

# Unipolarmotor - der einfachste Elektromotor der Welt

Der Unipolarmotor ist ein einfacher Elektromotor, der mit nur vier Bauteilen aufgebaut werden kann. Das Funktionsprinzip des Unipolarmotors wurde schon im ersten Elektromotor der Welt verwendet, den Michael Faraday 1821 vorstellte. Die theoretische Grundlage, die zur Erklärung des Motors notwendig ist, wurde allerdings erst 1895 von Hendrik Antoon Lorentz veröffentlicht (Lorentzkraft).

Der Unipolarmotor in der hier vorliegenden Form ist (aufgrund seines geringen Wirkungsgrades und der Instabilität der Drehung) nicht für technische Anwendungen geeignet. An ihm lässt sich aber die Umwandlung von elektrischer Energie in Bewegungsenergie auf einfache Weise veranschaulichen. Trotz des einfachen Aufbaus lässt sich mit dem Unipolarmotor eine sehr hohe Drehzahl erreichen, die erfahrungsgemäß bei Vorführungen größtes Erstaunen und Interesse hervorruft.

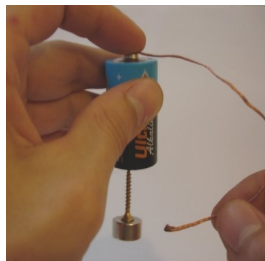
## Aufbau und Inbetriebnahme eines Unipolarmotors

Sie benötigen:

- 1 x Neodym-Eisen-Bor-Magnetscheibe, z.B. 15 mm x 8 mm
- 1 x (Holz-)Schraube (z.B. 25 oder 30 mm lang)
- 1 x 1,5 Volt Mignon- oder Babyzelle (Typ AA respektive A)
- 1 x Kupferlitze



Zuerst muss die Schraube möglichst zentral mit der Polfläche des Magneten zum Drehanker verbunden werden. Der Drehsinn des Motors hängt dabei von der Polung des Magneten ab. Ist die Schraube am Nordpol angebracht, dreht der Motor gegen den Uhrzeigersinn.

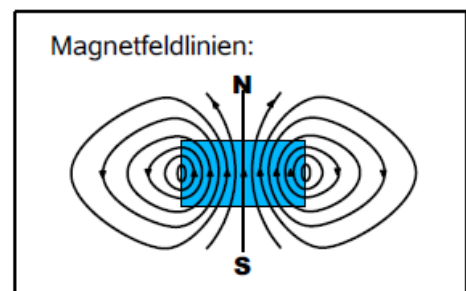


Der Drehanker muss nun mit der Spitze an den Minuspol der Batterie angebracht werden. Mit Daumen und Mittelfinger wird die Batterie gehalten und mit dem Zeigefinger ein Ende der Kupferlitze gegen den Pluspol gedrückt. Mit der anderen Hand wird nun das freie Ende der Kupferlitze gegen den gerundeten Außenrand des Magneten geführt. Beim Kontakt fließt ein Strom, und der Drehanker wird in Rotation versetzt. Vorsicht: Bei sehr hohen Drehzahlen oder unruhigem Lauf kann sich der Drehanker von der Batterie lösen.

Statt der Scheibe Neodymscheibe 15x08 mm können auch andere Scheiben verwendet werden. Es muss allerdings NdFeB sein. Mit Ferritmagneten geht es nicht, denn diese sind nicht elektrisch leitend. Bei größeren Magneten und größeren Batterien muss man etwas längere Schrauben nehmen. Wenn die Schraube zu kurz ist, klappt der Magnet wegen zu starker Anziehungskraft nach oben an die Batterie; wenn die Schraube zu lang ist, fällt sie mit dem Magneten zu Boden.

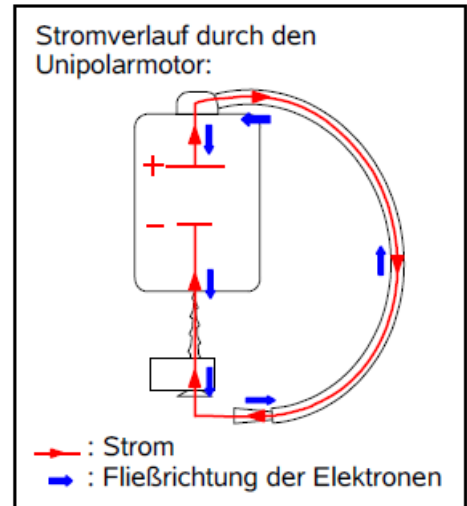
## Funktionsweise des Unipolarmotors

Das entscheidende Bauteil für den Betrieb des Unipolarmotors ist die Magnetscheibe aus Neodym-Eisen-Bor (NdFeB, kurz: Neodym). Bei dieser Magnetart handelt es sich um die stärksten bisher bekannten Permanentmagnete. Solche Permanentmagnete sind die Quelle von starken Magnetfeldern, deren Verlauf man sich mit Hilfe von Magnetfeldlinien verdeutlichen kann. Die Linien geben durch ihren Verlauf die Magnetfeldrichtung und durch ihre Dichte die Magnetfeldstärke an. Die Magnetfeldlinien laufen außerhalb des Magneten vom Nord- zum Südpol und innerhalb vom Süd- zum Nordpol, wobei das Magnetfeld am stärksten im Inneren des Magneten ist. Eine erste Rolle spielt der Magnet bei der Aufhängung des Drehankers. Das starke Magnetfeld magnetisiert die Schraube und verbindet sie sehr stabil mit dem Magneten, zum so genannten Drehanker.



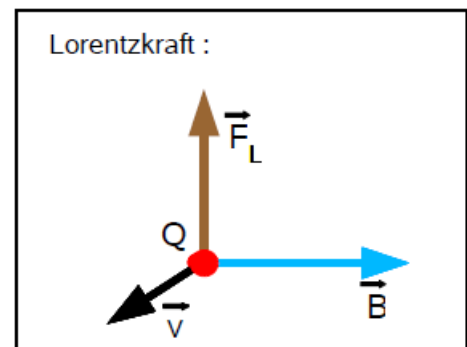
Wird der Drehanker nun mit der Spitze zum Minuspol der Batterie gebracht, reicht die magnetische Anziehungskraft aus, um das Eigengewicht des Ankers zu halten. Die auf den Anker wirkende Gewichtskraft lässt diesen mit dem Magneten nach unten hängen und stabilisiert den Anker auch im drehenden Zustand. Aufgrund dieser beiden entgegengesetzt gerichteten Kräfte, ist die Gesamtkraft, die zwischen Ankerspitze und Batterie wirkt, sehr gering. Dieser Effekt und die sehr kleine Kontaktfläche zwischen Ankerspitze und Batterie sorgen dafür, dass die beim Drehen auftretenden Reibungsverluste minimal sind, so dass auch kleine auf den Anker wirkende Drehmomente zu einer deutlichen Bewegung führen.

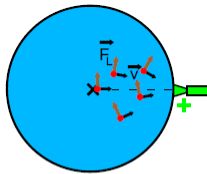
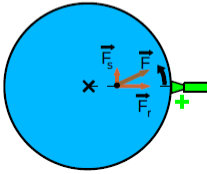
Stromverlauf durch den Unipolarmotor: Die Batterie dient als Stromquelle. Sowohl die mit dem Pluspol verbundenen Kupferlitze als auch der am Minuspol angebrachte Drehanker, bestehen aus gut leitenden Materialien. Wird das freie Ende der Kupferleitung als Schleifkontakt an den Magneten gebracht, wird die Batterie kurzgeschlossen. Das bedeutet, der Strom kann direkt vom Pluspol zum Minuspol fließen, weshalb dieser Motortyp auch als Kurzschlussmotor bezeichnet wird. Beim Kurzschluss treten verhältnismäßig hohe Ströme auf, die zu einer Erwärmung des Motors führen. Deshalb sollten keine Batterien mit zu hohen Leistungen verwendet werden. Um die Funktionsweise des Motors zu verstehen, ist es sinnvoll, den Fluss der Elektronen zu betrachten. Historisch bedingt fließt der Strom definitionsgemäß von Plus nach Minus und besteht aus transportierter Ladung pro Zeit. In unserem Fall sind die realen Ladungsträger die negativ geladenen Elektronen, die am Minuspol der Batterie austreten und durch die geschlossene leitfähige Verbindung zum positiv geladenen Pluspol wandern. Die Fließrichtung ist also dem klassischen Strom entgegengesetzt. Der entscheidende Effekt, der zur Rotation des Drehankers führt, tritt beim Durchfließen der Elektronen durch den Magneten auf. Um diesen zu verstehen benötigt man den Begriff der Lorentzkraft. Die Lorentzkraft  $\vec{F}^{\rightarrow}$  wirkt auf eine sich in einem Magnetfeld  $\vec{B}$  mit einer Geschwindigkeit  $\vec{v}$  bewegende Ladung Q.



$$\vec{F}^{\rightarrow} = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Diese Formel besagt, dass  $\vec{F}^{\rightarrow}$  senkrecht zur Geschwindigkeit und senkrecht zum Magnetfeld wirkt. Die Kraft verschwindet, wenn Magnetfeld und Geschwindigkeit parallel stehen und ist am größten, wenn Magnetfeld und Geschwindigkeit senkrecht zueinander stehen. Dies ist im Unipolarmotor in guter Näherung der Fall. Da es sich bei Elektronen um negativ geladene Teilchen handelt, wirkt in diesem Fall die Lorentzkraft in die entgegengesetzt zu der im Bild angegebenen Richtung.



- 1: 
  - 2: 
- Links ist das Verhalten einiger Leitungselektronen im Magneten veranschaulicht (bei Befestigung der Schraube am Nordpol). Die Elektronen fließen in Richtung des positiv geladenen Schleifkontakts, während weitere Elektronen durch die Schraube in den Magneten nachfließen. Dabei bewegen sich die Elektronen mit der Driftgeschwindigkeit  $\vec{v}$ , die im Bereich von Millimetern pro Sekunde liegt. Da sich die Elektronen im Magnetfeld bewegen, wirkt auf sie die Lorentzkraft, welche die Elektronen nach links bezüglich ihrer Bewegungsrichtung ablenkt. Durch Stöße der Elektronen gegen die Atome des Magneten wird ein Teil ihrer Bewegungsenergie übertragen. Dabei wird die Energie teilweise in Wärme umgewandelt, ein weiterer Teil wird aber als Bewegungsenergie auf das Atomgitter und damit direkt auf den Magneten übertragen. Am besten betrachtet man nun exemplarisch die durch die Elektronen auf den Magneten übertragene Kraft  $\vec{F}^{\rightarrow}$  in einem Punkt. Diese Kraft lässt sich in zwei Komponenten zerlegen. Und zwar in einen radialen Anteil  $\vec{F}^{\rightarrow}_r$ , der entlang der Verbindungslinie vom Magnetzentrum zum Magnetrand verläuft, und in

einen senkrecht dazu stehenden Anteil  $\vec{F}^{\rightarrow}_s$ , der dem Magneten an diesem Punkt ein Drehmoment verleiht. Die Summe aller Drehmomente ist groß genug, um den Magneten in eine schnelle Rotation mit der eingezeichneten Drehrichtung zu versetzen.