

<b>Universität der Bundeswehr München</b> <b>Professur für Hochspannungstechnik und Blitzforschung</b>	
<b>Hochspannungstechnisches Praktikum</b>	<b>Einfluss der Elektrodenform auf den Durchschlag bei Gleich- und Wechselspannung</b>
<b>Versuch 2</b>	

## 1. Grundlagen

Bei Funkenstrecken in Luft beginnt die Entladung stets mit einer Elektronenlawine, die an den Elektroden oder im Raum zwischen den Elektroden entsteht. Die für die Entstehung solcher Elektronenlawinen mindestens benötigte Feldstärke wird als Anfangsfeldstärke ( $E_a$ ) bezeichnet. Die hierbei an den Elektroden anliegende Spannung wird als Anfangsspannung ( $U_a$ ) bezeichnet.

### 1.1 Der Durchschlag im homogenen Feld

Im Falle des Homogenfeldes kommt es mit dem Erreichen der Anfangsfeldstärke zu einer Vielzahl von Elektronenlawinen, die sich im gesamten Raum zwischen den Elektroden ausbilden und so den Durchschlag einleiten. Daher ist die Anfangsfeldstärke ( $E_a$ ) auch gleichzeitig die Durchschlagfeldstärke ( $E_d$ ). Die Durchschlagsspannung ( $U_d$ ) ist somit auch gleichzeitig die Anfangsspannung ( $U_a$ ) und es gilt (für das Homogenfeld):

$$U_d = U_a \quad (1)$$

Für die Anfangsfeldstärke bzw. Durchschlagfeldstärke (im homogenen Plattenfeld) gilt:

$$E_d = E_a = \delta \cdot \left( 2,44 + \frac{0,066}{\sqrt{s}} \right) \quad \text{in MV/m, s in m} \quad (2)$$

( $\delta$ : Luftdichtekorrekturfaktor)

### 1.2 Der Durchschlag im inhomogenen Feld

Im inhomogenen Feld, z.B. einer Anordnung Spitze-Platte, übersteigt die Feldstärke bei Spannungssteigerung sehr bald im Gebiet in der Nähe der Spitze die Anfangsfeldstärke ( $E_a$ ). Die Entladung beginnt deshalb stets an der stärker gekrümmten Elektrode unabhängig von ihrer Polarität.

Da die elektrische Feldstärke von der Spitze der gekrümmten Elektrode mit zunehmender Entfernung abnimmt, führt das Erreichen der Anfangsfeldstärke ( $E_a$ ) nicht zum Durchschlag. Hierfür ist eine weitere Steigerung der Spannung erforderlich.

### 1.3 Felddausnutzungsfaktor

Der Grad der Feld-Inhomogenität einer Elektroden-Anordnung (Funkenstrecke) lässt sich mit dem Felddausnutzungsfaktor beschreiben. Der Felddausnutzungsfaktor ist wie folgt definiert:

$$\eta = \frac{E_{\text{mittel}}}{E_{\text{max}}} = \frac{U/s}{E_{\text{max}}} \quad (3)$$

s: Elektrodenabstand

$E_{\text{mittel}}$ : Mittlere elektrische Feldstärke zwischen den Elektroden

$E_{\text{max}}$ : Maximale elektrische Feldstärke an den Elektroden

U: Spannung an den Elektroden

Für das homogene Feld gilt:  $\eta = 1$

Für das inhomogene Feld gilt:  $\eta < 1$

Der Einfluss des Grades der Feld-Inhomogenität wird mit folgenden Elektroden-Anordnungen im vorliegenden Versuch untersucht:

- Platte-Platte-Anordnung (Homogenfeld)
- Kugel-Platte-Anordnung (schwach inhomogenes Feld)
- Spitze-Platte-Anordnung (stark inhomogenes Feld)

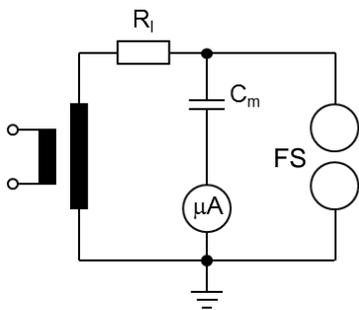
Mit zunehmender Inhomogenität des elektrischen Feldes nimmt die Durchschlagspannung bei sonst gleichem Elektrodenabstand ab. Daher weist die Platte-Platte-Anordnung (Homogenfeld) die höchste Durchschlagspannung und die Spitze-Platte-Anordnung die geringste Durchschlagspannung bei gleichem Elektrodenabstand auf.

Beim homogenem Feld (Platte-Platte-Anordnung) bzw. schwach inhomogenem Feld (Kugel-Platte-Anordnung) ist der Einfluss der Polarität der Spannung an der Hochspannungselektrode auf die Durchschlagspannung (eher) unerheblich. Beim stark inhomogenen Feld (Spitze-Platte-Anordnung) ist dagegen zu berücksichtigen, dass es für den Durchschlag bei positiver Hochspannung (positive Spitze) eine wesentlich geringere Spannung braucht gegenüber dem Durchschlag bei negativer Hochspannung (negative Spitze).

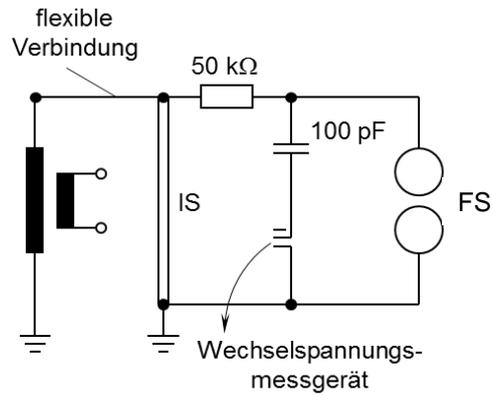
## 2. Schaltungen

### 2.1 Schaltung bei Wechselspannung

**Schaltung:**

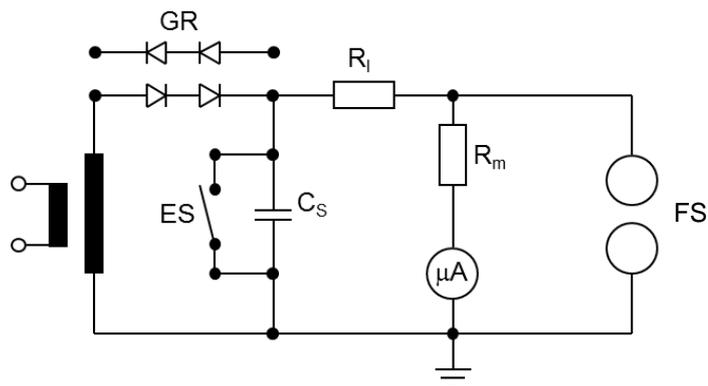


**Aufbau:**

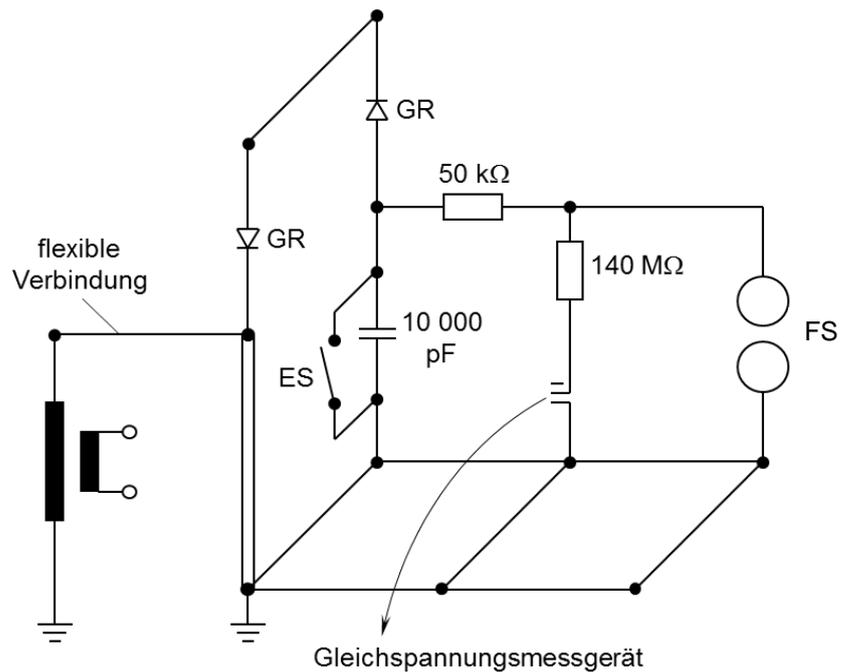


### 2.2 Schaltung bei Gleichspannung

**Schaltung:**



**Aufbau:**



### 3. Versuchsdurchführung

Prüfling 1: Platte-Platte-Funkenstrecke (Platte:  $d = 168$  mm)

Prüfling 2: Kugel-Platte-Funkenstrecke (Kugel:  $d = 50$  mm, Platte:  $d = 168$  mm)  
(Kugel: Hochspannungselektrode, Platte: Erdelektrode)

Prüfling 3: Spitze-Platte-Funkenstrecke (Platte:  $d = 168$  mm)  
(Spitze: Hochspannungselektrode, Platte: Erdelektrode)

Für die Umrechnung der Messwerte auf Normalbedingungen müssen Luftdruck und Temperatur gemessen werden. Mit dem Endmaß (10 x 20 x 50 mm) werden die einzelnen Funkenstrecken jeweils für den Elektrodenabstand  $s = 10$  mm geeicht.

#### 3.1 Messung bei Wechselspannung

3.1.1 Prüfling 1: Platte-Platte-Funkenstrecke (Platte:  $d = 168$  mm)

Nach Schaltung unter 2.1 wird bei  $s = 10, 20, 30$  und  $40$  mm die Spannung langsam bis zum Durchschlag an der Funkenstrecke FS gesteigert. Am Wechselspannungsmessgerät ( $\mu\text{A}$ -Meter) ist jeweils der Strom  $I_d$  im Durchschlag-Augenblick abzulesen.

Es sind jeweils 3 Messwerte aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

3.1.2 Prüfling 2: Kugel-Platte-Funkenstrecke (Kugel:  $d = 50$  mm, Platte:  $d = 168$  mm)

Nach Schaltung unter 2.1 wird bei  $s = 10, 20, 30$  und  $40$  mm die Spannung langsam bis zum Durchschlag an der Funkenstrecke FS gesteigert. Am Wechselspannungsmessgerät ( $\mu\text{A}$ -Meter) ist jeweils der Strom  $I_d$  im Durchschlag-Augenblick abzulesen.

Es sind jeweils 3 Messwerte aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

3.1.3 Prüfling 3: Spitze-Platte-Funkenstrecke (Platte:  $d = 168$  mm)

Nach Schaltung unter 2.1 wird bei  $s = 10, 20, 30$  und  $40$  mm die Spannung langsam bis zum Durchschlag an der Funkenstrecke FS gesteigert. Am Wechselspannungsmessgerät ( $\mu\text{A}$ -Meter) ist jeweils der Strom  $I_d$  im Durchschlag-Augenblick abzulesen.

Es sind jeweils 3 Messwerte aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

## 3.2 Messung bei Gleichspannung

### 3.2.1 Prüfling 1: Platte-Platte-Funkenstrecke (Platte: $d = 168$ mm)

Nach Schaltung unter 2.2 wird bei  $s = 10, 20, 30$  und  $40$  mm die Spannung langsam bis zum Durchschlag an der Funkenstrecke FS gesteigert. Am Gleichspannungsmessgerät ( $\mu\text{A}$ -Meter) ist jeweils der Strom  $I_d$  im Durchschlag-Augenblick abzulesen. Die Messungen sind für positive und negative Gleichspannung (beide Gleichrichter GR umdrehen) durchzuführen.

Es sind jeweils 3 Messwerte aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

### 3.2.2 Prüfling 2: Kugel-Platte-Funkenstrecke (Kugel: $d = 50$ mm, Platte: $d = 168$ mm)

Nach Schaltung unter 2.2 wird bei  $s = 10, 20, 30$  und  $40$  mm die Spannung langsam bis zum Durchschlag an der Funkenstrecke FS gesteigert. Am Gleichspannungsmessgerät ( $\mu\text{A}$ -Meter) ist jeweils der Strom  $I_d$  im Durchschlag-Augenblick abzulesen. Die Messungen sind für positive und negative Gleichspannung (beide Gleichrichter GR umdrehen) durchzuführen.

Es sind jeweils 3 Messwerte aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

### 3.2.3 Prüfling 3: Spitze-Platte-Funkenstrecke (Platte: $d = 168$ mm)

Nach Schaltung unter 2.2 wird bei  $s = 10, 20, 30$  und  $40$  mm die Spannung langsam bis zum Durchschlag an der Funkenstrecke FS gesteigert. Am Gleichspannungsmessgerät ( $\mu\text{A}$ -Meter) ist jeweils der Strom  $I_d$  im Durchschlag-Augenblick abzulesen. Die Messungen sind für positive und negative Gleichspannung (beide Gleichrichter GR umdrehen) durchzuführen.

Es sind jeweils 3 Messwerte aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

## 4. Auswertung

Alle Mittelwerte der gemessenen Ströme sind auf Spannungen umzurechnen. Sämtliche Mittelwerte der Spannungen sind auf Normalbedingungen zu beziehen (siehe Umdruck „Durchschlagspannung Kugelfunkenstrecke und Luftdichtekorrektur“)

- 4.1 Sämtliche Mittelwerte der Spannungen sind (auf Normalbedingungen bezogen) in Tabellen für die Wechselspannung und für die positive und negative Gleichspannung zusammenzustellen.
- 4.2 Bestimmen Sie für die Platte-Platte-Funkenstrecke (Homogenfeld) die (auf Normalbedingungen bezogenen) Werte der Durchschlagfeldstärke aus den Messungen mit der Wechselspannung. Die Werte sind als Funktion des Elektrodenabstandes ( $E_{\delta=1} = f(s)$ ) in einer Tabelle zusammenzustellen. In diese Tabelle sind die entsprechenden Vergleichswerte (bei Normalbedingungen) für die Durchschlagfeldstärke nach Gleichung (2) einzutragen. Die relativen (prozentualen) Abweichungen der Messwerte von den Vergleichswerten sind ebenfalls in der Tabelle aufzuführen.
- 4.3 In einem Diagramm für die **Wechselspannung** sind die (auf Normalbedingungen umgerechneten) Durchschlagspannungen aus der Instrumentenmessung für die untersuchten Prüflinge als Funktion des Elektrodenabstandes ( $\hat{U}_{d,\delta=1} = f(s)$ ) aufzutragen.
- 4.4 In einem Diagramm für die **positive Gleichspannung** sind die (auf Normalbedingungen umgerechneten) Durchschlagspannungen aus der Instrumentenmessung für die untersuchten Prüflinge als Funktion des Elektrodenabstandes ( $U_{d+,\delta=1} = f(s)$ ) aufzutragen.
- 4.5 In einem Diagramm für die **negative Gleichspannung** sind die (auf Normalbedingungen umgerechneten) Durchschlagspannungen aus der Instrumentenmessung für die untersuchten Prüflinge als Funktion des Elektrodenabstandes ( $U_{d,-,\delta=1} = f(s)$ ) aufzutragen.