

### Arbeitsaufträge 1 – Motor-Generator-Prinzip

Zwei identische LEGO®-Motoren sind mit einem LEGO®-Kabel verbunden. Drehe einen Motor beliebig. Beschreibe und erkläre deine Beobachtungen.

Dreht man einen Motor, so wird dieser zum Generator und treibt mit dem erzeugten Strom den zweiten Motor an. Der zweite Motor folgt unmittelbar der Bewegung des ersten Motors.

### Arbeitsaufträge 2 – Energieumwandlungen und Lenz'sche Regel

Ein Analogie-Modell (siehe Abbildung unten) kann im Folgenden als Vorstellungshilfe dienen.

- (1) Das LEGO®-Auto rollt mit angeschlossenem Multimeter eine lange schiefe Ebene hinunter.

Das Auto wird die gesamte schiefe Ebene hinab beschleunigt; die angezeigte Induktionsspannung nimmt zu; maximale Geschwindigkeit und maximale Induktionsspannung am Ende der schiefen Ebene; auf ebener Strecke rollt das Auto dann (im vorliegenden Fall) ca. 5 m weiter.

Hinweis: Der LEGO®-Motor liefert ein sehr glattes Gleichspannungssignal (mit bis zu 13 V) zurück.

Höhenenergie  $E_{\text{pot}}$  wird umgewandelt in kinetische Energie ( $E_{\text{kin}}$ ,  $E_{\text{rot}}$ ) und in sehr geringem Maße in elektrische Energie  $E_{\text{el}}$  (notwendig für den Aufbau der Induktionsspannung; kein nennenswerter Stromfluss, da das Multimeter hochohmig ist).

- (2) Anstelle des Multimeters wird eine Glühlampe angeschlossen.

Nach einer kurzen Strecke hat das Auto eine konstante Maximalgeschwindigkeit erreicht (vgl. Analogie-Modell: Lorentzkraft  $F_L$  gleich Hangabtriebskraft  $F_H$ ); die Lampe beginnt zu leuchten; das Auto erreicht das Ende der schiefen Ebene deutlich langsamer und rollt dann (im vorliegenden Fall) nur noch ca. 2 m weiter.

Höhenenergie  $E_{\text{pot}}$  wird umgewandelt in kinetische Energie ( $E_{\text{kin}}$ ,  $E_{\text{rot}}$ ) und elektrische Energie  $E_{\text{el}}$  (permanente Ladungstrennung; Ladungsausgleich  $\rightarrow$  Stromfluss;  $E_{\text{el}}$  größer als bei (1)); keine Energieumwandlung mehr in kinetische Energie während der Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit; auf ebener Strecke wird dann kinetische Energie (neben der Umwandlung in innere Energie) in elektrische Energie  $E_{\text{el}}$  umgewandelt.

- (3) Die Lampe wird durch einen Kurzschlussstecker ersetzt.

Das Auto fährt mit geringerer Geschwindigkeit als bei (2) (meist wie im vorliegenden Versuch im „Schneckentempo“) die schiefe Ebene hinab und bleibt am Ende sofort stehen.

Höhenenergie  $E_{\text{pot}}$  wird vorwiegend in elektrische Energie  $E_{\text{el}}$  umgewandelt! Die kinetische Energie ( $E_{\text{kin}}$ ,  $E_{\text{rot}}$ ) ist sehr gering.

Hinweis im Analogie-Modell: Im Zustand des Kräftegleichgewichts ( $F_L = F_H$ ) ist der Strom konstant, er hängt nicht vom Leitungswiderstand ab (also  $I_{(2)} = I_{(3)}$ )! Im kurzgeschlossenen Fall wird der Gleichgewichtszustand jedoch bereits bei niedrigerer Induktionsspannung bzw. niedrigerer Geschwindigkeit erreicht.

- (4) Der Kurzschlussstecker wird durch einen Gold-Cap-Kondensator ersetzt.

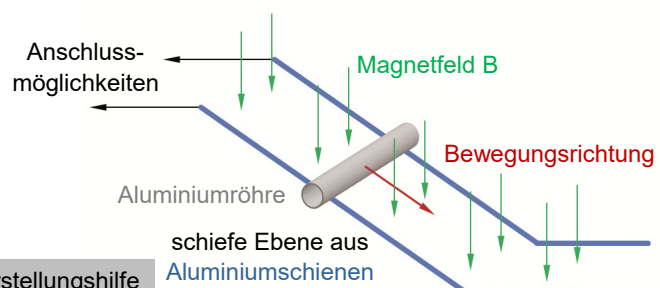
$\rightarrow$  *Rekuperation beim Elektro-Auto*

Durch die sehr große Gold-Cap-Kondensatorkapazität fährt das Auto ähnlich wie beim Kurzschlussstecker (3) sehr langsam die schiefe Ebene hinab. Am Ende der schiefen Ebene fährt es ein kurzes Stück weiter, da es durch die Energie aus dem Gold-Cap-Kondensator angetrieben wird.

Höhenenergie  $E_{\text{pot}}$  wird umgewandelt in kinetische Energie ( $E_{\text{kin}}$ ,  $E_{\text{rot}}$ ) und elektrische Energie  $E_{\text{el}}$  (Energie für Ladungstrennung  $\rightarrow$  Induktionsspannung; durch die große Kapazität des Kondensators kann ein großer Ladestrom fließen ( $\rightarrow$  das Fahrzeug wird bergab gebremst);  $E_{\text{el}}$  viel größer als bei (1) [Gold-Cap-Kondensatorkapazität viel größer als entsprechende Kapazität (durch Leitungen, Stecker, ...) bei (1)]

#### Zusammenfassung:

Fließt ein Induktionsstrom, so wird die Bewegung gebremst (Regel von Lenz), da mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt wird.



Analogie-Modell als Vorstellungshilfe

