

Versuch M5 für Physiker

Stoßgesetze

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 sich mit den verschiedenen Formen von Stößen vertraut machen. Dabei überprüfen Sie auch die drei wichtigsten Erhaltungssätze der Mechanik: Energie-, Impuls- und Drehimpulserhaltung. Stöße spielen nicht nur in der Physik (zum Beispiel in der Kernphysik) sondern auch in der Technik (Knautschzone am Auto, Leitplanken) und anderen Naturwissenschaften eine große Rolle. In der Chemie beispielsweise kann von den Stoßbedingungen, vor allem von der kinetischen Energie sehr stark abhängen, ob eine Reaktion abläuft.

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 Begriffe: Impuls, Drehimpuls, kinetische Energie, Translationsenergie, Rotationsenergie, Trägheitsmoment eines Zylinders, Fehlerfortpflanzung
- Newton'sche Axiome, Satz von Steiner, Erhaltungssätze (Energie, Impuls, Drehimpuls).

2. Vollkommen elastischer Stoß:

- Welche Größen bleiben erhalten?
- Leiten Sie den Stoßwinkel (10) her. Gehen Sie dabei davon aus, dass die beiden stoßenden Pucks die gleiche Masse haben und Puck 2 vor dem Stoß in Ruhe ist.
- Skizzieren Sie die Bahnen der beiden Pucks.

3. Vollkommen inelastischer Stoß:

- Welche Größen bleiben erhalten?
- Was geschieht mit dem Fehlbetrag der nicht erhaltenen Größe?
- Skizzieren Sie die Bahnen der beiden Pucks.
- Wenden Sie den Satz von Steiner auf einen Zylinder an, um Gleichung (6) herzuleiten.
- Leiten Sie die Formeln für den Drehimpuls vor dem Stoß im Laborsystem (4) und im Schwerpunktsystem (5) her.

4. Teilweise elastischer Stoß:

- Welche Größen bleiben erhalten?
- Skizzieren Sie die Bahnen der beiden Pucks.

3 Versuchsaufbau und -beschreibung

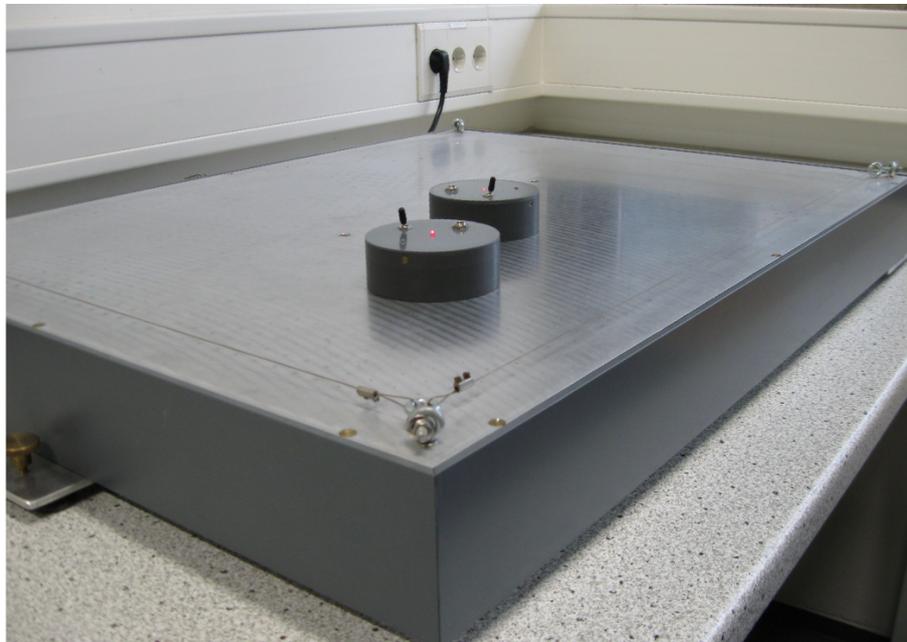


Abbildung 1: Foto des Versuchsaufbaus

Beobachtet wird der Stoß zweier Pucks (flache Zylinder), die sich nahezu reibungsfrei auf einem Lufttisch bewegen, wie beim Airhockey. Es gibt verschiedene Arten von Pucks für die einzelnen Versuchsteile. Für die Untersuchung des vollkommen elastischen Stoßes werden magnetische Pucks verwendet, die einander abstoßen. Dies hat den Vorteil, dass der Stoß berührungsfrei stattfinden kann und so die Umwandlung von kinetischer Energie in Wärmeenergie minimiert wird. Für die Untersuchung des vollkommen inelastischen Stoßes werden Pucks verwendet, die mit Klettbandern versehen sind. So wird garantiert, dass sich die stoßenden Objekte nach dem Stoß zu einem verbunden haben und sich gemeinsam weiterbewegen. Für den teilweise elastischen Stoß werden einfache Pucks ohne Magnete oder Klettbander verwendet.

Alle Pucks sind mit einer zentralen Leuchtdiode ausgestattet, um ihre Bewegung aufnehmen zu können. Dazu nimmt eine an den Computer angeschlossene Kamera mit einer Frequenz von 7.5 Hz eine Bilderserie der Puckbahn auf. Diese Bilder werden später von einer Software zu einem Bild überlagert. Die auf diese Weise entstandenen Trajektorien der Pucks bestehen aus Punkten, von denen jeder einen bestimmten Zeitpunkt der Bewegung markiert.

4 Benötigte Formeln

Hinweise zur Herleitung finden sich in Abschnitt 7 dieser Anleitung.

Die Translationsenergie jedes Pucks bestimmen Sie aus der Puckmasse m und den Impulsanteilen in x - und y -Richtung p_x bzw. p_y als

$$E_{trans} = \frac{1}{2m} (p_x^2 + p_y^2) . \quad (1)$$

Das Trägheitsmoment eines Pucks mit Masse m und Radius R , der um sein Zentrum mit der Winkelgeschwindigkeit ω rotiert, ist gegeben durch

$$I_{Puck} = \frac{1}{2} m R^2 , \quad (2)$$

und seine Rotationsenergie ist dann

$$E_{rot} = \frac{1}{2} I_{Puck} \cdot \omega^2 . \quad (3)$$

Die Pucks haben aber nicht nur einen Eigendrehimpuls, sondern auch einen Bahndrehimpuls. Dieser ist im Laborsystem vor dem Stoß

$$L_{Puck} = m a \frac{s}{t} , \quad (4)$$

wobei a der Stoßparameter ist. Wenn man sich in das Schwerpunktsystem der beiden stoßenden Pucks begibt (siehe Abschnitt 7), dann ist der Bahndrehimpuls vor dem Stoß

$$L_{vorher} = \frac{1}{2} \cdot m a \frac{s}{t} . \quad (5)$$

Das Trägheitsmoment zweier verbundener Pucks mit jeweils Masse m und Radius R , die um den gemeinsamen Schwerpunkt rotieren, ist gegeben durch

$$I_{2Pucks} = 3mR^2 , \quad (6)$$

ihr Drehimpuls im Schwerpunktsystem errechnet sich als

$$L_{2Pucks} = I_{2Pucks} \cdot \omega_S , \quad (7)$$

wobei ω_S die Winkelgeschwindigkeit im Schwerpunktsystem ist.

5 Durchführung (im Praktikum)

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, 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, ebenso werden Zeit und Länge nur in Zeiteinheiten (ZE) bzw. Längeneinheiten (LE) betrachtet.

Starten Sie bei allen Versuchen die Aufnahme mit dem Abschuss von Puck 1 und beenden Sie sie, bevor einer der Pucks die Bande berührt. Den genauen Zeitpunkt des Stoßes bestimmt man, indem man die Punkte *von hinten nach vorne* durchnummeriert.

Vor dem Stoß sollte sich Puck 2 in Ruhe in der Mitte des Tisches befinden. Achten Sie darauf, dass Sie auch genügend Aufnahmen der Bewegung von Puck 1 vor dem Stoß haben.

(a) Vollkommen elastischer Stoß:

In diesem Versuchsteil soll der Impuls- und Energieerhaltungssatz experimentell bestätigt werden.

Nehmen Sie die beiden magnetischen Pucks und platzieren Sie P_2 ungefähr in der Tischmitte. Die Anfangsgeschwindigkeit v_2 soll null sein, darum sollte P_2 bis zum Abschuss von P_1 festgehalten werden. v_1 darf nicht so groß sein, dass sich die beiden Pucks berühren, aber auch nicht zu klein, da sonst die nicht vermeidbare Restreibung auf dem Tisch die Pucks zu stark bremst. Versuchen Sie außerdem P_2 dicht neben der Mitte zu treffen (kleiner Stoßparameter aber kein zentraler Stoß). Probieren Sie verschiedene Anfangsbedingungen aus und nehmen Sie dann eine Bahn mit dem Computer auf.

(b) Vollkommen inelastischer Stoß:

Nun soll die Drehimpulserhaltung beim vollkommen inelastischen Stoß überprüft werden.

Verwenden Sie dazu die unmagnetischen Pucks, die mit Klettband versehen sind. Hier empfiehlt sich ein großer Stoßparameter, um einen größeren Drehimpuls zu

erzeugen. Probieren Sie auch hier verschiedene Anfangsbedingungen aus, bevor Sie eine Bahn aufnehmen.

(c) **Teilweise elastischer Stoß:**

Im dritten Versuchsteil soll die Energieumwandlung beim teilweise elastischen Stoß untersucht werden.

Hierzu lassen Sie die unmagnetischen Pucks ohne Klettband miteinander stoßen. Um die Übertragung des Drehimpulses beobachten zu können, schalten Sie nun auch die exzentrisch angeordnete zweite Leuchtdiode der Pucks ein. Damit wird der Eigendrehimpuls der Pucks sichtbar gemacht.

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. Vollkommen elastischer Stoß:

Impuls- und Energieerhaltungssatz beim vollkommen elastischen Stoß sollen graphisch überprüft werden.

- **Energie:**

Berechnen Sie dazu die Translationsenergien der einzelnen Pucks, sowie die Gesamttranslationsenergie zu jedem Zeitpunkt und tragen Sie alle diese Größen gegen die Zeit auf. Führen Sie eine graphische Geradenanpassung durch und diskutieren Sie, ob die Energieerhaltung im Rahmen der Fehlergrenzen bestätigt werden konnte.

- **Impuls:**

Berechnen Sie dazu die Impulse in x - und y -Richtung der einzelnen Pucks, sowie die Gesamtimpulse in x - und y -Richtung zu jeden Zeitpunkt und tragen Sie alle diese Größen gegen die Zeit auf. Führen Sie eine graphische Geradenanpassung durch und diskutieren Sie, ob die Impulserhaltung im Rahmen der Fehlergrenzen bestätigt werden konnte.

Zeichnen Sie außerdem die Schwerpunktbewegung in der Aufnahme des Stoßes ein. Verläuft sie wie erwartet oder gibt es Auffälligkeiten?

2. Vollkommen inelastischer Stoß:

Überprüfen Sie nun die Drehimpulserhaltung beim vollkommen inelastischen Stoß. Berechnen Sie dazu den Drehimpuls des Systems vor und nach dem Stoß. *Achtung:* Berücksichtigen Sie, dass Sie den Drehimpuls nach dem Stoß über die Winkelgeschwindigkeit im Schwerpunktsystem ermitteln und Sie den Drehimpuls vor dem Stoß daher auch im Schwerpunktsystem bestimmen müssen. Konnte die Drehimpulserhaltung in Ihrem Experiment bestätigt werden?

3. Teilweise elastischer Stoß:

Bestimmen Sie den Anteil der kinetischen Energie, der in andere Energieformen umgewandelt wurde.

Berechnen Sie dazu die Summe der kinetischen Energien (Rotations- und Translationsenergie) vor und nach dem Stoß. Welcher Prozentsatz der ursprünglichen kinetischen Energie ging bei dem Stoß „verloren“?

7 Anhang: Hinweise zur Herleitung der Formeln

7.1 Stoßwinkel beim vollkommen elastischen Stoß

Beim vollkommen elastischen Stoß sind die Translationsenergie und der Impuls erhalten. Für zwei Pucks der Masse m mit Anfangsgeschwindigkeiten $\vec{v}_2 = \vec{0}$ und \vec{v}_1 und Endgeschwindigkeiten \vec{v}_1' und \vec{v}_2' gilt also:

$$\frac{1}{2}m\vec{v}_1^2 = \frac{1}{2}m\vec{v}_1'^2 + \frac{1}{2}m\vec{v}_2'^2 \quad (8)$$

$$\wedge \quad m\vec{v}_1 = m\vec{v}_1' + m\vec{v}_2' . \quad (9)$$

Umformen von (9) und Einsetzen in (8) führt zu

$$\sphericalangle (\vec{v}_1', \vec{v}_2') = 90^\circ . \quad (10)$$

7.2 Drehimpuls vor dem Stoß

Für die Berechnung des Drehimpulses vor dem Stoß möchte man leicht messbare Größen verwenden. Dafür bieten sich die zurückgelegte Strecke s , die dafür benötigte Zeit t und der Stoßparameter a an. Gegeben ist der Drehimpulsvektor \vec{L} aber zunächst durch den Ortsvektor \vec{r} und den Impulsvektor \vec{p} :

$$\vec{L}_{Puck} = \vec{r} \times \vec{p}$$

Durch geschicktes Umformen (vgl. Abb. 2) erhält man für den Betrag von \vec{L}_{Puck} schließlich:

$$L_{Puck} = a \cdot m \frac{s}{t} \quad (11)$$

7.3 Trägheitsmoment

Das Trägheitsmoment eines homogenen Zylinders mit Masse m und Radius R bezüglich seiner Symmetrieachse lautet:

$$I_{Puck} = \frac{1}{2}mR^2$$

Lässt man diesen Zylinder um eine Achse auf seinem Rand rotieren, so kann man sein Trägheitsmoment über den Satz von Steiner berechnen. Für zwei verbundene Pucks, die um ihren gemeinsamen Schwerpunkt rotieren ist das gesamte Trägheitsmoment dann:

$$I_{2Pucks} = 3mR^2 \quad (12)$$

7.4 Wechsel vom Labor- ins Schwerpunktsystem

Beim vollkommen inelastischen Stoß ist es am einfachsten, den Drehimpuls vor dem Stoß im Laborsystem zu ermitteln, den nach dem Stoß jedoch im Schwerpunktsystem. Damit man beide Drehimpulse vergleichen kann, müssen sie jedoch im selben Bezugssystem gegeben sein. Daher ist es nötig den Drehimpuls vor dem Stoß vom Laborsystem ins Schwerpunktsystem zu transformieren. Abbildung 2 zeigt, wie die beiden Bezugssysteme zusammenhängen. Während sich der Drehimpuls im Laborsystem wie in (11) berechnet, muss man im Schwerpunktsystem den Drehimpuls bezüglich des Schwerpunkts für beide Pucks berechnen und addieren. Für Puck i ($i = 1, 2$) ist der Drehimpuls bezüglich des Schwerpunktes

$$\begin{aligned}\vec{L}_i &= \vec{r}_i \times \vec{p}_i \\ \Rightarrow L_i &= \frac{a}{2} \cdot m \frac{v}{2}.\end{aligned}\quad (13)$$

Der Gesamtdrehimpuls vor dem Stoß ist daher im Schwerpunktsystem

$$L_{vorher} = \frac{1}{2} \cdot am \frac{s}{t}.\quad (14)$$

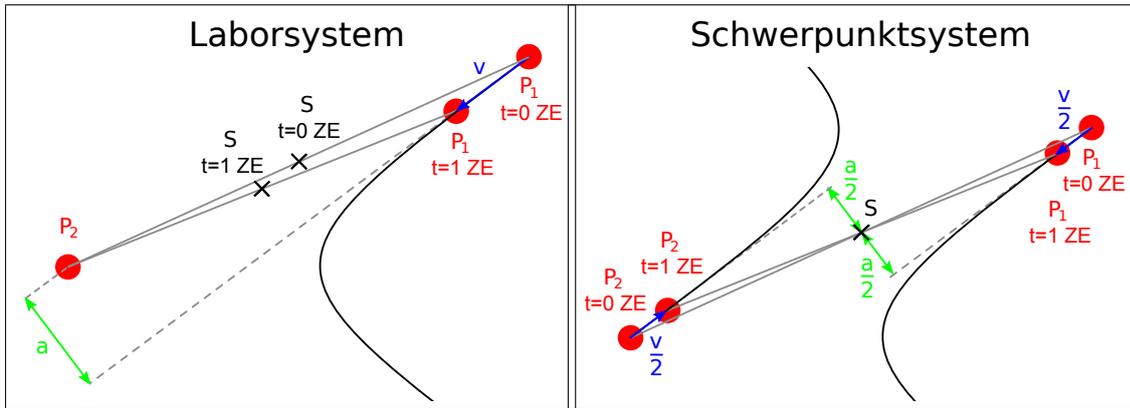


Abbildung 2: *Links:* Im Laborsystem bewegt sich Puck 1 mit Geschwindigkeit v auf Puck 2 zu. Puck 2 befindet sich in Ruhe im Ursprung des Koordinatensystems. Die Senkrechtekomponente r_{\perp} des Ortsvektors von Puck 2 ist genau der Stoßparameter a . In diesem Bezugssystem bewegt sich auch der Schwerpunkt auf Puck 2 zu. *Rechts:* Im Schwerpunktsystem bewegen sich Puck 1 und Puck 2 jeweils mit Geschwindigkeit $\frac{v}{2}$ auf den Schwerpunkt zu. Der Schwerpunkt befindet sich in Ruhe im Ursprung des Koordinatensystems. Die Senkrechtekomponente r_{\perp} der Ortsvektoren von Puck 1 und 2 ist hier genau der halbe Stoßparameter $r_{\perp} = \frac{a}{2}$.

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
- Halliday: Physik, Wiley-VCH, 2. Auflage, 2009
- 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

Im gleichen Raum befindet sich auch der Versuchsaufbau M4 (schwarze Pucks und Stative), der Supermagnete enthält. 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
Herzschrittmacher neu	1 mT	6,2 cm
Herzschrittmacher 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>0-14</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>Herzschrittmarker</p> <p>Magnete können die Funktion von Herzschrittmachern und implantierten Defibrillatoren beeinflussen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ein Herzschrittmarker 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>Abspalten 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 abspalten 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