

# Lösungsskizzen zu den Stationsblättern

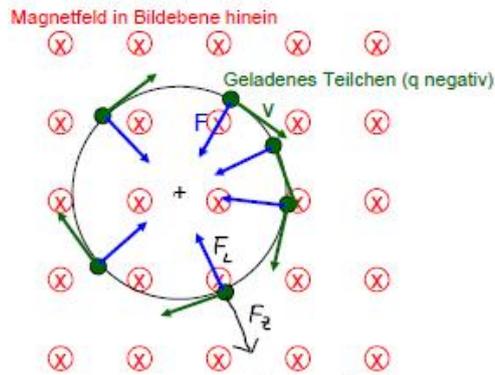
## Station 1 - $\mathbf{E}$ -/ $\mathbf{B}$ -Feld Basics:

- 1. Frage: In einem  $\mathbf{B}$ -Feld, also einem Magnetfeld existiert eine magnetische Flussdichte ungleich Null. Somit erfahren magnetisierbare Stoffe wie auch bewegte Ladungen gewisse Kräfte. Die genaue Definition der magnetischen Flussdichte könnt Ihr im Buch auf Seite 37 unten im Merksatz finden.
- 2. Frage: Nichts - es ruht weiterhin. Keine Geschwindigkeit senkrecht zu  $B$  heißt keine Lorentzkraft.
- 3. Frage: huh, siehe Frage 3 für Station 2, copy-paste...
- 4. Frage: Nein! Das ist ein wichtiger Unterschied zu Ladungen in  $\mathbf{E}$ -Feldern! In magnetischen Feldern werden bewegte Ladungen zwar beschleunigt, sie ändern aber keinesfalls den Betrag ihrer Geschwindigkeit, nur ihre Richtung, da die Lorentzkraft als beschleunigende Kraft **die ganze Zeit** senkrecht auf der Geschwindigkeit steht! Siehe die Zeichnung bei den Kommentaren zu Station 2.
- 5. Frage: Da ich mein Original Euch gegeben habe, kann ich den Aufbau nicht mehr sicher wiedergeben. Ich glaube, es war eine Ionenquelle mit positiven Ionen, die von links in einen Kondensator eintreten. Dieser ist oben negativ geladen, also zeigen die elektrischen Feldlinien nach oben. Dadurch erfahren die Teilchen eine elektrische Kraft, die sie nach oben beschleunigt. Andererseits ist aber noch ein magnetisches Feld vorhanden, wobei die Feldlinien in die Zeichenebene gehen. Man sieht mit der RECHTEN (warum rechte: weil POSITIVE Ladung! Für NEGATIVE Ladungen wie Elektronen nehmt die Linke-Handregel) Handregel [Mit der linken Handregel gehts natürlich auch, aber dann muss man mit dem Daumen GEGEN die Flugrichtung der POSITIVEN Ionen deuten...]. Nochmal... man sieht mit der rechten Handregel, dass die Ionen eine Kraft nach oben erfahren und so verstärken sich beide Kräfte und die Teilchen werden nach oben abgelenkt. Würde man das Magnetfeld allerdings umpolen, könnten sich beide Kräfte sogar kompensieren und man könnte so einen Geschwindigkeitsfilter (siehe dort) bauen!

## Station 2 - $\mathbf{E}$ -/ $\mathbf{B}$ -Feld:

- 1. Frage: simple Geraden (Newtons Mechanik der gleichförmigen Bewegung ist hier das Stichwort; keine Kraft, keine Änderung der Geschwindigkeit), denn es gibt keine  $\mathbf{v}$ -Komponente senkrecht zum  $\mathbf{B}$ -Feld, ergo keine Lorentzkraft.
- 2. Frage: Im ersten Fall läuft das Teilchen auf einer Kreislinie, im zweiten Fall auf einer Schraubenlinie. Wir haben das durchdiskutiert. Um eine Schraubenlinie korrekt zu beschreiben, benötigt man ihren Radius und ihre Ganghöhe (für den Kreis nur den Radius), beides rechnen wir jetzt aus. Wir zerlegen die Geschwindigkeit  $\mathbf{v}$  in eine senkrecht zu  $\mathbf{B}$  stehende Komponente  $v_y$  und eine zu  $\mathbf{B}$  parallele Komponente  $v_x$ . Eigentlich könnte es noch eine Komponente  $v_z$  geben, da es drei Raumrichtungen gibt, aber wir leben der Einfachheit halber ja schon lange in der Flachwelt. Also vergessen wir das gleich wieder. Siehe diese schöne aus dem Netz geklaute Zeichnung (bei Caren Hagner):

1. Geschwindigkeit senkrecht zum Magnetfeld:  
Kreisbahn

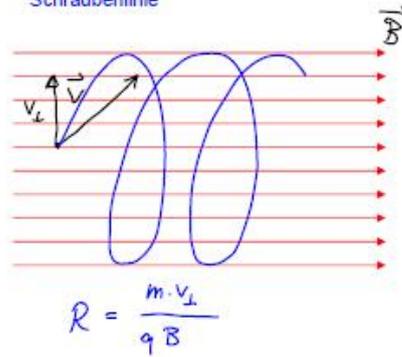


Teilchen bleibt auf Kreisbahn wenn

$$F_L = F_z$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$

2. Geschwindigkeit schräg zum Magnetfeld:  
Schraubenlinie



Dabei ist wichtig, dass im Schraubenlinienfall eben auch eine zu **B** parallele Komponente von **v** vorhanden ist, die die ganze Zeit unverändert „ihr Ding macht“ und mit verstreichender Zeit das Teilchen in seine Richtung „voran bringt“. Daher gibts keinen Kreis, sondern einen aufgezogenen Kreis; eine Schraubenlinie. Der Radius ist praktisch derselbe wie im leichten Fall (Kreislinie), die Ganghöhe findet man wie besprochen darüber, dass man zuerst die Umlaufzeit für die Kreislinie bestimmt mittels  $v_{\text{senkrecht zu } B} = \frac{\text{Umfang}}{\text{Umlaufzeit}}$ , also  $v_s = \frac{2\pi R}{T}$  (fällt Euch etwas auf an  $T$ ? löst mal auf und ersetzt  $R$  wie in der Zeichnung angegeben...). Nun nimmt man sich diese Zeit und schaut, wie weit das Teilchen mittels  $v_{\text{parallel zu } B} = \frac{s}{T}$  in der Zeit  $T$  kommt. Das so errechnete  $s$  ist dann die Ganghöhe.

- 3. Frage: Sie wird gemäß  $F = qE$  gleichmäßig in Richtung von  $\pm \mathbf{E}$  (kommt aufs Vorzeichen an) beschleunigt (Stichwort: „freier Fall“).
- 4. Frage: Wenn wir bereits eine Anfangsgeschwindigkeit haben, dann gibts einen freien Fall mit Startgeschwindigkeit (bsp. schmeisst man sich (mit Fallschirm) kräftig aus dem Flugzeug gen Boden).
- 5. Frage: Druckfehler; meint **E**, nicht **B**. Die senkrechte Komponente zu **E** bleibt unberührt, es wäre ein waagrechter Wurf, das hatten wir auch schon.

**Station 3 - Zyklotron:**

- 1. Frage: Den Aufbau erklärt man wohl am einfachsten mit einer Zeichnung! Diese findet Ihr im Buch auf Seite 51 in Abschnitt 3(a). Ich finde die Erklärung an dieser Stelle auch sehr gut, der dortige Ansatz  $\frac{mv_s^2}{r} = qv_s B$  ist derselbe wie beim Massenspektrometer (siehe dort). Die Flugzeit, die für die Zyklotronfrequenz entscheidend ist, ergibt sich aus dem einfachen Ansatz  $v = \frac{s}{t}$ , der immer für Geschwindigkeiten, die sich zeitlich nicht ändern, gilt. Und das  $v_s$  hier ist betragsmäßig konstant!
- 2. Frage: Formel siehe Buch! Diese Frequenz muss man kennen, da man die geladenen Teilchen immer „im richtigen Moment anschubsen“, sprich beschleunigen will. Der Vergleich mit der Situation, das jmd. auf einer Schaukel schaukelt und ein anderer im richtigen Moment anschubst, ist sehr treffend, da auch hier immer mehr Energie ins System Schaukel kommt.
- 3. Frage: Als Teilchenbeschleuniger. Klingt doof, aber für die Teilchenphysik braucht man sowas. Siehe CERN... Aber es gibt auch Anwendungen in der Technik, allerdings bewirken die durchs Beschleunigen erzeugten energiereichen Strahlen etwas Nützliches, sodass man auch andere Beschleuniger hätte verwenden können.

**Station 4 - Hall-Sonde:**

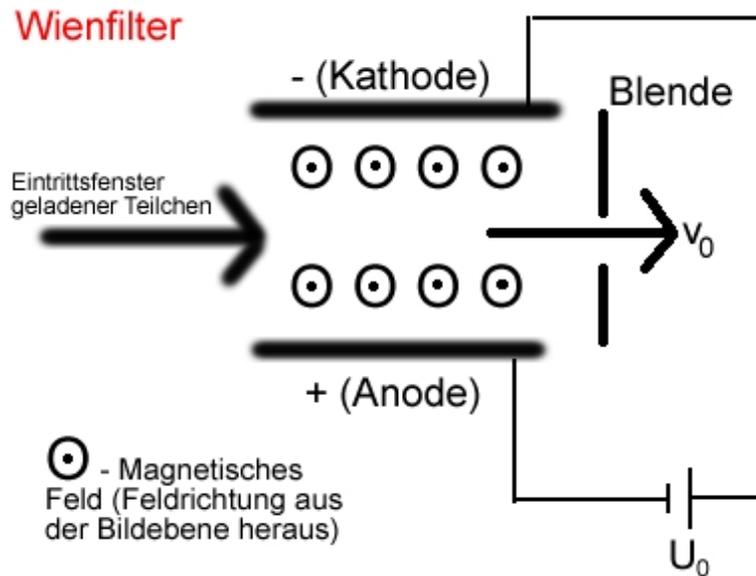
- 1. Frage: ja, doppelt. Also: Hall-Sonden werden zum Ausmessen magnetischer Felder genutzt. Dabei machen sie sich den Halleffekt zunutze. Da es bei diesem auf ein „senkrecht Eintauchen“ (siehe unten) mit dem Sensor ins Feld ankommt, muss man aufpassen, dass man nicht „verkantet“ und den Sensor schräg hinein hält.
- 2. Frage: Eine Skizze findet sich auf der zum Thema gehörende Wikipedia-Seite <http://de.wikipedia.org/wiki/Halleffekt>. Nun eine sehr ausführliche Erklärung: Der Hall-Effekt tritt in einem stromdurchflossenen elektrischen Leiter auf, der sich in einem Magnetfeld befindet, wobei sich ein elektrisches Feld aufbaut, das zur Stromrichtung und zum Magnetfeld senkrecht steht und das die auf die Elektronen wirkende Lorentzkraft kompensiert. Das ist halt so. Jetzt die Idee: Durch Anlegen einer Spannung an die Probe fließt ein Strom. Die Ladungsträger sind im Allgemeinen Elektronen. Die Elektronen bewegen sich entgegen der technischen Stromrichtung (die ist ja in Richtung einer positiven Ladung definiert) mit einer mittleren Geschwindigkeit  $v$  (Driftgeschwindigkeit) durch den Leiter. Wegen der durch das Magnetfeld verursachten Lorentz-Kraft wird das Elektron senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung abgelenkt. Hierdurch kommt es auf der entsprechenden Seite des Leiters zu einem Elektronenüberschuss (blau hervorgehoben), während es auf der gegenüberliegenden Seite im selben Maße zu einem Elektronenmangel kommt (rot hervorgehoben). Man hat es also mit einer Ladungstrennung vergleichbar mit der eines Kondensators zu tun. Die sich nun gegenüberstehenden negativen und positiven Ladungsüberschüsse verursachen ein elektrisches Feld, das eine Kraft auf die Elektronen ausübt, die der Lorentz-Kraft entgegengerichtet ist. Die Verstärkung der Ladungstrennung kommt zum Stillstand, wenn sich beide Kräfte gerade kompensieren. Wie beim Kondensator kann eine Spannung abgegriffen werden, die hier als Hall-Spannung bezeichnet wird. Die Hall-Spannung folgt Strom- und Magnetfeldänderungen in der Regel unmittelbar. Die spezifischen Eigenschaften des Leitungsvorganges werden durch die Hall-Konstante  $R_H$  wiedergegeben.
- 3. Frage: Sinnlos, vom Blatt vorher (copy-paste-Problem...)
- 4. Frage: Man findet  $U_H = R_H \cdot \frac{I \cdot B}{d}$ , wenn man die Hallsonde mit einem Strom  $I$  versorgt und in das  $\mathbf{B}$ -Feld eintaucht.  $d$  ist dabei die Dicke der Probe parallel zu  $\mathbf{B}$ .

**Station 5 - Massenspektrometer:**

- 1. und 2. Frage: Zeichnung siehe Buch Seite 50! Tritt der Ionenstrahl **senkrecht** in das homogene Magnetfeld ein, so erfährt jede Ladung eine Kraft, nämlich:  $F_L = q \cdot v \cdot B$ . Nun stehen  $\mathbf{B}$  und  $\mathbf{v}$  senkrecht aufeinander und das Teilchen bewegt sich daher auf einer Kreisbahn. Dabei wirkt die Lorentzkraft als Zentripetalkraft und es gilt:  $F_L = F_Z \Rightarrow qvB = \frac{mv^2}{r}$ , woraus auch der Radius der Kreisbahn folgt:  $r = \frac{mv}{qB}$  und man erkennt, dass sich für die Fälle (a) wie bei (b) der Radius jeweils ändert (wie genau?). Im Fall (c) merkt das Teilchen leider nichts vom B-Feld und fliegt ins Unendliche davon. Interpretation als „mathematischer Grenzfall“: stellt euch eine kleiner und kleiner werdende Ladung vor, dann muss  $r$  gegen Unendlich gehen. Und eine gerade Linie ist ja sozusagen auch ein Kreis mit unendlichem Radius...
- 2. Frage: schon erledigt! ... Kreislinie oder in unserem Fall auf Schlauf „Kreisbogenabschnitt“ ...
- 3. Frage: Lösung im Buch!

### Station 6 - Geschwindigkeitsfilter „Wienfilter“ oder auch Wienscher „Filter“:

- 1. Frage:



Bei fest eingestelltem elektrischem bzw. magnetischen Feld erfährt ein negativ (positiv) geladenes Teilchen eine elektrische Kraft, die nach unten (nach oben) gerichtet ist. Gleichzeitig wirkt aber auch eine magnetische Kraft, die der elektrischen Kraft genau entgegengesetzt wirkt. Diese hängt zudem von der Geschwindigkeit des Teilchens ab. Es gibt drei verschiedene Fälle; entweder überwiegt die elektrische Kraft oder die magnetische oder beide heben sich genau auf. Im letzten Fall gilt dann:  $e \cdot E = e \cdot v \cdot B \Rightarrow E = v \cdot B \Rightarrow v = \frac{E}{B}$ . Wir sehen, dass nur im letzten **kräftefreien** Fall die Bewegung unbeeinflusst bleibt. Teilchen mit anderer Geschwindigkeit prallen an den Schirm oder auf die Kondensatorplatten. Dabei ist völlig egal, welche Masse oder Ladung das Teilchen trägt (solange die Ladung nicht Null ist... Wieso?!), da diese nicht in der Formel auftauchen!

- 2. Frage: Lösung im Buch!

### Station 7 - Spule:

- 1. Frage: Eine Spule ist ein Bauteil in der Elektrotechnik, welches sich (u.a.) zum Erzeugen magnetischer Felder eignet. Sie besteht meist aus „aufgewickeltem“ Kupferdraht.
- 2. Frage: Indem man durch den „Wickeldraht“ einen Strom schickt.
- 3. Frage: Man kann das in der Spule entstandene B-Feld beispielsweise mit einer Hall-Sonde ausmessen.
- 4. Frage: Für lange Spulen gilt im Inneren:  $B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot I \cdot \frac{n}{l}$  mit  $\mu_r \neq 1$ , wenn das in der Spule liegende Volumen kein Vakuum ist. Besonders groß ist diese Materialkonstante bsp. bei einem Eisenkern. An den Rändern der Spule kommt es zu Verzerrungen und so herrscht kein homogenes Feld!
- 5. Frage: ohne Lösung!