

K. Turner	
Name:	
valle.	

# Abiturprüfung 2016

## Physik, Grundkurs

### Aufgabenstellung:

## Aufgabe: Induktion bei der Torlinientechnik

Im Fußball sorgen regelmäßig umstrittene Entscheidungen über zu Unrecht gegebene bzw. nicht gegebene Tore für Diskussionen. Technische Hilfsmittel, die überprüfen, ob der Ball die Torlinie vollständig, d. h. mit vollem Durchmesser, überquert hat oder nicht, werden als Torlinientechnik bezeichnet (siehe Abbildung 1).

In den letzten Jahren wurden unterschiedliche Systeme der Torlinientechnik entwickelt. Mehrere von ihnen nutzen Magnetfelder, um die Position des Balles zu bestimmen.

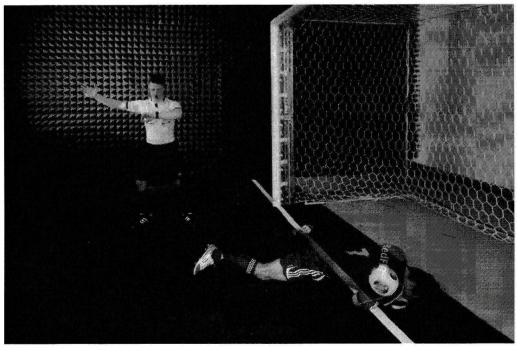


Abbildung 1:

Der Schiedsrichter kann auf Tor entscheiden, obwohl der Ball vom Torhüter verdeckt wird.

(Quelle: http://www.iis.fraunhofer.de/de/pr/2013/20130517\_goalref-amsterdam.html)



Name	e:			

In einem einfachen Modellversuch soll ein mögliches System dargestellt werden, das sich Magnetfelder zunutze macht (siehe Abbildung 2). Hierbei dient eine Spule mit großem Durchmesser als "Tor" und eine Spule mit deutlich kleinerem Durchmesser als "Ball". Die Spulen werden im Folgenden der Einfachheit halber als **Torspule** bzw. **Ballspule** bezeichnet. Außerdem befindet sich eine Hall-Sonde in einiger Entfernung hinter der Torspule, um die Position der Ballspule relativ zur Torlinie zu bestimmen. Zur Anzeige der Entscheidung "Ball im Tor" bzw. "Ball nicht im Tor" wird ein Voltmeter verwendet.

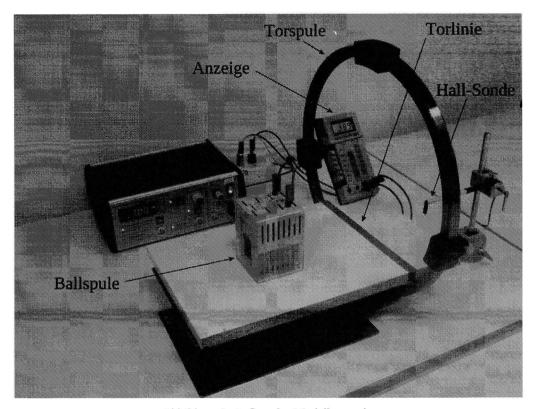


Abbildung 2: Aufbau des Modellversuchs



Name: \_\_\_\_\_

#### Teilaufgabe 1

Die Hall-Sonde misst die Stärke B des magnetischen Feldes indirekt über die sogenannte Hall-Spannung  $U_{\rm H}$  (siehe Abbildung 3).

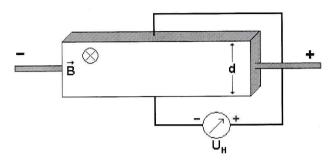


Abbildung 3: Skizze einer Hall-Sonde

- Beschreiben Sie den Aufbau der Hall-Sonde.
- Erläutern Sie ihre Funktionsweise.
- $\bullet$  Zeigen Sie mit Hilfe eines geeigneten Kraftansatzes, dass sich die Hall-Spannung  $U_{\rm H}$  proportional zur Feldstärke B verhält. (10 Punkte)

#### Teilaufgabe 2

Das Magnetfeld der Torspule ist stark inhomogen. Dies hat praktische Bedeutung für den Modellversuch, da die von der Stromstärke I in der Torspule abhängige Stärke  $B_I$  des magnetischen Feldes hinter der Torspule stark abfällt.

Entlang der in Abbildung 4 dargestellten *x*-Achse (Symmetrieachse) gilt

$$B_I(x) = \frac{\mu_0 \cdot n_{\rm T} \cdot I}{2} \cdot \frac{R^2}{\left(R^2 + x^2\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

Dabei ist  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$  die magnetische Feldkonstante,  $n_{\text{T}}$  die Anzahl der Windungen, R der Radius und x der Abstand von der Spulenmitte.

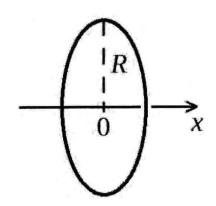


Abbildung 4: Skizze der Torspule



Name:	
-------	--

Zur experimentellen Bestimmung der Feldstärke  $B_I$  wird die Hall-Spannung durch das Betriebsgerät der Hall-Sonde zunächst verstärkt. Die verstärkte Hall-Spannung  $U_{\rm H}$  wird dann zur Anzeige gebracht. Um sie in die Feldstärke  $B_I$  umrechnen zu können, misst man Werte für  $U_{\rm H}$  in der Mitte der Torspule (x=0) in Abhängigkeit von der Stromstärke I (siehe Tabelle 1). Der Spulenradius beträgt R=20,0 cm , die Spule hat  $n_{\rm T}=154$  Windungen.

I (in A)	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
$U_{\rm H}$ (in V)	0,00	0,45	0,94	1,45	1,98	2,39
$B_{I}(0)$ (in mT)						

Tabelle 1

- a) Zeigen Sie mit Hilfe der gegebenen Gleichung für  $B_I(x)$ , dass die Stärke des magnetischen Feldes in der Spulenmitte durch die Gleichung  $B_I(0) = \frac{\mu_0 \cdot n_T \cdot I}{2 \cdot R}$  gegeben ist.
- b) Berechnen Sie mit Hilfe der Gleichung aus Teilaufgabe a) die Werte für  $B_{\rm I}(0)$  in Tabelle 1 in Abhängigkeit von der Stromstärke I.
  - Bestimmen Sie anhand einer grafischen Auswertung den Proportionalitätsfaktor c für den Zusammenhang  $B = c \cdot U_{\rm H}$  bei der hier verwendeten Hall-Sonde.

(11 Punkte)

Name: \_\_\_\_\_

## Teilaufgabe 3

In einem Gedankenexperiment ist das von der Torspule erzeugte Magnetfeld zunächst **zeit- lich konstant**. Die Ballspule wird mit **offenen** Anschlüssen mit konstanter Geschwindigkeit *v*, wie in Abbildung 5 dargestellt, auf die Torspule zu und durch sie hindurch bewegt.

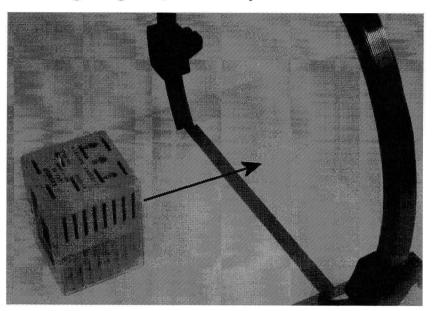


Abbildung 5: Bewegungsrichtung der Ballspule

a) Begründen Sie, dass zwischen den offenen Anschlüssen der Ballspule eine Spannung U messbar ist.



N. I	
Name:	
I TOUTHOU	

b) In Abbildung 6 ist der Verlauf der Spannung U in Abhängigkeit von der Zeit t für zwei verschiedene Geschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2 > v_1$  skizziert. Zum Zeitpunkt t = 0 befindet sich die Ballspule jeweils in gleicher Entfernung zur Torlinie.

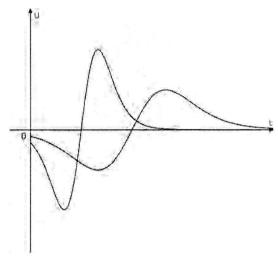


Abbildung 6: Zeitliche Spannungsverläufe (qualitativ)

- Begründen Sie die gemeinsamen Eigenschaften beider Spannungsverläufe mit Hilfe des Induktionsgesetzes.
- Erklären Sie, welches Ereignis im Spannungsverlauf zeigt, dass die Ballspule die in Abbildung 5 markierte Torlinie erreicht hat.
- c) Ermitteln Sie unter Nennung von zwei Argumenten den Spannungsverlauf, bei dem die Ballspule die höhere Geschwindigkeit  $v_2$  hatte.

(14 Punkte)

#### Teilaufgabe 4

In den Abbildungen 7a und 7b sowie in Tabelle 2 wird die Funktionsweise der Torlinientechnik im Modellversuch dargestellt. Dazu wird durch die Torspule ein **zeitlich veränderliches** Magnetfeld erzeugt. Die Frequenz des Erregerstroms ist  $f=50~{\rm Hz}$ . Die Ballspule ist **kurzgeschlossen**. Mit Hilfe der Hall-Sonde wird die Stärke des magnetischen Feldes an einem Punkt hinter der Torspule gemessen. Die Anzeige des angeschlossenen Voltmeters gibt die in Teilaufgabe 2 definierte Spannung  $U_{\rm H}$  in V an.



Name: \_\_\_\_\_

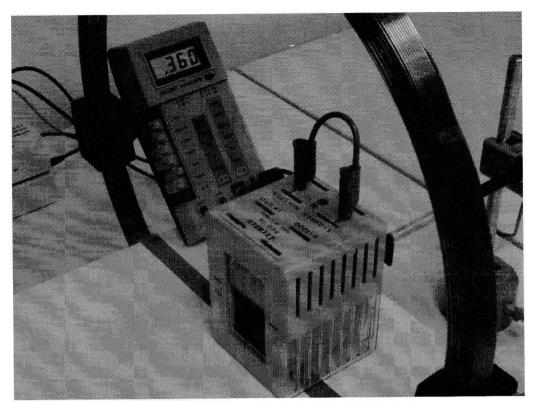


Abbildung 7a: Die Ballspule befindet sich auf der Torlinie.

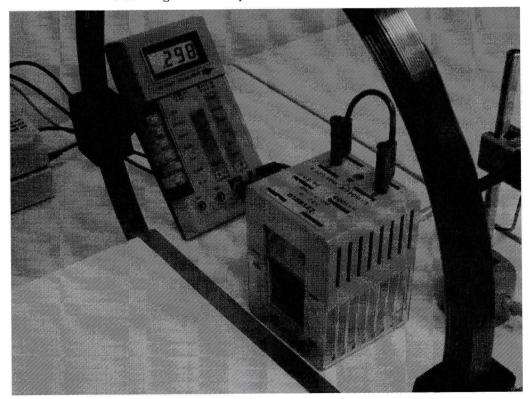


Abbildung 7b: Die Ballspule befindet sich vollständig hinter der Torlinie.



Name:	

Bei der Bewegung der Ballspule auf die Torspule zu und durch sie hindurch wurden folgende Werte für  $U_{\rm H}$  der Reihe nach gemessen:

Positionsnr.	1	2	3	4	5	6	7
$U_{\rm H}$ (in V)	0,360	0,345	0,339	0,326	0,298	0,287	0,269

Tabelle 2: Die Positionsnummern 1 und 5 beziehen sich auf die Abbildungen 7a bzw. 7b.

- a) Beschreiben Sie mit Hilfe der Abbildungen 7a und 7b sowie der Tabelle 2 allgemein, woran man mit Hilfe der Torlinientechnik im Modellversuch erkennen kann, dass der Ball die Torlinie überquert hat.
- b) Erläutern Sie anhand einer **energetischen** Betrachtung die Verringerung der Spannung  $U_{\rm H}$ , wenn sich die Ballspule im Magnetfeld der Torspule befindet.
- c) Erläutern Sie, wie sich die in Abbildung 7b gemessene Spannung  $U_{\rm H}$  verändern würde, wenn man die Ballspule an der dort dargestellten Position um die vertikale Achse dreht.

Um das Verfahren zu verbessern, enthält der Ball bei der Torlinientechnik nicht nur eine, sondern drei Spulen (siehe Abbildung 8).

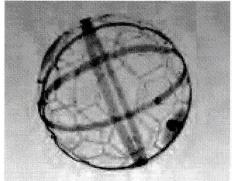


Abbildung 8: Röntgenaufnahme des Balles, in dem sich die drei Spulen befinden (Quelle: http://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/kom/proj/goalref.html#tabpanel-2)

• Diskutieren Sie die Notwendigkeit der drei Spulen.

(15 Punkte)

## Zugelassene Hilfsmittel:

- Physikalische Formelsammlung
- Taschenrechner (wissenschaftlicher Taschenrechner ohne oder mit Grafikfähigkeit/ CAS-Taschenrechner)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung