

Teilentladungs-Messungen an gasisolierten, metallgekapselten Anlagen vor Ort

1. Einleitung

Gasisolierte, metallgekapselte Schaltanlagen (GIS) sollen nach Errichten vor Ort einer Hochspannungsprüfung unterzogen werden, um eine einwandfreie dielektrische Festigkeit sicherzustellen /1, 2/. Welche Spannungsform am meisten geeignet ist, die in solchen Anlagen mögliche Fehler und Störstellen aufzufinden, ist in vielen Untersuchungen behandelt worden /3-9/. Dabei hat es sich gezeigt, daß es eine ideale Spannungsform nicht gibt. Durch eine Wechsellspannungsprüfung, insbesondere wenn sie mit einer Teilentladungs-(TE-) Messung ausreichend hoher Empfindlichkeit kombiniert wird, können viele typische Fehler und Störstellen erfaßt werden /4, 8/.

Daneben wird z. Z. vermehrt über die TE-Messung auch als Mittel zur Diagnose von in Betrieb befindlichen Anlagen diskutiert /10/. Als Meßtechnik kommen neben der konventionellen, elektrischen TE-Meßtechnik /11/ auch andere elektrische und nichtelektrische Meßverfahren, wie UHF-Technik /12/ und akustische TE-Messung /13/ zum Einsatz.

2. Aufbau und Isolationssystem gasisolierter, metallgekapselter Schaltanlagen

Gasisolierte, metallgekapselte Schaltanlagen bestehen aus Baustein- bzw. Baukastensystemen, die eine Vielzahl von Schaltungsvarianten und räumlichen Anordnungen erlauben.

Bild 1 zeigt als Beispiel ein SF₆-isoliertes, metallgekapseltes Schaltfeld. Man erkennt verschiedene Baugruppen bzw. Bausteine, z. B. Sammelschiene, Sammelschienentrennschalter, Leistungsschalter, Stromwandler, Spannungswandler, Abgangtrennschalter, Erdungsschalter, Freiluftdurchführungen und verschiedene Verbindungselemente, wie Winkelement, Kreuzelement, T-Element.

Die einzelnen Bausteine werden über entsprechende Flanschverbindungen zu Baugruppen, Transporteinheiten oder ganzen Schaltfeldern zusammengefügt. Die stromführenden Innenleiter werden miteinander verschraubt oder gesteckt.

Auf der Baustelle nun werden die Transporteinheiten zu einer kompletten Schaltanlage verbunden. Mit Hilfe der Teilentladungsmessung sollen, wie eingangs erwähnt, die Unversehrtheit der fertigmontierten Anlage überprüft und möglicherweise vorhandene Unregelmäßigkeiten aufgefunden werden. Dabei sind folgende Unregelmäßigkeiten denkbar:

- freibewegliche Teilchen
- Störstellen auf Hochspannungs- oder Erdseite
- Teilchen auf Stützeroberflächen
- potentialfreie Teile
- Teile mit schlechtem Kontakt.

3. Konventionelle TE-Messung

3.1 Allgemein

Die konventionelle TE-Messung mißt die infolge einer TE erzeugten Stromimpulse. Als Meßgröße wird die scheinbare Ladung des TE-Impulses erfaßt.

Für die TE-Messung von SF₆-isolierten, metallgekapselten Schaltanlagen kommt meist nur die Grundschaltung gem. Bild 2 in Frage, da das Gehäuse des Prüflings geerdet ist.

Die Meßempfindlichkeit des Kreises, d. h. die kleinste meßbare TE-Stärke, hängt von den Übertragungseigenschaften und von dem Grundstörpegel durch elektromagnetische Störungen der Umgebung ab.

Die Übertragungseigenschaften werden durch Kalibrierung der vollständigen Meßanordnung ermittelt und durch den Faktor k_c berücksichtigt, der das Verhältnis zwischen scheinbarer Ladung q_a und gemessener Ladung q_m angibt [14]. Insbesondere ausge dehnte Prüfobjekte können nicht mehr nur als konzentrierte Kapazitäten nachgebildet werden, sondern müssen zumindest mit verteilten Parametern dargestellt werden. Der Faktor k_c ist dann keine Konstante mehr, sondern eine Funktion der Meßfrequenz.

Das Verhältnis der wahren, an der TE-Störstelle selbst umgesetzten Ladung q_r zu scheinbarer Ladung q_a , kann durch den Quotienten C_2/C_1 beschrieben werden. Da dieses Verhältnis nur in Ausnahmefällen, z. B. bei Modellanordnungen bekannt ist, läßt sich die tatsächlich in der Störstelle umgesetzte Ladung, die letztlich für die Alterung verantwortlich ist, im allgemeinen nicht bestimmen.

Weiterhin hängt die kleinste meßbare Teilentladungsstärke eines Meßkreises vom Grundstörpegel G , gemessen in der vollständigen Versuchsanordnung, ab. Dieser Sachverhalt ist insbesondere bei der Messung außerhalb geschirmter Räume von Bedeutung. Es ist zu berücksichtigen, daß der Grundstörpegel in einer Meßanordnung keinen konstanten Wert besitzt, sondern zeit- und frequenzabhängig ist.

Die kleinste meßbare TE-Stärke bestimmt sich somit als Produkt aus Übertragungsverhalten und Grundstörpegel.

3.2 Meßanordnungen

Es lassen sich zwei verschiedene Meßanordnungen zur TE-Messung von Schaltanlagen unterscheiden, und zwar die konventionell aufgebaute, ungeschirmte Meßanordnung und die vollkommen geschirmte Meßanordnung /15/.

3.2.1 Konventionell aufgebaute, ungeschirmte Meßanordnung

Die konventionell aufgebaute, ungeschirmte Meßanordnung besteht aus Hochspannungstrafo, Koppelkondensator und Prüfobjekt. Die Hochspannung wird über Prüfdurchführungen dem Prüfobjekt zugeführt (Bild 3). Hochspannungstrafo, Koppelkondensator und Prüfdurchführungen sollten möglichst TE-frei sein. Ist aus räumlichen Gründen eine lange Zuleitung erforderlich, so muß ihr Einfluß auf die Meßempfindlichkeit, d.h. auf Übertragungsverhalten und Grundstörpegel der Anordnung berücksichtigt werden. Bei Messungen vor Ort ist wegen des Einflusses äußerer Störquellen auf eine möglichst geringe Ausdehnung der Meßanordnung zu achten.

3.2.2 Vollkommen geschirmte Meßanordnungen

Bei Messungen vor Ort kann der Einfluß äußerer Störquellen erheblich reduziert werden, wenn die metallische Umhüllung bzw. Kapselung der Schaltanlage zur HF-Schirmung benutzt wird.

Nun besteht die Kapselung von SF₆-Anlagen nicht aus glatten Rohren, sondern weist an vielen Stellen Öffnungen, wie z. B. Sichtfenster, Aussparungen für Antriebselemente, Kabel, Durchführungen u. ä. auf. Die Dämpfungseigenschaften der Kapselung lassen sich abschätzen, wenn man die SF₆-Anlage in erster Näherung als aus perforierten Schirmzylindern zusammengesetztes Gebilde betrachtet /16/. Der Perforierungsgrad p bzw. der normierte Perforierungsgrad p' berücksichtigt das Verhältnis Lochfläche zur Gesamtfläche und die Lochweite. Bild 4 zeigt die Schirmdämpfung für zwei verschiedene Perforierungsgrade $p' = 0,2 \times 10^{-3}$ und 2×10^{-3} .

Darüber hinaus sind weitere dämpfungsmindernde Eigenschaften zu berücksichtigen, z. B. nicht HF-dichte Flanschverbindungen, wie Antennen wirkende Antriebsstangen u. ä. Insgesamt läßt sich bei derartigen Anlagen wohl eine Schirmdämpfung von 40 dB erreichen. Daneben können bei ungeeignetem Aufbau des Erdungssystems Störströme über die Kapselung fließen und eine weitere Minderung der Schirmdämpfung verursachen.

Ausgehend von den eingangs gemachten Betrachtungen wurde eine vollständig geschirmte Meßanordnung entwickelt. Das Prinzipschaltbild ist in Bild 5 dargestellt. Sämtliche Elemente des Prüfkreises einschließlich Prüfspannungserzeuger und Koppelkondensator sind in die Kapselung einbezogen.

Zur Erzeugung der Prüfspannung kann ein SF₆-isolierter, metallgekapselter Prüftransformator direkt an die Anlage angeflanscht werden. Die Prüfspannung kann aber auch durch sekundärseitige Erregung der anlageneigenen Spannungswandler erzeugt werden. Bei entsprechender Auslegung der Spannungswandler ist eine Prüfspannung von 80 % der Prüfwechselspannung durchaus möglich. Die erforderliche Prüfleistung kann gegebenenfalls durch Parallelschaltung von mehreren Wandlern erreicht werden. In jedem Fall sollte die Niederspannungszuleitung zum Hochspannungstrafo bzw. zu den Spannungswandlern mit einem HF-Filter versehen werden, um aus der Niederspannungsversorgung kommende HF-Störungen zu vermeiden.

Als Koppelkondensator kann ein Durchführungskondensator mit einem Metallrohr umgeben und als Additivteil an die Anlage angeflanscht werden (Bild 6).

Oft lassen sich auch zur Anlage gehörende Durchführungen zu Ankopplungszwecken benutzen, wenn ein entsprechender Meßbelag vorhanden ist. Als weitere Möglichkeit bietet sich an, die metallische Kapselung von Bauelementen, wie z. B. von einem Sammelschienenabschnitt isoliert einzufügen und somit als Koppelkondensator für die Teilentladungsmessung zu benutzen.

Die für den normalen Betrieb erforderliche Erdung der Kapselung läßt sich durch entsprechende Laschenverbindungen mit ausreichender Stromtragfähigkeit herstellen.

Bei der Messung von 3-phasig gekapselten Anlagen oder Anlagenteilen kann die Kapazität der beiden nicht an Hochspannung liegenden Phasen als Koppelkapazität genutzt werden (Bild 7). Hierzu müssen die beiden Phasen an geeigneter Stelle isoliert durch die Kapselung geführt werden. Zu diesem Zweck eignen sich besonders gut isoliert eingebaute Erdungsschalter. Meist sind aber auch Prüfdeckel mit isoliert eingesetzten Steckern leicht zu realisieren.

3.3 Meßergebnisse zur Meßempfindlichkeit

Wie bereits in Abschnitt 3 aufgezeigt, ist die Meßempfindlichkeit, d. h. Übertragungsverhalten und Grundstörpegel frequenzabhängig.

Daher sind besonders schmalbandige TE-Meßgeräte mit veränderbarer Bandmittenfrequenz geeignet, um diese Frequenzabhängigkeit zu ermitteln.

3.3.1 Grundstörpegel

Bild 8 zeigt den Grundstörpegel G in einer vollkommen geschirmten Meßanordnung und in der ungeschirmten konventionellen Meßanordnung, aufgenommen an einer 5-feldrigen 123-kV-Anlage (Kapselungsmaterial Aluminium).

Man erkennt, daß durch die Schirmwirkung der metallischen Kapselung Werte im Bereich des Grundrauschens der TE-Meßeinrichtung erzielt werden. Nur bei 1,6 MHz reicht die Schirmdämpfung für einen in der Nähe liegenden starken Rundfunksender nicht aus. Darüber hinaus zeigt Bild 8 den Einfluß einer aus der Kapselung herausragenden Freiluftdurchführung. Sie reduziert die Schirmwirkung um etwa 10 dB.

Ein Vergleich mit dem Grundstörpegel, aufgenommen in der ungeschirmten konventionellen Meßanordnung, zeigt, daß durch Ausnutzung der Schirmwirkung der Kapselung die Meßempfindlichkeit erheblich gesteigert werden kann.

3.3.2 Übertragungsverhalten

Bild 9 zeigt das Übertragungsverhalten ermittelt für eine 5-feldrige 123-kV-Anlage in Abhängigkeit der jeweiligen Prüflingskapazität. Im vorliegenden Fall sind ausgeprägte Resonanzstellen zwischen 2 bis 3 MHz festzustellen. Der Übertragungsfaktor erreicht sehr hohe Werte. Zum Teil wird die Meßempfindlichkeit so stark verringert, daß selbst größere TE-Intensitäten nicht angezeigt würden.

Nach Auswertung der Diagramme des Grundstörpegels (Bild 8) und des Übertragungsverhaltens (Bild 9) empfiehlt sich im vorliegenden Fall eine Meßfrequenz zwischen 0,4 und 0,6 MHz.

Für die obigen Untersuchungen zum Übertragungsverhalten wurde eine Einspeisung der künstlichen TE-Impulse in der Nähe des Koppelkondensators vorgenommen, d. h. es wurde nur der Einfluß von TE aus diesem Bereich berücksichtigt.

Um das Übertragungsverhalten von TE aus anderen Bereichen einer Anlage zu untersuchen, wurden bei einer Anlage an mehreren zugänglichen Stellen künstliche TE-Impulse eingespeist.

Bild 10 zeigt das Übertragungsverhalten für drei verschiedene Einspeisestellen. Man erkennt, daß bis zu einer Frequenz von rd. 1,2 MHz das Übertragungsverhalten unabhängig von der Einspeisestelle ist. Darüber hinaus ist ein deutlicher Einfluß festzustellen. Je nach Einspeiseort kann es zu einer Impulsabschwächung oder auch zu einer Impulsverstärkung kommen. Dieser Effekt läßt sich vermeiden, wenn bei der TE-Messung Meßfrequenzen $< 1,0$ MHz gewählt werden.

Auf jeden Fall ist es sinnvoll, sich vor der eigentlichen TE-Messung einen Überblick über das Frequenzverhalten der Anlage zu verschaffen. Dies kann, wie oben angeführt, durch Einspeisung von künstlichen TE-Impulsen an verschiedenen Stellen der Anlage, aber auch durch rechnerische Untersuchungen erfolgen.

3.3.3 Überlegung zur Fehlerortung mit Hilfe des Übertragungsverhaltens

Bisher wurde das Frequenzverhalten der Anlage vorwiegend unter dem Gesichtspunkt betrachtet, eine möglichst große Meßempfindlichkeit bei der TE-Messung zu erreichen. Das Frequenzverhalten läßt sich aber auch ausnutzen, um eine Ortung der TE-Störstelle vorzunehmen /17/.

Bild 11 zeigt für eine 5-feldrige Anlage das Übertragungsverhalten in Abhängigkeit der Meßfrequenz, wobei die TE-Störstellen an 6 verschiedenen Orten in der Anlage angenommen wurden. Das Übertragungsverhalten wurde im vorliegenden Fall rechnerisch ermittelt.

Wie man sieht, besitzt jede TE-Störstelle ein eigenes charakteristisches Übertragungsverhalten. Zeichnet man nun bei der Hochspannungsprüfung die TE-Stärke ebenfalls in Abhängigkeit der Meßfrequenz auf, so läßt sich durch Vergleich mit dem Übertragungsverhalten der Fehlerort zumindest grob bestimmen. Das Verfahren läßt sich noch verbessern, wenn mit Hilfe eines zweiten Koppelkondensators an einer anderen Stelle der Anlage eine zweite TE-Messung durchgeführt und mit dem für diese Auskoppelstelle charakteristischen Übertragungsverhalten verglichen werden kann. Auf praktische Erfahrungen soll in einem späteren Abschnitt eingegangen werden.

3.4 Ergebnisse von Teilentladungsmessungen vor Ort

Im folgenden sollen Ergebnisse von Teilentladungsmessungen an SF₆-isolierten, metallgekapselten Schaltanlagen vor Ort dargestellt werden.

Im ersten Fall wurde eine 5-feldrige, einphasig gekapselte Anlage untersucht. Die Messungen erfolgten in der vollkommen geschirmten Meßanordnung, wie sie bereits in Kapitel 3.2.2 beschrieben wurde. Die Meßempfindlichkeit bei der gewählten Meßfrequenz von 0,5 MHz betrug, wie die Voruntersuchungen zeigten (Bild 8), etwa 2 pC.

Bei der Messung selbst konnten bis zu einer Spannung von 123 kV keine meßbaren Teilentladungen festgestellt werden. Bild 12 a läßt keine TE-Impulse, sondern nur den Rauschpegel des TE-Meßgerätes erkennen.

Daraufhin wurde eine künstliche Störstelle erzeugt, indem auf die Oberfläche eines Stützisolators eine geringe Verschmutzung durch einige Metallpartikel aufgebracht wurde. Nun trat bei 45 kV der TE-Einsatz auf. Bei normaler Betriebsspannung von 123 kV/√3 konnten bereits TE-Stärken von 100 ... 150 pC gemessen werden, die dann bei Nennspannung von 123 kV auf 150 ... 200 pC anstiegen. Bild 12 b zeigt entsprechende Gruppen von TE-Impulsen bei einer Spannung von 123 kV.

Die angeführte Untersuchung zeigt, daß die Meßempfindlichkeit in der vollkommen geschirmten Meßanordnung ausreicht, um diese Schwachstelle in der SF₆-gekapselten Anlage durch die TE-Messung zu erfassen.

Im zweiten Beispiel soll von einer TE-Messung an einer 8-feldrigen SF₆-isolierten, metallgekapselten 3-fach-Sammelschiene berichtet werden, bei der versucht wurde, eine TE-Störstelle mit Hilfe der in Abschnitt 3.4 dargestellten Vorgehensweise zu orten.

Durch Einspeisung von künstlichen TE-Impulsen an verschiedenen Stellen der Sammelschiene war das Übertragungsverhalten ermittelt worden. In Bild 13 ist der Kehrwert des Übertragungsfaktors, also $1/k_c$ in Abhängigkeit der Meßfrequenz aufgetragen. In einer Phase der 3-fach-SS-Anlage traten bei der Prüfung TE auf. Bei einer Prüfspannung $1,3 \times U_m$ wurden die in Bild 14 dargestellten TE-Stärken in Abhängigkeit der Meßfrequenz gemessen. Ein Vergleich mit dem Übertragungsverhalten ließ vermuten, daß sich die TE-Störstelle im Bereich des zweiten Feldes befinden mußte.

4. Ultra-Hochfrequenz-TE-Meßverfahren

Das Ultra-Hochfrequenz (UHF)-TE-Meßverfahren nutzt die von der TE-Störstelle ausgehenden elektromagnetischen Wellen. Die TE an der Störstelle ist mit sehr steilen Impulsen verbunden, die Frequenzanteile bis über ein GHz enthalten und den jeweiligen Anlagenraum zu verschiedenen Eigenschwingungen anregen. Diese Signale werden mit Sensoren, quasi Antennen, die in die Kapselung eingebracht werden, erfaßt und mit Hilfe eines Frequenzanalysators gemessen.

Typische Eigenfrequenzen liegen bei einigen 100 MHz. Die typische Dämpfung beträgt etwa 2 dB/m. Eine Beeinflussung des Meßsignals durch externe Störer ist im genannten Frequenzbereich unwahrscheinlich. Um eine ausreichende Meßempfindlichkeit zu erzielen, sind daher mehrere Sensoren in einem Schaltfeld zu installieren. Eine Lokalisierung der TE-Störstelle ist über eine Laufzeitmessung zwischen benachbarten Sensoren möglich.

Untersuchungen mit der UHF-Methode haben gezeigt, daß einige typische Defekte charakteristische Frequenz- und Impulsspektren besitzen /12/.

Das Frequenzspektrum für eine nadelförmige Verunreinigung auf dem Hochspannungsleiter ist aus Bild 15 a zu entnehmen. Die bei einer bestimmten Meßfrequenz aufgezeichneten UHF-Impulse, bezogen auf die Netzfrequenz, zeigt Bild 15 b. Die Signalcharakteristika für freibewegliche Teilchen bzw. potentialfreie Teile sind in Bild 16 bzw. Bild 17 dargestellt.

5. Akustisches TE-Meßverfahren

Die akustische TE-Messung beruht auf der Erfassung von akustischen Signalen, die von der TE-Störstelle ausgehen und sich über das Isoliersystem in Richtung Sensor ausbreiten.

Akustische TE-Messungen an GIS-Anlagen sind besonders geeignet, um Entladungen im Gasraum und an der Grenzschicht "Feststoff-Isoliergas" zu erfassen. Die akustischen Signale werden mit Hilfe eines Körperschallaufnehmers oder Beschleunigungsaufnehmers, der an der Außenseite der Kapselung angebracht wird, und eines nach geschalteten Verstärkers aufgenommen. Das Frequenzspektrum der Signale reicht von wenigen 100 Hz bis zu einigen 100 kHz. Ein gutes Verhältnis Nutzsignal zu Störsignal ergibt sich im Ultraschallbereich von 50 bis 100 kHz. Eine Lokalisierung der TE-Störstelle läßt sich durch schrittweises Versetzen des Sensors erreichen.

Mit der akustischen TE-Messung lassen sich fast alle für GIS-Anlagen typischen Defekte auffinden, wobei entsprechende akustische Charakteristika zugeordnet werden können /13/.

Freibewegliche Partikel zeigen das in Bild 18 dargestellte Impulsmuster. Die Teilchenbewegung ist eine Wechselwirkung von Gravitationskraft und Coulombkraft. Die Impulse sind bezogen auf die 50-Hz-Welle zufällig verteilt, da sich die Spannung, bei der die Teilchen abheben bzw. wieder zurückfallen, abhängig von der Teilchenwanderung ständig ändert.

Fehlstellen auf dem Hochspannungsleiter, z. B. ein ortsfester Span, rufen das in Bild 19 gezeigte Impulsmuster hervor. Ähnliche Muster ergeben sich bei Fehlstellen am Gehäuse. Wegen der vielen Reflektionen dauert das akustische Signal wesentlich länger an als das vergleichbare elektrische Signal.

Entladungen durch potentialfreie Teile führen zu einem Impulsmuster, wie in Bild 20 dargestellt. Da die Energie wesentlich größer als bei Korona ist, treten deutliche Einzelimpulse auf mit einer Wiederholrate entsprechend dem doppelten der Netzfrequenz.

6. Zusammenfassung

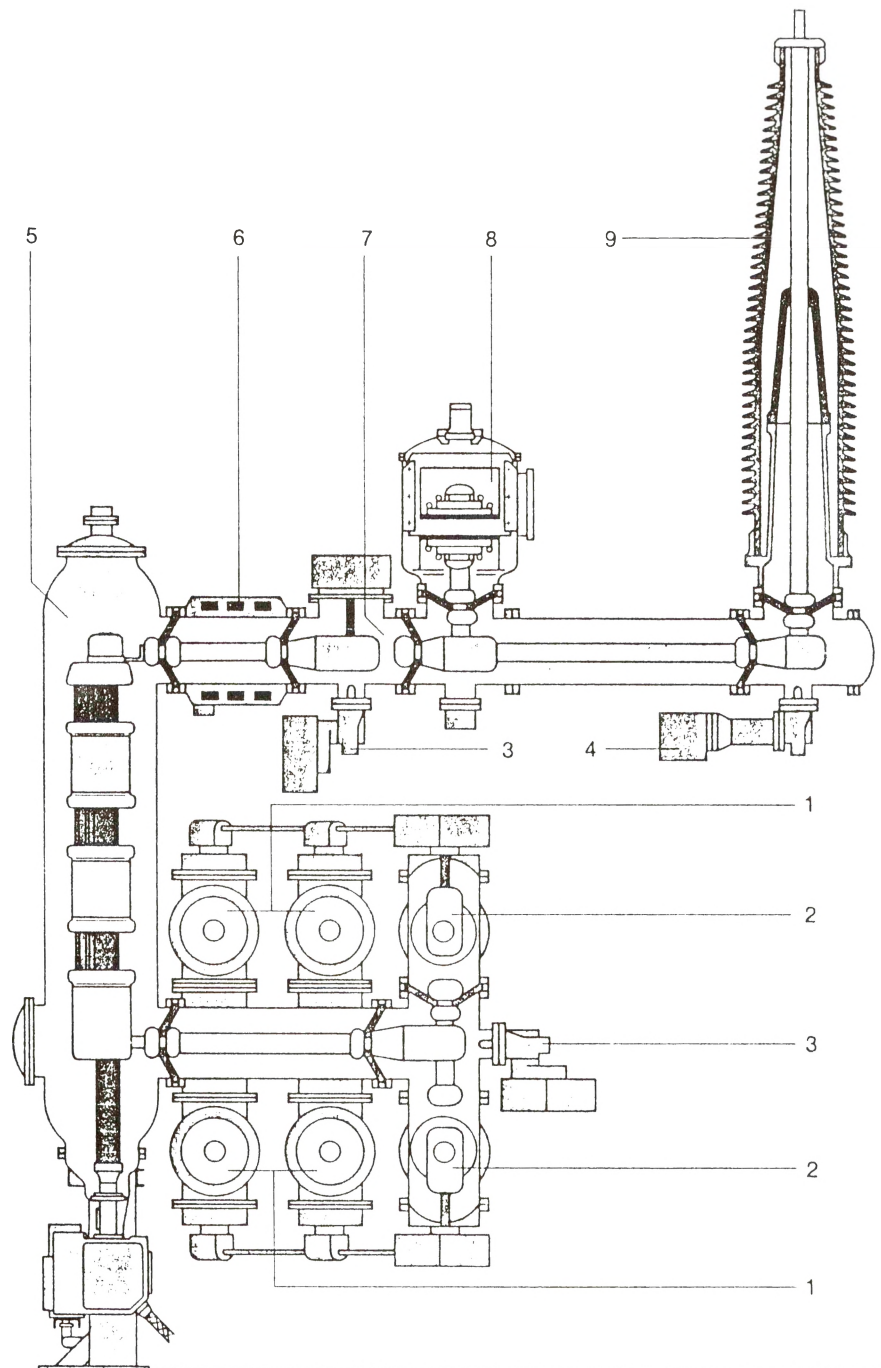
Teilentladungsmessungen an GIS-Anlagen vor Ort sind geeignet, viele typische Fehler- und Störstellen zu erfassen, wenn eine ausreichende Meßempfindlichkeit erreicht werden kann. Diese läßt sich bei Anwendung der konventionellen elektrischen TE-Messung in der vollkommen geschirmten Meßanordnung, bei der die metallische Kapselung der Schaltanlage zur HF-Schirmung benutzt wird und sämtliche Elemente des Prüfkreises in die Kapselung einbezogen werden, erreichen. Zur Ortung von TE-Störstellen kann die Frequenzabhängigkeit des Übertragungsverhaltens herangezogen werden.

Daneben stehen weitere, für die Vorortprüfung besonders geeignete TE-Meßverfahren, wie das UHF-Verfahren und die akustische TE-Messung zur Verfügung.

7. Literatur

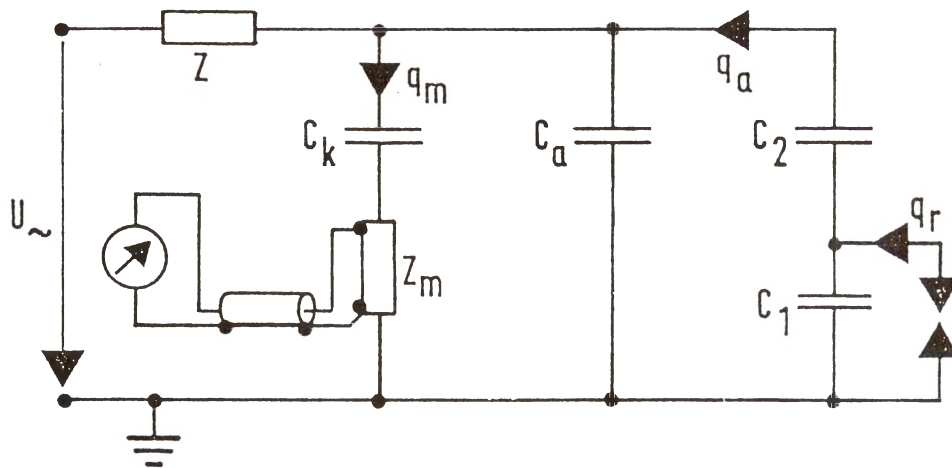
- /1/ VDE-Bestimmung 0670 Teil 8/5.86. Metallgekapselte, gasisolierte Hochspannungs-Schaltanlagen von 72,5 kV und darüber, fabrikfertig, typgeprüft.
- /2/ Gasinsulated metalenclosed switchgear for rated voltages of 72,5 kV and above. IEC-Publ. 517 (1986).
- /3/ K. Feser: Hochspannungsprüfungen von metallgekapselten, gasisolierten Anlagen vor Ort. Bull. SEV 72 (1981) 1, S. 19 - 26.
- /4/ W. Hauschild, H. Jahn, W. Mosch, E. Lemke, J. Speck: Auswahl von Hochspannungsprüfungen an SF₆-Isolierungen aus physikalischer Sicht. Elektrie, Berlin 37 (1983) 4, S. 196 - 198.
- /5/ A. Diessner, G. F. Luxa, W. Mosca, A. Pigini: High voltage tests of SF₆ insulated substations on site. CIGRE-Report 33-06, 1984.
- /6/ K. Feser, P. Kulik, L. Menten: Dielectric field testing of GIS. CIGRE-Report 33-09, 1984.

- /7/ A. Diessner: High voltage site testing of GIS.
Gasinsulated substations - technology and practice, Toronto 1985.
Pergamon Press, Canada, Ltd, 1986, S. 211 - 220.
- /8/ W. Hauschild, W. Mosch: High voltage field testing of GIS from the viewpoint of failure mechanism. Gasinsulated substations - technology and practice, Toronto 1985. Pergamon Press, Canada, Ltd., 1986, S. 185-198.
- /9/ L. Menten, W. Schmidt, W. Zaengl, M. Zwicky: High voltage field testing of GIS. Gasinsulated substations - technology and practice, Toronto 1985. Pergamon Press, Canada, Ltd., 1986.
- /10/ CIGRE 33/15.08: Dielectric diagnosis of electrical equipment for AC applications and its effects on insulation coordination.
State of the art Report. CIGRE-Report 1990.
- /11/ C. Neumann: TE-Messungen in Betriebsmitteln der Energietechnik, Bericht 14: TE-Messungen an fabrikfertigen Schaltanlagen vor Ort. VDE-Verlag, Offenbach (wird in 1992 veröffentlicht).
- /12/ B.F. Hampton, T. Irwin, D. Lightle: Diagnostic Measurements at Ultra High Frequency in GIS. CIGRE-Report 15/33-01, 1990.
- /13/ L.E. Lundgard: Acoustic signal propagation from discharge in GIS. IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1991, S. 449 - 456.
- /14/ Partial discharge measurements. IEC-Publication 270.
- /15/ D. König, C. Neumann, H. Lipken, H. Suiter, P. Schmidhuber: Partial discharge measurements of SF₆ insulated high-voltage metal-enclose switchgear on site; a study based on fundamentals and experiences available up to now. CIGRE-Report 23-09, 1980.
- /16/ D. Stoll: EMC Elektromagnetische Verträglichkeit, Elitera, Berlin 1976, S. 18 - 31.
- /17/ C. Neumann: A method to detect partial discharges during HV-tests of GIS on site. Contribution to Gr. 33, Pref. Subj. 3, Question No. 23; CIGRE-Sess. 1986.



- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1 Sammelschiene | 6 Stromwandler |
| 2 Sammelschientrennschalter | 7 Abgangstrennschalter |
| 3 Arbeitserdungsschalter | 8 Spannungswandler |
| 4 Schnellerdungsschalter | 9 Freiluftdurchführung |
| 5 Leistungsschalter | |

Bild 1: Beispiel eines gasisolierten metallgekapelten Hochspannungs-Schaltfeldes



$$q_a = C_2 / (C_1 + C_2) q_r \approx C_2 / C_1 q_r$$

$$q_m = k_c q_a ; k_c \approx C_k / (C_a + C_k)$$

Bild 2: Teilentladungs (TE)-Meßkreis zur Messung von GIS-Anlagen

Z	HF-Filter	C _k	Koppelkapazität
C _a	Prüflingskapazität	Z _m	Meßimpedanz
C ₁	Kapazität des der TE-Störstelle zugeordneten Feldraumes	q _a	scheinbare Ladung
C ₂	Kapazität in Reihe zur Störstelle	q _m	gemessene Ladung
		q _r	wirkliche Ladung an der Störstelle

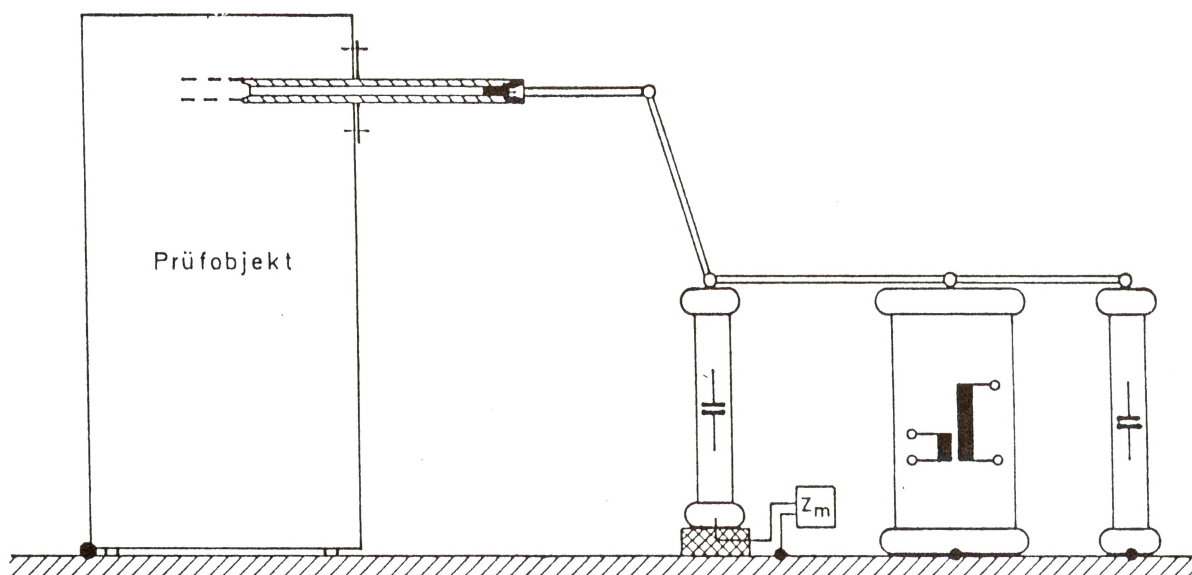


Bild 3: Konventionelle Meßanordnung

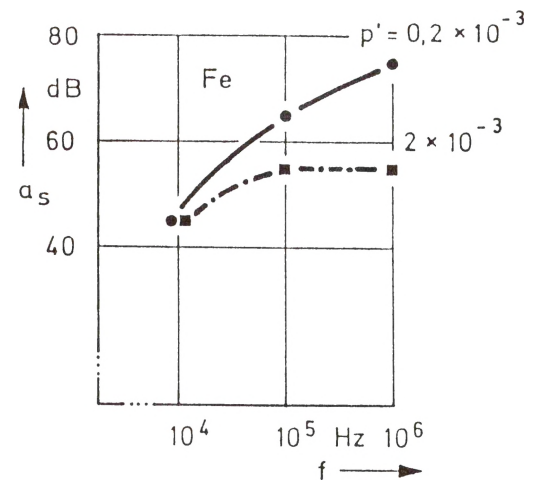
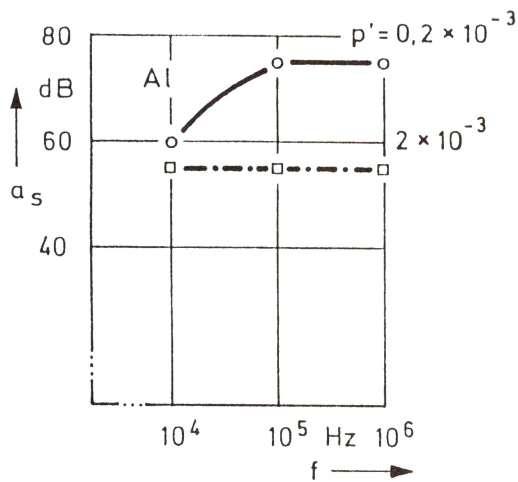
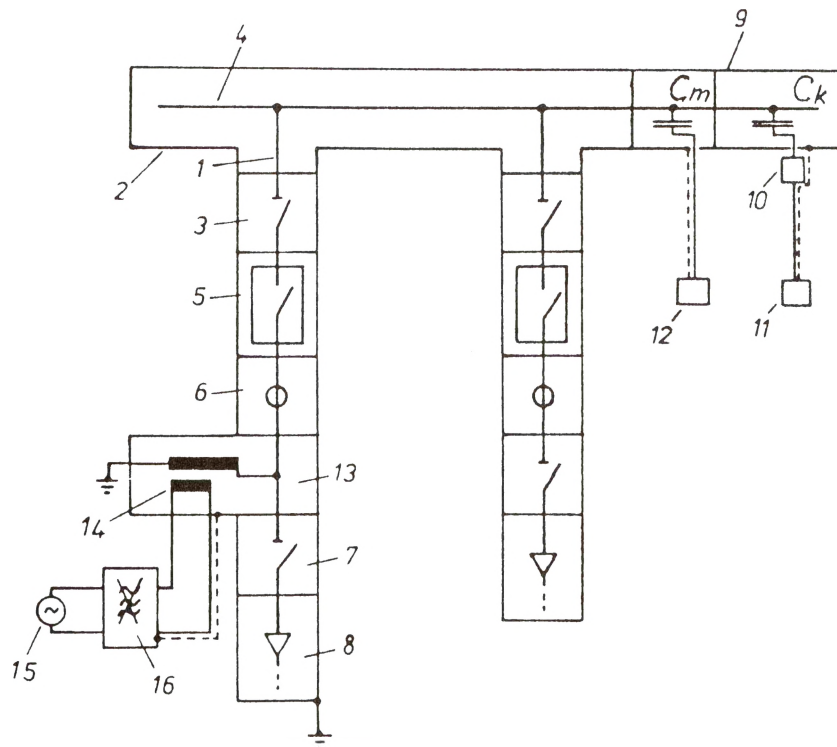


Bild 4: Theoretische Schirmdämpfung eines perforierten zylindrischen Rohres



- | | |
|-------------------------|---|
| 1 Hochspannungsleiter | 9 Meßkondensator C_m , Koppelkondensator C_k |
| 2 metallische Kapselung | 10 TE-Meßimpedanz |
| 3 Trennschalter | 11 TE-Meßgerät |
| 4 Sammelschiene | 12 Hochspannungs-Meßinstrument |
| 5 Leistungsschalter | 13 Spannungswandler oder Hochspannungsprüftransformator |
| 6 Stromwandler | 14 Niederspannungswicklung |
| 7 Trennschalter | 15 Niederspannungsquelle |
| 8 Kabelendverschluß | 16 Niederspannungs-HF-Filter |

Bild 5: Prinzipschaltbild einer vollständig geschirmten Meßanordnung

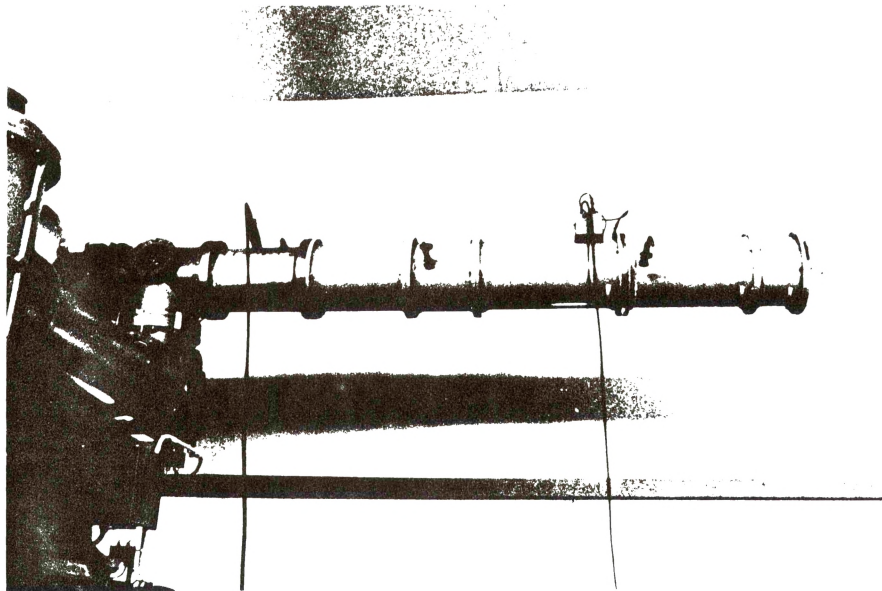


Bild 6: Ausführung eines geschirmten Koppelkondensators

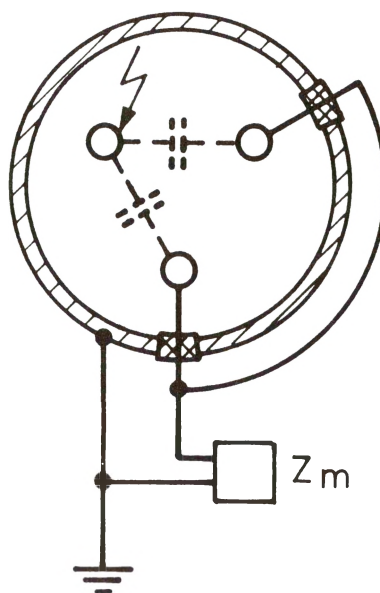


Bild 7: Koppelkapazität durch Nachbarphasen bei dreiphasiger Kapselung

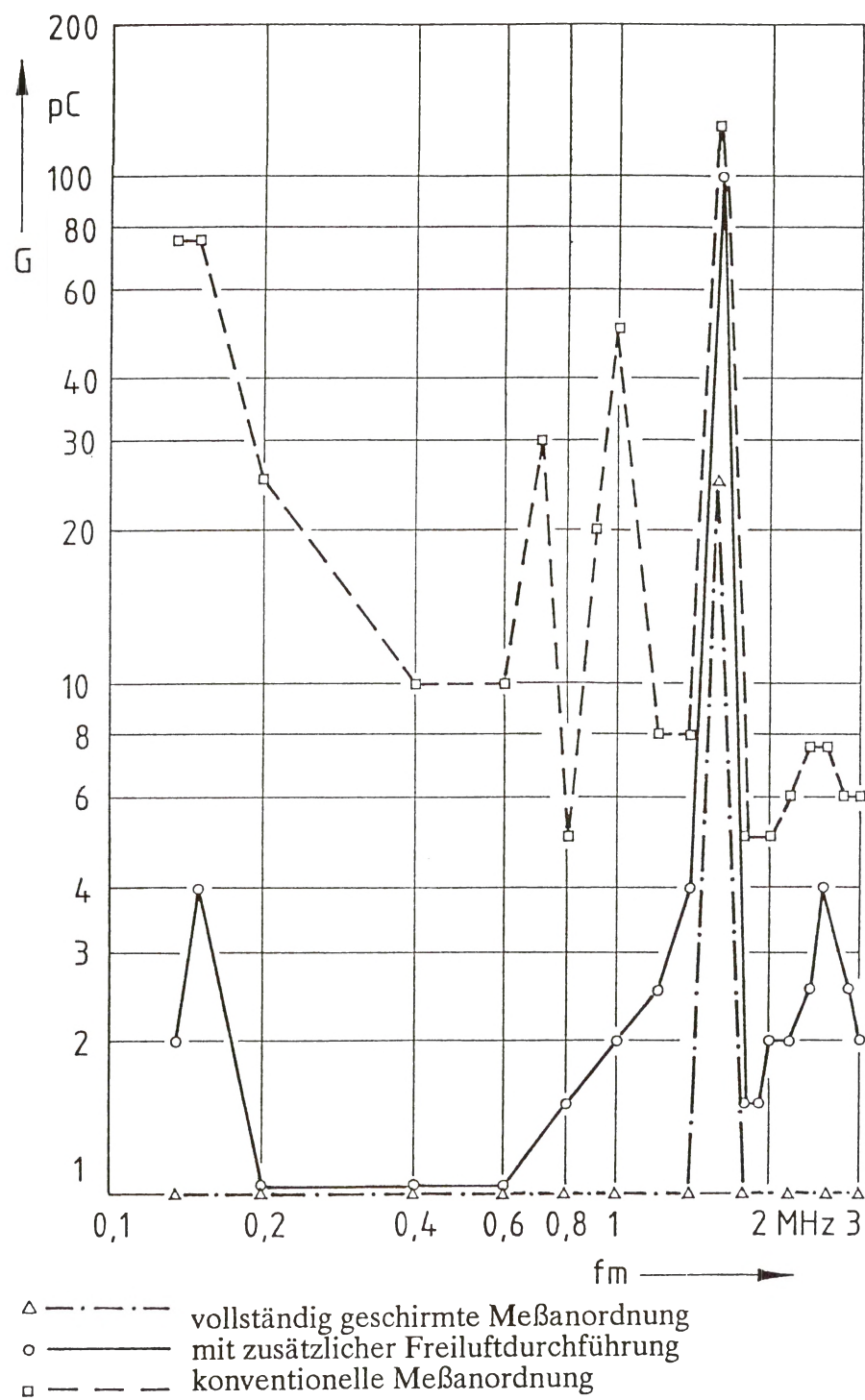


Bild 8: Grundstörpegel in vollständig geschirmter Meßanordnung und in konventioneller Meßanordnung

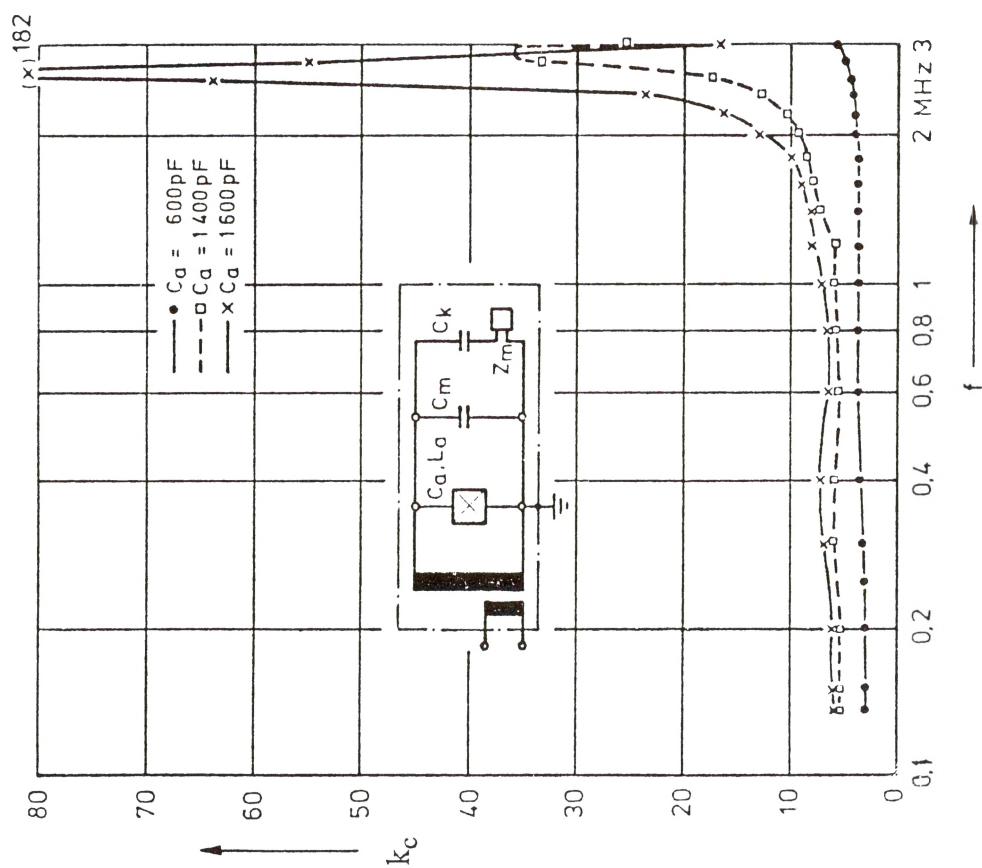


Bild 9: Übertragungsfaktor in vollständig geschirmter Meßanordnung

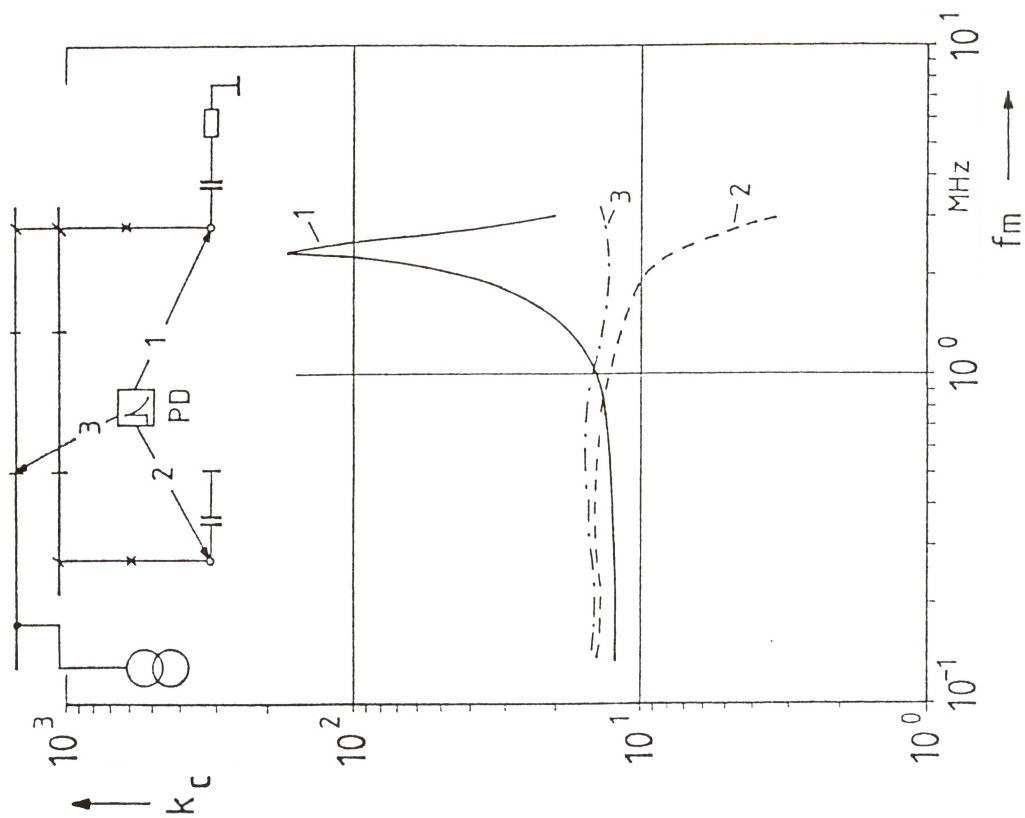


Bild 10: Übertragungsfaktor in vollständig geschirmter Meßanordnung in Abhängigkeit der TE-Störstelle

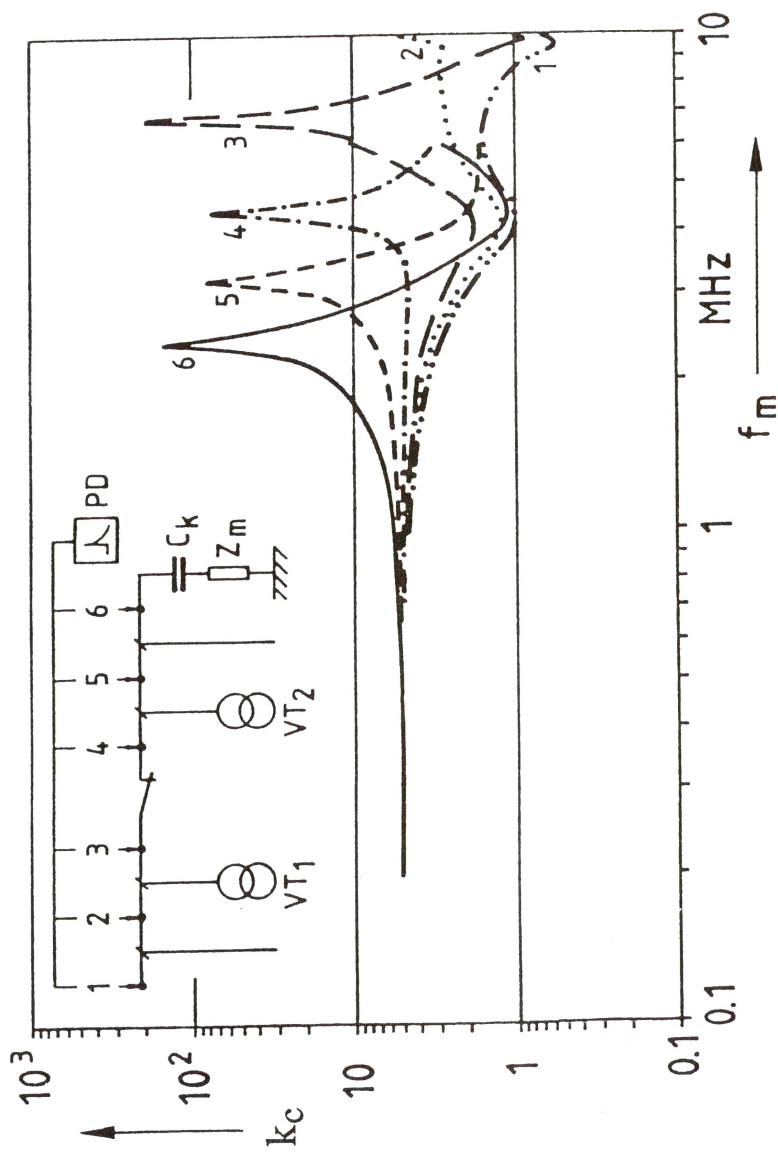


Bild 11: Übertragungsverhalten in Abhängigkeit der Meßfrequenz und der TE-Störstelle

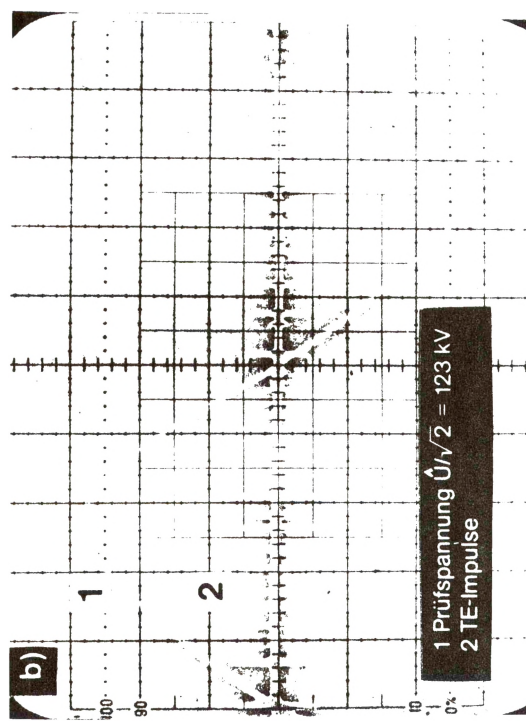
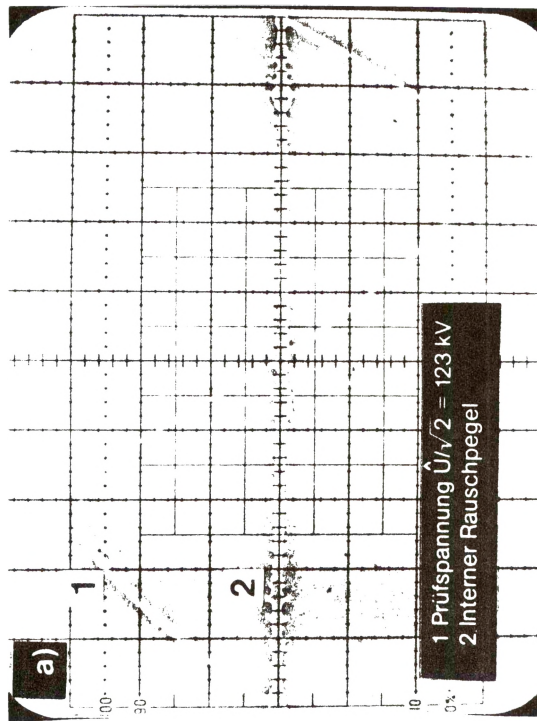


Bild 12: Meßergebnisse einer TE-Messung in vollständig geschirmter Meßanordnung

- a) ohne meßbare TE
- b) TE durch künstliche Fehlstelle

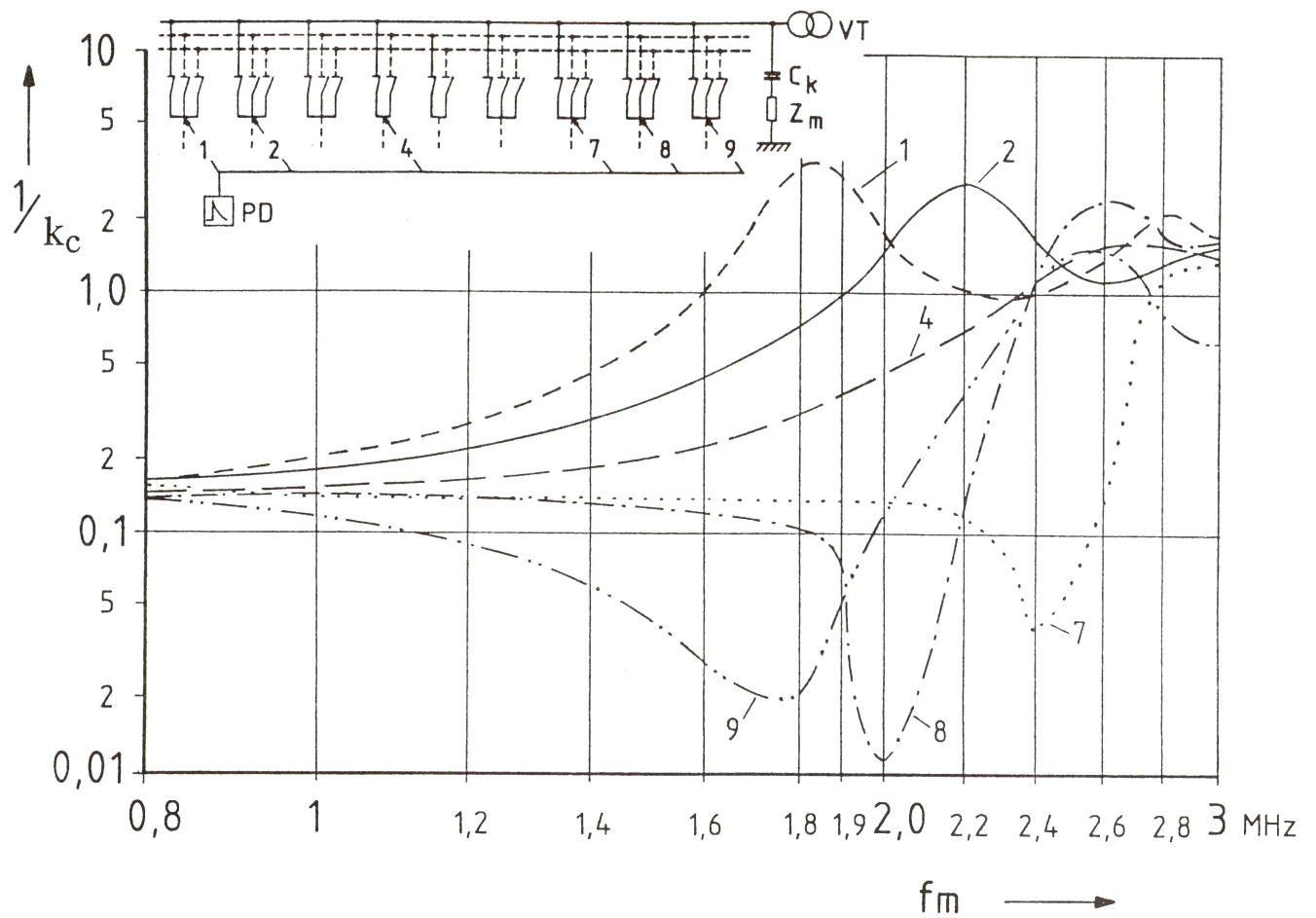


Bild 13: Kehrwert des Übertragungsfaktors $1/k_c$ in Abhängigkeit der Meßfrequenz und der TE-Störstelle

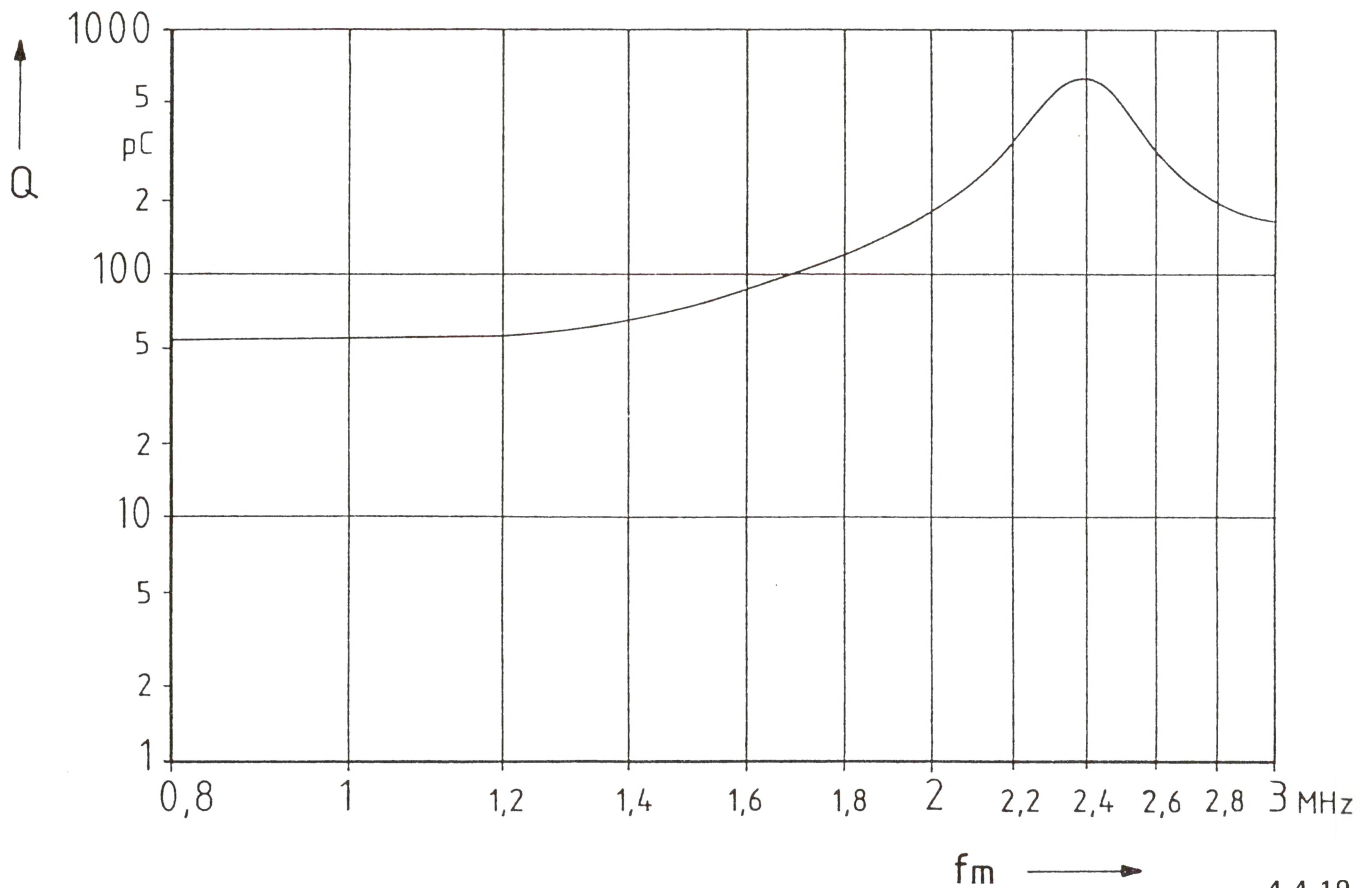


Bild 14: TE-Stärke in Abhängigkeit der Meßfrequenz

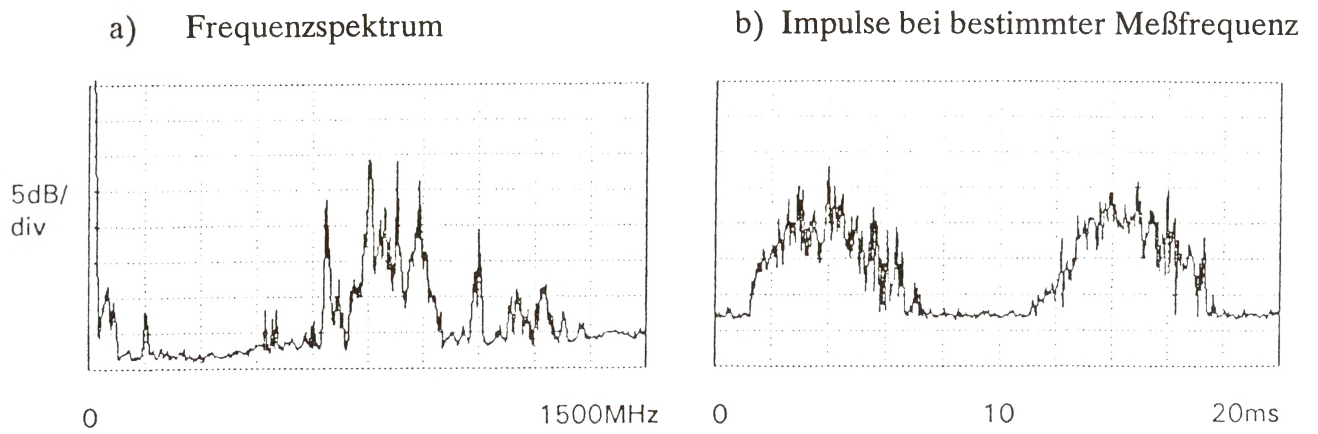


Bild 15: Charakteristische UHF-TE-Meßsignale für nadelförmige Verunreinigung auf dem Hochspannungsleiter

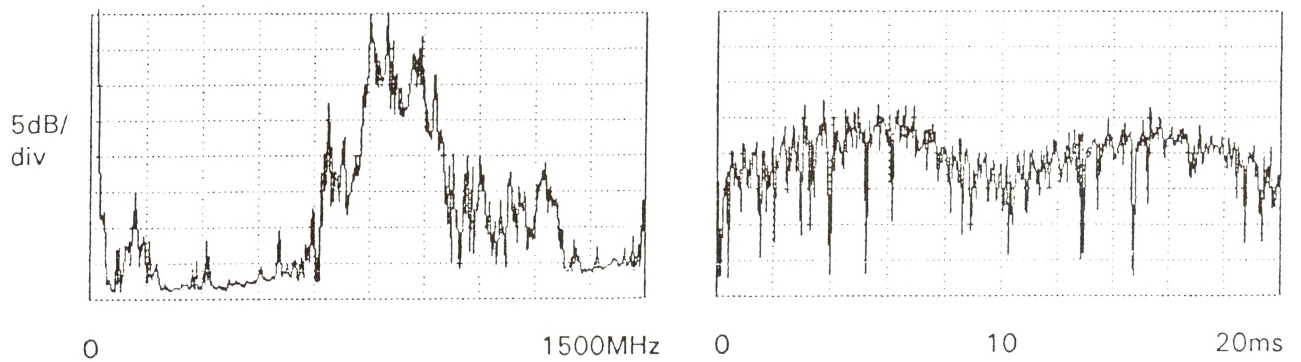


Bild 16: Charakteristische UHF-TE-Meßsignale für frei bewegliche Teilchen

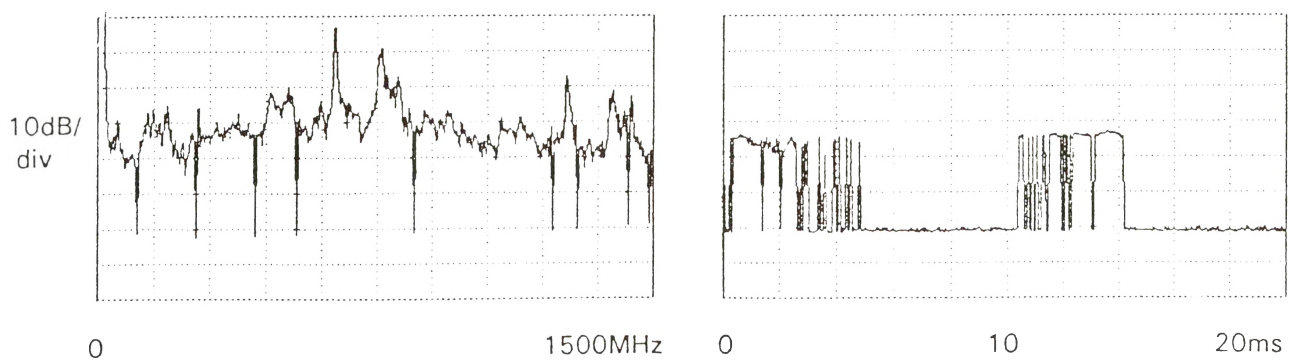


Bild 17: Charakteristische UHF-TE-Meßsignale für potentialfreie Teile

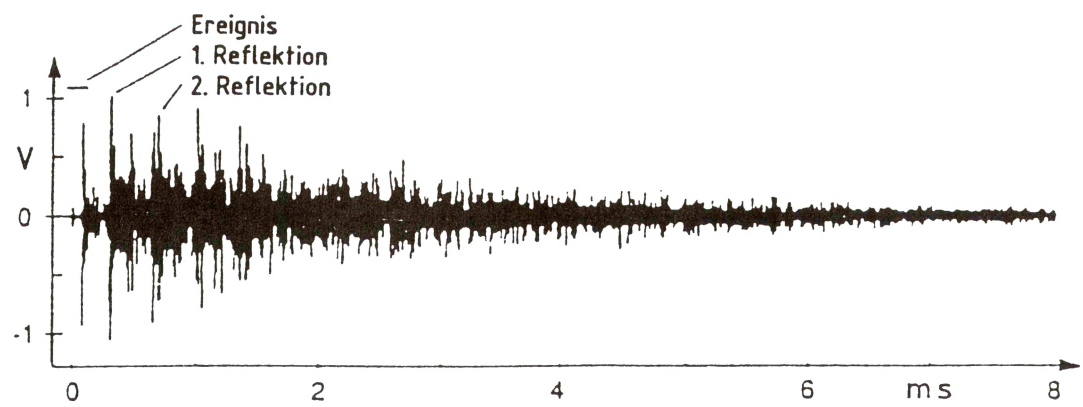


Bild 18: Impulsmuster für frei bewegliche Teile bei akustischer TE-Messung

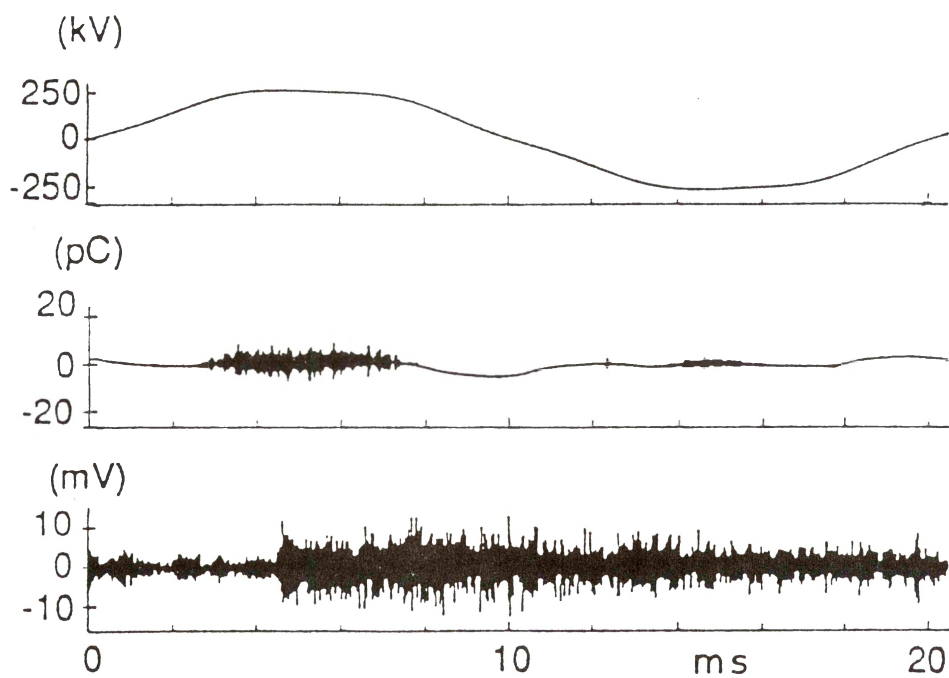


Bild 19: Impulsmuster für Fehlstelle auf Hochspannungsleiter bei akustischer TE-Messung

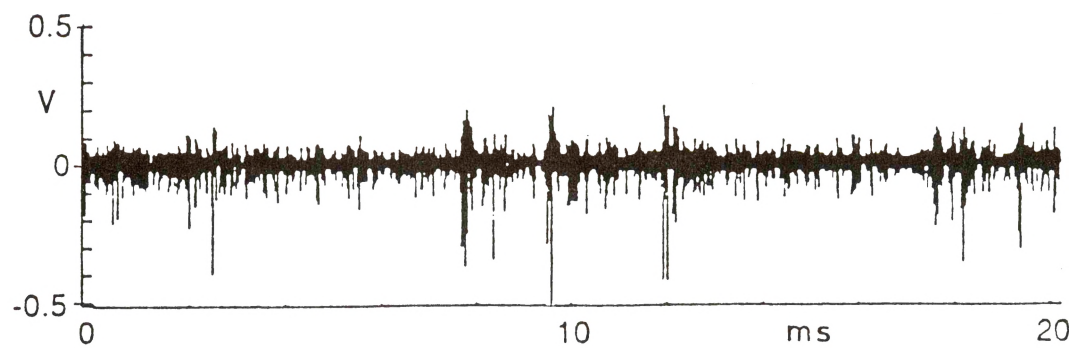


Bild 20: Impulsmuster für potentialfreie Teile bei akustischer TE-Messung