

# Elektromagnetische Teilentladungsmessung an Leistungstransformatoren

Dipl.-Ing. Sebastian Coenen, Prof. Dr.-Ing. Stefan Tenbohlen, Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik, Universität Stuttgart, Deutschland  
Dipl.-Ing. Sacha Markalous, Lemke Diagnostics GmbH, Volkersdorf/Dresden, Deutschland

## Kurzfassung

Zur Überprüfung und Diagnose der Isolationsqualität hochspannungstechnischer Geräte wird die Messung von Teilentladungen (TE) durchgeführt. Bei Anwendung der konventionellen Teilentladungsmessung nach IEC60270 im Feld kann das Messergebnis durch den hohen Störpegel nur beschränkt aussagekräftig oder unter Umständen gar nicht brauchbar sein. Die Entwicklung einer unkonventionellen Messmethode auf Basis elektromagnetischer Sensoren wird vorgestellt. Diese Sensoren werden über einen normalerweise zur Ölbefüllung benutzten Flachkeilschieber bei laufendem Betrieb in den Transformator eingeführt. Durch die Schirmungseigenschaften des Transformatorbessels sind externe elektromagnetische Störungen minimiert und ermöglichen Messungen mit hohem Signal-Rausch-Abstand. Untersucht werden die Dämpfungseigenschaften verschiedener Materialien innerhalb von Transformatoren in Bezug auf die elektromagnetischen Wellen. Weiterhin werden stehende Wellen innerhalb von Transformatoren analytisch berechnet und beobachtet. Zur Funktionsprüfung von UHF-Sensoren wird der Performance-Check vorgestellt. Weiterhin bietet die UHF-Messmethode die Möglichkeit, die elektrische Messung nach IEC60270 zu ergänzen und somit unempfindlicher gegen Störungen zu machen.

## 1 Einleitung

In zunehmenden Maße entsteht der Bedarf, die bestehende Isolationsqualität von Öl/Papierisolierten Transformatoren vor Ort oder im Betrieb zu überprüfen. Ein wichtiges Kriterium stellt dabei die Messung der Teilentladungen (TE) dar. TE unter Öl sind sehr schnelle elektrische Prozesse und strahlen elektromagnetische Wellen mit Frequenzen bis in den ultrahohen Bereich (300 – 3000 MHz) ab. Ausgekoppelt werden diese elektromagnetischen Wellen durch UHF-Sensoren, beispielsweise wie in **Bild 1** zu sehen. Diese Sensoren können über einen zur Ölbefüllung benutzten Flachkeilschieber bei laufendem Betrieb in das Innere des Transformators geführt werden.



**Bild 1** UHF-Kegelsensor mit Schubstange, Gehäuse und Flansch für die Online-Messung

Durch die Ausnutzung des Transformatorbessels als Schirmung von externen elektromagnetischen Wellen,

kann eine klare Entscheidung über die TE-Aktivität des Prüflings getroffen werden. Voraussetzung dafür ist die mäßig gedämpfte Ausbreitung der UHF-Signale im Inneren des Transformators durch die vorkommenden Isolationsmaterialien und Strukturen. Wegen fehlender Kalibrierungsmöglichkeit der UHF-Messmethode ist es notwendig, die applizierten Sensoren auf ihre Funktion zu überprüfen. Zwei generelle Methoden sind denkbar und sind Bestandteil dieses Beitrages. Mit Hilfe der installierten UHF-Messsysteme ist es möglich, die elektrische Messmethode nach IEC60270 vorteilhaft zu ergänzen.

## 2 Detektion und Eigenschaften der elektromagnetischen UHF-TE-Signale

### 2.1 Dämpfung von elektromagnetischen Signalen

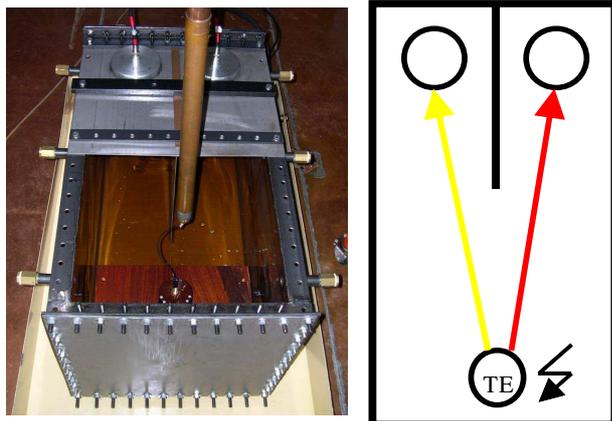
UHF-TE-Signale passieren auf ihrem Weg zum Messsystem verschiedene Isolationsmaterialien, wie Öl und Papier sowie Strukturen, beispielsweise komplette Wicklungen. Im Folgenden wird die generelle Beeinflussung der UHF-TE-Signale durch oben genannte Materialien und Strukturen dargestellt. Ziel der Untersuchungen war es, weniger die komplette frequenzabhängige Dämpfung als eher eine integrale Aussage über die Beeinflussung zu treffen. In entsprechenden Experimenten wurden die dominierenden Materialien und Strukturen von Öl/Papierisolierten Transformatoren

ren verwendet. Im Einzelnen waren das 8,2 cm dicke Pressboard, ein 0,5 cm breiter Spalt in einer Metallplatte sowie ein Teil einer Scheibenwicklung. Zusammen mit dem verwendeten Isolieröl stellen sie nahezu die Gesamtheit der Materialien eines Transformators dar, die für die Beeinflussung der UHF-TE-Signale relevant sind.

Zur Vergleichbarkeit der vorgenommenen UHF-Messungen wurden simultan mit einer elektrischen Messung nach IEC60270 die entsprechende scheinbare Ladung der untersuchten UHF-Signalquelle bestimmt. Die UHF-Impulse wurden unverstärkt mit einem Transientenrekorder mit einer analogen Bandbreite von 3 GHz gemessen.

Ein wichtiger Aspekt der Versuche war die Bedingung, stets ein und dasselbe UHF-Signal mit zwei unabhängigen Scheibensensoren zu messen. Die gesamten Ausbreitungswege, Scheibensensoren und Anschlusskabel mussten so ähnlich und symmetrisch wie möglich sein. So konnte der Einfluss einer Struktur, die nur in einem der beiden Ausbreitungswege eingebracht wurde, direkt durch Vergleich der beiden gleichzeitig gemessenen Signale analysiert werden. Dabei wurden drei Vergleiche angewendet: 1) Vergleich der Zeitsignale, 2) Vergleich der Signalspektren und 3) Vergleich der Signalenergie der UHF-Signale.

Der experimentelle Aufbau bestand aus einem halb geschlossenen Metallkessel ( $1,0 \times 0,5 \times 0,5$  m<sup>3</sup>), einer Spitze-Kugel Anordnung als TE-Quelle, zweier identischer Scheibensensoren mit zugehörigem Messkabel und einem Transientenrekorder. Die beiden Sensoren waren durch einen Metallwand elektromagnetisch voneinander entkoppelt. Die geschlossene Hälfte des Kessels war so in zwei Teile geteilt. In **Bild 2** ist dieser sogenannte „Zwei-Wege-Aufbau“ illustriert.



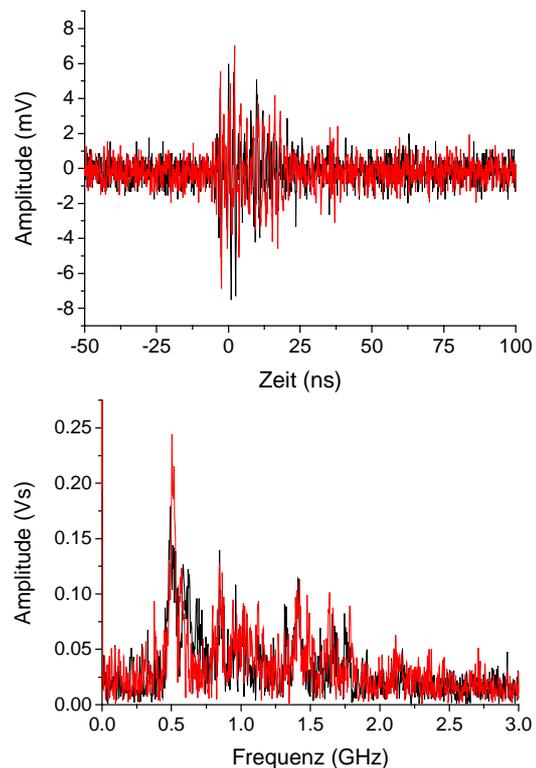
**Bild 2** „Zwei-Wege-Aufbau“; links: Photo, rechts: Schema des Aufbaus

Der Vorteil dieser Anordnung ist die Möglichkeit, ein und denselben UHF-Impuls messen zu können. Alternativ zwei UHF-Impulse gleicher scheinbarer Ladung zu untersuchen ist nicht zielführend, da bisher keine eindeutige Beziehung der UHF-Signale zur scheinba-

ren Ladung gefunden wurde und Impulse gleicher elektrischer Ladung nicht zwangsläufig die gleichen elektromagnetischen Signale emittieren.

Den verschiedenen Tests mit Materialien und Strukturen gingen zunächst Referenzmessungen bei ausschließlicher Ölbefüllung des Kessels voraus. Sie sollten die größtmögliche Ähnlichkeit der theoretisch identischen Signale verifizieren.

In **Bild 3** sind die simultan aufgezeichneten UHF-Impulse einer 3,7 pC TE im „Zwei-Wege-Aufbau“ und deren dazugehörige Spektren gezeigt.



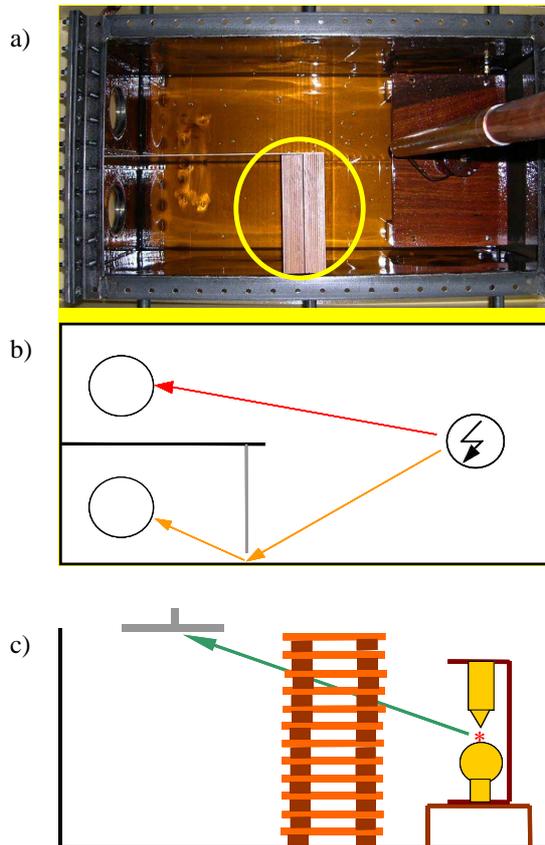
**Bild 3** Simultan aufgezeichnete UHF-Signale einer 3,7 pC TE; Zeit- und Frequenzsignal, beide Signale (rot und schwarz) bei reiner Ölbefüllung

Die hohe Ähnlichkeit der Signale im Zeit- und Frequenzbereich ist offensichtlich, jedoch fehlt eine unmittelbare quantitative Bewertungsmöglichkeit. Als einfache Beurteilung der Ähnlichkeit der Signale wurde die Signalenergie der Impulse als Kriterium ausgewählt. Eine Seite im „Zwei-Wege-Aufbau“ diente stets als Referenzseite bei alleiniger Ölbefüllung. Die gemessenen und berechneten Signalenergien wurden zu dieser Referenzseite in Relation gebracht. Die relative Abweichung ist ein quantitativer Wert für die Beeinflussung, bzw. Dämpfung der Signalenergie durch die eingebrachten Materialien und Strukturen.

Bei der Referenzmessung mit ausschließlicher Ölbefüllung ergab sich eine relative Abweichung von 4,27% (-0,19 dB) mit einer Standardabweichung von 4,36% in einer Messreihe von sieben Entladungen mit dem elektrischen Ladungspegel zwischen 1,8 und 3,7

pC. Diese Standardabweichung der relativen Abweichung kann als Unsicherheit für die nachfolgenden Materialtests gesehen werden, wobei die vorhandene Unsymmetrie wahrscheinlich größtenteils durch die stochastische Natur der elektromagnetischen Abstrahlung der TE-Quelle selbst und weniger durch den Aufbau hervorgerufen wird.

In **Bild 4** sind die durchgeführten Experimente mit verschiedenen Materialien und Strukturen illustriert.



**Bild 4** Verschiedene Materialien im „Zwei-Wege-Aufbau“ zur Überprüfung der Dämpfung; a) Photo: 8,2 cm dickes Pressboard im gelben Kreis, b) Schema: 0,5 cm breiter Metallplattenspalt, c) Schema: Signallaufpfad durch Scheibenwicklung

Die Zeitsignale und Spektren der Experimente mit Pressboard und mit der Scheibenwicklung wiesen eine große Ähnlichkeit auf. Lediglich eine zeitliche Verschiebung aufgrund der unterschiedlichen involvierten  $\epsilon_r$  war sichtbar und lag im Bereich von 200 – 300 ps. Die Signale, die den 0,5 cm Spalt passierten, erfuhren eine stärkere Beeinflussung. Die zeitlichen Verzögerungen lagen hier zwischen 2,9 und 5 ns. Auch die Spektren zeigten eine gewisse Dämpfung. Bezüglich der Dämpfung der Signalenergien wurden für die drei Experimente die folgenden Werte ermittelt:

34,46 % (-1,83 dB) für das 8,2 cm dicke Pressboard;  
Standardabweichung 4,28 %  
Ladungspegel: 2,7 – 6,9 pC

46,31 % (-2,70 dB) für den 0,5 cm Metallplattenspalt  
Standardabweichung: 8,30 %  
Ladungspegel: 2,7 – 6,9 pC

38,25 % (-2,09 dB) für die Scheibenwicklung  
Standardabweichung: 8,87 %  
Ladungspegel: 2,1 – 7,1 pC

Zusammenfassend folgt aus den durchgeführten Experimenten die Annahme, dass sich elektromagnetische UHF-TE-Signale innerhalb des gesamten Transformators mit vergleichsweise kleinen Dämpfungsfaktoren ausbreiten können. Für TE, die zwischen den Wicklungen entstehen sind zwei Ausbreitungswege denkbar. Zum Einen ist die Ausbreitung im Streuspalt zwischen Unter- und Oberspannungswicklung, zum Anderen sogar durch die Scheibenwicklung hindurch möglich [Markalous, 2006].

## 2.2 Hohlraumresonanzen innerhalb von Transformatoren

Die messbaren UHF Spektren von unterschiedlichen TE-Quellen im Inneren von Transformatoren sind außer von den abgestrahlten Spektren von den Transferfunktionen aller Materialien und Strukturen abhängig, die sich im Ausbreitungsweg der UHF-Signale zwischen der TE-Quelle und dem Messsystem befinden, einschließlich der Transferfunktionen von Sensor und Kabel. Zu beachten sind weiterhin die Dämpfungen, Beugungen und Reflexionen der Signale an Windungen oder am Eisenkern. Der Transformator-kessel ist ein nahezu geschlossener Metallkäfig und stellt bei entsprechender Anregung einen Resonator für elektromagnetische Signale dar. Diese Hohlraumresonanzen konnten unter Laborbedingungen nachgewiesen werden.

### 2.2.1 Theoretischer Hintergrund

Betrachtet man den Transformator-kessel als dreidimensionalen Hohlraum, der durch perfekt leitende Flächen gebildet wird, so beschreibt die folgende Gleichung die analytisch berechenbaren Hohlraumresonanzen:

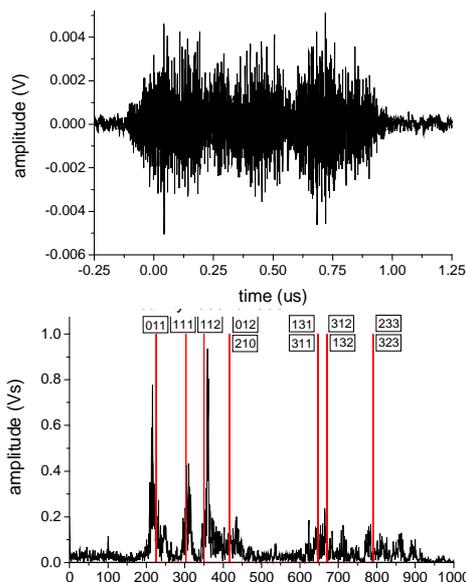
$$f_{mnp} = \frac{c_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}$$

$c_0$  repräsentiert hier die Lichtgeschwindigkeit,  $\epsilon_r$  von Öl kann hier als 2,2 abgeschätzt werden,  $a$ ,  $b$  und  $c$  sind die geometrischen Dimensionen des Transformator-kessels. Für sinnvolle Berechnungen der Hohlraumresonanzen sollten  $m$ ,  $n$  und  $p$  ganzzahlig gewählt werden, wobei mindestens zwei von null verschieden sein sollten [Lehner, 1996]. Resonanzen größerer Transformator-kessel liegen im Größenordnungsbe-reich von 10 MHz. Zum Beispiel ein Kessel mit den Abmessungen  $(7,0 \times 2,5 \times 3,5) \text{ m}^3$  besitzt die erste analytisch berechenbare Resonanzfrequenz bei 32 MHz.

Die Gleichung oben beschreibt die Resonanzfrequenzen leerer Hohlräume, d. h. ohne weitere leitende oder potentialführende Teile im Inneren. Untersuchungen mit Laboren als Hohlräumen zeigen, dass interne Aufbauten die Hohlraumresonanzen verstimmen oder dämpfen können [König, 1993].

### 2.2.2 Laboruntersuchungen

Um das Auftreten von Hohlraumresonanzen bei UHF-Signalen zu untersuchen, wurde ein Testkessel mit den Abmessungen  $(1,0 \times 0,5 \times 0,5) \text{ m}^3$  mit einer Spitze-Platte TE-Quelle ausgestattet und mit Isolieröl gefüllt. Zur Auskopplung der elektromagnetischen Signale wurde ein Monopol mit einer 3 dB Dämpfungszelle in Kombination mit einem Transientenrekorder mit einer analogen Bandbreite von 3 GHz verwendet. Gleichzeitig wurde mit einem weiteren Transientenrekorder eine TE-Messung nach IEC60270 durchgeführt. Ohne Verstärkung und mit einer Bandbreite von 1 GHz konnten damit scheinbare Ladungspegel von mindestens 50 pC detektiert werden.



**Bild 5** UHF-Zeitsignal und Frequenzspektrum (mit eingezeichneten Hohlraumresonanzfrequenzen) einer 285 pC TE

Aufgrund der mehrfachen Reflexionen der elektro-magnetischen Wellen innerhalb des Transformator-kessels lag die Dauer der messbaren Signale im Bereich von 1000 ns, siehe **Bild 5**. Im zugehörigen Spektrum sind die analytisch berechneten Hohlraumresonanzen illustriert [Markalous, 2005].

Somit konnte das Auftreten von Hohlraumresonanzen mit Hilfe des vorgestellten Laborversuchs nachgewiesen werden. Allerdings steigt die Anzahl möglicher Resonanzen mit der zunehmenden Größe von Transformator-kesseln immens an, d. h. messbare Resonanzen sind nicht zwangsläufig auf Hohlraumresonanzen zurückzuführen. Allerdings ist das Wissen um die Existenz solcher Resonanzen von Vorteil für die Erforschung und Entwicklung von schmalbandigen Mes-sungen.

## 3 Performance Check

Zur Detektion von TE im Betrieb von Leistungstran-sformatoren werden UHF-Ölflanschsensoren, wie in **Bild 1** abgebildet, verwendet. Sie sind für die Anbringung im Betrieb geeignet und koppeln UHF-Signale aus dem Inneren des Transformators aus. Nachteilig für die UHF-Messmethode ist, dass bisher keine Kalibrierungsmöglichkeit gefunden wurde. Ebenso war es bisher nicht möglich, die angeflanschte und in das Innere des Transformators geführte Antenne auf Funktionalität zu prüfen. Denkbar sind zwei im Folgenden vorgestellte Methoden für einen sogenannten Performance Check. Ziel ist eine sichere Aussage über das Funktionieren des gesamten Signalausbreitungsweges vom Sensor über die Kabel bis hin zum Transientenrekorder zu treffen.

Das Prinzip des „Ein-Tor“-Performance Checks basiert auf der Möglichkeit, über das gleiche Tor (hier ein Ölflansch eines Transformators) hochfrequente elektromagnetische Signale isoliert vom Empfangs-pfad einzukoppeln und mit dem Empfangspfad wieder zu empfangen. Beim „Zwei-Tor“-Performance Check wird ein zweites Tor (ein zweiter Ölflansch) zur Einspeisung der hochfrequenten Signale benutzt, um den Sensor am ersten Tor zur überprüfen. Dies setzt natür-lich das Vorhandensein eines zweiten Tores voraus.

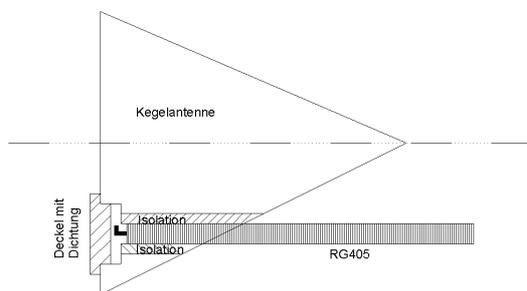
Zur Einspeisung eines hochfrequenten Signals wird ein UHF-Signalgenerator benutzt, dessen Signalspek-trum sich nicht wesentlich von dem einer TE unter-scheidet. Durch die Ausnutzung von Avalanche-Transistoren werden Signalanstiegszeiten im Bereich von 350 ps (10% Amplitude – 90% Amplitude) bei einer Pulshalbwertsbreite von 450 ps (50% Amplitude) über einer 50 Ohm Messimpedanz realisiert. Das erzielbare Spektrum weist Frequenzanteile bis 2 GHz auf.

### 3.1 „Ein-Tor“ Performance Check

In einen neu entwickelten Sensor wurde eine monopolarartige isolierte Elektrode integriert. Die Einspeisung des vorgestellten hochfrequenten Signals, bewirkt die Abstrahlung und Überkopplung von UHF-Signalen auf den Sensor und ermöglicht die im Folgenden beschriebene Funktionsprüfung des Sensors.

#### 3.1.1 Überkopplung von UHF-Signalen

Durch die Integration der monopolarartigen isolierten Elektrode in den Kegelsensor gemäß der schematischen Darstellung in **Bild 6**, ist eine parallele Leitungsführung in der Schubstange des Sensorgehäuses nötig.



**Bild 6** Schematische Darstellung der integrierten isolierten monopolarartigen Elektrode

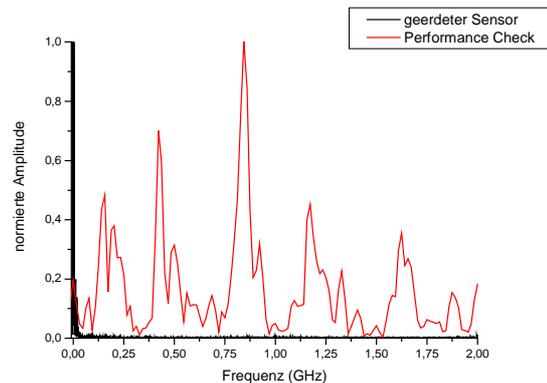
Voraussetzung für den Funktionstest des Kegelsensors ist die Vermeidung der Überkopplung der elektromagnetischen Signale auf dem parallelen Leitungsstück. Die Leitungslängen ermöglichen eine Abschätzung der Signallaufzeit auf ca. 5 ns, im Falle der ausschließlichen Überkopplung zwischen isolierter Elektrode und Kegelsensor. Diese theoretische Laufzeitdifferenz konnte in einem Laborversuch bestätigt werden.

Eine weitere Voraussetzung für eine aussagekräftige Funktionsüberprüfung ist die sichere Erkennung einer fehlerhaften Sensorinstallation. Denkbar ist beispielsweise, dass der Sensor durch den Kontakt zur Kesselwand geerdet wird und möglicherweise keine hochfrequenten Signale auskoppeln kann. Bei einer Referenzmessung wird der komplett montierte Sensor mit integriertem Monopol auf einem Labortisch liegend punktförmig geerdet. Das messbare Zeitsignal resultiert in einem Spektrum, das keine nennenswerten hochfrequenten Anteile aufweist (siehe **Bild 7**, dicke schwarze Linie).

Somit erfüllt der Funktionstest seine Aufgabe und ermöglicht den Nachweis der korrekten Sensorinstallation.

### 3.1.2 Laboruntersuchung am Trafokessel

Die Funktion des Performance Checks wird in einem letzten Schritt mit dem angeflanschten Sensor an einen Versuchskessel im Labor untersucht. Verwendet wird der oben beschriebene Signalgenerator und ein Transientenrekorder mit der analogen Bandbreite von 2 GHz. Nach Einspeisung des Signals konnte das Zeitsignal und Frequenzspektrum in **Bild 7** empfangen werden.

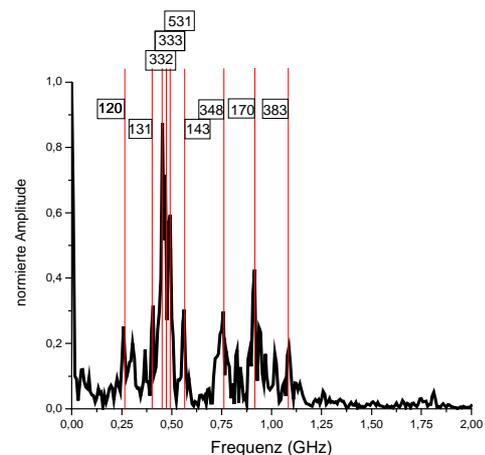


**Bild 7** Spektrum des geerdeten Sensors (dicke schwarze Linie) im Vergleich zum fehlerfreien Sensor im Trafokessel (dünne rote Linie) bei gleichem eingespeistem Signal

Deutlich zu erkennen sind die hochfrequenten Signalanteile bis 2 GHz. Somit ist die klare Aussage möglich, dass der komplette Empfangspfad vom UHF-Sensor zum Transientenrekorder korrekt installiert ist.

### 3.2 „Zwei-Tor“ Performance Check

Bei vorhandenem zweitem Ölschieber ist ein „Zwei-Tor“ Performance Check durchführbar.

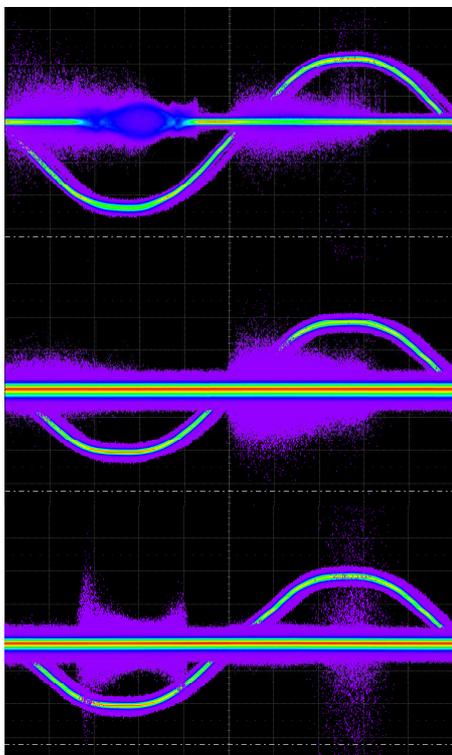


**Bild 8** Empfangens Spektrum bei eingespeistem Signal an einem weiteren Monopol im Versuchskessel

In einem beispielhaften Laborversuch wurde ein als Monopol ausgeführter Ölflanschsensor in einen zweiten Ölschieber des Versuchskessels eingebracht. Das mit dem beschriebenen UHF-Signalgenerator eingespeiste UHF-Signal konnte mit dem vorgestellten Kegelsensor empfangen werden. Das zugehörige Spektrum (**Bild 8**) weist wiederum die bekannten Hohlraumresonanzen auf. Denkbar ist durch weitere Untersuchungen eine Sensitivitätsabschätzung der UHF-Messmethode mit Hilfe eines UHF-Signalgenerators mit variabler Ausgangsleistung zu erreichen. Eine entsprechend hoch eingestellte Ausgangsleistung simuliert einen bekannten TE-Pegel und ermöglicht so die Sensitivitätsabschätzung. Zur Verifikation der empfangenen Signale wurde eine Messung mit einer realen TE herangezogen. Da das resultierende Spektrum der 665 pC vergleichbare Frequenzanteile aufweist, ist das künstlich erzeugte UHF-Signal des Signalgenerators zur Überprüfung des Messsystems geeignet.

#### 4 Kombination der elektrischen und der UHF-Messmethode

Eine weitere Möglichkeit die Empfindlichkeit der TE-Detektion zu erhöhen ist die Kombination der elektrischen Messmethode nach IEC60270 mit der UHF-Messmethode.



**Bild 9** Fenstern der elektrischen Messung mit Hilfe der UHF-Messmethode

Empfindlichkeitseinschränkend bei der elektrischen Messung ist die Tatsache, dass nicht ortselektiv gemessen werden kann. D. h. mögliche Koronaentladung werden unter Umständen mit erfasst. Mit Hilfe der vorgestellten UHF-Sensoren, die nur Signale aus dem Inneren auskoppeln, kann eine klare Aussage über den Ort einer TE gemacht werden. Diese Zusatzinformation kann für die elektrische Messung hilfreich sein. Vorstellbar ist das Fenstern (engl. Gating) der elektrischen Messung, d. h. ein Aktivieren der Messung bei Auftreten von UHF-Signalen aus dem Trafoinneren. Zu Erkennen sind im oberen Teil von **Bild 9** die elektrisch gemessenen Signale, die sich aus den Signalen der internen und externen TE-Quelle zusammensetzen. Das mittlere Signal zeigt die UHF-TE-Signale eines trafoinneren Sensors. Das untere Signal zeigt die UHF-TE-Signale eines äußeren UHF-Sensors in der Nähe einer künstlichen Koronaentladung. Bei den beiden unteren Signalen ist somit eine Unterscheidung nach innerer und äußerer TE möglich.

#### 5 Zusammenfassung

Die Detektion von TE kann mit Hilfe von UHF-Ölflanschsensoren sehr störungsempfindlich im laufenden Betrieb von Transformatoren erfolgen. UHF-TE-Signale erfahren eine geringe Dämpfung und regen unter Umständen Hohlraumresonanzen an, die eine schmalbandige Messung mit großem Signal-Rausch-Abstand ermöglichen. Die Sensorik der UHF-Messmethode kann mit Hilfe eines Performance Checks auf ihre Funktionalität überprüft werden. Die Weiterentwicklung des „Zwei-Tor“ Performance Checks zu einer Sensitivitätsabschätzung wird angestrebt. Die vorgestellte UHF-Methode kann hilfreiche Zusatzinformationen über den Ort der TE liefern und durch das sogenannte „Gating“ die elektrische Messung nach IEC60270 sinnvoll ergänzen.

#### 6 Literatur

- [Markalous, 2006] S. Markalous, Neues Verfahren zur On-site Ortung von TE in Transformatoren, HS-Symposium 2006, Stuttgart
- [Lehner, 1996] G. Lehner, Elektromagnetische Feldtheorie für Ingenieure und Physiker, Springer Verlag, 3. Edition, 1996
- [König, 1993] D. König, Y.Narayana Rao, Teilentladungen in Betriebsmitteln der Energietechnik, VDE Verlag, 1993
- [Markalous, 2005] S. Markalous, Improvement of Acoustic Detection and Localization Accuracy by Sensitive Electromagnetic PD Measurements under Oil in the UHF Range, 14<sup>th</sup> ISH, Beijing, China, 2005