

ANFÄNGERPRAKTIKUM DER FAKULTÄT FÜR PHYSIK,
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Versuch Dia- und Paramagnetismus

Protokoll

Praktikant: Michael Lohmann
Felix Kurtz
E-Mail: m.lohmann@stud.uni-goettingen.de
felix.kurtz@stud.uni-goettingen.de
Betreuer: Björn Klaas
Versuchsdatum: 09.09.2014

Testat:

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
2.1	Magnetfelder in Materie	3
2.2	Hallsonde	3
2.3	Diamagnetismus	3
2.4	Paramagnetismus	4
2.5	Energie des magnetischen Feldes	4
3	Durchführung	4
4	Auswertung	6
4.1	Ortsverlauf und Gradient B	6
4.2	Magnetische Suszeptibilität	6
4.3	Flussdichte und Gradient verschiedener Stromstärken	8
4.4	Kraft auf Tantal	8
5	Diskussion	9
	Literatur	10

1 Einleitung

Magnetismus ist eine der wichtigsten Methoden, um elektrische Daten zu speichern. So basieren herkömmliche Festplatten auf diesem Prinzip. Um dies zu vermessen, kann man den zu untersuchenden Stoff in ein vorhandenes Magnetfeld führen und die Auswirkungen beobachten.

2 Theorie

2.1 Magnetfelder in Materie

Die Ausbreitung von Magnetfeldern in Materie erfolgt nach den MAXWELL-Gleichungen durch

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} \approx \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad (1)$$

mit der magnetischen Suszeptibilität

$$\chi \vec{M} = \vec{H} \quad (2)$$

$$\Rightarrow \mu_r = 1 + \chi. \quad (3)$$

μ_r nennt man auch die relative Permeabilität. Dieser Zusammenhang gilt jedoch nach [Dem09, S. 112] nur für kleine magnetische Flussraten, da sonst \vec{M} nicht mehr proportional zu \vec{H} ist.

2.2 Hallsonde

Hallsonden funktionieren nach der Lorentzkraft. Ein Strom wird durch ein Metallplättchen geleitet. Ist dieses in einem Magnetfeld, so werden die Elektronen durch die Lorentzkraft abgelenkt. Dadurch baut sich jedoch ein elektrisches Feld auf, was sie wieder zurück lenkt. Durch den weiteren Weg steigt der Widerstand des durchflossenen Wegs. Dieser kann nun vermessen werden und daraus kann der verlängerte Weg bestimmt werden und daraus wiederum das Magnetfeld.

2.3 Diamagnetismus

Als diamagnetische Stoffe werden solche bezeichnet, welche eine aus einem äußeren Magnetfeld herausgedrängt werden. Dies entsteht dadurch, dass sich in ihrem inneren Ströme bilden, welche nach der Lenzschen Regel der Ursache (dem Magnetfeld) entgegenwirkt. Solche Stoffen haben keine permanenten Dipole, da diese wieder Kräfte ausüben würden, welche deutlich stärker sind, als die diamagnetischen. Wie durch die Herkunft des Effektes zu erahnen, ist er kaum Temperaturabhängig. Der Diamagnetismus tritt

bei allen Metallen auf, wird aber häufig durch andere Effekte wie Ferro- oder Paramagnetismus überlagert. Die bekanntesten Materialien mit diamagnetischen Eigenschaften sind Wasser, Kupfer, Gold oder Bismut (wie es in unserem Versuch verwendet wird).

2.4 Paramagnetismus

Der Paramagnetismus ist ein Effekt, bei dem in bestimmten Stoffen von außen angelegte Magnetfelder verstärkt werden. Diese bestehen aus Atomen mit nicht vollständig gefüllten Elektronenschalen. Ohne äußere Felder gleichen sich die magnetischen Momente, welche durch die nicht gleichmäßig verteilten Ladungen entstehen aus. Wird jedoch ein externes Feld angelegt, so richten sich die Elementarmagnete an dem Feld aus. Sie verstärken es so. Mit steigender Temperatur werden die Elektronen jedoch immer weniger durch äußere Felder beeinflusst, so dass dieser Effekt mit steigender Temperatur abnimmt. Dies hat Marie CURIE entdeckt und es in dem folgenden Gesetz beschrieben:

$$\chi = \frac{C}{T}$$

mit der Materialkonstante C .

2.5 Energie des magnetischen Feldes

Nach [Dem09, S. 134] gilt für den Energiegehalt eines magnetischen Feldes

$$W = - \int \frac{1}{2} \mu_0 \mu_r H^2 \cdot dV$$

Ist das Feld im Inneren des Volumens annähernd konstant, so kann das Integral abgeschätzt werden durch

$$W \approx -\frac{1}{2} \mu_0 \mu_r H^2 \cdot V = -\frac{1}{2} \mu_0 (1 + \chi) H^2 \cdot V = -\frac{1}{2} \mu_0 H^2 \cdot V - \frac{1}{2} \mu_0 \chi H^2 \cdot V. \quad (4)$$

was als Potential der Kraft aufgefasst werden kann. Der erste Term gibt die Energie des Vakuums an und verschwindet bei der Gradientenbildung. Der zweite Teil ergibt im eindimensionalen Fall

$$F = -\nabla W = -\frac{\partial W}{\partial x} = -\frac{\chi V}{\mu_0} B \frac{\partial B}{\partial x}. \quad (5)$$

3 Durchführung

Zunächst wird der Aufbau aus Abb. 2 aufgebaut. Dabei schaltet man eine Spule auf zwei Polschuhen über einen Schiebewiderstand mit einem Amperemeter in Reihe, wie in Abb. 2 zu sehen.

Zunächst wird der Widerstand so eingestellt, dass ein konstanter Strom von 1.2A durch die Spulen fließt. Ändert sich dieser, so ist der Widerstand nachzuregeln. Das sich ergebende Magnetfeld wird nun mit der HALLsonde bestimmt. Hierbei sollte die Schrittlänge 5mm nicht überschreiten.

Daraufhin wird die Position zwischen den Polschuhen vermerkt, wenn man die Körper an die Analysewaage hängt. Anschließend werden die Massen der drei Probekörper (Ta, MnO_2 und Bi) aufgenommen, wie in Abb. 1 zu erkennen ist. Dies geschieht je für ein- und ausgeschaltetes Magnetfeld. Diese Messungen werden je dreimal durchgeführt, wobei man zwischen den Messungen die Probekörper abnehmen oder zumindest anstoßen sollte.

Nun wird für die Position des Tantalkörpers und 5 und 10mm jeweils darüber und darunter das Magnetfeld für die Stromstärken (0.8, 1.0, 1.2 und 1.4A) vermessen. Abschließend wird der Tantal-Körper erneut eingehängt und für die im letzten Schritt eingestellten Werte der Stromstärke werden jeweils drei Messungen der Gewichtskraft durchgeführt. Auch hier ist der Körper zwischen den Messungen anzustoßen.

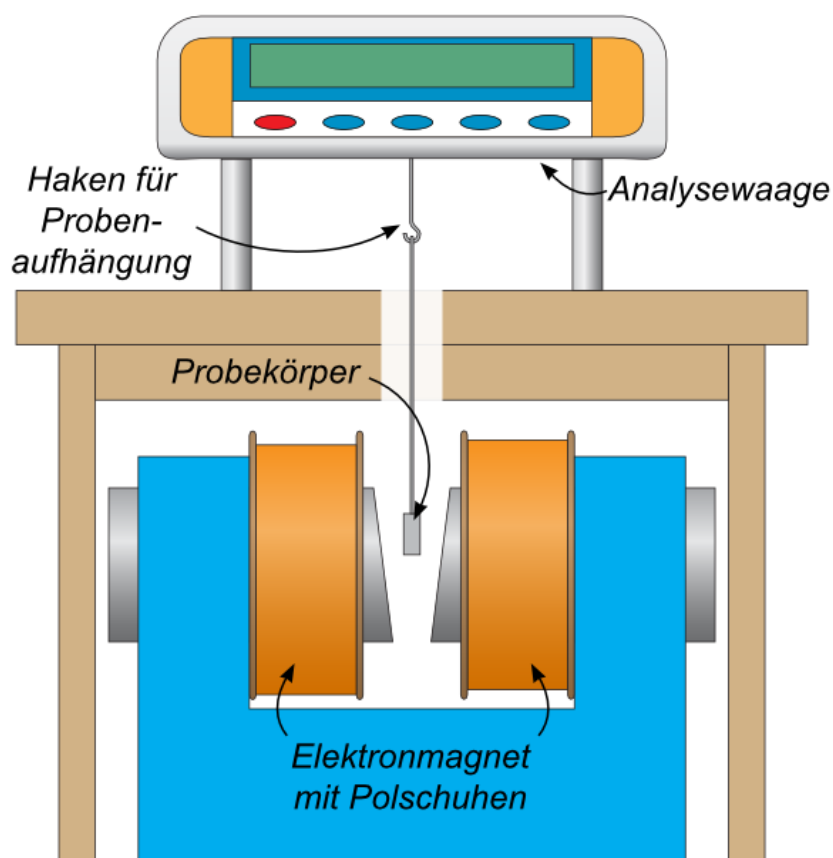


Abbildung 1: Aufbau der Waage zur Bestimmung der Kräfte nach [LP1, 15.11.14, 14 Uhr].

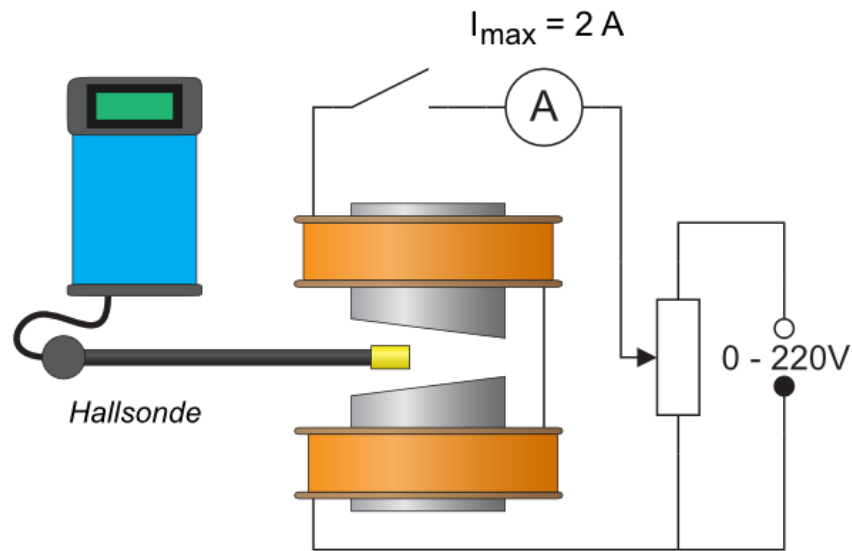


Abbildung 2: Schaltkreis zur Bestimmung von Dia- und Paramagnetismus nach [LP1, 15.11.14, 14 Uhr].

4 Auswertung

4.1 Ortsverlauf und Gradient B

In Abb. 3 sind die Messwerte der Flussdichte B und der Gradient der Flussdichte gegen den Ort aufgetragen. Hierbei kann man erkennen, dass zu Beginn das Magnetfeld stark steigt, bis es bei einer Höhe von 10mm das Maximum erreicht. Danach fällt es fast linear ab. Dies war auch zu erwarten, da die Polschuhe bei 10mm ihre geringste Entfernung hatten und danach sich linear voneinander entfernten. Der Gradient bestätigt dies, da er im Maximum annähernd 0 ist und an höheren Orten ungefähr konstant ist.

Nach Gleichung (5) gilt

$$F = -\frac{\chi V}{\mu_0} \cdot \frac{B \partial B}{\partial x}. \quad (6)$$

In Abb. 4 ist genau $\frac{B \partial B}{\partial x}$ aufgetragen gegen die jeweilige Position.

4.2 Magnetische Suszeptibilität

Nach Gleichung (5) gilt

$$\chi = -\frac{V \cdot B B'}{\mu_0 F}.$$

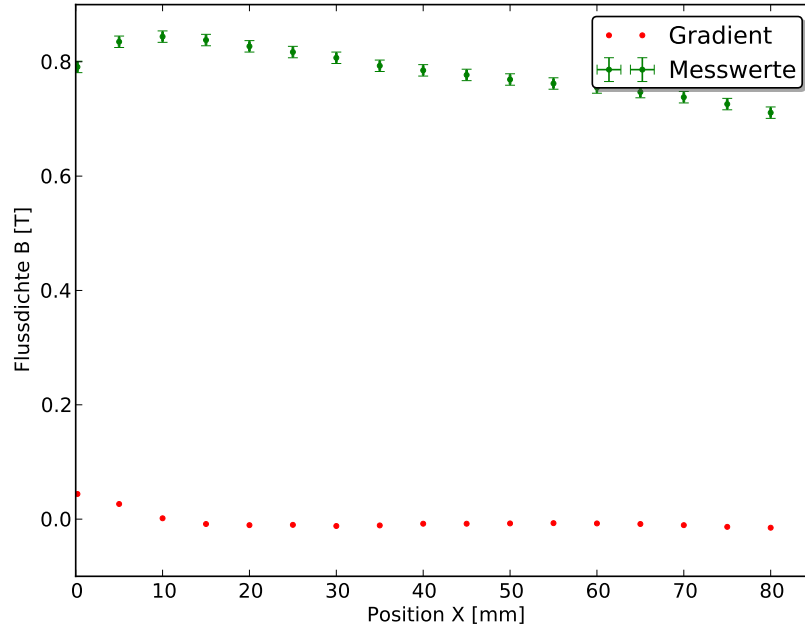


Abbildung 3: Auftragung der gemessenen Werte der Hallsonde zusammen mit der numerischen Ableitung aufgetragen gegen den Ort.

Die durch das Magnetfeld ausgeübte Kraft F berechnet sich nach

$$F = F_{g+\text{mag}} - F_g, \quad (7)$$

wodurch sich χ berechnen lässt. Die jeweils drei Messungen der Kräfte wurden mit der Standardabweichung berechnet.

Die Ergebnisse der spezifischen und magnetischen Suszeptibilitäten finden sich in Tabelle 1. Dabei berechnet sich $\chi_{\text{spez}} = \chi/\rho$ mit ρ nach [Gra11].

Mit Werten für Ta bei 42.7 mm: $B = 0.711$, $dB = -0.015$

Mn bei 49.4 mm: $B = 0.762$, $dB = -0.007$

Bi bei 21.0 mm: $B = 0.817$, $dB = -0.01$

Stoff	Masse [g]	spez. Suszept. $\chi_{\text{spez}} [10^{-6}]$	mag. Suszept. $\chi [10^{-5}]$
Ta	0.911	4.6 ± 0.8	3.0 ± 1.3
Mn	0.455	6.6 ± 1.2	1.0 ± 0.4
Bi	0.851	-4.8 ± 0.8	-1.3 ± 0.6

Tabelle 1: Errechnete spezifische und magnetische Suszeptibilitäten der vermessenen Proben.

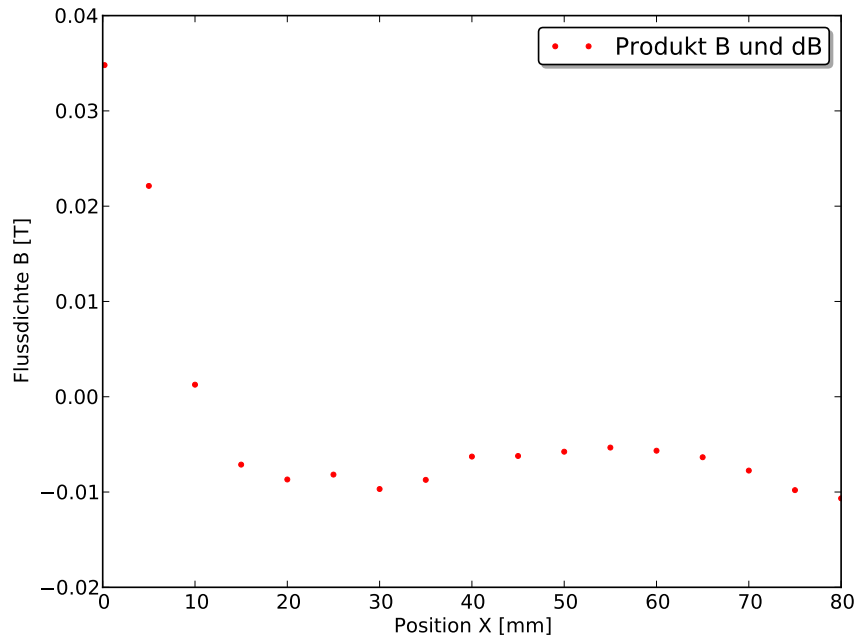


Abbildung 4: Produkt des B -Feldes mit der Ableitung an der jeweiligen Stelle.

4.3 Flussdichte und Gradient verschiedener Stromstärken

In Abbildung 5 sind die gemessenen Flussdichten an verschiedenen Orten für verschiedene Stromstärken verzeichnet. Dabei fällt auf, dass die Flussdichte nahezu linear für eine Stromstärke verläuft und für eine größere höher wird, jedoch ihre Steigung nicht verändert. Dies bedeutet, dass die Stromstärke zwar die Feldstärke, nicht jedoch den Verlauf des Feldes beeinflusst.

In Figur 6 ist der Gradient der Flussdichte für die obigen Messwerte eingetragen. Dieser ist jedoch nicht linear fallend, sondern (z.B. für $I = 1,2\text{A}$ verringert er sich zuerst und steigt dann auf einen höheren Wert, als zu Beginn) folgt nur annähernd einer fallenden Geraden.

4.4 Kraft auf Tantal

Nach der umgestellten Gleichung (6) gilt

$$B = \frac{\mu_0 F}{\chi V B'}.$$

Die in Abbildung 7 aufgetragene gemessene Kraft auf den Tantal-Probekörper zeigt einen linearen Zusammenhang bezüglich der Stromstärke. Das reduzierte χ^2 des linearen Fits beträgt 0.75 und bestätigt damit diesen optischen Eindruck.

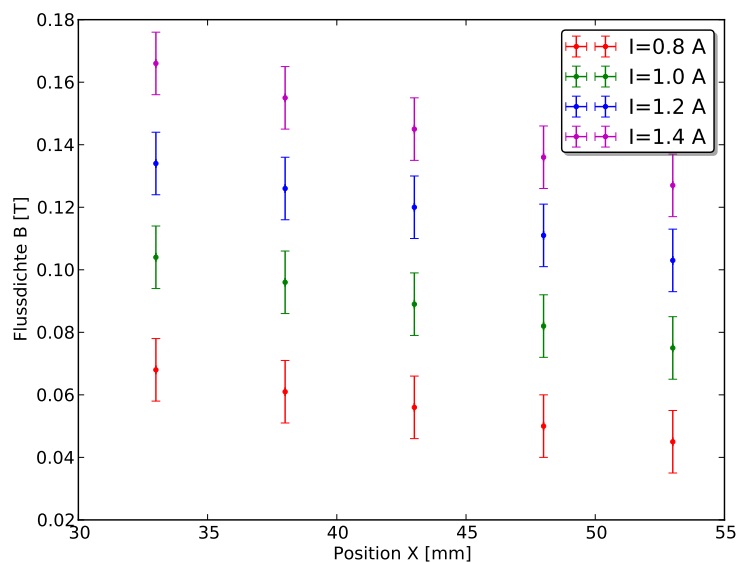


Abbildung 5: Gemessene Flussdichten B für verschiedene Stromstärken.

5 Diskussion

In Abb. 4 fällt auf, dass die wirkende Kraft (welche nach Gleichung (5) proportional zu BB' ist) nach 30mm wieder ansteigt. Dies ist möglicherweise dadurch zu erklären, dass das Magnetfeld nicht homogen abnimmt, sondern Störungen besitzt.

Den wohl größten Störeinfluss auf alle Messungen mit der Hallsonde hatte vermutlich der Offset der Hallsonde. Dieser schwankte zwischen -0.55 und -0.77T. Dies lässt keine qualifizierten Erkenntnisse der Messung zu, da die Messwerte weniger als 0.9T und somit die Schwankungen 30% der Messwerte betragen.

Durch dies werden die Ergebnisse verfälscht.

Die Testkörper hingen bei den Messungen meistens nicht still, da kleine Luftbewegungen die Massen immer wieder in Schwingungen versetzen. Die Analysewaage besitzt für Messungen auf der Waagfläche ein Glaskasten, der dies verhindern soll, jedoch werden bei unseren Messungen die Massen unten angehängt.

Die Literaturwerte aus verschiedenen Büchern (z.B. [Mes10] und [Kuc01]) stimmen nicht überein. Jedoch sind auch die Größenordnungen der Messungen nicht korrekt.

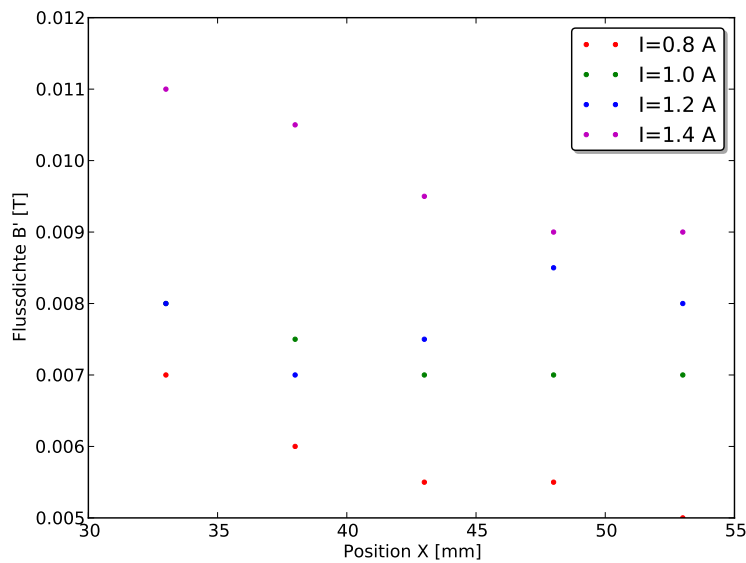


Abbildung 6: Gradient B' der Flussdichte für verschiedene Stromstärken.

Literatur

- [Dem09] Demtröder, W.: *Experimentalphysik 2, Elektrizität und Optik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 5. Auflage, 2009, ISBN 978-3-540-68210-3.
- [Gra11] Gramm, A.: *Das große Tafelwerk*. Cornelsen, 2. Auflage, 2011, ISBN 9783464571439.
- [Kuc01] Kuchling, H.: *Taschenbuch der Physik*. Carl Hanser Verlag, 17. Auflage, 2001, ISBN 978-3446217607.
- [LP1] *Lehrportal der Universität Göttingen*. <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/4205>.
- [Mes10] Meschede, Dieter: *Gerthsen Physik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 24. Auflage, 2010, ISBN 978-3-642-12893-6.

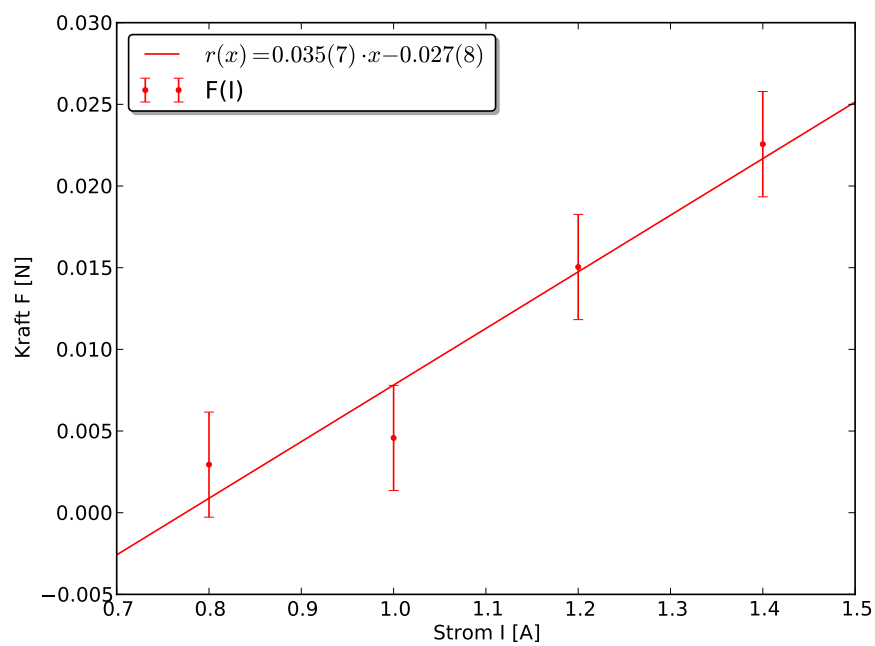


Abbildung 7: Gemessene Kraft auf den Tantal-Probekörper bei verschiedenen Stromstärken zusammen mit der linearen Regression.