

<b>Universität der Bundeswehr München</b>	
<b>Professur für Hochspannungstechnik und Blitzforschung</b>	
<b>Hochspannungstechnisches Praktikum 2</b>	<b>Messung von Kapazität, Verlustfaktor und Teilentladungen bei Wechselfspannung</b>
<b>Versuch 3</b>	

## 1. Grundlagen

Für die Beurteilung von Isolierstoffen werden neben Durchschlaguntersuchungen zerstörungsfreie Prüfverfahren angewandt. Hierzu gehört insbesondere die Messung der Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors  $\tan\delta$  als Maß für die dielektrischen Verluste.

Örtliche Schwachstellen im Isolierstoff von Betriebsmitteln, wie Gaseinschlüsse oder Risse, bleiben jedoch bei ungünstigem Verhältnis von Störstellenkapazität zur Gesamtkapazität des Prüflings in einer Verlustfaktormessung unerkannt. Schon bei vergleichsweise kleinen Spannungen finden in diesen Hohlräumen innere Teilentladungen statt, wodurch HF-Störungen hervorgerufen und die Lebensdauer der Isolation beeinträchtigt werden kann. Äußere Teilentladungen treten an Stellen hoher elektrischer Beanspruchung auf, beispielsweise an Grenzflächen von Isolierstoffen oder am Übergang Leiter-Isolierstoff.

Äußere Teilentladungen treten im Bereich des Scheitels der Wechselfspannung auf, während innere Teilentladungen im Bereich der größten Spannungsänderung  $du/dt$  entstehen (Bereich des Spannungsnulldurchgangs, Polarität der Impulse beachten).

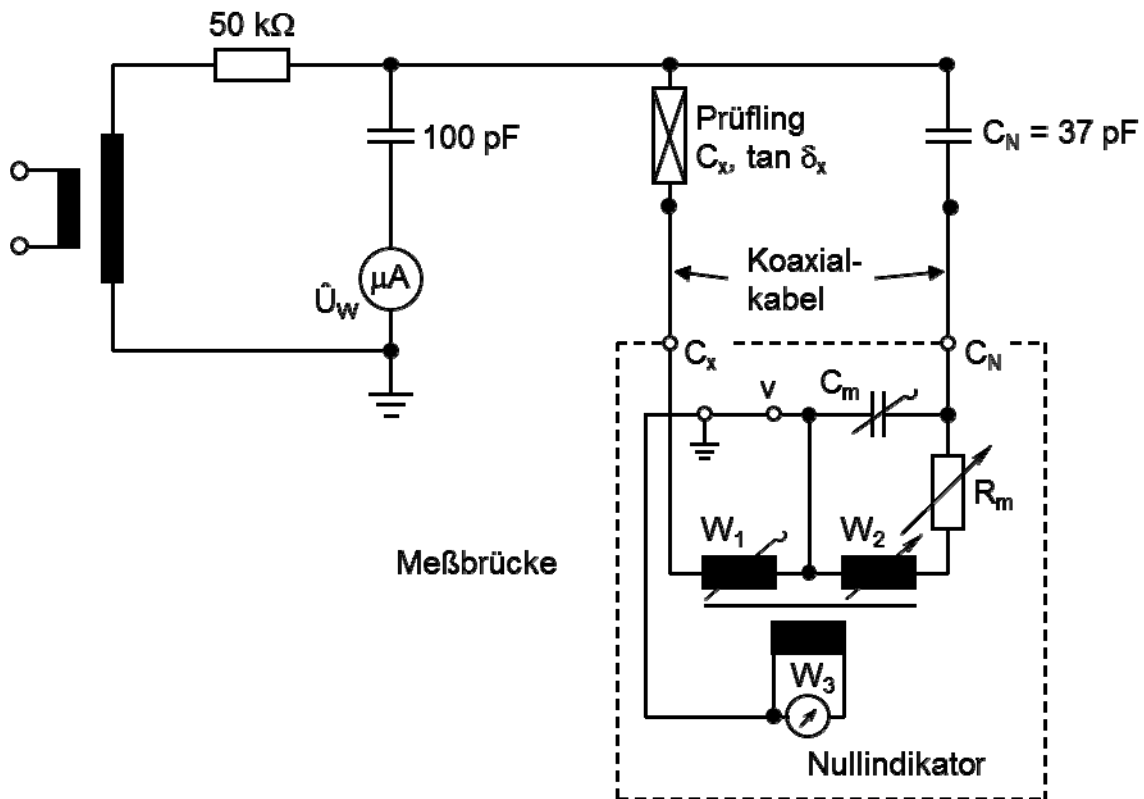
## 2. Schaltungen

### 2.1 Messung von Kapazität und Verlustfaktor

Die Messung der Kapazität  $C_x$  und des Verlustfaktors  $\tan\delta_x$  eines Prüflings wird hier nicht nach der klassischen Methode einer Brückenschaltung mit Brücken-zweig-Widerständen (Schering-Messbrücke), sondern mit einer leicht handhabbaren Messbrücke mit Differential-Transformator über drei Wicklungen  $w_1$ ,  $w_2$  und  $w_3$  durchgeführt. Der Normalkondensator  $C_N$  ist als teilentladungsfrei zu betrachten. Solange  $w_1 \cdot i_1$  ungleich  $w_2 \cdot i_2$  ist, wird eine Spannung  $w_3$  induziert. Der Abgleich erfolgt an Wicklung  $w_2$  sowie  $R_m$  und  $C_m$ , bis  $w_3$  spannungslos ist. Die Prüflingskapazität  $C_x$  und Verlustfaktor  $\tan\delta_x$  ergeben sich dann zu

$$C_x = C_N \cdot (w_2/w_1) \qquad \tan\delta_x = R_m \cdot \omega C_m.$$

Schaltung:



Bei der verwendeten Messbrücke "Tettex 2805" können die Werte  $C_x$  und  $\tan \delta_x$  direkt aus der Stellung der Dekaden-Drehschalter bestimmt werden:

$$C_x = C_N \cdot \text{Faktor} \cdot \text{Ablesung}$$

$$\tan \delta_x = \text{Faktor} \cdot \text{Ablesung}$$

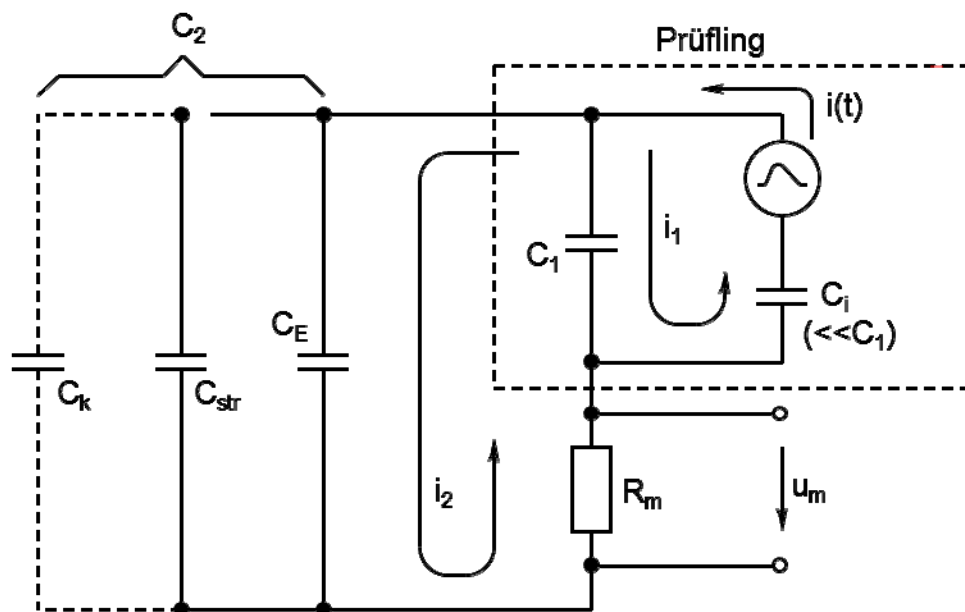
Als Faktoren sind fest einzustellen:

$$C_x \text{-Faktor} = 10^{-2}$$

$$\tan \delta_x \text{-Faktor} = 0,1 \text{ (für } f = 50 \text{ Hz)}$$

## 2.2 Messung von Teilentladungen

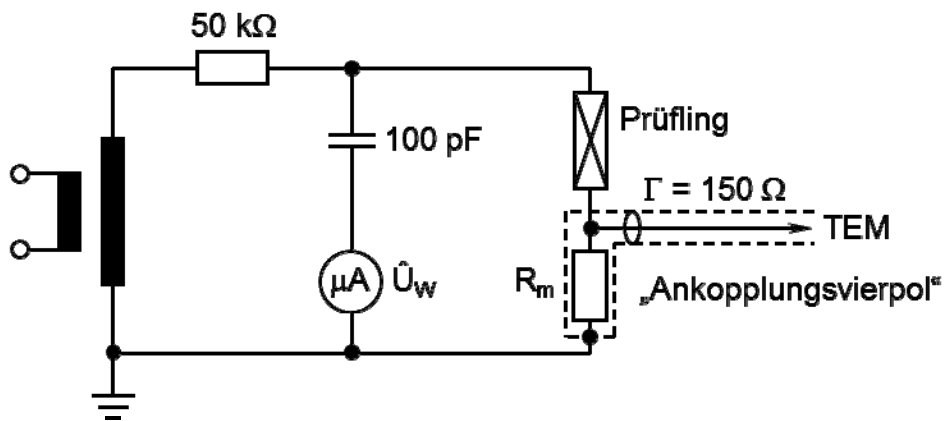
Ein Maß für die inneren Teilentladungen ist der hochfrequente Spannungsfall, der an einem Messwiderstand  $R_m$  ("Ankopplungsvierpol") durch die Teilentladung-Stromimpulse erzeugt wird. Aus dem Ersatzschaltbild für die Teilentladungsmessung ist ersichtlich, dass vom gesamten Teilentladungsstrom ein Teilstrom  $i_1$  innerhalb des Prüflings aufgrund der Eigenkapazität  $C_1$  fließt. Über den Messwiderstand  $R_m$  fließt nur der durch das Kapazitätsverhältnis  $C_2/(C_1 + C_2)$  bestimmte Anteil  $i_2$  des Stromes. Die Kapazität  $C_2$  ergibt sich im Wesentlichen aus der Streukapazität  $C_{Str}$  der Transformatorwicklung sowie der Verkettungskapazität  $C_E$  des Prüfaufbaus gegen Erde. Um den Messstrom  $i_2$  zu erhöhen, wird häufig ein zusätzlicher Koppelkondensator  $C_k$  zur Vergrößerung der Kapazität  $C_2$  eingesetzt.



Der Spannungsfall an  $R_m$  wird über ein  $150 \Omega$  Koaxialkabel einem Teilentladungs-Messgerät TEM zugeführt, das die Teilentladungsintensität in pC anzeigt. Die Messung am TEM erfolgt schmalbandig bei einer Mittenfrequenz von 1 MHz mit einer Messbandbreite von 10 kHz. Bei jedem Prüfling (Änderung von  $C_1$ ) oder bei Änderung der Messanordnung (Änderung von  $C_2$ ) muss eine erneute Eichung des Messkreises vorgenommen werden. Hierzu wird ein Teilentladungsgenerator TEG parallel zum Prüfling geschaltet, der Eichimpulse bekannter Intensität (50 pC) erzeugt. Aus dem Verhältnis von erzeugter zu gemessener Ladung erhält man einen Faktor  $k$  ( $k > 1$ ), mit dem die Teilentladungs-Messwerte des entsprechenden Prüflings zu multiplizieren sind. Im Praktikum kann  $k$  direkt auf der Skala "CORR" des TEM abgelesen werden.

Bezüglich der Lage des Ankopplungsvierpols  $R_m$  gibt es zwei verschiedene Messmethoden. Bei Methode "1" liegt  $R_m$  in Reihe mit dem Koppelkondensator  $C_k$  und erfasst damit nur den über  $C_k$  fließenden Strom. Diese Methode wird für hohe Ladeströme und selbsterregte Prüflinge verwendet. Bei Methode "2" liegt  $R_m$  in Reihe mit dem Prüfling und erfasst damit den gesamten über  $C_2$  (siehe oben) fließenden Strom, was eine hohe Messempfindlichkeit ergibt. Im Praktikum wird Methode "2" angewandt.

**Schaltung:**



### 3. Versuchsdurchführung

#### 3.1 Messung des Verlustfaktor und der Kapazität von Plattendielektrika

Prüfling 1:	Luftspalt	$s = 2 \text{ mm}$
Prüfling 2:	Polystyrol	$s = 2 \text{ mm}$
Prüfling 3:	Teflon	$s = 2 \text{ mm}$
Prüfling 4:	Plexiglas	$s = 2 \text{ mm}$

Für jeden Prüfling ist  $\tan\delta_x$  und  $C_x$  nach der Vorgehensweise gemäß Abschnitt 2.1 zu bestimmen. Hierbei ist eine Sekundärspannung am Hochspannungstransformator von  $\hat{U} \approx 2 \text{ kV}$  einzustellen.

#### 3.2 Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors

Prüfling 1:	gesteuerte Durchführung (Kondensator-Durchführung)
Prüfling 2:	Ölkondensator 300 pF

Für beide Prüflinge ist  $\tan\delta_x$  nach der Vorgehensweise gemäß Abschnitt 2.1 zu bestimmen. Die Sekundärspannung am Hochspannungstransformator ist hierbei, beginnend bei  $\hat{U} = 20 \text{ kV}$ , in Stufen von  $\Delta\hat{U} = 20 \text{ kV}$  bis zu  $\hat{U} = 100 \text{ kV}$  zu erhöhen.

### 3.3 Teilentladungsmessung

- Prüfling 1: Spitze-Platte Funkenstrecke,  $s = 100$  mm, Platte geerdet  
(Kegelspitze mit Stab  $d = 20$  mm, Platte  $d = 168$  mm)
- Prüfling 2: Ungesteuerte Durchführung
- Prüfling 3: Gesteuerte Durchführung
- Prüfling 4: Epoxidharz-Prüfling

Für alle Prüflinge sind folgende Untersuchungen vorzunehmen:

- Nach der Vorgehensweise gemäß Abschnitt 2.2 ist der Eichfaktor  $k$  zur Korrektur der mit dem TEM gemessenen Teilentladungen zu bestimmen
- Die Einsatzspannung  $\hat{U}_a$  der Teilentladungen ist mit dem Wechselspannungsmessgerät ( $\hat{U}_w$ ) zu ermitteln
- Die Sekundärspannung am Transformator ist, beginnend bei  $\hat{U} = 10$  kV, in Stufen von  $\Delta\hat{U} = 10$  kV zu erhöhen bis zur Spannung
  - \*  $\hat{U} = 50$  kV für die Prüflinge 1 und 2,
  - \*  $\hat{U} = 80$  kV für die Prüflinge 3 und 4.

Die Intensität der Teilentladungen ist bei jeder Spannungsstufe aufzunehmen.

- Ein typisches Oszillogramm der Teilentladungsaktivität ist aufzunehmen.

## 4. Auswertung

- 4.1 Aus den Messungen gemäß Abschnitt 3.1 sind für jeden Prüfling  $\tan\delta_x$ ,  $C_x$ ,  $\epsilon_r$ , die Verlustziffer ( $\epsilon_r \cdot \tan\delta_x$ ) sowie, bezogen auf  $\hat{U} = 2 \text{ kV}$ , die spezifischen dielektrischen Verluste  $V_{\text{diel}}''' = U^2 \cdot \omega C \cdot \tan\delta / (A \cdot s)$  in  $\text{mW/cm}^3$ , in tabellarischer Form anzugeben ( $A = 80 \text{ cm}^2$ ). Für Prüfling 1 ist  $C_x$  rechnerisch zu ermitteln und mit dem Messwert zu vergleichen.
- 4.2 Aus den Messungen gemäß Abschnitt 3.2 ist  $\tan\delta_x = f(\hat{U})$  für beide Prüflinge in einem gemeinsamen Diagramm aufzutragen.
- 4.3 Aus den Messungen gemäß Abschnitt 3.3 sind die Eichfaktoren  $k$  sowie die gemessenen Einsatzspannungen  $\hat{U}_a$  tabellarisch anzugeben. Die gemessenen Teilentladungs-Intensitäten sind in korrigierter Form tabellarisch zusammenzustellen und als Funktion von  $\hat{U}$  in einem für alle Prüflinge gemeinsamen Diagramm aufzutragen (logarithmischer Maßstab: Teilentladungs-Intensität; linearer Maßstab: Spannung  $\hat{U}$ )

Die Oszillogramme sind untereinander zu vergleichen und zu diskutieren.