

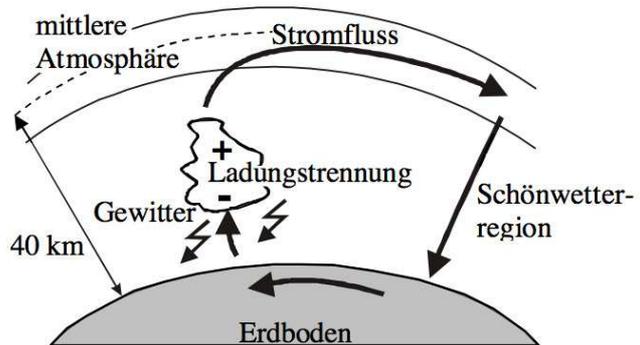
Lehrplananbindung: 11.1 Statisches elektrisches Feld, Anwendung in Natur und Technik

Kompetenzen: Neben den Fachkenntnissen liegt der Schwerpunkt bei

Erkenntnisgewinnung	<i>Fachmethoden wiedergeben</i>	Fachmethoden nutzen	<i>Fachmethoden problembezogen auswählen u. anwenden</i>
Kommunikation	Mit vorgegebenen Darstellungsformen arbeiten	<i>Geeignete Darstellungsformen nutzen</i>	<i>Darstellungsformen selbstständig auswählen u. nutzen</i>
Bewertung	<i>Vorgegebene Bewertungen nachvollziehen</i>	<i>Vorgegebene Bewertungen beurteilen und kommentieren</i>	Eigene Bewertungen vornehmen

Globaler elektrischer Kreislauf in der Atmosphäre (aus Grundkursabitur 2009, modifiziert)

Man stellt sich vor, dass in der Atmosphäre ein globaler elektrischer Kreislauf existiert. Die Ladungstrennung in den Wolken bildet die „Batterie“ dieses Stromkreises. Durch diese Ladungstrennung wird die sogenannte mittlere Atmosphäre, eine Schicht in rund 40 km Höhe, positiv aufgeladen, so dass zwischen mittlerer Atmosphäre und Erdboden eine Spannung von $U = 400 \text{ kV}$ herrscht. Sowohl die mittlere Atmosphäre als auch der Erdboden können als leitend angesehen werden. In Schönwetterregionen bilden positiv geladene Ionen einen ständigen Stromfluss von der Atmosphäre zum Erdboden, in Gewitterregionen wird durch Blitze der Stromkreis geschlossen. Die weltweit beobachtbaren Ströme in Schönwetterregionen können zu einem Gesamtstrom der Stärke $I = 1,3 \text{ kA}$ zusammengefasst werden. Ohne anhaltende Ladungstrennung wäre bei Annahme eines konstanten Stromes I die mittlere Atmosphäre nach 14 Minuten entladen.



In Schönwetterregionen bilden positiv geladene Ionen einen ständigen Stromfluss von der Atmosphäre zum Erdboden, in Gewitterregionen wird durch Blitze der Stromkreis geschlossen. Die weltweit beobachtbaren Ströme in Schönwetterregionen können zu einem Gesamtstrom der Stärke $I = 1,3 \text{ kA}$ zusammengefasst werden. Ohne anhaltende Ladungstrennung wäre bei Annahme eines konstanten Stromes I die mittlere Atmosphäre nach 14 Minuten entladen.

a) Berechnen Sie die Gesamtladung Q der mittleren Atmosphäre.

[zur Kontrolle: $Q = 1,1 \cdot 10^6 \text{ C}$]

- b) Trotz des Stroms kann man die Schönwetterregion als Kondensator mit der mittleren Atmosphäre und dem Erdboden als Kondensatorplatten auffassen. Berechnen Sie unter Annahme eines homogenen elektrischen Felds den Betrag der Kraft F_{el} auf ein einfach positiv geladenes Ion in der Schönwetterregion.
- c) Zeigen Sie durch eine Abschätzung, dass der Betrag der Energie, die im elektrischen Feld der Schönwetterregion gespeichert ist, in der Größenordnung 10^{11} J liegt.
- d) Nehmen Sie an, man könnte diese Energie in einem Kraftwerk im Dauerbetrieb nutzbar machen. Welche Leistung hätte das Kraftwerk? Wäre es sinnvoll, diese Ressource als „Energiequelle der Zukunft“ zu nutzen? Begründung!
- e) Ein Normblitz transportiert in etwa eine Ladung von 70 C . Berechnen Sie, wie viele Normblitze es durchschnittlich pro Sekunde weltweit geben muss, damit der globale Kreislauf aufrecht erhalten werden kann.
- f) Schätzen Sie ab, wie lange ein Blitz dauert, wenn der Entladestrom im Mittel 140 kA beträgt.

Lösung:

a) $Q = I \cdot t = 1300 \text{ A} \cdot 14 \text{ min} = 1,1 \cdot 10^6 \text{ C}$

b) $F = qE = q \frac{U}{d} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot \frac{400000 \text{ V}}{40000 \text{ m}} = 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ N}$

c) $E = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \frac{Q}{U} U^2 = \frac{1}{2} QU \approx 2,2 \cdot 10^{11} \text{ J}$

Bemerkung: Aufgrund der Einfachheit des Kondensatormodells führt ein Ansatz über die Oberfläche der Erdkugel zu einem völlig anderen Ergebnis.

d) *Ein modernes Kraftwerk hat eine Leistung von ca. 1-2GW, es liefert also eine Energie 10^9 J in jeder Sekunde. Mit der in der Atmosphäre gespeicherten Energie könnte man also weniger als 2 Minuten lang diese Energie abrufen, wenn keine Ladungen nachgeliefert werden würden. Dann wäre sie komplett entladen. Im Dauerbetrieb könnte man nur die Energie des Leckstromes nutzen. Da dieser im Gleichgewichtsfall etwa 1,3kA beträgt, wäre nur eine Leistung von ca. $P = 40000 \text{ V} \cdot 1300 \text{ A} = 5 \cdot 10^8 \text{ W}$ abrufbar. Dies entspricht der Leistung eines kleinen Kraftwerkes. Damit wäre diese Energiequelle nicht als Energiequelle der Zukunft geeignet.*

e) *In einer Sekunde muss so viel Ladung transportiert werden, dass es einem Strom*

von 1,3A entspricht: $I = \frac{nQ_{\text{Blitz}}}{1 \text{ s}} \Rightarrow n = \frac{1300 \text{ As}}{70 \text{ C}} = 18,6$

Es sind ca. 19 Blitze pro Sekunde notwendig.

f) $Q = I \cdot t \Leftrightarrow t = \frac{Q}{I} = \frac{70 \text{ C}}{140000 \text{ A}} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$