Der einfachste Elektromotor der Welt

Hängt man einen Zylindermagnet und eine Schraube an den einen Pol einer Batterie und verbindet den anderen Pol leitend mit dem Magneten, so gerät dieser in schnelle Rotation. So entsteht wohl der einfachste und am schnellsten herstellbare Elektromotor.

Elektromotoren werden meist als ein kompliziertes System aus gewickeltem Draht und einem Magneten angesehen. Deshalb sorgt man für Verwunderung, wenn man aus einer Batterie, einer Holzschraube, einem Zylindermagneten und einem kurzen Drahtende in wenigen Sekunden einen Motor zusammenbaut und in schnelle Rotation versetzt (Abbildung 1). Mehrere 1000 U/min sind erreichbar. Passende Neodym-Eisen-Bor-Magnete ausreichender Stärke sind über das Internet kostengünstig erhältlich [1].

Der Magnet verbindet sich hier mit einer Schraube zu einem Rotor, der dadurch – selbst magnetisch geworden – am Pol einer Batterie zu hängen vermag. Auf diese Weise sind zwei wichtige konstruktive Aufgaben erfüllt: Der Magnet hält einerseits wesentliche Bestandteile des Motors zusammen, andererseits stellt die hängende magnetisierte Schraube eine äußerst reibungsarme Spitzenlagerung zwischen Rotor und Batterie dar. Die „Lagerung" der anderen Seite des Rotors vermittelt die Schwerkraft. Sie sorgt dafür, dass der Rotor stets nach unten gerichtet bleibt und wegen dieser „Luftlagerung" eine denkbar geringe Reibung erfährt.

Den konstruktiven Rest erledigen die Hände: Mit dem Zeigefinger der einen Hand drückt man ein Ende des Strom führenden Drahtes an den zweiten Pol der Batterie, während Daumen und Zeigefinder der anderen Hand das andere Ende des Drahtes vorsichtig gegen den Magneten halten. Dies ermöglicht die feine Regelung des Schleifkontakts.

Der aus Schraube und Magnet bestehende Rotor erfüllt zwei wesentliche physikalische Funktionen: Zum einen stellt er eines der für einen Elektromotor nötigen Magnetfelder bereit, zum anderen leitet er den Strom von dem einen Pol der Batterie über den Draht zum anderen Pol zurück. Mehr bedarf es offenbar nicht, um die durch magnetische Kräfte hervorgerufene Bewegung in eine kontinuierliche Drehbewegung zu transformieren oder anders gesagt elektrische in mechanische Energie umzuwandeln.

Wir haben es hier im wahrsten Sinne des Wortes mit einem Freihandexperiment zu tun: Frei aus der Hand und im Handumdrehen in Aktion versetzt, handelt es sich um eine High-Tech-Low-Cost-Version eines Elektromotors. Dass diese Konstruktion wirklich funktioniert, glaubt man oft erst, wenn man es gesehen oder selbst ausprobiert hat. Zu groß erscheinen die Unterschiede zum vertrauten Motor. Denn dieser Konstruktion fehlt nicht nur die Spule, die für ein zweites Magnetfeld sorgt, sondern auch der Kommutator, der die Richtung des Stromes im richtigen Moment umpolt.

Wenn man sich jedoch daran erinnert, dass jeder fließende Strom von einem Magnetfeld umgeben ist, nähert man sich der Klärung des Phänomens: Der sehr hohe Strom, der von der Batterie durch das Kabel und den Magneten über die Schraube zurück zur Batterie fließt, muss das Magnetfeld des Zylindermagneten passieren (Abbildung 2). Dabei wird eine Lorentz-Kraft F_l auf den Strom ausgeübt, die idealerweise zu einer Ablenkung senkrecht zur Stromrichtung zur Feldlinienrichtung des Magneten führt. Die Richtung findet man mit Hilfe der Fingerregel der rechten Hand raus.

Als Reaktion auf die Ablenkung der Stromleiter wirkt eine mechanische Gegenkraft F_m auf. Die Summe aller Kräfte ergibt das Moment, das den Zylindermagneten in Bewegung versetzt.

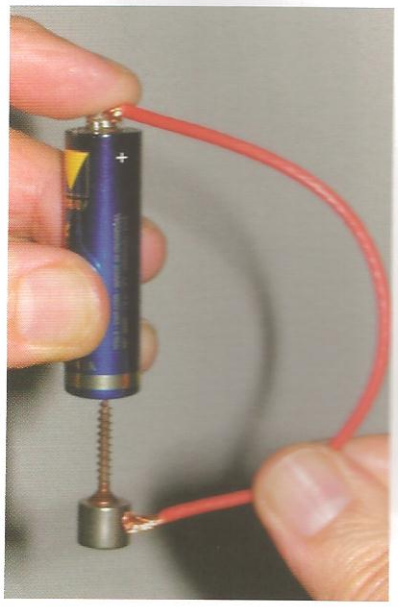

Abb. 1 *Der Elektromotor im „Handbetrieb".*

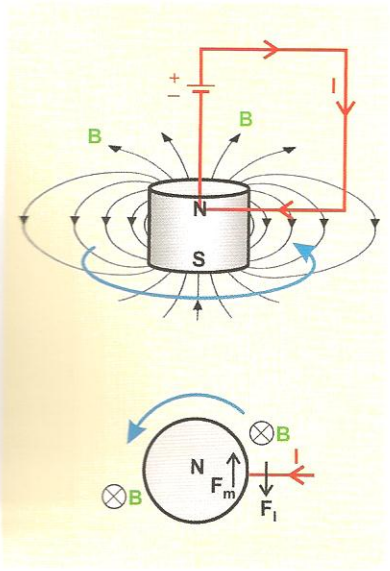

Abb. 2 *Schnitt durch den Permanentmagneten mit eingezeichneten Magnetfeldlinien B.*

metrie der Konstellation wird dadurch nicht verändert, so dass die Bedingungen für eine kontinuierliche Bewegung, die Rotation, erhalten bleiben. Wichtig ist dabei die Hand, die den elektrischen Leiter an den Zylindermagneten hält. Im Sinne der Drehimpulserhaltung sorgt sie für die Kompensation des Drehimpulses, der mit der Drehung des Rotors verbunden ist. Anschaulich gesprochen, drückt sich der Rotor von dem mit der Hand fixierten Draht ab.

Dass diese Konstruktion zu einer schnellen Rotation führt, hat mehrere Gründe: Zum einen entsteht durch den elektrischen Kurzschluss eine große Stromstärke, und ein Supermagnet besitzt eine sehr große Feldstärke. Zum anderen spielt die geringe Reibung zwischen der spitzengelagerten Schraube und der Batterie sowie zwischen dem Magneten und dem Leiterkabel eine wichtige Rolle.

Dieses Spielzeug hat in dieser Form keine praktische Bedeutung: Die Konstruktion ist instabil und der Wirkungsgrad gering. Dafür stellt es auf durchschaubare und nachvollziehbare Weise das Prinzip des ältesten Typs eines Elektromotors dar, das Michael Faraday im Jahre 1821 beschrieben hat (Abbildung 3) [2]. Dabei fließt ein Strom über eine Spitzenlagerung durch einen beweglich aufgehängten Draht, der sich im Feld eines Magneten befindet. Die Drahtenden tauchen in ein Quecksilberbad ein, das den Strom ableitet. So kommt es auf ähnliche Weise zu einer Drehung des Drahtes wie bei unserem Freihandmotor zur Drehung des Magneten. Quecksilber als flüssiger metallischer Leiter ermöglicht dabei eine reibungsarme Übertragung des elektrischen Stroms auf den Rotor.

Eine ganz ähnliche Konstruktion aus dem Jahre 1822 geht auf Peter Barlow zurück. Dieses Barlowsche Rad, das sich in der einen oder anderen Realisation auch heute noch in physikalischen Sammlungen befindet, besteht im Wesentlichen aus einer senkrecht drehbar gelagerten Scheibe, die sich mit ihrem Rand durch ein Bad aus Quecksilber bewegen kann. Um die großflächige Reibung einer kreisrunden Scheibe zu reduzieren, ist sie sternförmig gezackt. Das Rad bewegt sich durch ein Magnetfeld, erzeugt von den Polen eines Hufeisenmagneten.

Faradays und Barlows Konstruktionen unterscheiden sich von unserem Freihandmotor in zweierlei Hinsicht: die Stromführung durch ein Quecksilberbad ist komplizierter, und stromdurchflossener Rotor und Magnet sind voneinander getrennt.

Unser Motor ist im Prinzip bereits im Jahre 1961 beschrieben worden [3], geriet jedoch in Vergessenheit bis die Supermagnete allenthalben verfügbar wurden und die hier vorgeschlagene sowie einige andere Konstruktion gewissermaßen auf der Hand lagen. Erwähnt seien hier zwei ganz ähnlich aufgebaute „Roller" aus Batterie, Magneten, Kupferdraht und Alufolie (Abbildung 4, [5]). Bei dem einen wird die leitende Verbindung durch einen an den Enden passend gebogenen Kupferdraht hergestellt, der lose über den Magneten gelegt wird. Bei dem anderen liegt der Roller auf einer Alufolie, die für die leitende Verbindung sorgt. Dabei müssen die Pole der Magnete an den Enden der Batterie so angeordnet werden, dass sie sich abstoßen. Auch hier verursacht der Kurzschlussstrom der Batterie an den Magneten ein Drehmoment, das die Konstruktion auf einer ebenen Fläche in Bewegung setzt. Die Freude an der Bewegung ist jedoch nur von kurzer Dauer. Wie man an der Erwärmung des Rollers merkt, entleert der hohe Strom die Batterie sehr schnell.

Die hier diskutierten Versionen eines Elektromotors werden in jüngster Zeit unter den Namen Homopolar-, Monopolar- oder Unipolarmotor unter verschiedenen Aspekten einer möglichen Anwendung diskutiert [4–7]. Zahlreiche Demonstrationen findet man im Internet [8].

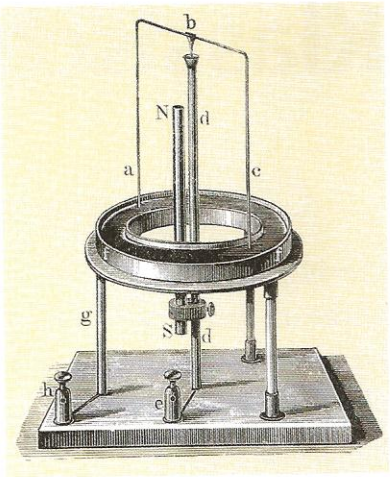

Abb. 3 ***Konstruktion nach Faraday. Prinzip des ältesten Elektromotors, entworfen von Michael Faraday 1821*** *(aus [2])*.

Abb. 4 ***Beim homopolaren Roller wird ein an den Enden etwas gebogener Kupferdraht lose über die Magneten gelegt. Alternativ legt man die Batterie mit den Magneten einfach auf eine leitende Unterlage, zum Beispiel eine Haushaltsalufolie.***

Indem die Bestandteile und der Aufbau des Elektromotors hier auf ein Minimum reduziert sind, erfährt man das elektromotorische Prinzip auf unmittelbar einsichtige Weise, so dass man den Ausspruch des französischen Physikers und Dichters Gaston Bachelard eindrücklich bestätigt findet: *Elektrische Experimente sind die klarsten und erfreulichsten unter all jenen, welche die Physik anbietet.*

Literatur und Internet

[1] z.B. www.supermagnete.de
[2] Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik und Meteorologie, Vieweg & Sohn **1914**, 677.
[3] T. D. Strickler, Am. J. Phys. **1961**, *29*, 635.
[4] J. Guala-Valverde, P. Mazzoni, R. Achilles, Am. J. Phys. **2002**, *70* (10), 1052.
[5] H. K. Wong, The Physics Teacher **2009**, **47**, 463.
[6] D. Featonby, Physics Education **2007**, *42*, 236.
[7] S. M. Stewart, Rev. Bras. Ensino Fís. **2007**, *29* (2); www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-47442007000200012
[8] Mit den Stichwörtern homopolar motor roller faraday findet man zum Beispiel bei YouTube viele Beispiele und Abwandlungen dieses Motors.