

Magnetische (und auch elektrische) Felder verursachen auf unterschiedliche Arten Kraftwirkungen. In elektrischen Maschinen werden in der Regel die folgenden drei Arten angewendet:

- Lorentzkraft
- Reluktanzkraft
- permanentmagnetische Kraft

Aus den Grundlageninformationen zum Elektromagnetismus ist bekannt, dass sich um jeden stromdurchflossenen Leiter ein Magnetfeld bildet. Fließt der Strom vom Beschauer weg, bewegen sich die Feldlinien im Uhrzeigersinn um den Leiter. Fließt der Strom zum Beschauer, bewegen sich die Feldlinien im Gegenuhrzeigersinn.

## Lorentzkraft

Hendrik Antoon Lorentz war ein niederländischer Physiker im späten 19. Jahrhundert. Nach ihm wird die Kraftwirkung benannt, welche in einem Magnetfeld auf einen stromdurchflossenen Leiter wirkt.

$$F = n \cdot I \cdot (B \cdot l)$$

$F$  steht für die ablenkende Kraft,  $n$  für die Anzahl parallel durchflossener Leiter (falls mehr als nur ein Leiter angeschlossen ist),  $I$  für den Strom, welcher durch den Leiter fließt,  $B$  ist die magnetische Flussdichte des Magnetfeldes in Tesla und  $l$  steht für die Länge der Strecke, auf welcher das Magnetfeld auf den stromdurchflossenen Leiter einwirkt. Die typische Vorstellung der Lorentzkraft erfolgt mit einem U-förmigen Magneten und einer unmagnetischen Leiterschleife, welche bestromt wird (Bild unten). Die in Serie geschaltete Lampe begrenzt den fließenden Strom. Leuchtet die Lampe, fließen die Elektronen durch den Leiter im Magnetfeld. Die Ladungsträger bewegen sich entlang des Leiters und reagieren mit dem anliegenden Magnetfeld. Damit wirken und reagieren zwei Magnetfelder aufeinander. Dabei wird die Leiterschleife in den Magneten hineingezogen oder aber hinausgetrieben. Wird die Richtung des Stroms im Leiter geändert oder die Polarität des

Permanentmagneten gewechselt, so wird sich die Richtung der Kraft um 180° und die Bewegungsrichtung des Leiters im Magnetfeld ändern.

## Induktion

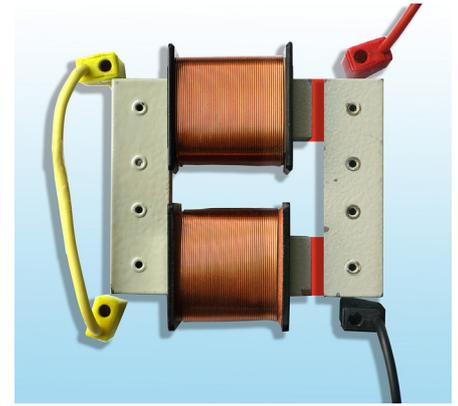
Wird umgekehrt der elektrische Leiter senkrecht im Magnetfeld bewegt, so wird mechanische Energie in das System eingebracht, und die sich im Leiter befindenden Ladungsträger werden mit Kraft beaufschlagt: der Lorentzkraft. Dadurch werden die Ladungsträger senkrecht zum Magnetfeld und senkrecht zur Bewegungsrichtung des Leiters abgelenkt. Daneben führt die Ladungsträgerverschiebung (= Stromfluss) zu einem Magnetfeld um den Leiter und zu einer der Lorentzkraft entgegengesetzten Kraft (EMK = Elektromotorische Kraft). Durch die Ladungsträgerbewegung entsteht am Ende des Drahtes ein Ladungsträgerüberschuss oder -mangel, das heisst ein positives oder negatives Potenzial. Die Potenzialdifferenz im Leiter bzw. im Stromkreis wird Induktionsspannung genannt. Diese reagiert auf die Gesetzmässigkeit:

$$U = B \cdot v \cdot l$$

Die Formelzeichen stehen für die gleichen physikalischen Grössen wie in der ersten Spalte.  $U$  ist die induzierte Spannung und  $v$  steht für die Geschwindigkeit, mit welcher der elektrische Leiter ins Magnetfeld hinein- oder aus ihm herausbewegt wird.

## Reluktanzkraft

Die Reluktanz steht gemäss der Definition für den Widerstand, welcher ein Stoff den magnetischen Feldlinien entgegenbringt. Die Reluktanzkraft, welche auch Maxwell'sche Kraft genannt wird, entsteht durch die Änderung eben dieses magnetischen Widerstandes. Die Änderung des magnetischen Widerstandes erfolgt beispielsweise, wenn ein Eisenstück in den Luftspalt eines Magneten geschoben wird. Das Magnetfeld versucht, das Eisenstück in der Art zu «zentrieren», dass sich die Feldlinien

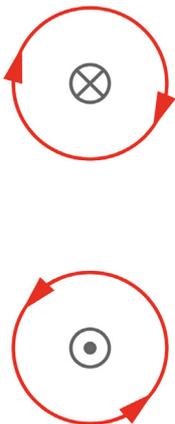


Durch die Reluktanz wird das Joch angezogen. Das Eisen leitet die Feldlinien besser als die Luft; die Kraftwirkung entsteht, damit der Luftspalt verschwindet.

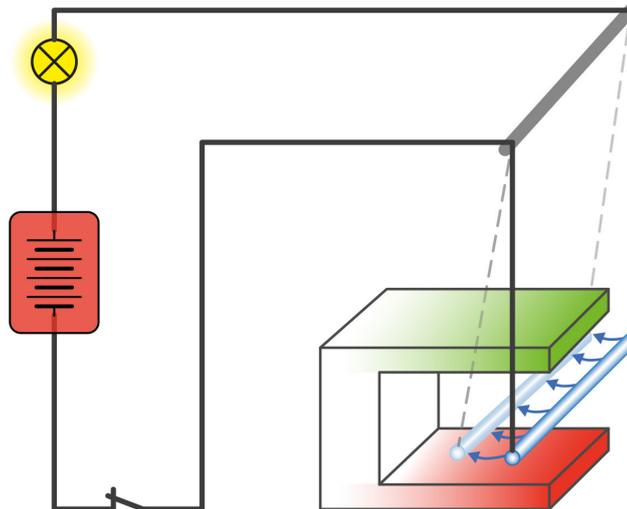
durch den Körper mit dem kleinsten Widerstand ausbreiten können. Diese Kraft auf ein nicht magnetisiertes Eisenstück ist gemäss der Definition die Reluktanzkraft.

Eine Relaispule zieht beispielsweise einen nicht magnetischen aber eisenhaltigen Anker an. Auch diese Anziehung erfolgt durch die Reluktanz.

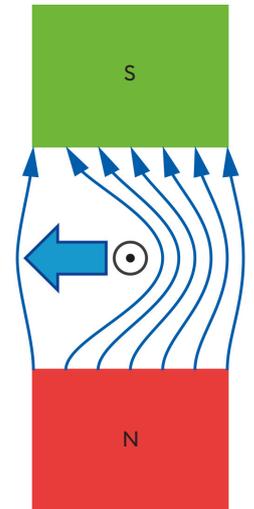
Die Reluktanzkraft wirkt im Gegensatz zur Lorentzkraft nur in eine Richtung. Sie ist aber ebenfalls abhängig von der magnetischen Flussdichte und der Querschnittsfläche, welche von den Feldlinien durchdrungen werden. Dann kommt es darauf an, wie gut die Feldlinien von dem Körper geleitet werden, welcher sich im Querschnitt befindet oder welcher angezogen werden muss (Permeabilität  $\mu$ ). Eigentlich ist es wichtig, wie viel besser dieser Körper die Feldlinien leitet, als die Luft. Danach ist es für die resultierende Kraft auch entscheidend, wie gross der Luftspalt ist. In diesem Luftspalt müssen die Feldlinien durch die Luft mit einem relativ grossen magnetischen Widerstand (Reluktanz) strömen. Ist der anzuziehende Teil aus einem ferromagnetischen Eisenwerkstoff, ist dessen Leitfähigkeit 300- bis 100000-mal besser als jene der Luft. Zusätzlich vergrössert sich die entstehende Kraft überproportional zum sich verkleinernden Luftspalt.



Kreuz = Strom fliesst von mir weg, Feldlinien im Uhrzeigersinn  
Punkt = Strom fliesst gegen mich, Feldlinien im Gegenuhrzeigersinn



Lorentzkraft: modellhaft



Lorentzkraft: schematisch