

# Experimentelle Übungen I

## Versuchsprotokoll E5

### Magnetische Suszeptibilität

Hauke Hawighorst, Jörn Sievneck

Gruppe 9

`h.hawighorst@uni-muenster.de`

`j_siev11@uni-muenster.de`

15. November 2017

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2. Einfluss eines Magneten auf Wasser</b>	<b>1</b>
2.1. Methoden . . . . .	1
2.2. Ergebnisse . . . . .	2
<b>3. Magnetisches Verhalten von Aluminium</b>	<b>2</b>
<b>4. Verhalten eines Magneten beim Fall durch ein Aluminiumrohr mit und ohne Schlitz.</b>	<b>3</b>
<b>5. Volumensuzibilität <math>\chi_V</math></b>	<b>4</b>
5.1. Methode . . . . .	4
5.2. Ergebnisse und Analyse . . . . .	4
5.3. Schlussfolgerung . . . . .	5
<b>6. Fazit</b>	<b>6</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>10</b>

## **1. Einführung**

In dieser Experimentreihe ging es darum auf experimenteller Basis die verschiedenen magnetischen Effekte zu untersuchen, und zu klassifizieren. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Materialien in ein Magnetfeld gebracht und die Auswirkungen untersucht. Ein weiterer Schritt war es die Auswirkung der Oberfläche eines Stoffes auf die Magnetisierung zu untersuchen. Die drei am häufigsten anzutreffenden magnetischen Effekte sind:

- Ferromagnetismus: Diese Stoffe werden in einem Magnetfeld stark angezogen. Dieser Effekt tritt auch außerhalb von Magnetfeldern auf.
- Paramagnetismus: Dieser Effekt tritt nur in Magnetfeldern auf. Paramagnetische Stoffe werden in ein Magnetfeld hineingezogen, jedoch ist dieser Effekt nicht besonders stark.
- Diamagnetismus: Diamagnetismus tritt in allen Stoffen auf, jedoch ist dieser Effekt so schwach, dass er von anderen magnetischen Effekten überlagert wird, es sei denn, das Magnetfeld ist sehr stark. In einem Magnetfeld werden solche Stoffe hinausgedrängt.

In den Experimentreihen wurde der Einfluss eines Magneten auf Wasser, Aluminium, Graphit und Glas untersucht sowie der Einfluss, den die Oberfläche eines Objektes (einer Aluminiumplatte und eines Aluminiumkammes) auf die auftretenden magnetischen Effekte hat.

## **2. Einfluss eines Magneten auf Wasser - Eine Fermi-Abschätzung.**

### **2.1. Methoden**

Um den Einfluss eines Magnetfeldes zu untersuchen, wurde ein Laser auf eine Wasseroberfläche gerichtet. Unter dem Behälter mit dem Wasser (einer Petrischale) wurde dann ein Magnet drunter hergeschoben. Anhand der Bewegung des auf eine Wand reflektierten Lasers konnte man erkennen, auf welche Art das Wasser beeinflusst wurde. Um einschätzen zu können, wie groß der Einfluss des Magnetfeldes war, wurden alle für die Rechnung relevanten Werte abgeschätzt. Bei dieser Abschätzung handelte es sich um eine

Fermi-Abschätzung. Das heißt man schätzt die Werte grob ab und geht davon aus, dass die Unsicherheiten sich gegenseitig aufheben. Diese Abschätzung liefert keine genauen Werte, jedoch liefert sie einen guten Hinweis auf die Größenordnungen, in der man sich bewegt.

## 2.2. Ergebnisse

Beim durchführen des Experimentes fiel auf, dass sich der Laserpunkt erst nach oben und dann nach unten bewegte. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Wasser diamagnetisch ist, also aus Magnetfeldern verdrängt wird. Das führt dazu, dass sich eine Einbuchtung in der Oberfläche bildet, die bei der Rechnung durch ein Dreieck approximiert wurde. Die Abschätzung der relevanten Werte lieferte, für einen Versuchsaufbau ähnlich zu ??, für  $x = 400 \text{ cm}$ ,  $y = 130 \text{ cm}$ ,  $\Delta y \pm 3,5 \text{ cm}$  und  $d = 1 \text{ cm}$  (Die Bedeutungen der einzelnen Werte sind in Abb. 1 zu sehen). Mithilfe einiger trigonometrischer Zusammenhänge kommt man dann auf die Gleichungen:

$$2\beta = \arctan\left(\frac{\Delta y + y}{x}\right) - \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (2.1)$$

$$\tan(\beta) = \frac{2h}{d} \quad (2.2)$$

Setzt man diese Gleichungen ineinander ein und stellt sie nach  $h$  um, erhält man für einen Wert für  $h$  von  $0,00198 \text{ cm}$ . Magnetfeldes auf Wasser nur sehr klein ist. Da Wasser diamagnetisch ist und Diamagnetismus meist nur sehr schwach auftritt, entspricht die Größenordnung des erhaltenen Wertes der erwarteten Größenordnung. Wie schon zu Beginn festgestellt wurde, handelt es sich bei diesem Wert nicht um einen exakten Wert, sondern nur um einen Näherungswert, was auf die Art und Weise zurückzuführen ist, wie die Werte abgeschätzt wurden.

## 3. Einfluss eines Magneten auf eine Aluminiumplatte und auf einen Aluminiumkamm

Bei diesem Experiment ging es darum, das Verhalten zweier unterschiedlich geformter Körper aus dem gleichen Material zu untersuchen. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 3

---

<sup>1</sup>Entnommen am 20.11.17 aus dem Learnweb Kurs „Experimentelle Übungen I 17-18“

zu sehen. Um das Verhalten der Platte und des Kammes zu untersuchen wurde eine Reihe aus drei Magneten auf die Platte zubewegt und entfernt. Diese Aktionen wurden danach bei dem Kamm wiederholt. Beim schnellen Annähern an die Platte schwang die Platte zurück und beim langsamen Entfernen wurde sie mitgezogen. Dieses Verhalten ist auf Diamagnetismus beziehungsweise Paramagnetismus zurückzuführen. Beim Annähern tritt zunächst ein Paramagnetischer Effekt auf und die Platte wird von dem Magneten angezogen. Doch sobald der Magnet der Platte zu nah kam wurde die Platte zurückgestoßen was auf diamagnetische Effekte zurückzuführen ist. Entfernt man die Magneten jedoch langsam wieder überlagern die deutlich stärkeren Paramagnetischen Effekte den Diamagnetismus und die Platte wird mitgezogen. Dass das magnetische Verhalten der Platte sich änderte ist dadurch zu erklären dass diamagnetische Effekte in einem starken Magnetfeld alle anderen Effekte überlagern. Genau dies passierte beim Annähern an die Platte. Bei dem Kamm waren diese diamagnetischen Effekte nicht zu beobachten und auch die Paramagnetischen Effekte wurden nur sehr schwach beobachtet. Der Grund für dieses Verhalten ist bei den Unterbrechungen der Oberfläche zu suchen, da dies der einzige Unterschied vom Kamm zur Platte ist. Diese Unterbrechungen sorgen dafür dass die Wirbelströme, die auf die Oberfläche induziert werden deutlich schwächer ausfallen als bei der Platte. Dadurch wird der sowieso schon sehr schwache diamagnetische Effekt so stark abgeschwächt dass er bei einem so schwachen Magnetfeld nicht mehr zu sehen ist.

#### **4. Verhalten eines Magneten beim Fall durch ein Aluminiumrohr mit und ohne Schlitz.**

Dieses Experiment untersucht das gleiche Verhalten das auch schon in Abschnitt 3 zu beobachten war. Hier wurde ein Magnet erst durch ein Rohr ohne Unterbrechungen in der Mantelfläche fallen gelassen und danach durch ein Rohr das an der Seite einen Schlitz hatte sodass die Oberfläche vollständig unterbrochen war (vgl. Abb. 4). Beobachtet wurde bei der Durchführung dass der Magnet durch das nicht ganz geschlossene Rohr zwar langsamer fällt als wenn man ihn einfach so fallen gelassen hätte. Jedoch deutlich schneller als durch das Rohr mit dem nicht durchbrochenem Mantel. Dies ist eben genau

---

<sup>2</sup>Entnommen am 20.11.17 aus dem Learnweb Kurs „Experimentelle Übungen I 17-18“

auf diese Unterbrechung zurückzuführen, denn diese verhindert das schon in Abschnitt 3 angesprochene induzieren von Wirbelströmen auf die Oberfläche des Rohrs. Da dies verhindert wurde ist der auftretende Paramagnetische Effekt ungleich kleiner als bei der Vollständig geschlossenen Röhre wo dies möglich ist.

## 5. Berechnung der Volumensuzibilität $\chi_V$ auf verschiedene Materialien

Ziel dieser Versuche war die Quantifizierung des Einflusses eines Magnetfeldes auf para- und diamagnetische Stoffe. Die zu untersuchenden Proben waren aus pyrolytischem Graphit, und Glas als diamagnetische Proben, sowie Aluminium als paramagnetisches Element.

### 5.1. Methode

Zu Bestimmen war die Kraft der Probe aufgrund des Magnetfeldes. Da bei der Kraftmessung nur die vertikale Komponente gemessen wurde, ist auch bei dem Magnetfeld nur die vertikale Komponente zu berücksichtigen. Die Kräfte wurden durch eine digitale Waage mithilfe von Differenzwägung bestimmt. Zu berücksichtigen war die Gewichtskraft der Proben sowie der Einfluss des Magnetfeldes auf die Probenhalterung. Gemessen wurde daher die Kraftdifferenz auf die Waage der Probenhalterung, sowie der gesamten Probe, durch das Magnetfeld. Um eine konstante Magnetfeldstärke einstellen zu können wurde durch eine Kunststoffplatte jeweils ein Abstand von 1 mm zwischen Magneten und Probe eingestellt. Jede Messung wurde zweimal durchgeführt. Nicht im Laborbuch vermerkte Messgrößen und Gleichungen sind der Anleitung entnommen.

### 5.2. Ergebnisse und Analyse

Die Tabelle 1 gibt die Messwerte sowie die errechneten Volumensuzibilitäten  $\chi_V$  wieder. Die Kontrollmessungen sind nicht aufgeführt, da die Differenzen zwischen  $\Delta m_{\text{Halterung}}$

---

<sup>3</sup>Entnommen am 20.11.17 aus dem Learnweb Kurs „Experimentelle Übungen I 17-18“

**Tabelle 1:** Messwerte der Magnetismuswaage

Material	$\Delta m_{\text{Halterung}} [\text{g}]$	$\Delta m_{\text{Probe mit Halterung}} [\text{g}]$
Aluminium	0,41	0,38
Graphit	0,42	1,59
Glas	0,40	0,43

und  $\Delta m_{\text{Probe}}$  welche für die Berechnung relevant waren identisch waren, sie sind jedoch im Laborbuch nachzulesen.

Die Volumensuzibilität wurde mithilfe der folgenden Gleichungen genährt:

$$\chi_V = \frac{2\mu_0 \Delta m_p g}{V_p \frac{\partial B_z^2}{\partial z}} \quad (5.1)$$

$$V_p = \pi h_p R_p^2 \quad (5.2)$$

$$\frac{\partial B_z^2}{\partial z} \approx \frac{B_z^2(d) - B_z^2(d + h_p)}{h_p} \quad (5.3)$$

$$B_z(z) = \frac{B_m}{2} \left( \frac{h_m + z}{\sqrt{R_m^2 + (h_m + z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R_m^2 + z^2}} \right) \quad (5.4)$$

$$U_{ges} = \chi_V \sqrt{\left( \frac{U_{B_m}}{B_m} \right)^2 + \left( \frac{U_{\Delta m}}{\Delta m} \right)^2} \quad (5.5)$$

Größen mit Index  $m$  beziehen sich hierbei auf den Magneten, der Index  $p$  auf die Probe. Des weiteren ist  $D$  der Durchmesser  $h$  die Höhe des betrachteten Zylinders und  $\chi_V$  ist die zu berechnende Volumensuzibilität.  $B_m$  ist eine Materialkonstante des Magnetens, im Versuch war  $B_m = (1,87 \pm 0,10) \text{ T}$ . Unsicherheiten  $U$  sind vor allem die Anzeige der Waage sowie die Unsicherheiten des Magnetfeldes. Die weiteren Zahlenwerte und Ergebnisse sind aus Gründen der Lesbarkeit in Tabelle 2 angegeben.

### 5.3. Schlussfolgerung

hier ein Fazit

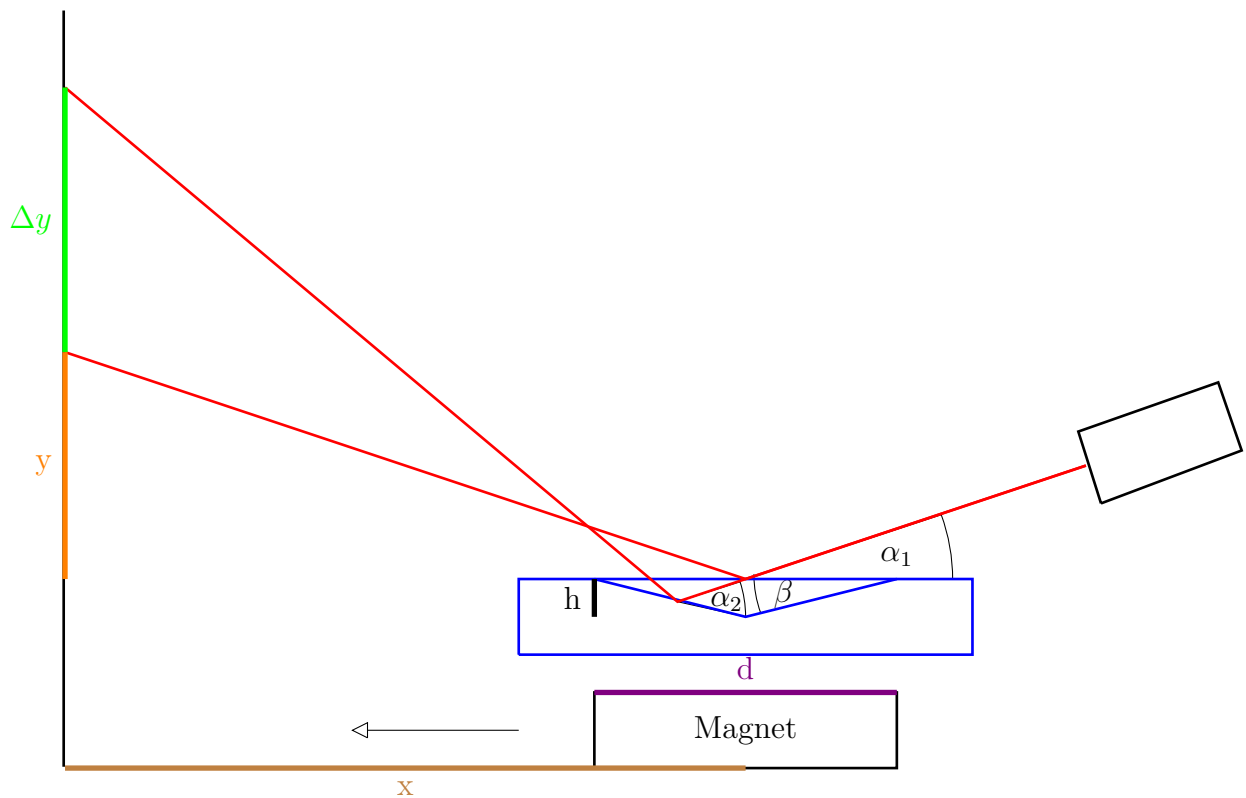
**Tabelle 2:** Abmessungen des Versuchsaufbaus und berechnete Volumenssuszeptibilität

Material	$R$	$d$	$h$	$\chi_V$
Aluminium	20 mm	1 mm	5 mm	$(1,38 \pm 0,15) \cdot 10^{-5}$
Graphit	20 mm	1 mm	5 mm	$(5,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$
Glas	20 mm	1 mm	8 mm	$(8,7 \pm 0,9) \cdot 10^{-6}$
Magnet	30 mm	1 mm	15 mm	

## 6. Fazit

Beim durchführen der Experimente wurden verschiedenes Magnetisches Verhalten beobachtet. Die untersuchten Stoffe waren Paramagnetisch (Aluminium, Graphit) und Diamagnetisch (Glas, Wasser), jedoch konnte auch bei Aluminium Diamagnetisches Verhalten beobachtet werden sobald das Magnetfeld stark genug war. Generell wurde beobachtet das Diamagnetische Effekte nur in Starken Magnetfeldern auftreten. Des weiteren wurde der Einfluss der Oberfläche eines Objektes auf seine Magnetischen Eigenschaften untersucht und es stellte sich heraus das unterbrochene Oberflächen die Stärke der Auftretenden Effekte stark reduzieren. Ein weiterer Aspekt der untersucht wurde war das man die Entscheidung ob ein Material Paramagnetisch, Diamagnetisch oder Ferromagnetisch nicht dadurch bestimmt das man versucht das Verhalten des Stoffes Optisch zu untersuchen, sondern stattdessen die Eigenschaften über die Volumenssuszeptibilität bestimmt wie es in ?? gemacht wurde. Eine Möglichkeit Magnetische Effekte die Man mit bloßem Auge nicht erkennen kann sichtbar zu machen wurde in Abschnitt 2 vorgestellt. Die dort vorgestellte Methode ist jedoch sehr ungenau da nur mit Schätzwerten gerechnet wird, jedoch eignet sich der Wert recht gut um eine Stoff grob zu Klassifizieren.





**Abbildung 1:** Skizze des Versuchsaufbaus. Hier ist jedoch nur einer der beiden beobachteten Fälle betrachtet. Der Fall für  $-\Delta y$  ist nicht explizit aufgeführt.

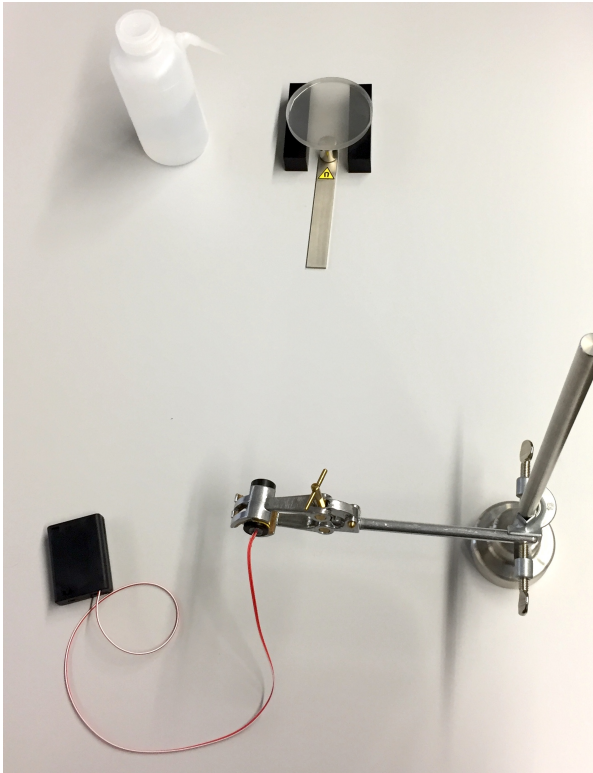
$y$  = Höhenunterschied zwischen Wasseroberfläche und dem Ruhepunkt des Lasers auf der Wand

$\Delta y$  Höhenunterschied zwischen dem Ruhepunkt des Lasers und den Maximalen Ausschlag punkten

$x$  = Abstand vom Brechungspunkt auf der Wasseroberfläche bis zur Wand

$\alpha$  = Einfallswinkel

$\beta$  = Winkeländerung des Wassers gegenüber der Ursprünglichen Oberfläche



**Abbildung 2:** Zusehen ist hier der Versuchsaufbau mit dem der Einfluss eines Magnetfeldes auf Wasser untersucht wurde<sup>1</sup>.



**Abbildung 3:** In dieser Abbildung ist der Versuchsaufbau zu sehen mit dem man den Einfluss eines Magneten auf eine Aluplatte und auf einen Alukamm untersucht wurde<sup>2</sup>.



**Abbildung 4:** In dieser Abbildung sind die in diesem Experiment verwendeten Aluminiumrohre zu sehen<sup>3</sup>.

## **A. Anhang**