um eine weitere Beschädigung der Komponenten bzw. deren Isolierstoffe und daraus resultierende Durchschläge frühzeitig zu vermeiden.

Die höchsten Teilentladungspegel konnten im Rahmen der messtechnischen Analyse der Schaltanlagen an Löschkammern verschiedener Schaltgeräte detektiert werden. Der Signalpegel der jeweiligen Teilentladungen an drei Löschkammern lag bei über  $20\text{dB}_{\mu\text{V}}$ . Diese Werte sind bereits als kritisch anzusehen und die Komponenten sollten genauer analysiert werden. Auch die an Durchführungen und übrigen Komponenten der Schaltgeräte detektierten Teilentladungspegel lagen an verschiedenen Schaltfeldern bereits über  $15\text{dB}_{\mu\text{V}}$  und sollten daher ebenfalls betrachtet werden. Entladungserscheinungen an Sammelschienenstützern, die ebenfalls detektiert werden konnten, weisen gerade aufgrund der zentralen Bedeutung der Sammelschiene auf die Versorgungszuverlässigkeit der gesamten Schaltanlage eine hohe Bedeutung auf, weshalb deren Zustand detailliert überprüft werden sollte, um die Isolierfähigkeit sicherzustellen.

Die Teilentladungsquelle an den Löschkammern war über eine Sichtkontrolle nicht erkennbar, da die eigentliche Löschkammer in einem Stützer isoliert eingebaut ist, wie in **Bild 6** zu erkennen ist.

Auf Basis der messtechnischen Analyse wurden die auffälligen Fehlstellen anschließend einer Wartung/Instandsetzung unterzogen, um diese explizit zu untersuchen und um dadurch auch die Messergebnisse hinsichtlich der Ursache für die gemessenen Teilentladungen zu verifizieren. Gerade bei den sehr hohen Teilentladungspegeln an den Löschkammern war eine Wartung zeitnah erforderlich, um einem Durchschlag oder einer weiteren Schädigung vorzubeugen.



**Bild 6** Eingebaute Löschkammer in einem Mittelspannungs-Schaltfeld

Beim Ausbau der Löschkammern zeigten sich starke Abnutzungen an den Löschkammern, exakt an den Stellen, an denen die stark erhöhten Teilentladungspegel detektiert wurden.

Eine von diesen ausgebauten Löschkammern zeigt **Bild 7**. An dem hintersten Ende der Löschkammer ist die deutliche Zerstörung zu erkennen. Dieses ist auch die Ursache der akustisch detektierten Teilentladungen gewesen. Über eine reine Sichtkontrolle hätte diese Zerstörung nicht ermittelt werden können. Damit zeigt sich, dass sich die messtechnische Analyse der Gesamtanlage bzw. jedes einzelnen Schaltfeldes als zielführend erwiesen hat. Bei der alleinigen Untersuchung der Durchführungen wären diese Fehlstellen nicht detektierbar gewesen.



**Bild 7** Teilentladungsbehaftete Löschkammer in ausgebautem Zustand

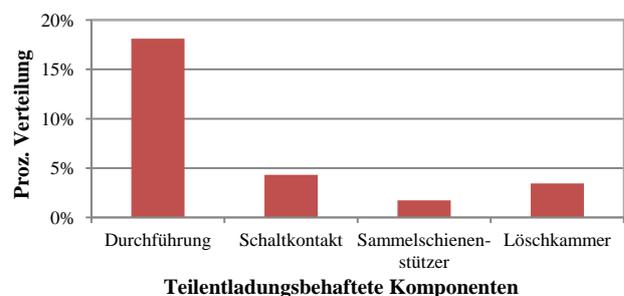
In **Bild 8** sind Beschädigungen an einer weiteren Löschkammer erkennbar. Die äußere Kapselung ist bereits durch die fortschreitenden Teilentladungen angegriffen und erste Auflösungserscheinungen sind bereits erkennbar. Über einen längeren Zeitraum würde durch die Teilentladungen die Kapselung weiter angegriffen und es könnte zu einem Durchschlag in der Löschkammer aufgrund einer verringerten Isolierfähigkeit kommen. Auch bei Schaltvorgängen kann die Funktion der Löschkammer bereits eingeschränkt sein, so dass die eigentliche Aufgabe der Löschung des Lichtbogens nicht mehr gegeben ist. Dies kann zu einer Zerstörung des Schalters führen, da der Lichtbogen nicht gelöscht wird, sondern bis zum Ausschalten des Schutzsystems anliegen würde. Auch dieser Fehler hätte über eine reine Sichtkontrolle nicht erkannt werden können.



**Bild 8** Beschädigungen durch Teilentladungen an einer Löschkammer

## 5 Zusammenfassung der Ergebnisse

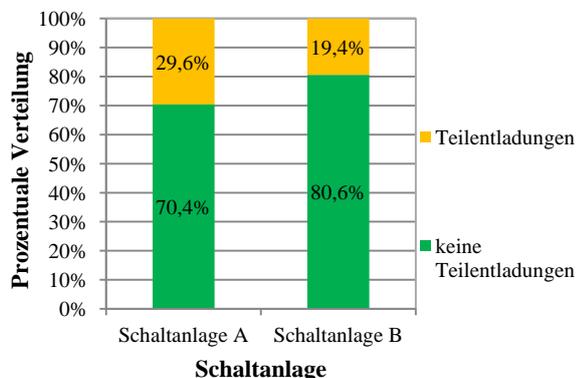
Insgesamt sind an 32 der 116 analysierten Schaltfelder Teilentladungsaktivitäten mit Hilfe der akustischen Teilentladungsdetektion aufgedeckt worden. Daraus ergibt sich, dass an rund 28% der Schaltfelder Teilentladungsaktivitäten an mindestens einer Komponente vorlagen. Die entsprechende Verteilung der Teilentladungsereignisse auf die jeweiligen Komponenten der untersuchten Schaltfelder können **Bild 9** entnommen werden.



**Bild 9** Prozentuale Verteilung der teilentladungsbehafteten Komponenten

Die prozentuale Verteilung der teilentladungsbehafteten Komponenten ergibt jedoch noch keinerlei Hinweise auf die Dringlichkeit der Mängelbeseitigung. Durch den bereits im Vorfeld der Untersuchungen aufgetretenen Schaden an einer Durchführung liegt es, bei der sich aus den Messungen ergebenden Verteilung nahe, teilentladungsbehaftete Durchführungen im freigeschalteten Zustand im Detail visuell zu überprüfen und wenn notwendig einer Wartung bzw. Instandsetzung zu unterziehen. Jedoch sollten auch die übrigen Komponenten, an denen Teilentladungen detektiert werden konnten, zeitnah instandgesetzt werden. Der deutliche Mehrwert und die Wirksamkeit des Einsatzes einer akustischen Teilentladungsdetektion zeigen sich ausdrücklich, vor allem auch in Bezug auf die Teilentladungen an den Löschkammern. Mit einer rein visuellen Sichtkontrolle hätten diese nicht aufgedeckt werden können. Die Komponenten, an denen hohe Teilentladungspegel gemessen wurden und für die sich daher eine Handlungsempfehlung hinsichtlich eines sofortigen Austauschs bzw. einer Überprüfung ergeben hat, wiesen auch bereits erhebliche Beschädigungen bzw. eine hohe Abnutzung auf.

Hinsichtlich der Erneuerungsentscheidung zwischen den Schaltanlagen in den beiden Umspannwerken kann aus der durchgeführten Teilentladungsdetektion ein Ansatzpunkt gewonnen werden. Prinzipiell müssen alle Komponenten, an denen Teilentladungen akustisch detektiert wurden, überprüft und Fehlstellen entsprechend beseitigt werden. Je nach Intensität der akustisch detektierten Teilentladungen kann jedoch im Fall von anstehenden Erneuerungsentscheidungen ein erster Hinweis mit Hilfe der Ergebnisse gewonnen werden, der jedoch für eine letztendliche Erneuerungsentscheidung um weitere Parameter ergänzt werden muss. Eine Teilentladungsdetektion alleine kann nicht zu einer Erneuerungsentscheidung führen. In einer der beiden untersuchten Schaltanlagen traten Teilentladungen weitaus häufiger und mit einer erhöhten Intensität auf. Die jeweilige prozentuale Anzahl der akustisch detektierbaren Teilentladungen ist in **Bild 10** dargestellt. Aus Sicht der Ergebnisse der akustischen Teilentladungsdetektion liegt demnach, vor allem aber aufgrund der Intensität der akustisch detektierbaren Teilentladungen, zuerst in Schaltanlage A ein erhöhter Handlungsbedarf vor.



**Bild 10** Vergleich der analysierten Schaltanlagen hinsichtlich der Häufigkeit von Teilentladungsereignissen

## 6 Fazit

Aufgrund der Ergebnisse, die sich aus der durchgeführten akustischen Teilentladungsdetektion ergeben haben, sollte diese auch zukünftig regelmäßig für Mittelspannungsschaltanlagen durchgeführt werden, da sich durch den Einsatz von Messtechnik ein erheblicher Mehrwert ergibt. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil, dass Wartungsmaßnahmen gezielter und vor allem auch rechtzeitig vorbeugend an den einzelnen Komponenten durchgeführt werden können.

Der Zustand der Anlagen kann fundierter und exakter erfolgen, als dieses auf Basis einer reinen Sichtkontrolle möglich wäre, gerade bei den primärtechnischen Komponenten. Durch die Wirksamkeit der einfachen Messverfahren und dem sich nur geringfügig ergebenden Mehraufwand, ist der Einsatz von Messtechnik auch aus wirtschaftlicher Sicht rentabel. Dennoch kann auf eine Sichtkontrolle keineswegs verzichtet werden, da bestimmte Punkte wie beispielsweise notwendige Abschränkungen, Beschädigungen an Gebäuden, beschädigte Schaltstangen etc. nicht mit Hilfe dieses Messverfahrens erkannt werden können. Die Kombination einer systematischen Sichtkontrolle und dem Einsatz von Messtechnik führt zu einer gesicherten Zustandsbewertung, die einen Bestandteil für Instandhaltungs- und Erneuerungsentscheidungen im Asset-Management darstellt.

## 7 Literatur

- [1] Beerboom, D. et al.: Realitätsgerechte Zustandsbewertung von Verteilungsnetzen als Basis optimierter Asset-Strategien. ETG: Diagnostik elektrischer Betriebsmittel, Fulda, 2012
- [2] König, D.; Rao, Y. N.: Teilentladungen in Betriebsmitteln der Energietechnik. Berlin · Offenbach: VDE-VERLAG, 1993
- [3] Küchler, A.: Hochspannungstechnik. Schweinfurt und Hammelburg: Springer-Verlag, 2009
- [4] DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE: DIN EN 60270:2001; VDE 0434: Hochspannungsprüftechnik: Teilentladungsmessung. Berlin: Beuth Verlag GmbH, VDE-Verlag GmbH, 2001
- [5] Davies, N. et al.: Benefits and Experiences of Non-Intrusive Partial Discharge Measurements on MV Switchgear. 19<sup>th</sup> International Conference on Electricity Distribution, Vienna, May 2007
- [6] Lundgaard, L. E.: Partial Discharge- Part XIV: Acoustic Partial Discharge Detection - Practical Application. IEEE Electrical Insulation Magazine, 1992
- [7] Hribernik, W.; Berger, K.; Pascoli, G.: Diagnose und Monitoring von Mittelspannungsschaltanlagen mittels Teilentladungsmessung. e&i Elektrotechnik und Informationstechnik, Ausgabe 12/2007, S. 430-434
- [8] Davies, N; Jones, D.: Testing Distribution Switchgear for Partial Discharge in the Laboratory and the Field. IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Vancouver, Juni 2008