

6. Modelllösungen

Die jeweilige Modelllösung stellt eine mögliche Lösung bzw. Lösungsskizze dar. Der gewählte Lösungsansatz und -weg der Schülerinnen und Schüler muss nicht identisch mit dem der Modelllösung sein. Sachlich richtige Alternativen werden mit entsprechender Punktzahl bewertet (Bewertungsbogen: Zeile „Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung“).

Sollte die Auswertung der Messdaten mit Hilfe eines grafikfähigen TR oder CAS erfolgen, so muss der Prüfling die entstandenen Graphen für die korrigierende Lehrkraft skizzenhaft in seiner Reinschrift dokumentieren.

Teilaufgabe 1

- a) Aufgrund der Lorentzkraft werden die Ionen des Themsewassers senkrecht zur Flussrichtung und senkrecht zur Vertikalkomponente des Erdmagnetfeldes abgelenkt. Das bedeutet, dass die Ionen nach links bzw. rechts zu den beiden Flussufern abgelenkt werden. Für die negativ geladenen Ionen kann man die „Linke-Hand-Regel“ anwenden. Hierbei zeigt der Daumen in die Flussrichtung und der Zeigefinger in Richtung der Vertikalkomponente des Erdmagnetfeldes, also in die Erdoberfläche hinein. Die negativ geladenen Ionen werden demnach bezogen auf die Flussrichtung nach rechts abgelenkt. Die positiv geladenen Ionen werden aufgrund der anderen Polarität nach links abgelenkt. In Richtung des Flusses gesehen hat die entstehende Spannung daher auf der rechten Seite ihren Minuspol und auf der linken Seite ihren Pluspol.

- b) Durch die abgelenkten Ionen baut sich ein elektrisches Feld auf, das senkrecht zur Flussrichtung und parallel zur Erdoberfläche gerichtet ist. Der Vektor des elektrischen Feldes zeigt vom linken zum rechten Ufer. Durch das elektrische Feld wirkt eine Kraft ($F_{\text{el}} = q \cdot \frac{U}{d}$) auf die Ionen (Ladung q), die der oben beschriebenen Lorentzkraft ($F_{\text{L}} = q \cdot v \cdot B_{\text{v}}$) entgegengesetzt gerichtet ist. Das elektrische Feld vergrößert sich solange, bis die beiden Kräfte vom Betrag gleich groß sind und keine Ionen mehr abgelenkt werden. In diesem Fall herrscht ein Kräftegleichgewicht und man kann die Formel für die entstehende Spannung herleiten:

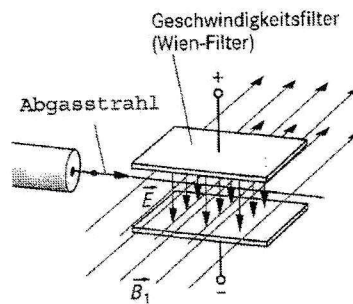
$$F_{\text{el}} = F_{\text{L}} \Leftrightarrow q \cdot \frac{U}{d} = q \cdot v \cdot B_{\text{v}} \Leftrightarrow U = d \cdot v \cdot B_{\text{v}}$$

Durch Einsetzen der gegebenen Werte ergibt sich eine Spannung von ungefähr 26 mV.

$$U = 300 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ m/s} \cdot 44 \cdot 10^{-6} \text{ T} = 0,026 \text{ V}$$

Teilaufgabe 2

- a) Einen solchen Geschwindigkeitsfilter kann man realisieren, indem man den Abgasstrom durch einen Plattenkondensator schickt, der sich in einem homogenen Magnetfeld befindet. Es ist darauf zu achten, dass die Feldlinien beider Felder senkrecht zueinander stehen und dass der Abgasstrom ebenfalls senkrecht zu den Feldlinien beider Felder die Anordnung durch einen dort angebrachten Spalt passiert.



Skizze aus: Kuhn, Physik 2, Westermann 2001, S. 189, verändert

Auf die (positiv oder negativ) geladenen Teilchen mit der Ladung q wirkt die Lorentzkraft mit $F_L = q \cdot v \cdot B$ und die elektrische Kraft mit $F_{el} = q \cdot E$.

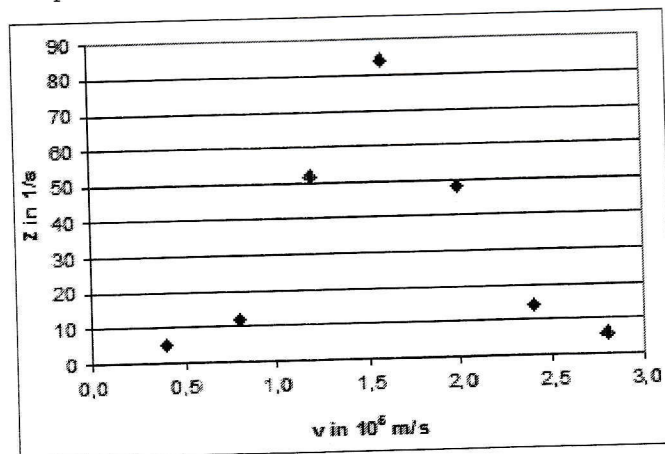
Damit die Teilchen den Filter ungehindert passieren, müssen sich die Kräfte gegenseitig aufheben und daher betragsgleich und entgegengesetzt gerichtet sein. Daraus ergibt sich eine Bedingung für die Geschwindigkeit:

$$F_{el} = F_L \Leftrightarrow q \cdot E = q \cdot v \cdot B \Leftrightarrow v = \frac{E}{B}.$$

- b) Die Geschwindigkeit der Ionen ergibt sich durch die Formel $v = \frac{E}{B}$.

E in $\frac{V}{m}$	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000
Z in $\frac{1}{s}$	5	12	52	84	48	14	6
v in $10^5 \frac{m}{s}$	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8

Graphische Darstellung:



Das Diagramm zeigt eine Geschwindigkeitsverteilung mit einem Maximum bei etwa $1,6 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- c) Die Teilchen werden aufgrund der Lorentzkraft abgelenkt. Für die negativ geladenen Teilchen kann man die „Linke-Hand-Regel“ anwenden. Dabei zeigt der Daumen in Richtung des Abgasstroms und der Zeigefinger in Richtung des Magnetfeldes (vom Nord- zum Südpol). Die negativen Teilchen werden also nach unten abgelenkt. Bei den positiv geladenen Teilchen ist nur die Polarität der Ladung anders; sie werden daher nach oben abgelenkt.

Die auf die geladenen Teilchen wirkende Lorentzkraft ist senkrecht zu den Magnetfeldlinien und stets senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Teilchen gerichtet. Da außerdem der Betrag der Lorentzkraft wegen des homogenen Magnetfeldes und des konstant bleibenden Geschwindigkeitsbetrages an jeder Stelle gleich groß ist, ergibt sich innerhalb des Magnetfeldes eine kreisbogenförmige Bahn, wenn angenommen wird, dass die Teilchen keine Geschwindigkeitskomponente in Richtung des Magnetfeldes haben.

Die für eine solche Bahn erforderliche Zentripetalkraft F_z wird durch die Lorentzkraft F_L aufgebracht. Es gilt also:

$$F_z = F_L \Leftrightarrow \frac{m \cdot v^2}{r} = q \cdot v \cdot B \Leftrightarrow r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}.$$

Den Radius kann man mit Hilfe dieser Formel berechnen:

$$r = \frac{m \cdot v}{e \cdot B} = \frac{1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \cdot 2,00 \cdot 10^4 \text{ m/s}}{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,01 \text{ T}} = 0,25 \text{ m}.$$

Teilaufgabe 3

- a) Nach dem Satz des Pythagoras kann man für das rechtwinklige Dreieck oberhalb der Kondensatorplatte folgende Beziehung aufstellen:

$$(r - d)^2 + l^2 = r^2 \Leftrightarrow l^2 = 2rd - d^2, \text{ also } l = \sqrt{2rd - d^2}.$$

Durch Einsetzen der Werte erhält man: $l = \sqrt{2 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} - (0,1 \text{ m})^2} = 0,20 \text{ m}.$

Durch den Kurzschluss bewirken die auf die Kondensatorplatten treffenden Ladungen einen Stromfluss, der verhindert, dass sich die Ladungen auf den Platten ansammeln und daher ein elektrisches Gegenfeld erzeugen, durch das ein weiteres Ansammeln der Ladungen auf den Kondensatorplatten verhindert wird.

- b) Die Spannung baut sich aus dem gleichen Grund auf wie bei dem Experiment von Faraday und es gilt ebenfalls: $U = d \cdot v \cdot B$. Einsetzen der Werte liefert

$$U = 0,1 \text{ m} \cdot 2,00 \cdot 10^4 \text{ m/s} \cdot 0,01 \text{ T} = 20 \text{ V}, \text{ d. h., die Spannung beträgt } 20 \text{ V}.$$

Die obige Gleichung für die Spannung enthält die Ladungsmenge nicht. Deshalb wird die erzeugte Spannung nicht größer.

(Alternative Lösung: Stärker geladene Teilchen führen nur dazu, dass die Kondensatorplatten schneller geladen werden. Sobald aber die durch das elektrische Feld bedingte Kraft groß genug ist, um die Lorentzkraft auszugleichen, werden keine weiteren Teilchen abgelenkt und die Spannung steigt nicht weiter an.)

- c) Die Energie kann nur aus der kinetischen Energie der Ionen stammen. Durch die Bewegung der Ionen unterliegen sie der Lorentzkraft und werden auf die Platten gelenkt, wodurch das elektrische Feld aufgebaut wird.

Teilaufgabe 4

Durch die angelegte elektrische Spannung entsteht ein elektrisches Feld zwischen den Elektroden. Die Ionen des Meerwassers erfahren eine elektrische Kraft in oder entgegen der Richtung der elektrischen Feldlinien: die positiv geladenen Ionen in Richtung der elektrischen Feldlinien und die negativ geladenen Ionen entgegen der Feldlinienrichtung.

Durch das Magnetfeld erfahren die Ionen zusätzlich die Lorentzkraft, die senkrecht zu ihren Bewegungsrichtungen wirkt. Wendet man die Dreifinger-Regel auf jede der beiden Ionenarten an, erkennt man, dass beide Ionenarten durch die beiden jeweils auf sie wirkenden Kräfte in dieselbe Richtung abgelenkt werden. Das Wasser strömt also zwischen den Elektroden in eine Richtung (in der Skizze nach hinten rechts). Aufgrund des Rückstoßprinzips bewegt sich das Boot in die andere Richtung (in der Skizze also nach vorne links).

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die Richtungsangabe des Wassers wird laut Aufgabenstellung vom Prüfling nicht verlangt.