

Versuch M4 für Physiker

Kraftfeld und Potential

I. Physikalisches Institut, Raum 101
Stand: 12. Oktober 2012



generelle Bemerkungen

- bitte Versuchsaufbau (Nummer) angeben
- bitte Versuchspartner angeben
- bitte Versuchsbetreuer angeben
- bitte nur handschriftliche Auswertung

1 Einleitung

In diesem Versuch sollen Sie experimentell den Zusammenhang zwischen Kraft und Potential in einem konservativen Kraftfeld überprüfen. Dazu verwenden Sie zwei sich abstoßende magnetische Dipole und bestimmen in verschiedenen Messungen die Abstandsabhängigkeiten der Kraft und des Potentials zwischen diesen Dipolen.

2 Vorbereitung (zu Hause)

Die folgenden Stichpunkte und theoretischen Überlegungen sollen in Ihrem Heft schriftlich bearbeitet werden. Außerdem sollten Sie in der Lage sein, sie am Versuchstag im Antestat selbstständig wiederzugeben. Weitere Hinweise zum Vorgehen bei den Herleitungen finden Sie in Abschnitt 7. Literaturhinweise gibt es in Abschnitt 8.

1. Machen Sie sich mit folgenden Begriffen und Gesetzmäßigkeiten vertraut:
 - Allgemeine Grundlagen: Newton'sche Axiome, Kepler'sche Gesetze, Erhaltungssätze der Mechanik, Fehlerfortpflanzung, doppeltlogarithmische Skalierung
 - Zusammenhang zwischen Kraftfeld und Potential, konservative Kräfte
 - Zentralpotential
2. Dipole:
 - Leiten Sie die Kraft zwischen zwei magnetischen Dipolen (14) her. Wie sieht das zugehörige Potential aus?
 - Zeigen Sie, dass die Beschränkung der Bewegung auf die Ebene senkrecht zur Dipolachse zu einem Zentralpotential führt.
 - Leiten Sie die Formeln zur Bestimmung der Abstandsabhängigkeiten der Kraft (1) und des Potentials (2) her.

3 Versuchsaufbau und -beschreibung

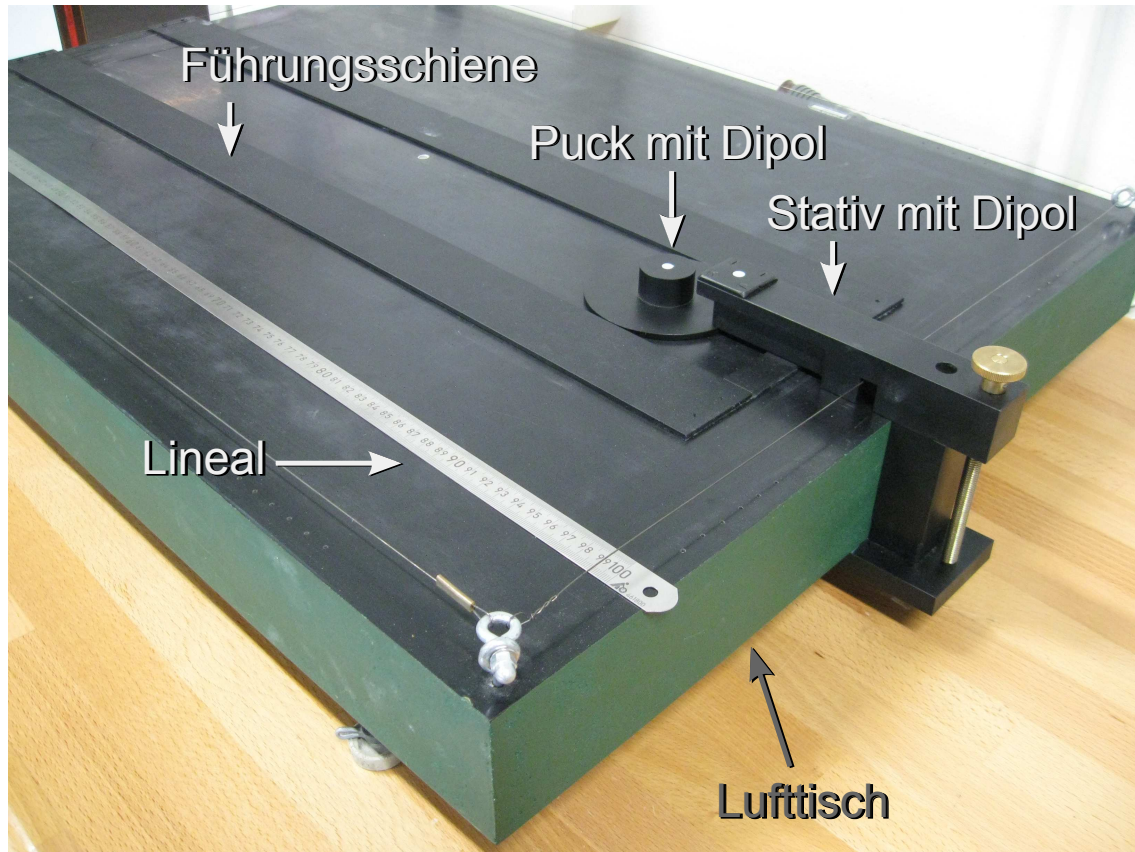


Abbildung 1: Foto des Versuchsaufbaus

Einer der beiden Dipole ist an einer Haltevorrichtung angebracht, die ihn in geringem Abstand über dem Lufttisch festhält. Der andere Dipol befindet sich auf einem Puck, so dass er relativ reibungsfrei über den Lufttisch gleiten kann. Über dem Lufttisch ist eine Kamera angebracht, um die Bewegung des Pucks aufzuzeichnen.

Für die Messung der Kraft zwischen den Dipolen kann einer der Lufttische mit Hilfe einer Stellschraube geneigt werden. Zur Bestimmung des Neigungswinkels und zur Abstandsmessung steht ein langes Holzlineal zur Verfügung.

4 Benötigte Formeln

Hinweise zur Herleitung finden sich in Abschnitt 7 dieser Anleitung.

Die Kraft zwischen den beiden Dipolen bei einem bestimmten Abstand bestimmen Sie aus der Länge des Lufttisches l , der Höhe des linken und des rechten Endes h_1 und h_2 , der Erdbeschleunigung g und der Puckmasse m als

$$F = mg \frac{h_1 - h_2}{l} . \quad (1)$$

Die potentielle Energie des zweiten Dipols im Feld des ersten bei einem bestimmten Mindestabstand b erhalten Sie aus der Anfangsgeschwindigkeit des Pucks v_0 , seiner Masse m und dem Stoßparameter a als

$$U(b) = \frac{1}{2} m v_0^2 \left(1 - \frac{a^2}{b^2} \right) . \quad (2)$$

Da wir uns in diesem Versuch auf die Ebene senkrecht zur Dipolachse beschränken erhalten wir für die Abstandsabhängigkeiten von Kraft und Potential die folgenden Gesetze:

$$F(r) \propto r^n \quad (3)$$

$$U(r) \propto r^N \quad (4)$$

Wegen

$$F(r) = -\nabla U(r) \quad (5)$$

gilt außerdem

$$N = n + 1 . \quad (6)$$

5 Durchführung (im Praktikum)

Lesen Sie unbedingt die Sicherheitshinweise in Abschnitt 9 für den Umgang mit Supermagneten durch, bevor Sie mit dem Versuchsaufbau spielen!

Bitte führen Sie die nachfolgenden Punkte nacheinander durch:

1. Eingewöhnung

Spielen Sie mit der Versuchsanordnung, wobei Sie sich mit der Beobachtungstechnik vertraut machen und Fehlerquellen erkennen sollten. Lesen Sie sich die ausliegende Bedienungsanleitung für die Rechner gründlich durch.

Zeichnen Sie eine Versuchsskizze in Ihr Protokollheft. Überprüfen Sie vor der Messung zur Potentialbestimmung, ob der Tisch waagrecht ausgerichtet ist. Legen Sie dazu den Puck in die Mitte des Tisches (außerhalb der Reichweite magnetischer Gegenstände!). Fängt er sehr schnell an, in eine bestimmte Richtung zu gleiten, so korrigieren Sie die Höhe der Standfüße des Lufttisches solange, bis der Puck liegen bleibt (ein wenig Bewegung wird immer durch den Luftstrom hervorgerufen, diese ist aber nicht in eine bestimmte Richtung orientiert).

2. Messung

Geben Sie für alle gemessenen Größen die zugehörigen Fehler an. Die Puckmasse wird als eine Masseinheit ($m = 1 \text{ ME}$) angenommen.

(a) Bestimmen Sie die Abstandsabhängigkeit der Kraft zwischen den beiden Dipolen.

Nutzen Sie hierzu den Luftisch mit dem höhenverstellbaren Fuß. Auf den Tisch legen Sie die Führungsschiene. Nun lassen Sie den Puck-Dipol bei geneigtem Tisch in der Führungsschiene auf den fixierten Dipol zugleiten. Sobald er zur Ruhe gekommen ist, messen Sie den Gleichgewichtsabstand der Dipole (Dipolmitte). Diese Messung führen Sie für zehn verschiedene Abstände (also zehn Neigungswinkel) durch.

(b) Bestimmen Sie den Maßstab der Kameraaufnahmen.

Legen Sie den Puck auf den ausgeschalteten Luftisch und messen Sie den Abstand zum fixierten Dipol. Machen Sie dann eine Aufnahme mit der Kamera und drucken Sie diese (für jedes Gruppenmitglied) aus. Für die Aufnahmen der Puckbewegung zur Potentialbestimmung müssen Sie später exakt dieselben Einstellungen wählen, wie für diesen Maßstabsausdruck.

(c) Bestimmen Sie die Abstandsabhängigkeit des Potentials zwischen den beiden Dipolen.

Nehmen Sie dazu zehn Trajektorien des Puck-Dipols im Feld des fixierten Dipols auf. Lassen Sie den Puck auf den fixierten Dipol zulaufen und zeichnen Sie die Bewegung bis kurz nach dem Umkehrpunkt mit der Kamera auf. Beginnen Sie in genügend großem Abstand, so dass das Potential zwischen den Dipolen am Anfang der Bewegung vernachlässigbar ist. Notieren Sie sich auf dem Ausdruck (jedes Gruppenmitglied) auf welcher Seite der Anfang der Bewegung war.

6 Auswertung und Diskussion (zu Hause)

Bitte führen Sie zu jedem Wert eine Fehlerrechnung durch. Geben Sie alle verwendeten Formeln an und erläutern Sie kurz, was Sie tun und warum. Zeichnen Sie Ihre Diagramme auf Millimeterpapier und beschriften Sie sie vollständig (zu welcher Aufgabe gehört das Diagramm?, was ist auf den Achsen aufgetragen?). Die korrekte Form zur Angabe von Ergebnissen, sowie Hinweise zur Fehlerrechnung entnehmen Sie bitte der *Allgemeinen Praktikumsanleitung*.

1. Bestimmen Sie die Abstandsabhängigkeit der Kraft zwischen den beiden Dipolen.

Berechnen Sie aus Ihren Messungen zu 2a die Kraft nach Formel (1), sowie $\ln(F)$ und $\ln(r)$. Tragen Sie nun die Ergebnisse für $F(r)$ doppelt logarithmisch auf bestimmen Sie mit Hilfe einer graphischen Geradenanpassung den Exponenten n aus (3).

2. Bestimmen Sie den Maßstab der Kameraaufnahmen.

3. Bestimmen Sie die Abstandsabhängigkeit des Potentials zwischen den beiden Dipolen.

Berechnen Sie aus Ihren Messungen zu 2c das Potential nach Formel (2), sowie $\ln(U)$ und $\ln(r)$ (der Mindestabstand b entspricht r). Tragen Sie nun die Ergebnisse für $U(r)$ doppelt logarithmisch auf bestimmen Sie mit Hilfe einer graphischen Geradenanpassung den Exponenten N aus (4).

4. Diskutieren Sie Ihre Ergebnisse.

Entsprechen die Verläufe der Diagramme Ihren Erwartungen? Haben Sie für die Exponenten n und N die erwarteten Werte erhalten, gilt insbesondere $N = n + 1$? Welche Fehlerquellen gibt es in diesem Versuch?

7 Anhang: Hinweise zur Herleitung der Formeln

7.1 Kraft zwischen zwei Dipolen

Zunächst betrachten wir einen einzelnen Dipol im Ursprung des Koordinatensystems. Sein Dipolmoment $\vec{\mu}_1$ verursacht am Punkt \vec{r} das Magnetfeld

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3\vec{r}(\vec{r}^t \vec{\mu}_1)}{|\vec{r}|^5} - \frac{\vec{\mu}_1}{|\vec{r}|^3} \right). \quad (7)$$

Ein beliebiges Magnetfeld \vec{B} übt auf einen Dipol $\vec{\mu}_2$ die folgende Kraft aus:

$$\vec{F} = \vec{\nabla} \left(\vec{\mu}_2^t \vec{B} \right) \quad (8)$$

Für die Kraft eines Dipols $\vec{\mu}_1$ im Ursprung auf einen Dipol $\vec{\mu}_2$ am Ort \vec{r} ergibt sich damit

$$\vec{F}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \vec{\nabla} \left(\frac{3(\vec{\mu}_2^t \vec{r})(\vec{r}^t \vec{\mu}_1)}{|\vec{r}|^5} - \frac{\vec{\mu}_2^t \vec{\mu}_1}{|\vec{r}|^3} \right). \quad (9)$$

Um die Berechnung zu vereinfachen legen wir die z -Achse unseres Koordinatensystems in Richtung von $\vec{\mu}_1$. Damit haben die zu betrachtenden Vektoren die folgenden Darstellungen

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = r\vec{e}_r, \quad \vec{\mu}_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \mu_1 \end{pmatrix} = \mu_1\vec{e}_z, \quad \vec{\mu}_2 = \begin{pmatrix} \mu_{2x} \\ \mu_{2y} \\ \mu_{2z} \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Setzt man dies in (9) ein und führt die Ableitungen und Skalarprodukte aus, so erhält man schließlich

$$\vec{F}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{3}{r^5} \mu_1 \left(z(\vec{\mu}_2 + \mu_{2z}\vec{e}_z) + \left(\mu_{2z} - \frac{5z}{r^2} (\vec{r}^t \vec{\mu}_2) \right) \vec{r} \right). \quad (11)$$

Da sich Dipol 2 im Versuch nur auf dem Lufttisch bewegen und auch seine Orientierung nicht ändern kann, können wir das noch vereinfachen. Die Beschränkung auf die xy -Ebene führt zu $z = 0$ und damit wird (11) zu

$$\vec{F}(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{3}{r^4} \mu_1 \mu_{2z} \vec{e}_r. \quad (12)$$

Wenn wir davon ausgehen, dass auch der zweite Dipol in z -Richtung ausgerichtet ist, gilt $\mu_{2z} = \mu_2$ und damit

$$\vec{F}(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{3}{r^4} \mu_1 \mu_2 \vec{e}_r \quad (13)$$

$$= \vec{\nabla} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} \mu_1 \mu_2. \quad (14)$$

7.2 Bestimmung des Potentials

Die Abstandsabhängigkeit des Potentials wird ermittelt, indem man für verschiedene Bewegungen des Dipols 2 (Puck) im Feld des Dipols 1 (fixiert) das Potential im Umkehrpunkt berechnet (vergleiche Abbildung 2). Dazu betrachten wir zunächst Energie E und Drehimpuls L . Im Startpunkt der Bewegung gilt:

$$E_0 = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (15)$$

$$L_0 = mav_0 \quad (16)$$

wobei die potentielle Energie im Startpunkt Null sein soll. m ist die Masse des Pucks mit dem Dipol, v seine Geschwindigkeit. Im Umkehrpunkt gilt:

$$E_b = \frac{1}{2}mv_b^2 + U(b) \quad (17)$$

$$L_b = mbv_b \quad (18)$$

Dabei ist $U(b)$ die potentielle Energie des Pucks im Umkehrpunkt. Mit Hilfe der Erhaltungssätze für Energie und Drehimpuls folgt daraus für das Potential im Umkehrpunkt

$$U(b) = \frac{1}{2}mv_0^2 \left(1 - \frac{a^2}{b^2}\right) . \quad (19)$$

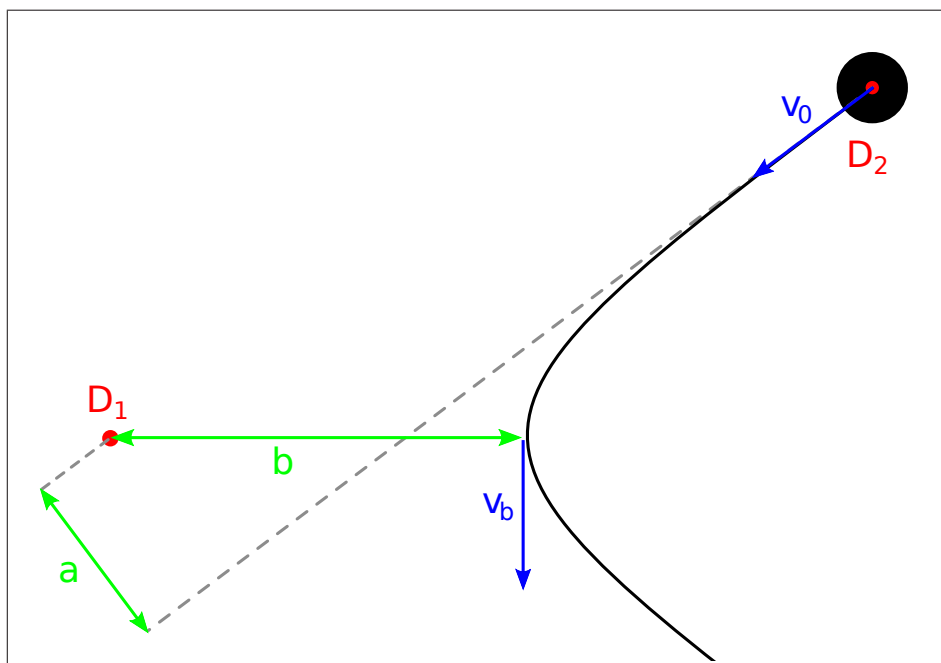


Abbildung 2: Zur Berechnung des Potentials im Umkehrpunkt.

8 Literatur

- Fehlerrechnung:
http://www.astro.uni-koeln.de/teaching_seminars/AP/
<http://www.ph2.uni-koeln.de/fileadmin/Lehre/Anfaengerpraktikum/Fehler.pdf>
- Demtröder: Experimentalphysik 1, Springer, 2001
http://www.ub.uni-koeln.de/digital/e_books/springer_links/index_ger.html
- Jackson: Klassische Elektrodynamik
- Meschede und Gerthsen: Physik, Springer, Berlin, 21. Aufl., 2002
http://www.ub.uni-koeln.de/digital/e_books/springer_links/index_ger.html
- Tipler: Physik, Heidelberg, Spektrum, Akad. Verlag, 1994

9 Sicherheitshinweise

Dieser Versuchsaufbau enthält Supermagnete, bitte beachten Sie die vom Hersteller empfohlenen Sicherheitsabstände in Tabelle 1. Der Vollständigkeit halber finden Sie in Abb. 3 und 4 auch alle übrigen Sicherheitshinweise für den Umgang mit Supermagneten. Diese sind bei ordnungsgemäßem Umgang mit dem Versuchsaufbau und Beachtung der Sicherheitsabstände jedoch nicht relevant.

Informieren Sie bei Defekten an Bestandteilen des Aufbaus Ihren Betreuer und versuchen Sie nicht selbst Teile zu demontieren.

Gegenstand	Magnetfeld schädlich ab	Mindestabstand
hochwertige Magnetkarte (Kreditkarte, EC-Karte, Bankkarte)	40 mT	1,5 cm
billige Magnetkarte (Parkhaus, Messeintritt)	3 mT	4,2 cm
Herzschriltmacher neu	1 mT	6,2 cm
Herzschriltmacher alt	0,5 mT	8,0 cm
Mechanische Uhr, anti-magnetisch gem ISO 746	6 mT	3,2 cm
Mechanische Uhr, nicht anti-magnetisch	0,05 mT	17,6 cm
Hörgerät	20 mT	2 cm
Fahrzeugschlüssel	keine Gefahr	
USB-Stick, Speicherkarten	keine Gefahr	
Festplatte	keine Gefahr	

Tabelle 1: Empfohlene Sicherheitsabstände für die im Versuch verwendeten Supermagnete (nach <http://www.supermagnete.de>)

Hinweise für den sicheren Umgang mit Supermagneten









<p>Gefahr</p> 	<p>Verschlucken</p> <p>Kinder können kleine Magnete verschlucken. Wenn mehrere Magnete verschluckt werden, können diese sich im Darm festsetzen und lebensgefährliche Komplikationen verursachen.</p> <p>Magnete sind kein Spielzeug! Stellen Sie sicher, dass die Magnete nicht in die Hände von Kindern gelangen.</p>
<p>Gefahr</p> 	<p>Elektroleitfähigkeit</p> <p>Magnete sind aus Metall und leiten elektrischen Strom. Kinder können versuchen, Magnete in eine Steckdose zu stecken und dabei einen Stromschlag erleiden.</p> <p>Magnete sind kein Spielzeug! Stellen Sie sicher, dass die Magnete nicht in die Hände von Kindern gelangen.</p>
<p>Warnung</p> 	<p>Quetschungen</p> <p>Grosse Magnete haben eine sehr starke Anziehungskraft.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei unvorsichtiger Handhabung können Sie sich die Finger oder Haut zwischen zwei Magneten einklemmen. Das kann zu Quetschungen und Blutergüssen an den betroffenen Stellen führen. • Sehr grosse Magnete können durch ihre Kraft Knochenbrüche verursachen. <p>Tragen Sie bei der Handhabung von grösseren Magneten dicke Schutzhandschuhe.</p>
<p>Warnung</p> 	<p>Herzschrittmacher</p> <p>Magnete können die Funktion von Herzschrittmachern und implantierten Defibrillatoren beeinflussen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ein Herzschrittmacher kann in den Testmodus geschaltet werden und Unwohlsein verursachen. • Ein Defibrillator funktioniert unter Umständen nicht mehr. • Halten Sie als Träger solcher Geräte einen genügenden Abstand zu Magneten ein: www.supermagnete.ch/faq/distance • Warnen Sie Träger solcher Geräte vor der Annäherung an Magnete.
<p>Warnung</p> 	<p>Schwere Gegenstände</p> <p>Zu hohe oder ruckartige Belastungen, Ermüdungserscheinungen sowie Materialfehler können dazu führen, dass sich ein Magnet oder Magnethaken von seinem Haftgrund löst. Herunterfallende Gegenstände können zu schweren Verletzungen führen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die angegebene Haftkraft wird nur unter idealen Bedingungen erreicht. Rechnen Sie einen hohen Sicherheitsfaktor ein. • Verwenden Sie Magnete nicht an Orten, wo bei Materialversagen Personen zu Schaden kommen können.
<p>Warnung</p> 	<p>Metall-Splitter</p> <p>Magnete sind spröde. Wenn zwei Magnete kollidieren, können sie zersplittern. Scharfkantige Splitter können meterweit weg geschleudert werden und Ihre Augen verletzen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vermeiden Sie Kollisionen von Magneten. • Tragen Sie bei der Handhabung von grösseren Magneten eine Schutzbrille. • Achten Sie darauf, dass umstehende Personen ebenfalls geschützt sind oder Abstand halten.
<p>Vorsicht</p> 	<p>Magnetisches Feld</p> <p>Magnete erzeugen ein weit reichendes, starkes Magnetfeld. Sie können unter anderem Fernseher und Laptops, Computer-Festplatten, Kreditkarten und EC-Karten, Datenträger, mechanische Uhren, Hörgeräte und Lautsprecher beschädigen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Halten Sie Magnete von allen Geräten und Gegenständen fern, die durch starke Magnetfelder beschädigt werden können. • Beachten Sie unsere Tabelle mit empfohlenen Abständen: www.supermagnete.ch/faq/distance
<p>Vorsicht</p> 	<p>Entflammbarkeit</p> <p>Beim mechanischen Bearbeiten von Magneten kann sich der Bohrstaub leicht entzünden. Verzichten Sie auf das Bearbeiten von Magneten oder verwenden Sie geeignetes Werkzeug und genügend Kühlwasser.</p>

Abbildung 3: Sicherheitshinweise des Herstellers für den Umgang mit Supermagneten









Vorsicht 	<p>Nickel-Allergie</p> <p>Viele unserer Magnete weisen Beschichtungen auf, die Nickel enthalten.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manche Menschen reagieren allergisch auf den Kontakt mit Nickel. • Nickel-Allergien können sich bei dauerndem Kontakt mit vernickelten Gegenständen entwickeln. • Vermeiden Sie dauerhaften Hautkontakt mit nickelbeschichteten Magneten. • Verzichten Sie auf den Umgang mit Magneten, wenn Sie bereits eine Nickelallergie haben.
Vorsicht 	<p>Luftfracht</p> <p>Magnetfelder von nicht sachgemäss verpackten Magneten können die Navigationsgeräte von Flugzeugen beeinflussen. Im schlimmsten Fall kann dies zu einem Unfall führen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Versenden Sie Magnete nur in Verpackungen mit genügender magnetischer Abschirmung per Luftfracht. • Beachten Sie die einschlägigen Vorschriften: www.supermagnete.ch/faq/airfreight
Vorsicht 	<p>Postversand</p> <p>Magnetfelder von nicht sachgemäss verpackten Magneten können Störungen an Sortiergeräten verursachen und empfindliche Güter in anderen Paketen beschädigen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beachten Sie unsere Tipps für den Versand: www.supermagnete.ch/faq/shipping • Verwenden Sie eine grosszügig bemessene Schachtel und platzieren Sie die Magnete mit Hilfe von Füllmaterial in der Mitte des Paketes. • Ordnen Sie die Magnete in einem Paket so an, dass sich die Magnetfelder gegenseitig neutralisieren. • Verwenden Sie wenn nötig Eisenbleche, um das Magnetfeld abzuschirmen. • Für den Versand per Luftfracht gelten strengere Regeln: Beachten Sie den Warnhinweis "Luftfracht".
Hinweis 	<p>Wirkung auf Menschen</p> <p>Magnetfelder von Dauermagneten haben nach gegenwärtigem Wissensstand keine messbare positive oder negative Auswirkung auf den Menschen. Eine gesundheitliche Gefährdung durch das Magnetfeld eines Dauermagneten ist unwahrscheinlich, kann aber nicht vollkommen ausgeschlossen werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vermeiden Sie zu Ihrer Sicherheit einen dauernden Kontakt mit den Magneten. • Bewahren Sie grosse Magnete mindestens einen Meter von Ihrem Körper entfernt auf.
Hinweis 	<p>Absplittren der Beschichtung</p> <p>Die meisten unserer Magnete weisen zum Schutz vor Korrosion eine dünne Nickel-Kupfer-Nickel-Beschichtung auf. Diese Beschichtung kann durch Kollisionen oder grossen Druck absplittren oder Risse erhalten. Dadurch werden die Magnete empfindlicher gegenüber Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit und können oxidieren.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trennen Sie grosse Magnete, insbesondere Kugeln, mit einem Stück Pappe voneinander. • Vermeiden Sie generell Kollisionen zwischen Magneten sowie wiederholte mechanische Belastungen (z.B. Schläge).
Hinweis 	<p>Oxidation, Korrosion, Rost</p> <p>Unbehandelte Magnete oxidieren sehr schnell und zerfallen dabei.</p> <p>Die meisten unserer Magnete weisen zum Schutz vor Korrosion eine dünne Nickel-Kupfer-Nickel-Beschichtung auf. Diese Beschichtung bietet einen gewissen Schutz gegen Korrosion, ist aber nicht widerstandsfähig genug für den dauernden Ausseneinsatz.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Setzen Sie die Magnete nur im trockenen Innenbereich ein oder schützen Sie die Magnete vor Umwelteinflüssen. • Vermeiden Sie Verletzungen der Beschichtung.
Hinweis 	<p>Temperaturbeständigkeit</p> <p>Magnete haben eine begrenzte maximale Einsatztemperatur. Je nach Magnetmaterial liegt diese zwischen 80 und 220 °C. Die meisten unserer Magnete verlieren bei Temperaturen ab 80 °C dauerhaft einen Teil ihrer Haftkraft.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verwenden Sie die Magnete nicht an Orten, wo sie grosser Hitze ausgesetzt sind. • Wenn Sie einen Kleber verwenden, härten Sie diesen nicht mittels Heissluft.
Hinweis 	<p>Mechanische Bearbeitung</p> <p>Magnete sind spröde, hitzeempfindlich und oxidieren leicht.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beim Bohren oder Sägen eines Magneten mit ungeeignetem Werkzeug kann der Magnet zerbrechen. • Durch die entstehende Wärme kann der Magnet entmagnetisiert werden. • Wegen der beschädigten Beschichtung wird der Magnet oxidieren und zerfallen. <p>Verzichten Sie auf das mechanische Bearbeiten von Magneten, wenn Sie nicht über die notwendigen Maschinen und Erfahrung verfügen. Lassen Sie sich stattdessen ein Angebot für eine Massanfertigung erstellen: www.supermagnete.ch/custom_form.php</p>

Abbildung 4: Sicherheitshinweise des Herstellers für den Umgang mit Supermagneten