

### Welche Stoffe sind „nicht“ magnetisch?

Die ersten Erfahrungen mit magnetischen Phänomenen sammeln Schülerinnen und Schüler bereits im Alltag sowie in der Grundschule. Typische Experimente zur Einführung in den Magnetismus untersuchen die Anziehung von Alltagsgegenständen durch einen Permanentmagneten (z. B. Appel et al., 2009). Während entsprechende Experimente im Sinne eines phänomenorientierten Zuganges geeignet erscheinen, um eine aktive Auseinandersetzung von Schülerinnen und Schülern mit den magnetischen Eigenschaften unserer Umwelt zu initiieren, sind die typischerweise resultierenden Schlüsse aus fachlicher und fachdidaktischer Perspektive problematisch. Typische Schlüsse weisen den untersuchten Gegenständen Attribute wie „wird (nicht) vom Magneten angezogen“ oder „ist (nicht) magnetisch“ zu.

Eine solche Kategorisierung in z. B. „magnetische“ und „nicht magnetische“ Stoffe widerspricht der fachlichen Tatsache, dass sämtliche Materie magnetische Eigenschaften besitzt und dementsprechend mit magnetischen Feldern wechselwirkt. Das beschriebene Experiment fokussiert in seiner dichotomen Unterteilung jedoch nur die Frage, welche der untersuchten Objekte ferromagnetische Eigenschaften besitzen, da nur diese magnetische Erscheinungsform auf Grund großer Effektstärken im beschriebenen Experiment beobachtet werden kann. Sämtliche in obigem Sinne „nicht magnetischen“ Stoffe unterliegen dem Dia- oder Paramagnetismus und müssen somit grundsätzlich auch als „magnetisch“ bezeichnet werden. Die typischen Effekte der Wechselwirkung zwischen dia- bzw. paramagnetischer Materie und magnetischen Feldern ist häufig jedoch um ein Vielfaches geringer, sodass diese Erscheinungen zunächst nicht direkt beobachtbar sind. Aus dieser Einschränkung ergibt sich, dass sowohl im Alltag als auch im Physikunterricht die Begriffe Magnetismus und Ferromagnetismus häufig synonym verwendet werden. Eine Analyse der magnetischen Eigenschaften der Elemente der Periodensystems offenbart jedoch, dass die überwiegende Mehrheit der Elemente dia- oder paramagnetische Eigenschaften aufweist und lediglich drei Elemente dem Ferromagnetismus zuzuordnen sind (Lide, 2005). Eine Reduktion der behandelten Phänomene und Fachinhalte im Bereich Magnetismus ist somit nicht kongruent mit den magnetischen Eigenschaften fast aller Stoffe unserer Umwelt.

Weiterhin lässt sich feststellen, dass neben den zahlreichen Anwendungen ferromagnetischer Stoffe, u. a. im Bereich der digitalen Datenspeicherung, auch die beiden anderen magnetischen Erscheinungsformen praktischen Nutzen aufweisen. Während Paramagnetismus u. a. in der Medizin die Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglicht, stellen Supraleiter ideale Diamagneten dar. Eine aktuelle Fragebogenuntersuchung unter Lehrerinnen und Lehrern (N=113) im Rahmen des hier auszugsweise vorgestellten Projektes untersucht u. a. die Frage welchen Themenbereichen die Lehrenden den größten Bedarf an geeignetem Unterrichtsmaterial zuweisen. Bei einer Auswahl dreizehn unterschiedlicher Anwendungen und Naturphänomene ergibt sich vorläufig der größte Bedarf zu den Themen „Polarlichter“, „Diamagnetische Levitation“ sowie „MRT“. Die häufige Nennung der beiden letztgenannten Themen und weitere Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen weisen dia- und paramagnetischen Phänomenen somit auch aus Sicht von Lehrerinnen und Lehrern die Notwendigkeit einer für die Schule geeigneten Aufbereitung zu.

Obwohl die Bedeutung von Magnetismus für die Forschung in der Physik und im Allgemeinen auch für die Lehre unstrittig ist, weisen Studien Lernenden von der Grundschule (Barrow, 1987; Kopp & Martschinke, 2010) bis zur Universität (Maloney et al., 2001; Tanel & Erol, 2008) ein geringeres konzeptuelles Verständnis im Bereich

Magnetismus zu. Zusätzlich zeigt sich, dass die traditionellen Modelle zur Vermittlung von Magnetismus häufig fachliche Mängel aufweisen (z. B. Kuhn, 1995) und aktuellere Überarbeitungen oder Alternativen eben dieser (z. B. Waltner et al. 2011) insbesondere das Potential einer anschlussfähigen Vermittlung von Magnetismus beim Übergang zur Hochschule vermissen lassen.

Für eine Strukturierung und Modellierung der Fachinhalte im Bereich Magnetismus in der Hochschule ist es notwendig neben Ferromagnetismus auch dia- und paramagnetische Erscheinungen zu berücksichtigen. Alle genannten magnetischen Erscheinungsformen lassen sich auf der Ebene einzelner Atome ohne Quantenphysik nicht fundiert erklären. Als Grundlage für diese mikroskopischen Erklärungen ist es zunächst notwendig, einen phänomenologischen Zugang zu den Fachinhalten zu erlangen.

Die nachfolgend beschriebenen Experimente ermöglichen diesen phänomenologischen Zugang zu allen drei grundlegenden Ausprägungsformen von Magnetismus. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Experimente sich auf Grund preislich erschwinglicher Supermagnete und somit stark reduzierter technischer Voraussetzungen sowie der direkten Interpretation des Erfahrbaren auch zur Durchführung in der Sekundarstufe I und II eignen. Bei einer frühzeitigen Heranführung von Lernenden an die Phänomene des Dia- und Paramagnetismus in Ergänzung zu den bereits existierenden Ansätzen im Bereich Ferromagnetismus (z. B. Möller et al., 2013; von Aufschnaiter & Wodzinski, 2013) wird eine Reduktion von Magnetismus auf Ferromagnetismus vermieden, was sowohl für das Verständnis dia- und paramagnetischer technologischer Anwendungen, als auch für ein an die Hochschullehre anschlussfähiges Lehrkonzept von großer Bedeutung ist.

#### **Konzeption des phänomenologischen Zugangs**

Zur Untersuchung der magnetischen Eigenschaften eines Objektes wird zunächst mit Hilfe eines dünnen Fadens ein Pendel mit zwei Aufhängepunkten konstruiert. Das zu untersuchende Objekt bildet die Pendelmasse. Nähert man sich diesem Objekt mit einem starken Neodym-Magneten an, zeigt sich bei einem diamagnetischen Objekt eine Abstoßung und bei einem para- bzw. ferromagnetischen Gegenstand eine Anziehung im Vergleich zur ursprünglichen Ruhelage. Dieses Experiment schließt direkt an das zu Beginn erläuterte Einführungsexperiment an und ermöglicht über die Variation der Sensitivität der Messung durch die empfindliche Pendelkonstruktion sowie das starke Magnetfeld einen qualitativen Zugang zu Dia- und Paramagnetismus. Das Experiment eignet sich zur Demonstration der diamagnetischen Abstoßung von (pyrolytischem) Graphit oder der paramagnetischen Anziehung von Aluminium durch einen starken Neodym-Magneten und kann auf beliebige Materialien erweitert werden deren magnetische Eigenschaften näherungsweise der Größenordnung von Aluminium entsprechen.

Das zweite Experiment ermöglicht im Gegensatz zum vorherigen auf einfache Art und Weise eine quantitative Bestimmung magnetischer Eigenschaften. Bei diesem Experiment wird ein starker Neodym-Magnet auf einer elektronischen Waage (Genauigkeit 0,01 g) positioniert. Nach dem Austarieren der Waage wird ein zu untersuchendes Objekt in geringem Abstand oberhalb des Neodym-Magneten positioniert. Die Wechselwirkung zwischen Objekt und Magnet wirkt sich als Massenunterschied aus. Bei diamagnetischen Objekten stoßen sich Gegenstand und Magnet ab, sodass die Waage zusätzlich belastet wird und sich ein positiver Massenunterschied einstellt. Für die Anziehung zwischen einem paramagnetischen Objekt und dem Neodym-Magneten ergibt sich ein positiver Massenunterschied. Das Experiment eignet sich in seiner Konzeption zur Demonstration und Messung der magnetischen Eigenschaften von Wasser, Salz, (pyrolytischem) Graphit, Aluminium oder Glas.

Die Auswahl der Materialien beider Experimente berücksichtigt ausschließlich Gegenstände mit direktem Bezug zum Alltag der Lernenden. Während jedem Lernenden Graphit in Form

einer Bleistiftmine bekannt ist und auch Alufolie nahezu täglich genutzt wird, offenbaren die Experimente jedoch die ansonsten unbeobachteten magnetischen Eigenschaften. Die Verwendung von Materialien mit direktem Alltagsbezug ist von großer Bedeutung, da fehlende Bezüge zur Lebenswelt der Lernenden einen Hauptfaktor für geringen Erfolg naturwissenschaftlicher Lehre ausmachen (z. B. Rehm & Stäudel, 2010).

Die Experimente eignen sich zur grundlegenden Vermittlung der Phänomenologie unterschiedlicher magnetischer Ausprägungen, da sowohl die Wechselwirkung mit einem äußeren Magnetfeld unmittelbar demonstriert werden kann. Nutzt man zusätzlich einen Kompass zur Messung der Erhaltung einer möglichen Magnetisierung kann auch die im Gegensatz zum Ferromagnetismus nichtexistente Remanenz dia- und paramagnetischer Materie experimentell beobachtet werden. Die Magnetisierung eignet sich darüberhinaus als physikalische Größe zur Modellierung des Erfahrbaren und Übertragung der Experimente in einen theoretischen Rahmen, da sie einerseits die Beschreibung aller makroskopischen Beobachtungen ermöglicht und andererseits gemäß ihrer typischen Definition als Gesamtdipolmoment pro Volumen einen direkten Übergang zu den mikroskopischen magnetischen Momenten ermöglicht. Neben diesen fachlichen Gesichtspunkten können beide Experimente auch zur Diskussion typischer Fehlvorstellung im Bereich der Natur der Naturwissenschaften eingesetzt werden (McComas, 2002). Insbesondere ist an dieser Stelle das eingangs beschriebene Einführungsexperiment zur Frage „Welche Stoffe sind *nicht* magnetisch?“ im Vergleich zum Ergebnis des Experimentes und der daraus resultierenden Folgerung zu unterscheiden.

#### Literatur

- Appel, T., Küchenberg, F., Lohmann, D., Müller, M., Peters, G., Stumpf, R. & Voß, M. (2009). Spektrum Physik 5/6 Nordrhein-Westfalen. Braunschweig: Schroedel
- Barrow, L.H. (1987). Magnet Concepts and Elementary Students' Misconceptions. In J.D. Novak (Ed.), *Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: University Press, 441-465
- Kopp, B. & Martschinke, S. (2010). In K.-H. Arnold, K. Hauenschild, B. Schmidt & B. Ziegenmeyer (Hrsg.), *Zwischen Fachdidaktik und Stufendidaktik*. Wiesbaden: Springer VS, 189-192
- Kuhn, W. (1995). Das Elementarmagneten-Modell, *Praxis der Naturwissenschaften*, 8 (44), 4-10
- Lide, D.R. (2005). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Boca Raton, FL: CRC Press
- Maloney, D.P., O'Kuma, T.L., Hieggelke, C.J. & Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69 (7), 12-23
- McComas, W.F., Clough, M.P. & Almazroa, H. (1998). The Role and Character of the Nature of Science in Science Education. In W.F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education – Rationales and Strategies*. New York, NY: Kluwer Academic, 3-39
- Möller, K., Bohrmann, M., Hirschmann, A., Wilke, T. & Wyssen, H.-P. (2013). *Spiralcurriculum Magnetismus. Naturwissenschaftlich arbeiten und denken lernen - Primarbereich (Bd. 2)*. Seelze: Friedrich
- Rehm, M. & Stäudel, L. (2010). Nature of Science – Erwartungen und Ansätze. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 14-15
- Tanel, Z. & Erol, M. (2008). Students' Difficulties in Understanding the Concepts of Magnetic Field Strength, Magnetic Flux Density and Magnetization. *Latin American Journal of Physics Education*, 2 (3), 184-191
- Von Aufschnaiter, C. & Wodzinski, R. (2013). *Spiralcurriculum Magnetismus. Naturwissenschaftlich arbeiten und denken lernen - Sekundarbereich (Bd. 3)*. Seelze: Friedrich
- Waltner, C., Heran-Doerr, E., Rachel, A. & Wiesner, H. (2011). How iron becomes magnetized – the introduction of a model of ferromagnetism in secondary school physics. *Physics Education*, 46 (3), 259-264