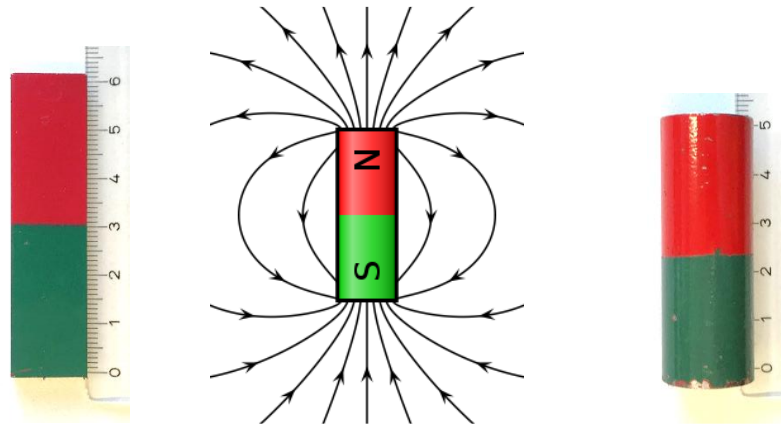
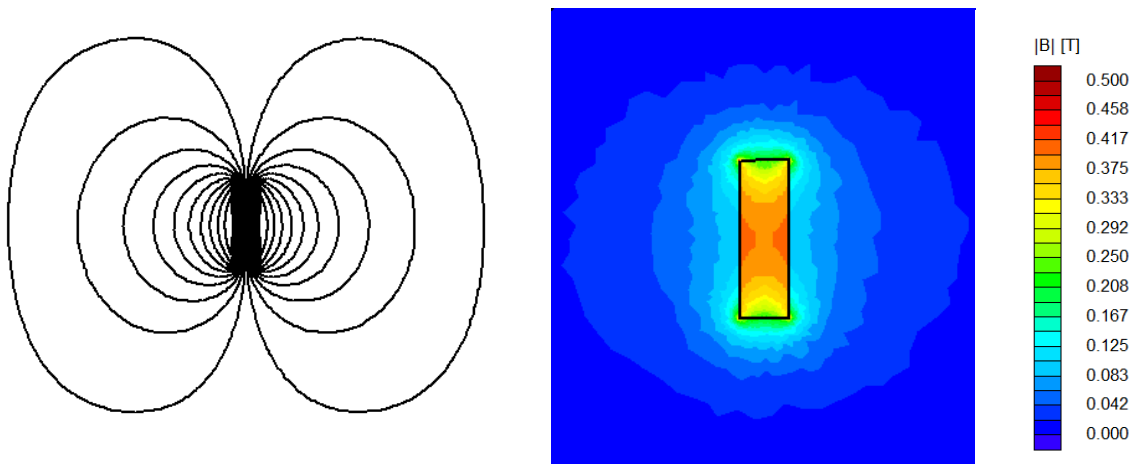


## EL2 Praktikum #02: Induktionsgesetz

In diesem Praktikum werden **Permanentmagneten** geführt durch Spulen fallen gelassen. Die dabei an den Spulenanschlüssen **induzierten Spannungen** werden gemessen, ausgewertet und mit Hilfe des **Induktionsgesetzes** von **Faraday** besprochen.



**Abbildung 1: Mitte:** Permanentmagnet mit schematischen Feldlinienverlauf [Quelle: Wikipedia]; **Links & Rechts:** Im Praktikum verwendete Permanentmagnete. Der Zylindermagnet (rechts) ist 5 cm lang, knapp 90 g schwer und der längliche Quadermagnet (links) ist 6 cm lang und knapp 40 g schwer.



**Abbildung 2:** FEMAG-Simulation (Version 8.4.0) der magnetischen Flussdichte  $B$  eines Zylindermagneten von Prof. Dr. A. Colotti. Die magnetischen Flussdichte  $B$  ist im Symmetriezentrum des Magneten am grössten.

Die **Induktionsspannung**  $u_s(t)$  einer Spule ist [1]:

$$u_s(t) = \frac{-d\psi(t)}{dt} . \quad (1)$$

Die **Fallgeschwindigkeit**  $v(t)$ , unter Vernachlässigung von Reibung usw. eines Körpers ist, wenn der freie Fall zum Zeitpunkt  $t=0$  beginnt [2]:

$$v(t) = g \cdot t, \quad s(t) = \frac{g \cdot t^2}{2}, \quad (2)$$

wobei  $g=9.81 \text{ m/s}^2$  die (konstante) **Erdbeschleunigung** und  $s(t)$  die dabei **zurückgelegte Strecke** ist

# 1. Mess- und Auswertungsaufgaben

In diesem Praktikum ist es besonders wichtig, die **Auswertung parallel zu den Messungen** auszuführen da Ihnen sonst wichtige Messkurven und Messwerte fehlen könnten.

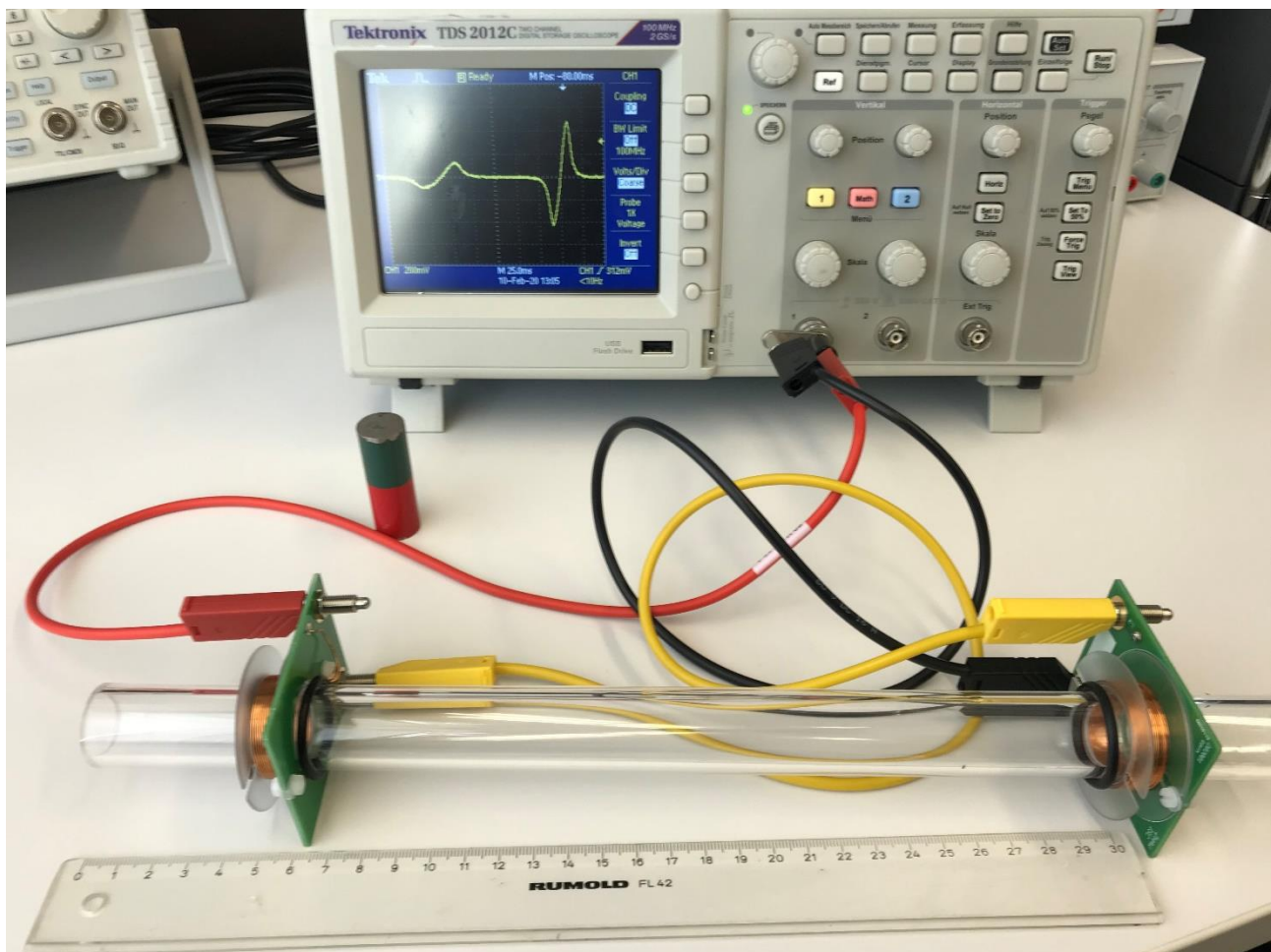
Montieren Sie auf das Plexiglasrohr ca. 5 cm von jedem Ende je eine Spule mit 32 Windungen (oder 64 Windungen) mit gleichem Wicklungssinn. Dokumentieren Sie die Anordnung.

Schalten Sie die Spulen in Serie. Stellen Sie das Oszilloskop anfänglich wie folgt ein und passen Sie danach die Einstellungen an, um ein möglichst gutes aussagekräftiges Resultat zu erhalten:

- Oszilloskop auf Default-Einstellung setzen
- Signal auf Kanal 1 darstellen. DC-Kopplung; Trigger auf Kanal 1, DC-Kopplung, Trigger normal (mit Run/Stop können Sie weiteres Triggern verhindern)
- 250 ms/DIV, 100 mV/DIV; keine Sonde (Skalierung/Faktor 1x)

Lassen Sie den **Permanentmagneten** durch das **Plexiglasrohr** fallen. Speichern Sie alle Messdaten.

**Achtung: Lassen Sie den Magneten nicht auf die Tischplatte etc. fallen. Fangen Sie den Magneten ohne einen Luftstau im Rohr zu verursachen.**



**Abbildung 3:** Messaufbau (linke Spule mit 32 Windungen und rechte mit 64 Windungen) liegend nach der Messung mit dem zugehörigen Messresultat auf dem Oszilloskop. Die Gesamtfallhöhe (bis zur rechten Spule) war ca. 32 cm und zur ersten Spule mit 32 Windungen war die Fallhöhe ca. 7 cm (Bezugspunkt: jeweils Magnetmitte vor dem Fall).

## 2. Fragen zur induzierten Spannung

Folgende Fragestellungen sollen durch gemessene und dokumentierte Kurvenverläufe geklärt werden.

1. Was ändert sich am Spannungsverlauf, wenn der Magnet mit dem anderen Ende voraus fällt?
2. Was ändert sich am Spannungsverlauf, wenn eine Spule umgedreht wird, bzw. die Anschlüsse umgepolt werden?
3. Welchen Einfluss hat die Anzahl der Windungen einer Spule auf den Spannungsverlauf?
4. Wo befindet sich die Mitte des Magneten, in Relation zur Spule, wenn die induzierte Spannung den Nulldurchgang hat? Gehen Sie von perfekt symmetrischen Spulen aus. Hinweis: Zur Beantwortung ist weder eine Messung erforderlich noch erwünscht. Die Antwort ergibt sich durch Folgerungen aus Ihrem Messaufbau.
5. Stellen Sie eine Messkurve in MATLAB dar.

```
% KO-Daten aus CSV-File einlesen
clear;clc, close all; reset(groot);

fileID=fopen('KO_Daten.CSV');% Datei öffnen
Messwerte=textscan(fileID, ',,,%,n,%,n,','Headerlines',18);
fclose(fileID); t=Messwerte{1}; u=Messwerte{2};
deltaT=t(2)-t(1);Ts=deltaT;fs=1/Ts;
[b a]=ellip(10,0.01,40,0.1); % elliptisches Tiefpassfilter
u_f=filtfilt(b,a,u); % Signal "glätten"
plot(t,u,'b',t,u_f,'r'); grid on; axen=axis;axis([t(1) t(end) axen(3:4)]);
legend('verrauschte Daten','geglättete Daten','Location','NorthWest')
xlabel('Zeit \rightarrow in s'); ylabel('Spannung \rightarrow in V');
set(gca,'FontSize',18)
```

6. Bestimmen Sie die Flächen (von Punkt 5) unter dem positiven und unter dem negativen Spannungsverlauf (Spannungszeitfläche) für das Signal einer Spule mit MATLAB und vergleichen Sie die Werte. Welche Einheit und physikalische Bedeutung hat dieser Wert?

Numerisches Integrieren in MATLAB: Sofern man genügend Messpunkte hat, so dass zwischendurch nicht interpoliert werden muss (was bei den vorliegenden Daten normalerweise der Fall ist), erhalten Sie das Integral des Vektors  $x$  einfach mit  $y = \text{cumsum}(x) * \text{deltaT}$ , mit dem Zeitabstand der Messdaten von  $\text{deltaT}$ .

7. Vergleichen Sie die Fläche unter dem positiven Spannungsverlauf der Signale der beiden Spulen. Wie sind diese Flächen von der Windungszahl der Spule abhängig? Messen oder begründen Sie Ihre Antwort.
8. Bestimmen Sie die magnetische Flussdichte  $B$  im Magneten aus der Integration einer Spannungszeitfläche. Nehmen Sie dabei vereinfachend an, dass im Magnet das Feld **homogen** ist. Beachten Sie, dass in die Formel die Querschnittfläche des Magneten und nicht die Spulenfläche eingesetzt und die Windungszahl zu berücksichtigen ist.
9. Schätzen Sie den systematischen Fehler ab. Berechnen Sie die kinetische Energie, welche der Magnet durch den Fall aufnimmt (Gewicht: 40 g oder 90 g). Vergleichen Sie diese Energie mit der Energie, welche durch das Oszilloskop aufgenommen wurde (Eingangswiderstand: 1 M $\Omega$ ).

## 3. Literaturverzeichnis

- [1] Karl Kupfmüller und Gerhard Kohn, „Theoretische Elektrotechnik und Elektronik“, Springer, 15. Auflage, 2000
- [2] Ekkbert Hering, Rolf Martin und Martin Stohrer, „Physik für Ingenieure“, VDI-Verlag, 1989