

## Messung der Kraft zwischen einer geladenen Kugel und einer Metallplatte

### Versuchsziele

- Messung der Kraft  $F$  zwischen einer geladenen Kugel und einer geladenen Metallplatte in Abhängigkeit vom Abstand  $d$  zwischen Kugelmittelpunkt und Metallplatte.
- Messung der Kraft  $F$  zwischen einer geladenen Kugel und einer geladenen Metallplatte in Abhängigkeit der Ladung  $Q$  der Kugel.

### Grundlagen

Eine punktförmige Ladung  $Q$  im Abstand  $d$  vor einer geladenen Metallplatte erzeugt durch Influenz (Ladungsverschiebung) auf der Oberfläche der Metallplatte einen Überschuss an Ladungen mit entgegengesetztem Vorzeichen. Auf die Ladung  $Q$  wirkt daher eine anziehende Kraft zur Metallplatte hin.

Die anziehende Kraft  $F$  entspricht der Kraft, die eine punktförmige Ladung  $-Q$  im Abstand  $2d$  auf die Ladung  $Q$  ausüben würde. Es gilt also

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{-Q^2}{(2d)^2} \quad (I)$$

Dieser Zusammenhang wird in Fig. 1 verdeutlicht: Die von der Ladung  $Q$  ausgehenden elektrischen Feldlinien stehen im Gleichgewicht senkrecht auf der Metallplatte, denn eine Komponente des elektrischen Feldes parallel zur Metallplatte würde zu einer Verschiebung der Ladungsverteilung auf der Metallplatte führen, die im Gleichgewicht nicht mehr stattfinden kann. Den gleichen Feldlinienverlauf erzeugt eine „Spiegel“ladung  $-Q$ , die spiegelsymmetrisch zur Metallplatte angeordnet ist.

Im Versuch wird die Kraft zwischen einer geladenen Kugel und einer Metallplatte mit dem Ziel gemessen, die Proportionalitäten

$$F \sim \frac{1}{d^2} \quad (II)$$

und

$$F \sim Q^2 \quad (III)$$

zu bestätigen. Hier bewirkt die gegenseitige Influenz zwischen Kugel und Metallplatte allerdings eine Ladungsverschiebung auch auf der Kugel, die sich insbesondere bei kleinen Abständen  $d$  bemerkbar macht. Diese Ladungsverschiebung entspricht einer Verkleinerung des Abstandes  $d$  und bewirkt eine Vergrößerung der Kraft  $F$ .

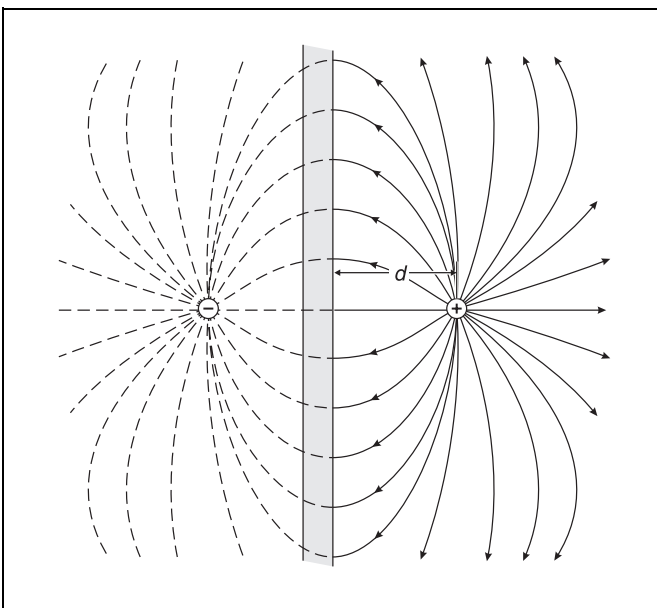


Fig. 1 Vergleich des Feldlinienverlaufs einer punktförmigen Ladung  $Q$  vor einer Metallplatte und zweier Ladungen  $Q$  und  $-Q$ .



**Meßbeispiel**

**a) Messung der Kraft in Abhängigkeit vom Abstand**

Tab. 1: Kraft  $F$  in Abhängigkeit vom Abstand  $d$

$\frac{d}{\text{mm}}$	$\frac{F}{\text{mN}}$
30	-5,9
32,5	-4,3
35	-3,1
37,5	-2,4
40	-1,9
42,5	-1,6
45	-1,3

**b) Messung der Kraft in Abhängigkeit von der Ladung**

Tab. 2: Kraft  $F$  bei voller Ladung  $Q$  und halbiertes Ladung ( $d = 35 \text{ mm}$ )

$n$	$\frac{F(Q)}{\text{mN}}$	$\frac{F(Q/2)}{\text{mN}}$	$\frac{F(Q/2)}{F(Q)}$
1	-3,2	-0,9	0,28
2	-5,0	-1,2	0,24
3	-3,4	-0,8	0,24
4	-4,0	-1,2	0,30
5	-3,0	-0,7	0,23
6	-3,6	-0,9	0,25
7	-4,6	-1,1	0,24
8	-3,7	-1,0	0,27
9	-3,9	-0,9	0,23
10	-4,2	-1,0	0,24

**Auswertung**

**a) Kraft in Abhängigkeit vom Abstand**

In Fig. 3 sind Meßwerte aus Tab. 1 graphisch dargestellt. Man erkennt, daß die anziehende Kraft  $F$  zwischen der geladenen Kugel und der geerdeten Metallplatte bei Vergrößerung des Abstandes  $d$  nichtlinear abnimmt.

Fig. 4 stellt die Meßwerte in der linearisierten Form  $|F|^{-1/2} = f(d)$  dar. Die Meßpunkte liegen in guter Näherung auf einer Geraden, die jedoch nicht durch den Nullpunkt geht, sondern die x-Achse bei  $d_0 = 17 \text{ mm}$  schneidet. Für die Kraft  $F$  gilt somit die Proportionalität

$$|F|^{-1/2} \sim d - d_0 \text{ bzw. } F \sim \frac{1}{(d - d_0)^2}$$

Dies entspricht einer Abstandsverschiebung, die auf eine durch Influenz hervorgerufene Ladungsverschiebung auf der Kugel zur Metallplatte hin zurückzuführen ist.

**b) Messung der Kraft in Abhängigkeit der Ladung.**

Nach (III) sollte bei einer Halbierung der Ladung  $Q$  die resultierende Kraft  $F$  auf ein Viertel sinken, d. h. man erwartet

$$\frac{F(Q/2)}{F(Q)} = 0,25 \tag{IV}$$

Der Mittelwert der Ergebnisse aus Tab. 2 beträgt  $\bar{x} = 0,252$  und die Standardabweichung des Mittelwertes  $\sigma = 0,008$ . Damit ist (IV) bestätigt.

**Ergebnis**

Zwischen einer geladenen Kugel und einer geerdeten Metallplatte wird durch Influenz eine anziehende Kraft hervorgerufen, die der Kraft durch eine Spiegelladung entspricht.

Fig. 3 Kraft  $F$  zwischen einer geladenen Kugel und einer Metallplatte Abhängigkeit vom Abstand  $d$

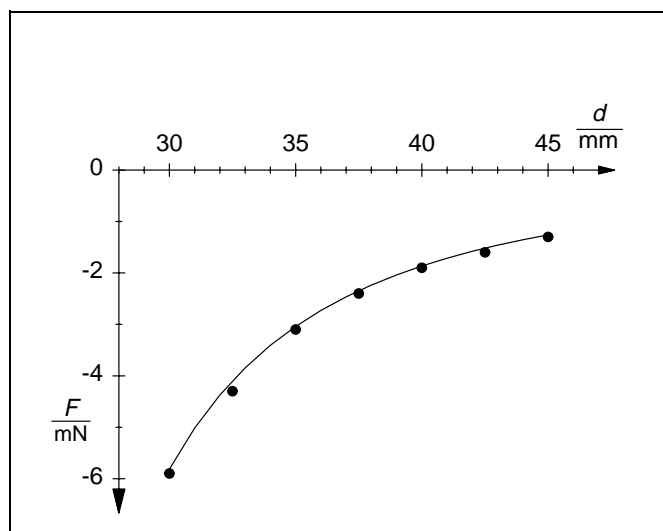


Fig. 4 Linearisierung der Meßkurve aus Fig. 3 in der Form  $|F|^{-1/2} = f(d)$

