



Technische
Universität
Braunschweig

IMAB Institut für Elektrische Maschinen,
Antriebe und Bahnen
TU Braunschweig



Grundlagen der elektrischen Energietechnik

Teil 2: Elektromechanische Energieumformung

1. Übung: Energieumformung

SS 2022

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Jonas Franzki

Aufgabe 1

Füllen Sie die Tabelle aus.

	Motorisch	Generatorisch
Verhältnis von P_{mech} zu P_{el}	$P_{mech} < P_{el}$	$P_{mech} > P_{el}$
Definition des Wirkungsgrades η	$\eta = \frac{P_{mech}}{P_{el}}$	$\eta = \frac{P_{el}}{P_{mech}}$
Anwendungsbeispiele	e-PKW e-Scooter e-Bike Kompressor im Kühlschrank ICE	e-PKW ICE Windkraftwerk

Quizfrage: Können E-Bikes rekuperieren?

Aufgabe 2

2.1 Sie fahren in Ihrem Elektroauto mit 36 km/h auf den Beschleunigungsstreifen der A2 und wollen mit 10 m/s^2 beschleunigen, wie viel Beschleunigungsleistung benötigen sie etwa?

($m = 2.000 \text{ kg}$, $\eta = 0,9$)

$$F = m \cdot a = 2.000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 20.000 \text{ N}$$

$$v = \frac{36}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_{\text{mech}} = F \cdot v = 20.000 \text{ N} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 200 \text{ kW}$$

$$P_{\text{el}} = \frac{P_{\text{mech}}}{\eta} = \frac{200 \text{ kW}}{0,9} = \underline{\underline{222,2 \text{ kW}}}$$

2.2 Welche Verlustleistung müssen Sie abführen können?

$$P_v = P_{\text{el}} (1 - \eta) = P_{\text{el}} - P_{\text{mech}} = 22,2 \text{ kW} \approx 3 \text{ Kochfelder} \text{ a } 7,5 \text{ kW} \\ \approx 12 \text{ Herdplatten}$$

Aufgabe 3

Sie besitzen einen Airbus A320 (MTOW = 89 t) und wollen von 63 km/h auf 252 km/h in 40 s beschleunigen.

3.1 Welche Beschleunigung liegt vor?

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} = \frac{\frac{252 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} - \frac{63 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}}{40 \text{ s}} = 1,31 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



3.2 Sie wollen die Turbinen gegen Elektromotoren austauschen, welche Leistung müssen die Motoren allein für die Beschleunigung aufweisen?

$$F = m \cdot a = 89.000 \text{ kg} \cdot 1,31 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 116.812 \text{ N} \quad P = F \cdot v = 116.812 \text{ N} \cdot \frac{252 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = 8,2 \text{ MW}$$

3.3 Sie haben die Wahl zwischen verschiedenen E-Maschinen. Was bedeutet die jeweilige Wahl für ihre Verluste und somit ihr Kühlsystem?

$$\begin{aligned} P_{v1} &= P \cdot (1 - \eta) = 8,2 \text{ MW} \cdot (1 - 0,999) = 8,2 \text{ kW} \\ P_{v2} &= 8,2 \text{ MW} \cdot (1 - 0,995) = 41 \text{ kW} \\ P_{v3} &= 328 \text{ kW} \\ P_{v4} &= 820 \text{ kW} \end{aligned}$$

Motorgeneration	Wirkungsgrad
Supraleitend (2045)	0,999
Supraleitend (2035)	0,995
Supraleitend (2025)	0,96
Konventionell	0,9

Aufgabe 4

Sie wollen eine Offshore Windkraftanlage mit 10 MW Anschlussleistung bauen. Sie können sich zwischen einem Rotor mit Permanentmagneten und einem mit einer Feldwicklung entscheiden. Ihr Projektleiter gibt Ihnen die Daten der Tabelle.

4.1 Wie hoch sind ihre Investitionskosten?

25 ... 40 Mio €

4.2 Welchen Umsatz würden sie idealerweise mit der Anlage erwirtschaften?

$$U_a = 10.000 \text{ kW} \cdot 4500 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 0,3 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 13,5 \text{ Mio } \frac{\text{€}}{\text{a}} \quad \eta = 1$$

$$U_{\text{ges}} = 13,5 \text{ Mio } \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot 20 \text{ a} = \underline{\underline{270 \text{ Mio } \text{€}}}$$

4.3 Welche Wirkungsgrade haben die Motorvarianten?

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{el} + P_v}$$

$$\eta_{PM} = \frac{10.000 \text{ kW}}{10.000 \text{ kW} + 400 \text{ kW}} = 0,962$$

$$\eta_{FW} = \frac{10.000 \text{ kW}}{10.000 \text{ kW} + 700 \text{ kW}} = 0,935$$

Investitionskosten	2,5 ... 4 Mio €/MW
Volllaststunden	4500 h/a
Lebensdauer	20 Jahre
Einspeisevergütung	30 ct/kWh
Verluste PM-Rotor	400 kW
Verluste FW-Rotor	700 kW



Aufgabe 4

Sie wollen eine Offshore Windkraftanlage mit 10 MW Anschlussleistung bauen. Sie können sich zwischen einem Rotor mit Permanentmagneten und einem mit einer Feldwicklung entscheiden. Ihr Projektleiter gibt Ihnen die Daten der Tabelle.

4.4 Wie viel Umsatz würde Ihnen mit den Motorvarianten jeweils durch Verlustleistung entgehen?

Investitionskosten	2,5 ... 4 Mio €/MW
Volllaststunden	4500 h/a
Lebensdauer	20 Jahre
Einspeisevergütung	30 ct/kWh
Verluste PM-Rotor	400 kW
Verluste FW-Rotor	700 kW

$$U_{VPM} = 400 \text{ kW} \cdot 4500 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 20 \text{ a} \cdot 0,3 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 10,8 \text{ Mio €}$$

$$U_{VFW} = 700 \text{ kW} \cdot 4500 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 20 \text{ a} \cdot 0,3 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 18,9 \text{ Mio €}$$

4.5 Was kostet Sie eine Wirkungsgradeinbuße von 0,5% jährlich bzw. auf die Lebensdauer?

$$U_{v0,5a} = 0,005 \cdot 10000 \text{ kW} \cdot 4500 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 0,3 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 67.500 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$U_{v0,5} = 67.500 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot 20 \text{ a} = 1,35 \text{ Mio €}$$

Aufgabe 5

Sie haben sich einen elektrischen Kleinwagen ($m = 1577 \text{ kg}$) gekauft mit einer elektrischen Maschine mit folgenden Kennwerten:

$$P_{el} = 100 \text{ kW}$$

$$\eta = 0,9$$

5.1 Welche Beschleunigungs- und welche Verzögerungsleistung ermöglicht die Maschine?

$$P_{\text{mech } B} = 100 \text{ kW} \cdot 0,9 = 90 \text{ kW}$$

$$P_{\text{mech } V} = \frac{100 \text{ kW}}{0,9} = 111 \text{ kW}$$

5.2 Welche Verlustleistung tritt jeweils auf?

$$P_{VB} = 100 \text{ kW} \cdot (1 - 0,9) = 10 \text{ kW}$$

$$P_{VV} = 111 \text{ kW} \cdot (1 - 0,9) = 11 \text{ kW}$$