

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse

**Herausgeber:** Electrosuisse

**Band:** 106 (2015)

**Heft:** 12

**Artikel:** Dielektrische Qualitätssicherung von Hochspannungsbetriebsmitteln

**Autor:** Broniecki, Ulrike / Gebhardt, Daniel

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856763>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Dielektrische Qualitätssicherung von Hochspannungsbetriebsmitteln

## Messungen in Entwicklung und Betrieb

Energietechnische Betriebsmittel sind während ihrer langen Lebensdauer starken Beanspruchungen unterschiedlichen Ursprungs ausgesetzt. Dazu zählen hohe elektrische Feldstärken, Temperaturschwankungen und starke, kurzzeitig auftretende mechanische Kräfte. Diese beschleunigen die Alterung der elektrischen Isolation, die für die Funktion des Betriebsmittels zentral ist.

Diagnosemethoden liefern einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung und Aufrechterhaltung der Betriebssicherheit solcher Betriebsmittel, da sie eine Aussage über die Veränderung des Zustands der Isolation erlauben.

**Ulrike Broniecki, Daniel Gebhardt**

Um die Betriebssicherheit von Hochspannungsbetriebsmitteln sicherstellen zu können, werden über die gesamte Entwicklungs- und Lebensdauer eines Betriebsmittels begleitende Diagnosemessungen durchgeführt. Die zur Qualitätssicherung üblichen Messungen werden hier am Beispiel eines Transfornators gezeigt. Das Prinzip ist jedoch auf andere Betriebsmittel, wie zum Beispiel Motoren, Generatoren oder Kabelanlagen übertragbar.

Vor der Bestellung eines neuen Transfornators müssen zunächst die gewünschten Spezifikationen bekannt sein. Hierzu zählen nicht nur die Leistungsdaten, sondern auch besondere Anforderungen, wie zum Beispiel eine sehr geringe Geräuschentwicklung. Darüber hinaus müssen auch die Anforderungen an die Qualitätssicherung geklärt werden, denn der Kunde möchte sicher sein, dass er ein einwandfreies Produkt erwirbt.

### Geprüfte Qualität

Zur Überprüfung des Designs und um gute Qualität zu gewährleisten, werden Hochspannungsbetriebsmittel während der Entwicklung und Fertigung in der Regel verschiedenen Standardprüfungen unterzogen. Angefangen bei Material-Eingangsprüfungen über Forschungs- und Entwicklungsprüfungen bis hin zu Typprüfungen. Die besondere Komplexität der Hochspannungstechnik und ihrer Betriebsmittel erlaubt auch heute nur

eine begrenzte Simulierbarkeit und fordert viele empirische Untersuchungen. Um Aussagen über Grenz- und Langzeitverhalten des Betriebsmittels und der verwendeten Materialien treffen zu können, werden die Untersuchungen und Prüfungen mit hoher Präzision unter Laborbedingungen durchgeführt. Bei Geräten, die in grosser Stückzahl hergestellt werden, wird zudem jedes einzelne einer Stückprüfung unterzogen. Hiermit wird sichergestellt, dass das finale Produkt allen Anforderungen hinsichtlich Fertigungs- und Montagequalität entspricht. Neben den Standardprüfungen, die in den relevanten Normen gefordert werden, können zwischen Kunde und Hersteller auch weitere Prüfungen festgesetzt werden, um spezielle Anforderungen nachzuweisen.

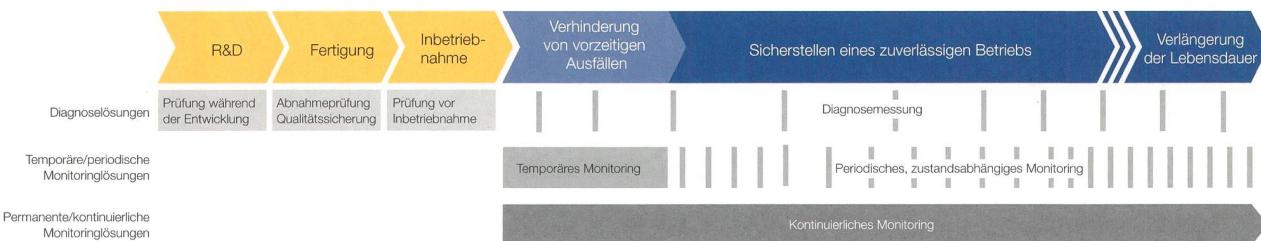


### Kleinste Schäden – grosse Folgen

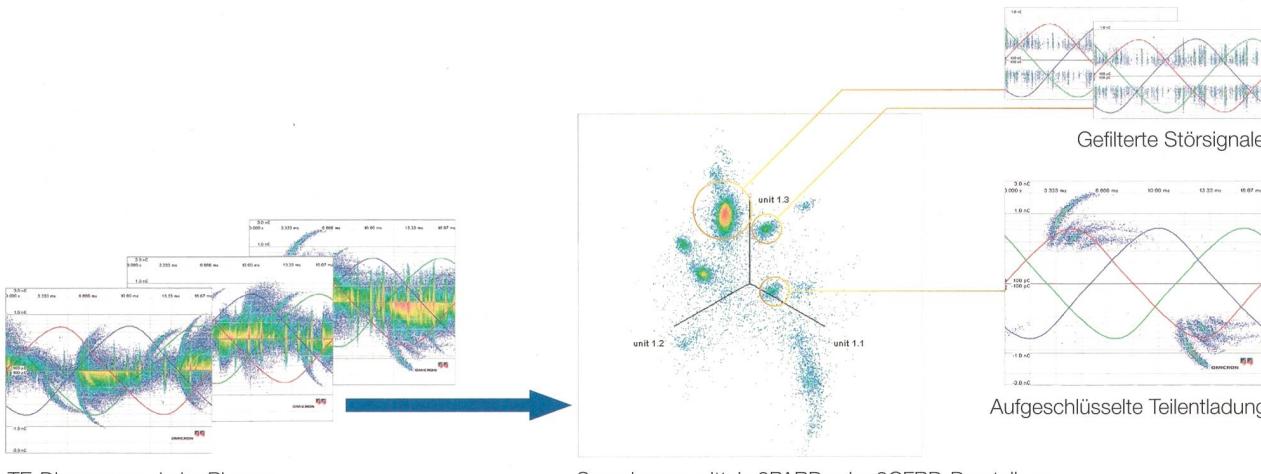
Ein wichtiger Teil der genannten Prüfungen ist die Teilentladungsmessung (Bild 1). Bei Teilentladungen (TE) handelt es sich um kleine Entladungen, die bei Belastung mit hoher elektrischer Feldstärke auftreten und eine Isolation dauerhaft schädigen (siehe Info-Kasten). Ein Durchschlag überbrückt die komplette Isolationsstrecke, eine Teilentladung nur einen kleinen Teil. Teilentladungen deuten auf Schäden oder Überbelastung in der Isolation hin. Je nach der Ursache der Teilentladungen können sie weitreichende Schäden verursachen, die bis zum Ausfall des Betriebsmittels führen können. Deshalb ist es wichtig, die Quelle der Teilentladungen zu erkennen, zu finden und wenn nötig zu beseitigen. Hierbei müssen Ladungen im Picocoulomb-Bereich bei anliegenden Spannungen im Bereich von Kilovolt sicher und zuverlässig erkannt werden. Äussere Störer müssen identifizierbar sein und sich wo möglich filtern oder unterdrücken lassen.

Hat der Transfornator nach der Fertigstellung alle geforderten Prüfungen bestanden, ist es sinnvoll, vor dem Transport eine «Frequency Response Analysis (FRA)» zu machen (siehe Info-Kasten). Mit Hilfe der FRA können mechanische Veränderungen des Aktivteils erkannt werden. Diese Messung dient als Referenz für zukünftige Messungen und stellt den intakten Zustand dar. Alle zukünfti-

**Bild 1** Beispielapplikation: Teilentladungsdiagnose am Transfornator.



**Bild 2** Massnahmen zur Qualitätssicherung während der Entwicklung, Fertigung und Lebensdauer des Betriebsmittels.



TE-Diagramme dreier Phasen, teilweise überlagert oder mit Störsignalen

Separierung mittels 3PARD oder 3CFRD-Darstellung

Aufgeschlüsselte Teilentladung

**Bild 3** Durch spezielle Methoden werden Störquellen ausgeblendet. Dadurch lassen sich unterschiedlich TE-Quellen einfacher separat voneinander analysieren.

gen Messungen werden mit dieser Messung verglichen und Abweichungen müssen untersucht werden.

Bei allen Hochspannungsbetriebsmitteln, aber besonders bei Grosstransformatoren, ist es wichtig, die funktionale und dielektrische Unversehrtheit nach dem Transport zu überprüfen. Die gebräuchlichsten Methoden sind die FRA und die Teilentladungsmessung.

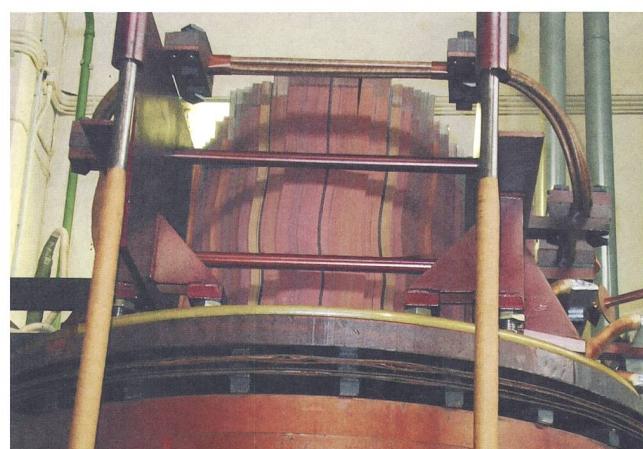
Unsachgemäßes Handling während des Transports und der Aufstellung, das zu inneren mechanischen Schädigungen führt, kann durch den Vergleich mit der Referenzmessung aus der Fabrik erkannt werden.

Wird während der Inbetriebnahme eine TE-Messung durchgeführt, können hierdurch nicht nur mögliche Transporteinflüsse auf das Dielektrikum erkannt werden. Es wird auch eine Qualitätskontrolle aller vor Ort installierten Hochspannungsbauenteile – zum Beispiel Durchführung – vorgenommen.

### Betrieb – und jetzt?

Hat das Betriebsmittel alle Prüfungen erfolgreich bestanden, kann es in Betrieb

gehen und der zweite Teil der Qualitäts sicherung beginnt (**Bild 2**). Für die Betriebsdauer müssen strategische Entscheidungen zur weiteren Wartung und Über wachung getroffen werden. Im Rahmen eines Flottenmanagements, zur Erhöhung der Verfügbarkeit und Planungssicherheit, aber auch zur Werterhaltung ist eine regelmässige Wartung bei Grosstransformatoren und anderen grossen Hochspannungsbetriebsmitteln Stand der Technik. Die üblicherweise angewandten Diagnosemöglichkeiten beschränken sich allerdings auf einen kleinen Ausschnitt aus der Palette der Möglichkeiten der dielektrischen Diagnostik. So beschränkt man sich bei Transformatoren häufig auf die Gas-in-Öl-Analyse (DGA) als regelmässige Diagnosemessung. Grösserer diagnostischer Aufwand wird meist erst betrieben, wenn der Transformator bei der regelmässigen Wartung Auffälligkeiten zeigt. Auch nach Störfällen an den Betriebsmitteln oder im Netz, mit direktem



**Bild 4** Deformierter Trafokern.

Einfluss auf die Betriebsmittel, werden weitergehende diagnostische Messungen vorgenommen. Zum Spektrum der Messungen für diese erweiterte Diagnose zählen unter anderem: Teilentladungsmes-

### Empfohlene Messungen

#### Teilentladungsmessung

Die Teilentladungsmessung ermöglicht eine Analyse der Isolierung bezüglich kleinsten Schädigungen. Teilentladungen (TE) sind kleinste Entladungen, die in Schwach- und Fehlstellen der Isolation auftreten (Bild 3). Durch den kurzzeitigen, hohen Energieeintrag des Mikro-Lichtbogens wird die Schädigung des Isoliermaterials vorangetrieben. Die lokale Schwächung der Isolation führt irgendwann zu einem vollständigen Isolationsversagen. [www.omicron.at/MPD600](http://www.omicron.at/MPD600)

#### Frequenzganganalyse

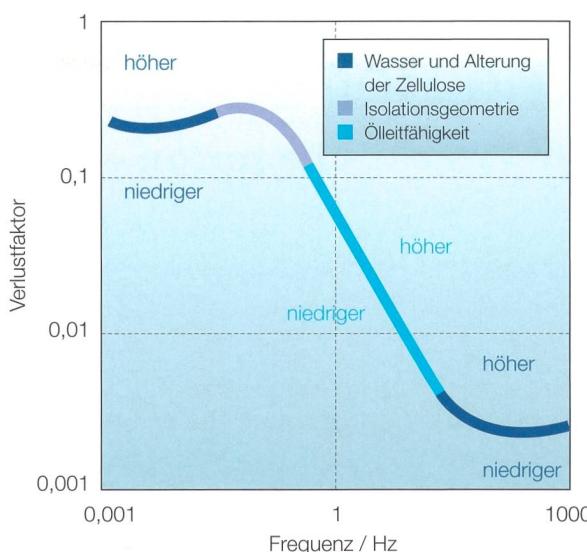
Die Frequenzganganalyse (FRA) wird durchgeführt, um die elektrische und mechanische Unversehrtheit des Aktivteils (Wicklungen, Kern, Verbindungen, Zuführungen) zu überprüfen (Bild 4).

Bei der Frequenzganganalyse (FRA) wird eine aktuelle Messung mit einer zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführten Referenzmessung (Fingerprint) verglichen. Ist keine Referenz verfügbar, kann eine andere Phase oder ein baugleicher Transfator für den Vergleich herangezogen werden. Immer mehr Energieversorgungsunternehmen nutzen die FRA bei Routineprüfungen, weil damit zahlreiche Fehler nichtinvasiv ermittelt werden können. Die FRA ist die beste Messmethode zur Prüfung mechanischer Unversehrtheit. [www.omicron.at/FRAnalyzer](http://www.omicron.at/FRAnalyzer)

#### Dielektrische Antwortmessung

Mit der Analyse der dielektrischen Eigenschaften kann der Wassergehalt in der festen Isolation (Zellulose) bewertet und ihr Zustand überwacht werden. Den Wassergehalt zu kennen, ist wichtig für die Zustandsbestimmung der Durchführungen und des Aktivteils eines Transfators.

Wird der Verlustfaktor eines Transfators über einen breiten Frequenzbereich gemessen, lassen sich anhand der dielektrischen Antwort Aussagen über den Isolationszustand treffen (Bild 5). Prüfzeiten lassen sich durch die Kombination der dielektrischen Spektroskopie (FDS) für hohe Frequenzen mit dem Zeitbereichsverfahren (PDC) für niedrige Frequenzen reduzieren. Die gemessenen Werte ermöglichen auch eine Isolationsdiagnose bei Generatoren, Motoren, Wandlern und Kabeln. [www.omicron.at/DIRANA](http://www.omicron.at/DIRANA)



Bilder: Omicron

**Bild 5** Einflussfaktoren auf den frequenzabhängigen Verlustfaktor.

sung, Dielektrische Antwortmessung (siehe Info-Kasten), FRA, Wicklungswiderstand, Leerlaufimpedanz, Leerlaufstrom, Übersetzungsmessung, Isolationswiderstand und die Kapazitäts- und Verlustfaktormessung.

#### Dauernd unter Aufsicht

Bei Geräten mit besonderen Anforderungen an die Verfügbarkeit, an exponierten Netzpositionen oder mit aussergewöhnlichen Lasten, kann es nötig sein, den Transfator kontinuierlich zu überwachen.

Dieses Online-Monitoring kann nicht alle bisher genannten diagnostischen Grössen erfassen, da einige von ihnen nur offline zugänglich sind. Die Erfassung und Aufzeichnung von Teilentladungen, Verlustfaktoren der Durchführungen und der Gas-in-Öl-Analyse sind etablierte Tools bei Grosstransformatoren und können ein Bild liefern, auf dessen Basis über zustandsbedingte Wartung und erweiterte, zustandsbedingte Diagnosemessungen entschieden werden

kann. Auf Grundlage des kontinuierlichen Monitoring können die Intervalle zwischen den Wartungen bzw. Diagnosemessungen optimal angepasst werden.

Am Lebensende eines Transfators lassen sich noch Daten für das Flottenmanagement und für Schwestertransformatoren sammeln. Diese Daten ermöglichen teilweise den Weiterbetrieb von Hochspannungsbetriebsmitteln über die Auslegebenddauer hinaus und dadurch eine optimale Nutzung der Investitionen.

#### Autoren

**Ulrike Broniecki** studierte Elektrotechnik mit dem Schwerpunkt elektrische Energietechnik an der TU Berlin. Von 2008 bis 2014 war sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Hochspannungstechnik der TU Berlin tätig. Seit 2014 ist sie bei Omicron als Applikationsingenieurin für Monitoring tätig.

Omicron Energy Solutions, DE-12099 Berlin  
[ulrike.broniecki@omicron.at](mailto:ulrike.broniecki@omicron.at)

**Daniel Gebhardt** studierte Elektrotechnik und Hochspannungstechnik an der TU Berlin. Während des Studiums beschäftigte er sich mit der dielektrischen Auslegung von Leistungsschaltern. Er ist seit 2013 bei Omicron als Experte für Teilentladungsmessungen im Bereich der Diagnostik und des Monitoring tätig.

[daniel.gebhardt@omicron.at](mailto:daniel.gebhardt@omicron.at)

#### Résumé

#### L'assurance qualité diélectrique des équipements à haute tension

##### Mesures en cours de conception et d'exploitation

À cours de leur longue durée de vie, les équipements utilisés dans le domaine du génie énergétique sont exposés à d'importantes contraintes de diverses origines : parmi elles, des champs électriques élevés, des variations de température, ainsi que d'importantes et brèves forces mécaniques. Ces phénomènes accélèrent le vieillissement de l'isolation électrique essentielle au fonctionnement de l'équipement. Les méthodes de diagnostic, telles que les mesures de décharges partielles, les analyses de réponses en fréquence et la mesure de la réponse diélectrique, apportent une contribution importante à l'assurance qualité et au maintien de la sécurité d'exploitation de ces équipements. En effet, ces techniques permettent entre autres de fournir des informations sur la modification de l'état de l'isolation.

No