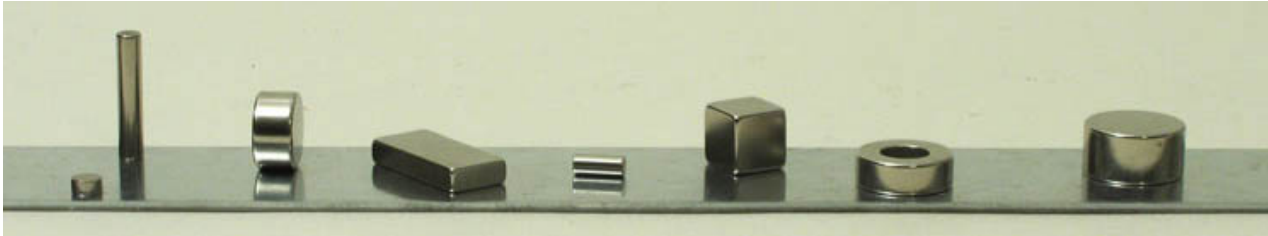


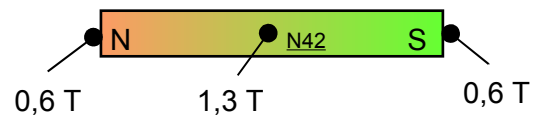
## Neodymmagnete im Physikunterricht

Permanentmagnete aus dem Werkstoff Neodym-Eisen-Bor (im Folgenden: Neodymmagnete) sind erheblich stärker und dauerhafter als die sonst meistens verwendeten Magnete aus Ferritwerkstoffen oder der Eisenlegierung AlNiCo und ermöglichen daher ebenso einfache wie eindrucksvolle Experimente im Physikunterricht. Neodymmagnete stammen vorwiegend aus China und Japan, wo sie in einem speziellen Verfahren durch Pulverisieren und Sintern von kristallinem  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  in den verschiedensten Varianten hergestellt werden.



Ihre Verwendbarkeit im Unterricht wird zunächst durch die physikalischen Eigenschaften des Werkstoffes bestimmt:

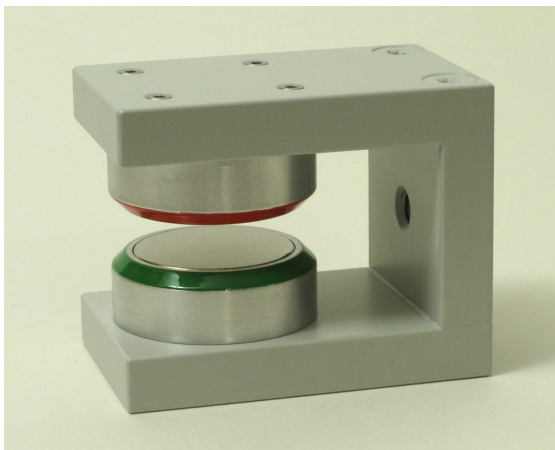
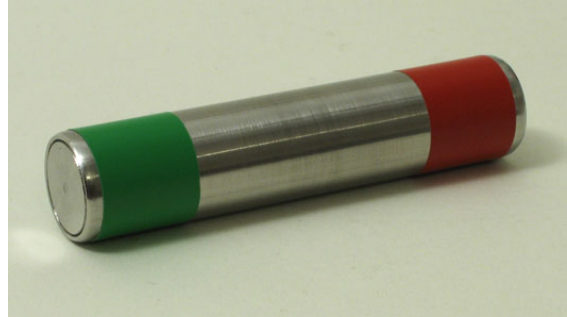
- Der Werkstoff wird durch das maximale Energieprodukt charakterisiert. Bei einem Magneten mit der Bezeichnung „N42“ deutet die Zahl 42 auf einen maximalen Wert des negativen Produktes aus der Flussdichte  $B$  und der Feldstärke  $H$  von  $42 \cdot 10^6$  GOe (Gauß · Oersted) =  $334 \text{ kJ/m}^3$  hin. Der Buchstabe N charakterisiert eine Einsatztemperatur bis zu  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Die Magnetisierung ist sehr stark: Während AlNiCo eine Remanenz von rund  $0,2 \text{ T}$  aufweist, liegt dieser Wert bei einem Neodymmagneten aus dem Werkstoff N42 bei  $1,3 \text{ T}$ ! Man beachte jedoch, dass die magnetische Flussdichte nur im Innenbereich eines langen Stabmagneten gleich der Remanenz ist. An den Poloberflächen ist die Flussdichte etwa halb so groß. Ein Neodymmagnet entwickelt zu einem zweiten Magneten oder einem Eisenstück bei kleinen Abständen eine Anziehungskraft von über  $50 \text{ Newton}$  je  $\text{cm}^2$  Polfläche. Magnete ab etwa  $2 \text{ cm}^2$  Polfläche können daher schmerzhaft Hautquetschungen hervorrufen. Außerdem lassen sich zwei aneinander haftende Magnete ab dieser Größe nur mit einigem Kraftaufwand oder mit Werkzeug voneinander trennen. Bei mehr als etwa  $5 \text{ cm}^2$  Polfläche sind schwerwiegendere Verletzungen möglich.
- Die Magnetisierung ist sehr dauerhaft: Die Koerzitivfeldstärke von Neodymmagneten liegt über  $900 \text{ kA/m}$  (AlNiCo: rund  $60 \text{ kA/m}$ ). Damit kann das Material im praktischen Umgang kaum entmagnetisiert werden, nicht einmal, wenn man zwei Neodymmagnete mit gleichartigen Polen gegeneinanderpresst (Schraubstock erforderlich!). Auch Erschütterungen oder Alterung führen nicht zu einer nennenswerten Schwächung. Lediglich hohe Temperaturen verringern die Magnetisierung. Ein N42-Magnet, der 10 Minuten lang einer Temperatur von  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  ausgesetzt wird, verliert etwa  $40\%$  seiner Magnetisierung.
- Neodymmagnete sind wie die meisten Magnetwerkstoffe hart und spröde. Häufig bricht ein Neodymmagnet, wenn er wegen der großen Anziehungskraft mit einem anderen Magneten kollidiert. Dabei können scharfkantige Splitter auftreten. Der Werkstoff ist recht korrosiv, deshalb werden Neodymmagnete stets beschichtet, meistens mit Nickel.



Das Magnetfeld eines Neodymmagneten ist für den Menschen unbedenklich. Eine Gefahr besteht jedoch für magnetische Speichermedien (Festplatten, Videokassetten, Scheckkarten ...) oder Geräte mit empfindlichen Komponenten (Uhren mit Schrittmotor, Herzschrittmacher, Hörgeräte ...). Ein Datenverlust oder eine Funktionsstörung ist bei einem statischen Magnetfeld ab etwa  $1 \text{ mT}$  zu befürchten. Wegen der  $1/r^3$ -Abhängigkeit der Stärke eines Dipolfeldes vom Abstand treten bei einem mittelgroßen Neodymmagneten (siehe unten) solche Magnetfelder bis zu einer Entfernung von etwa  $15 \text{ cm}$  auf. Auch konventionelle Magnete können bei Abständen bis etwa  $10 \text{ cm}$  die genannten Schäden hervorrufen.

Experimentiermaterial, das im Unterricht eingesetzt werden soll, muss hohen Anforderungen an die Sicherheit und die Praktikabilität genügen. Nur kleine Neodymmagnete sind für eine Verwendung ohne Hülle oder Fixierung geeignet. In der Praxis hat sich herausgestellt, dass die Lebensdauer solcher offenen Magnete beim spielerischen Umgang wegen der Bruchgefahr recht begrenzt ist. Um die besonderen Eigenschaften mittelgroßer Magnete im Unterricht nutzen zu können, werden von [alphys](http://www.alphys.de) zwei Varianten von Neodym-Magnetsystemen angeboten:

Beim Stabmagneten ist eine zylindrische Reihe kräftiger Neodymmagneten von einer stabilen Hülle aus praktisch unmagnetischem Edelstahl umgeben. Die Hülle ist so stabil, dass höchstens Kratzer entstehen, wenn Stabmagnete kollidieren oder vom Experimentiertisch fallen. Darüber hinaus sind die dauerhaft eingepressten Edelstahl-Stirnplatten so bemessen, dass die Anziehungskraft zwischen zwei solchen Stabmagneten auf ungefährliche Werte (unter 40 Newton) begrenzt wird. Die Flussdichte an den Stirnflächen beträgt etwa 0,3 Tesla. Der 82 mm lange Neodym-Stabmagnet lässt sich wie konventionelle Stabmagnete im Unterricht einsetzen, ist aber deutlich stärker und praktisch unverwüstlich.



Der U-Magnet besteht aus einem U-förmigen Eisenjoch, in dem zwei große, zylindrische Neodymmagnete durch Ringe aus Aluminium fixiert sind. Es entsteht ein gut einsehbarer Luftspalt mit einem Spaltabstand von 10 mm und einem Durchmesser von 35 mm, in dem ein annähernd homogenes Magnetfeld von etwa 0,85 Tesla herrscht. Zur Verbindung mit Stativmaterial kann ein Gewindebolzen in das Jochmittelteil eingeschraubt werden. In dem starken und ausgedehnten Magnetfeld lassen sich insbesondere Versuche zur Kraftwirkung auf stromführende Leiter, zur Induktion und zu Wirbelströmen mit deutlichen Effekten und geringem Aufwand zeigen.

Die spezifischen Vorteile dieser Magnete lassen sich in vielerlei Hinsicht nutzen:

- sicht- und fühlbare Kraftwirkungen auf große Entfernungen  
(Kräfte zwischen Stabmagneten, Ausrichtung im Erdmagnetfeld, Magnetisierung von Eisen, fühlbare Kräfte in der Nähe stromdurchflossener Spulen, ....)
- leicht beobachtbare Effekte zu Lorentzkraft, Induktion und Wirbelströmen  
(Kraft auf stromführende Leiter im Magnetfeld, Gegenkraft auf den Magneten, Lenz'sche Regel, Doppel-Leiterschaukel, Wirbelströme, ....)
- einfache, übersichtliche und rationelle Versuchsaufbauten  
(Einführung der magnetischen Flussdichte, Hall-Effekt, ....)
- breites Spektrum an Lehrer- und Schülerexperimenten  
(Schülerversuch Lautsprecher, Gitarren-Tonabnehmer, stehende Wellen auf gespanntem Draht, Beobachtung von Dia- und Paramagnetismus, ....)
- praktisches Hilfsmittel auch bei anderen Themen  
(Kraft und Gegenkraft, Energieerhaltung, Impulserhaltung, Chaos ....)