

Stand: 11. Juli 2025

Aufgabe - Elektrische Wolke (Kurzaufgabe)

(4.5 Pkt.)

(3. Rd. zur IPhO 2025)

Auf der Erdoberfläche senkrecht unterhalb einer Wolke wird ein durch die Wolke verursachtes elektrisches Feld der Feldstärke $E = 100 \text{ V m}^{-1}$ in vertikale Richtung gemessen. Die Unterseite der Wolke befindet sich etwa $d = 300 \text{ m}$ über dem Boden und die Wolke besitzt eine Höhe von ebenfalls etwa 300 m .

Die Wolke ist insgesamt elektrisch neutral, besitzt aber eine Ladung $+q$ an der Oberseite sowie eine entgegengesetzte Ladung $-q$ an der Unterseite. Die Ladungen können vereinfacht als punktförmig angenommen werden. Nimm außerdem an, dass sich keine weiteren Ladungen in der Atmosphäre befinden.

Schätze den Wert der Ladung q ab und bestimme die externe elektrische Kraft, die auf die Wolke wirkt. Gib dabei auch die Richtung der Kraft an.

Hinweis: Die Erdoberfläche kann als Leiter betrachtet werden. Die Ladungen im Erdboden verteilen sich daher so, dass die Erdoberfläche auf konstantem Potential ist. Die im Allgemeinen komplizierte Ladungsverteilung im Erdboden kann durch eine einfache Ladungsverteilung ersetzt werden, die auch diesen Effekt hat. Das ist ausreichend dafür, dass auch das korrekte elektrische Feld oberhalb der Oberfläche erzeugt wird.

Lösung

Wir verwenden die so genannte Spiegelladungsmethode und stellen uns, wie in Abb. 1 skizziert, zwei zusätzliche (Spiegel-)Ladungen unterhalb der Erdoberfläche vor, die dafür sorgen, dass die Erdoberfläche aufgrund der symmetrischen Anordnung auf einem konstanten elektrischen Potential liegt.

Die Spiegelladungen modellieren die in der Realität vermutlich deutlich kompliziertere Ladungsverteilung im Erdboden. Da die Ladungen außerhalb des untersuchten Bereichs, also der Atmosphäre über der Erdoberfläche, liegen und sie, zusammen mit den Ladungen der Wolke, die Randbedingung eines konstanten elektrischen Potentials an der Erdoberfläche bedingen, führen sie zu dem korrekten elektrischen Feld in der Atmosphäre. Die Feldstärke an der Erdoberfläche direkt unterhalb der Wolke ergibt sich zu

$$E = \frac{2q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{d^2} - \frac{1}{(2d)^2} \right) = \frac{3q}{8\pi\epsilon_0 d^2}. \quad (1.1)$$

Daraus folgt für die Ladung q

$$q = \frac{8\pi\epsilon_0 d^2 E}{3} \approx 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ As}. \quad (1.2)$$

Die auf die Wolke wirkende externe elektrische Kraft F ist die von den Spiegelladungen auf die Ladungen in der Wolke ausgeübte Coulombkraft. Sie ist gegeben durch

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} \left\{ -\frac{1}{(2d)^2} + \frac{1}{(3d)^2} + \frac{1}{(3d)^2} - \frac{1}{(4d)^2} \right\} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 d^2} \left\{ \frac{2}{9} - \frac{1}{4} - \frac{1}{16} \right\}. \quad (1.3)$$

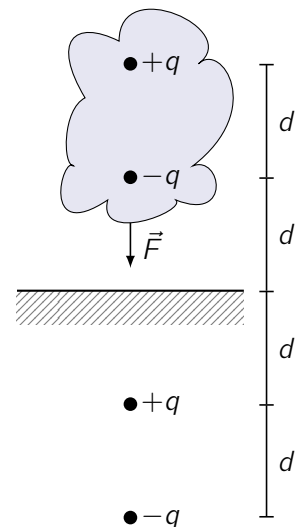


Abb. 1. Skizze zur Spiegelladungsmethode.

Damit ergibt sich

$$F = -\frac{13}{9 \cdot 16} \frac{q^2}{4 \pi \epsilon_0 d^2} = -\frac{13}{81} \pi \epsilon_0 d^2 E^2 \approx -4,0 \cdot 10^{-3} \text{ N} . \quad (1.4)$$

Die sehr kleine anziehende Kraft ist nach unten gerichtet und damit anziehend.

Bewertung - Elektrische Wolke (Kurzaufgabe)		Punkte
1	Verwenden der Idee der Spiegelladungsmethode	1.0
	Angeben der Positionen der Spiegelladungen	0.5
	Angeben der Ladungen der Spiegelladungen	0.5
	Aufstellen eines Ausdrucks für das elektrische Feld (1.1)	0.5
	Bestimmen der Ladung q in der Wolke (1.2)	1.0
	Bestimmen der Kraft auf die Wolke (1.4)	1.0
		4.5