

Spielwiese

Der einfachste Elektromotor der Welt

H. JOACHIM SCHLICHTING | CHRISTIAN UCKE

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). Passende Neodym-Eisen-Bor-Magnete ausreichender Stärke sind kostengünstig erhältlich.

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 und andererseits stellt die magnetische 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 aufgrund 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 Zeigefinger 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 Elektromo-



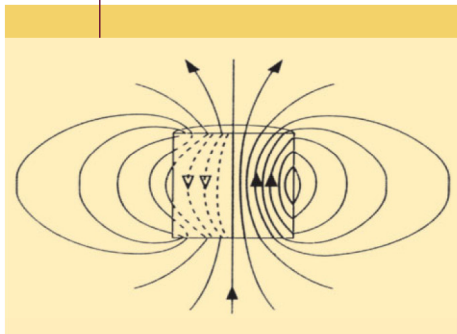
Abb. 1 Der Elektromotor im „Handbetrieb“.

tor 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 einmalige Bewegung in eine kontinuierliche Bewegung 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 umpoliert.

Wenn man sich jedoch daran erinnert, dass jeder fließende Strom von einem Magnetfeld umgeben ist, nähert man

ABB. 2 | FELDLINIEN



Schnitt durch den Permanentmagneten mit eingezeichneten Magnetfeldlinien.

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 auf den Strom ausgeübt, die idealerweise zu einer Ablenkung senkrecht zur Strom- und zur Feldlinienrichtung des Magneten führt. Die Richtung findet man mit Hilfe der Fingerregel der rechten Hand heraus. Als Reaktion auf die Ablenkung des Stromes tritt eine Gegenkraft auf. Die führt zu einem Drehmoment, das den Zylindermagneten in Rotation versetzt. Die Symmetrie der Konstellation wird dadurch nicht verändert, so dass die Bedingungen für eine kontinuierliche Bewegung, die Rotation, erhalten bleiben.

Dass diese Konstruktion zu einer schnellen Rotation führt, hat mehrere Gründe: Zum einen entsteht durch den faktischen Kurzschluss eine große Stromstärke, und der eingangs empfohlene Magnet besitzt eine große Feldstärke. Zum anderen spielt die geringe Reibung zwischen der spitzen gelagerten Schraube und der Batterie sowie zwischen dem Magneten und dem nur leicht touchierenden Leiterkabel eine wichtige Rolle.

Dieses Spielzeug hat keine praktische Bedeutung, weil die Konstruktion instabil und der Wirkungsgrad gering ist. 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) [1]. Dabei fließt ein Strom über eine Spitzenlagerung durch einen beweglich aufgehängten Draht, der sich im Feld eines Magneten befindet. Die Enden des Drahtes tauchen in ein Quecksilberbad, das den Strom ableitet. Auf diese Weise kommt es auf ähnliche Weise zu einer Drehung des Drahtes wie bei unserem Freihandmotor. Quecksilber dient als metallischer und gleichzeitig flüssiger Leiter, der möglichst reibungsarm den elektrischen Strom auf den Rotor überträgt.

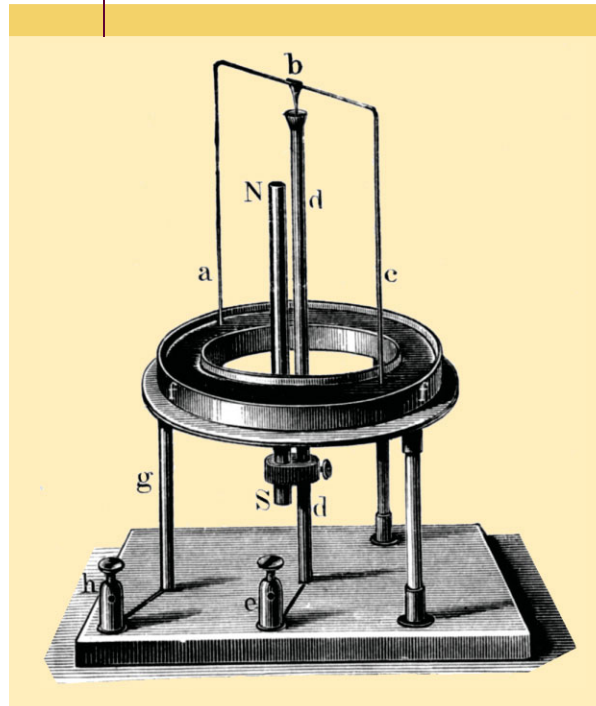
Eine ganz ähnliche Konstruktion aus dem Jahre 1822 geht auf Peter Barlow zurück. Dieses Barlowsche Rad, das sich in der einen oder anderen Realisation auch heute noch in physikalischen Sammlungen befindet, besteht im Wesentlichen aus einer senkrecht drehbar gelagerten Scheibe, die sich mit ihrem Rand durch ein Bad aus Quecksilber bewegen kann.

Um die großflächige Reibung einer kreisrunden Scheibe weiter zu reduzieren, ist sie sternförmig gezackt. Das Rad bewegt sich durch ein Magnetfeld, erzeugt von den Polen eines Hufeisenmagneten.

Beide Konstruktionen unterscheiden sich von unserem Freihandmotor nicht nur durch die komplizierte Stromführung durch ein Quecksilberbad, sondern auch dadurch, dass stromdurchflossener Rotor und Magnet voneinander getrennt sind.

Die hier diskutierten Versionen eines Elektromotors werden in jüngster Zeit wieder unter dem Namen Monopolar- oder Unipolarmotor unter verschiedenen Aspekten einer möglichen Anwendung diskutiert [2].

ABB. 3 | KONSTRUKTION NACH FARADAY



Prinzip des ältesten Elektromotors, entworfen von Michael Faraday 1821 (aus [1]).

Hier bewahrheitet sich ein Zitat des französischen Physikers und Dichters Gaston Bachelard: Elektrische Experimente sind die klarsten und erfreulichsten unter all jenen, welche die Physik anbietet.

Zusammenfassung

Das älteste Prinzip eines Elektromotors ist mit Hilfe moderner Materialien als Freihandexperiment einfach demonstrierbar. Es kann in wenigen Sekunden im wahrsten Sinne des Wortes „frei aus der Hand“ realisiert werden und illustriert auf durchschaubare Weise die Umsetzung von elektrischer in mechanische Energie. Diese Art des Elektromotors wird auch Monopolar- oder Unipolarmotor genannt.

Stichworte

Freihandversuche, Monopolar- oder Unipolarmotor, Faraday, Barlowsches Rad.

Literatur

- [1] Müller-Poulliets Lehrbuch der Physik und Meteorologie, Vieweg & Sohn 1914, S. 677
- [2] J. Guala-Valverde, P. Mazzoni, R. Achilles, Am. J. Phys. **2002**, 70(10), 1052

Die Autoren

Die beiden Autoren sind Begründer unserer Reihe Spielwiese und schreiben seit vielen Jahren für unsere Zeitschrift.

Anschriften

Prof. Dr. H. Joachim Schlichting, Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster, Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster, schlichting@uni-muenster.de

Dr. Christian Ucke, Technische Universität München, Physikdepartment E20, 85747 Garching, Cucke@ph.tum.de