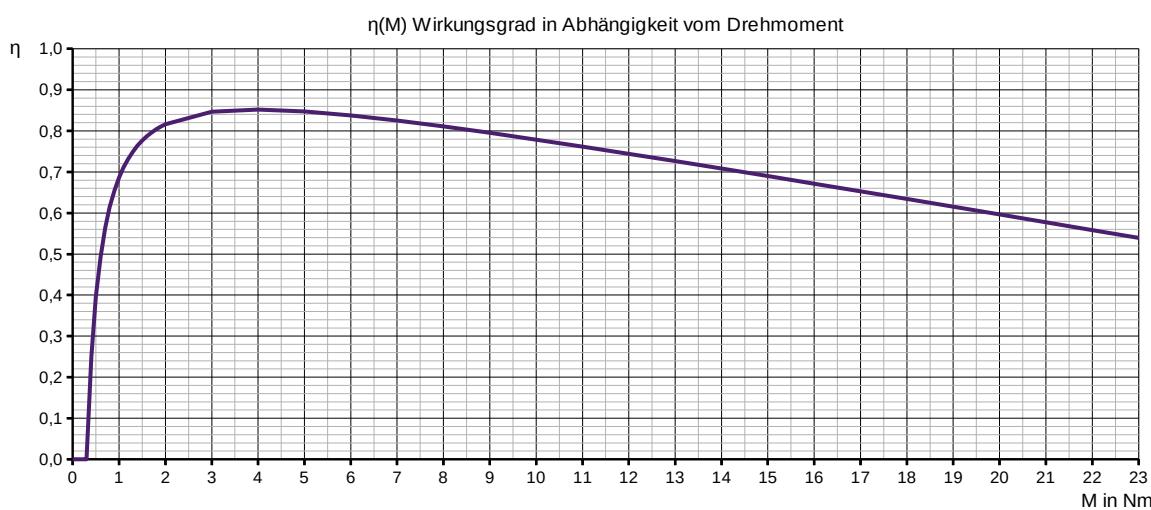
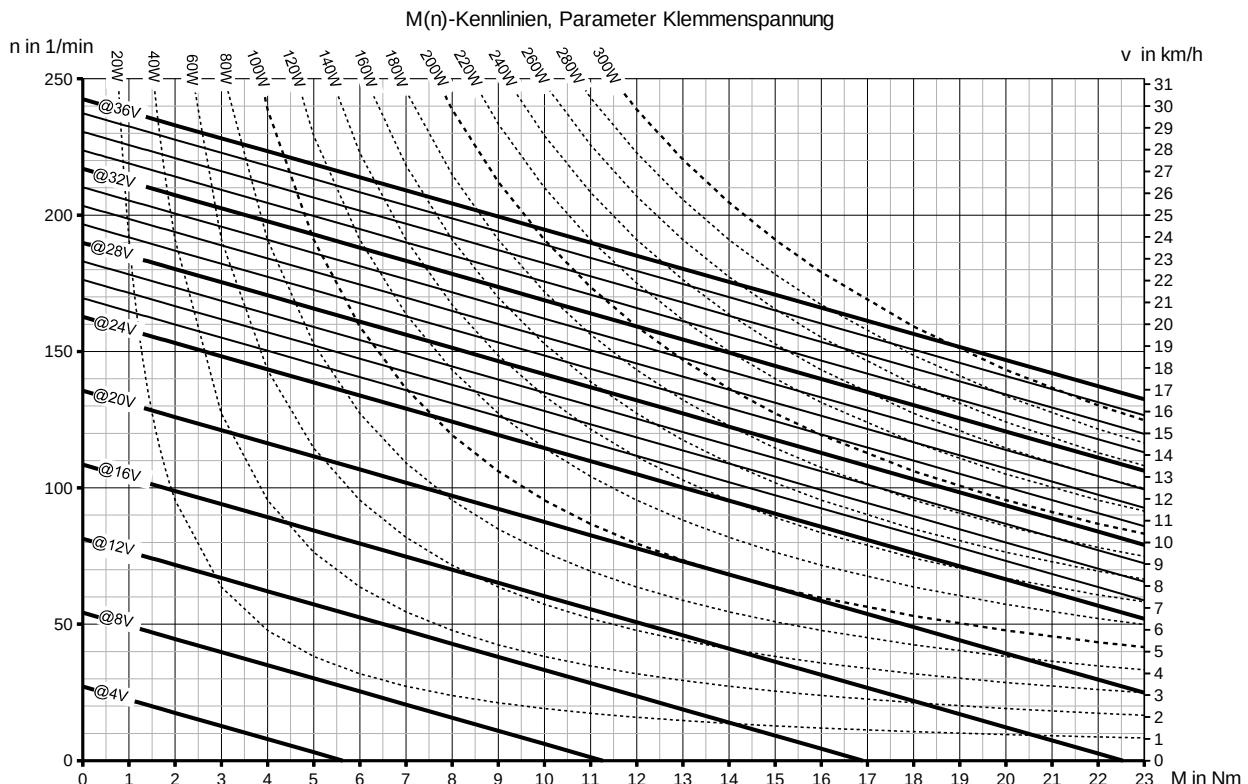


1 E-Bike (17P)

Der Motor eines E-Bikes besitzt die im $n(M)$ -Diagramm dargestellten Kennlinien. Diese gelten für die angegebenen Motor-Klemmenspannungen. Die Motorachse ist direkt an der Hinterradachse angebracht. Eine Geschwindigkeit von $v = 22,5 \text{ km/h}$ entspricht einer Drehzahl von $n = 180 \text{ U/min}$ des Motors. Der 36 V-Akku besitzt eine Kapazität von 380 Wh. Den Wirkungsgrad des Motors mit angeschlossener Elektronik entnimmt man dem Diagramm $\eta(M)$, die Nennspannung beträgt $U_{\text{Klemme}} = 36 \text{ V}$.



- 2P 1.1 Berechnen Sie den Radumfang des Hinterrads.
- 0,5P 1.2 Lesen Sie ab, welches Drehmoment der Motor bei der Nennspannung $U_{\text{klemme}} = 36 \text{ V}$ und $n_{\text{Nenn}} = 180 \text{ U/min}$ abgeben kann. Kreuzen Sie diesen Nennarbeitspunkt im Diagramm an.
- 1P 1.3 Ermitteln Sie die Leistung im Nennarbeitspunkt mithilfe der Leistungshyperbeln und berechnen Sie den genauen Wert.
- 3,5P 1.4 Skizzieren Sie das Ersatzschalbild des Motors, berechnen Sie die elektrische Leistungsaufnahme P_{elekt} und die Verlustleistung P_{verlust} im Nennbetrieb sowie den Verlustwiderstand R_{verlust} des Motors.

Bei der Fahrt mit 22,5 km/h an einer 4 %-Steigung muss insgesamt ein Drehmoment von $M = 22 \text{ Nm}$ aufgebracht werden.

- 1P 1.5 Erklären Sie mit dem Diagramm, warum diese Fahrt nicht alleine mit dem Motor, sondern nur mit Tretunterstützung möglich ist.
- 5P 1.6 Ermitteln Sie die am Motor notwendige Klemmenspannung und den fließenden Motorstrom bei einer Tretunterstützung von 50 % (50 % Mensch, 50 % Motor). Berechnen Sie die Motorkonstante U_{ind} / n .

Bei der Fahrt in der Ebene (mit 50% Tretunterstützung) gibt der Motor bei $v = 20 \text{ km/h}$ die Leistung $P_{\text{mech}} = 67 \text{ W}$ und bei $v = 25 \text{ km/h}$ die Leistung $P_{\text{mech}} = 87 \text{ W}$ ab.

- 4P 1.7 Berechnen Sie die Reichweiten bei beiden Geschwindigkeiten und bewerten Sie die Ergebnisse hinsichtlich Reichweite, Fahrtdauer und körperlicher Anstrengung. Energieinhalt Akku W = 380 Wh

Lösungen: 1.1: 2,08 m 1.2: 13 Nm 1.3 245 W 1.4: 335,6 W; 90,6 W; 1,04 Ω 1.5: mehr als 36 V...
1.6: 34,5 V; 7,9 A; 8,75 Vs 1.7: 96,4 km; 93 km

2 Weitere mögliche Aufgabenstellungen zur Aufgabe 1

- 2.1 Lesen Sie im Diagramm unten die jeweils insgesamt benötigten Drehmomente ab:

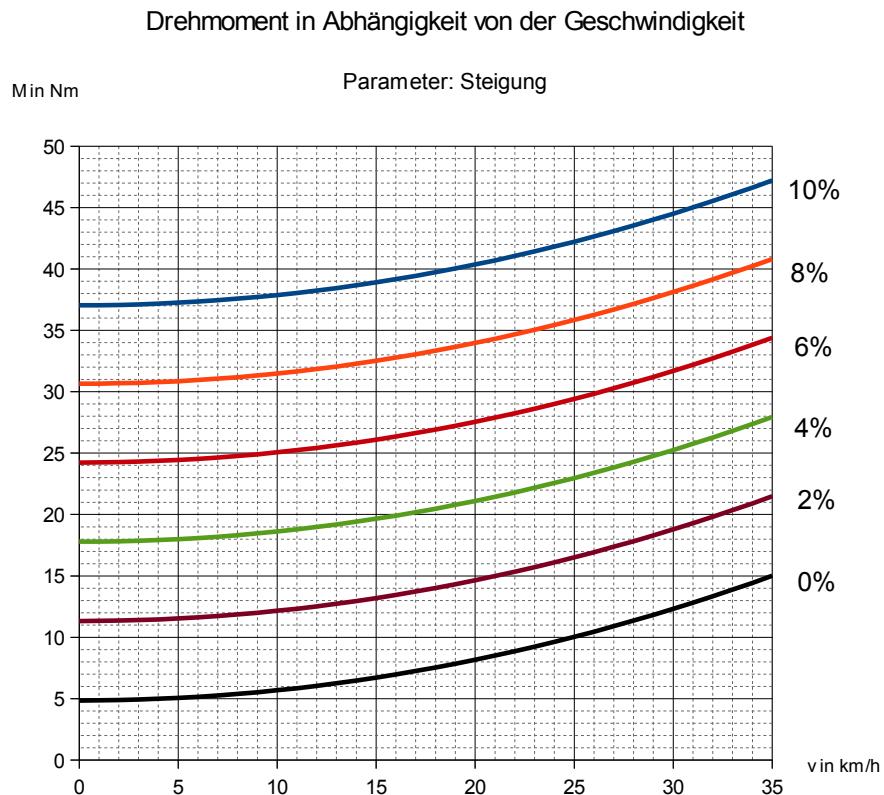
- Sie fahren in der Ebene mit $n = 160 \text{ U/min}$ ($v = 20 \text{ km/h}$).
- Sie fahren in der Ebene mit $n = 120 \text{ U/min}$ ($v = 15 \text{ km/h}$).
- Sie fahren am Berg bei einer Steigung von 6 % mit $n = 120 \text{ U/min}$ ($v = 15 \text{ km/h}$).

In den folgenden Aufgaben soll ermittelt werden, welche Klemmenspannungen die Steuerung am Motor einstellt. Markieren Sie jeweils die beiden Punkte (vor und nach der Umschaltung) im Diagramm Aufg. 1 durch 2 Kreuze, verbinden Sie diese durch ein Geradenstück und beschriften Sie das Geradenstück mit der Aufgabennummer 2.2 bis 2.4.

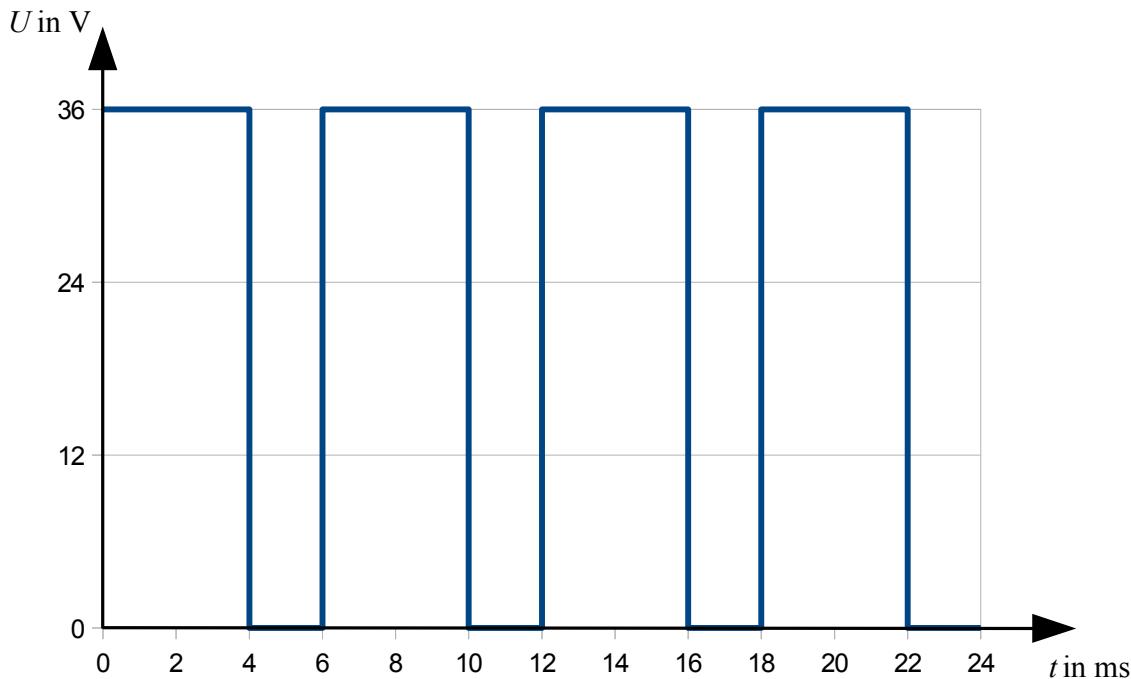
- 2.2 Umschaltung von der Fahrt in der Ebene mit 20 km/h ohne Tretunterstützung (100 % Motor) auf die Fahrt in der Ebene mit 20 km/h bei 50 % Motorunterstützung.
- 2.3 Umschaltung von der Fahrt in der Ebene mit 15 km/h bei 50 % Motorunterstützung auf die Fahrt am Berg (6 %) mit 15 km/h bei 50 % Motorunterstützung.
- 2.4 Umschaltung von der Fahrt in der Ebene mit 20 km/h und 25 % Motorunterstützung auf die Fahrt am Berg (6 %) mit 15 km/h bei 75 % Motorunterstützung.
- 2.5 Berechnen Sie in den Fällen 2.2 und 2.4 die Leistungen, die der **Mensch** auf dem E-Bike vor und nach der Umschaltung aufbringen muss ($m_{\text{ges}} = 100 \text{ kg}$).

Lösungen: 2.1: 8 Nm; 6,8 Nm; 26,2 Nm 2.2: 29,2 V / 26,5 V
2.3: 20,1 V / 27 V 2.4: 25 V; 32 V 2.5: 0 W / 67 W; 100 W / 81,7 W

Diagramm zur Aufgabe 2.1: Insgesamt notwendiges Drehmoment für ein E-Bike mit $m = 100 \text{ kg}$ (Fahrer und Fahrzeug), Fläche Luftwiderstand $0,5 \text{ m}^2$ und $c_{\text{Reibung}} = 0,015$ bei verschiedenen Steigungen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.

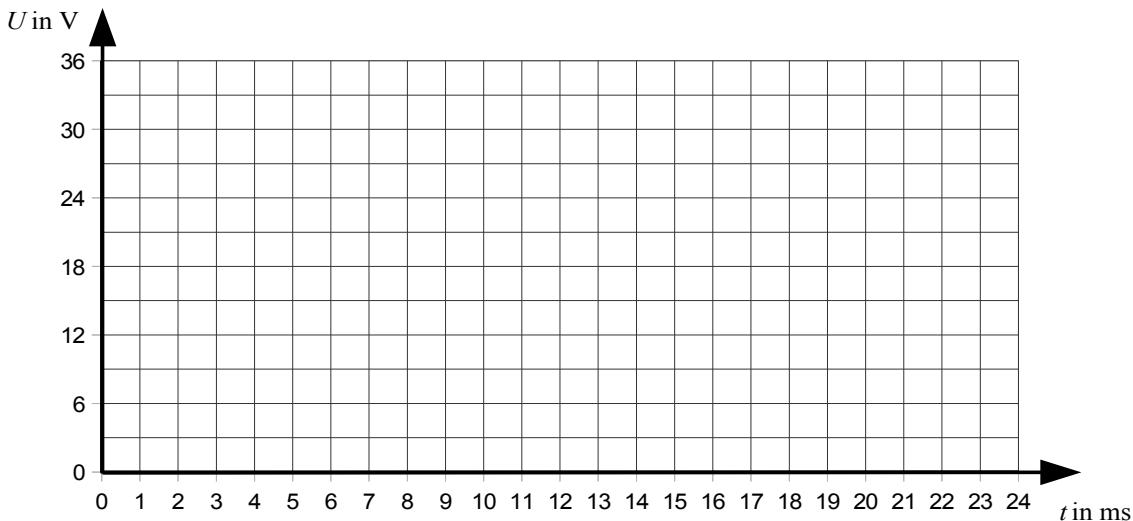


2.6 An der Motorklemme liegt folgendes PWM Signal



Ermitteln Sie die resultierende Spannung am Motor.

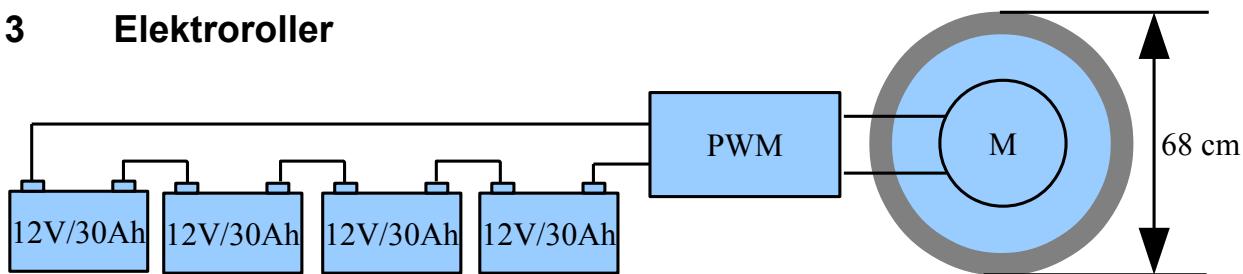
- 2.7 Die Motorspannung beträgt 24 V. Die neue Drehzahl soll 100 U/min sein. Ermitteln Sie die maximale Steigung, die mit 50 % Tretunterstützung möglich ist.
- 2.8 Es soll eine Steigung mit 8% und einer Geschwindigkeit von 5 km/h gefahren werden. Die Tretunterstützung soll 50 % betragen. Ermitteln Sie die benötigte Spannung am Motor.
- 2.9 Wie groß muss der Tastgrad gewählt werden, damit die Motorspannung von 2.8 am Motor anliegt. Zeichnen Sie das PWM Signal ins Diagramm ein (Periodendauer $T = 6 \text{ ms}$).



- 2.10 Berechnen Sie P_{elekt} I_{Klemme}

Lösungen zu 2.7 max 6% 2.8 $\eta=0,68$; 17V 2.9 0,47 2.10 $\eta=0,68$; 95,5W 5,62A

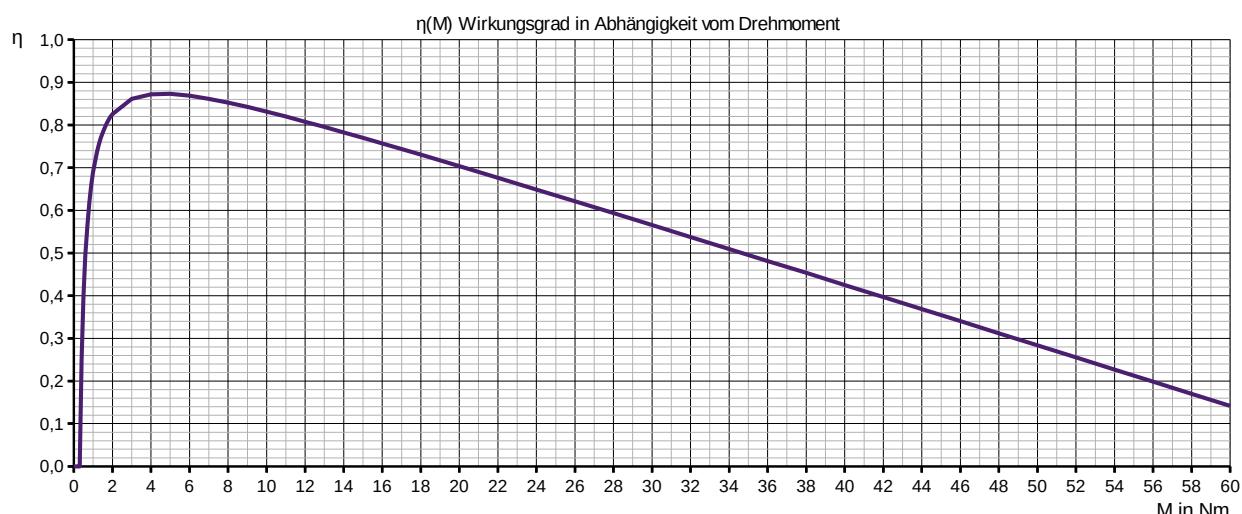
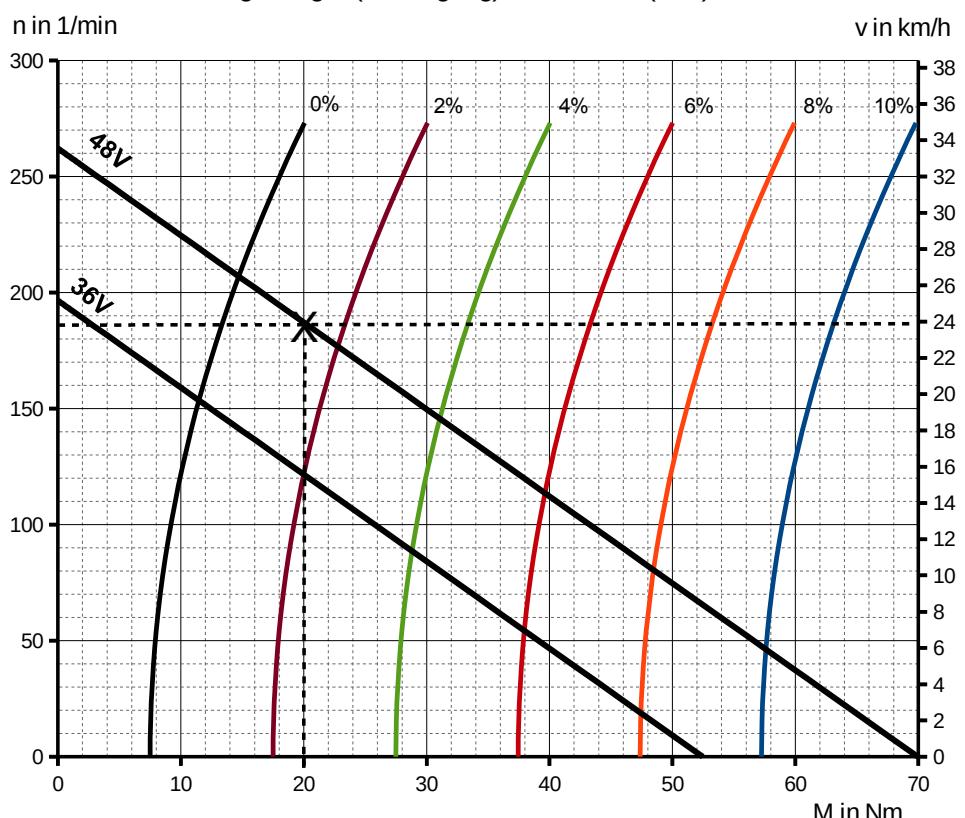
3 Elektroroller



Das Blockschaltbild zeigt den Antrieb eines E-Rollers mit Radnabenantrieb.

Daten: Entladewirkungsgrad der Akkus 90%, $m_{\text{Roller+Fahrer}} = 150 \text{ kg}$

Umgebung: $n(M, \text{Steigung})$ und Motor $n(M, U)$



- 3.1 Ermitteln Sie die Leerlaufdrehzahl n_0 und das Anlaufmoment M_A des Motors.
- 3.2 Zeichnen Sie die Motorkennlinie für eine reduzierte Spannung von 36 V ein.
- 3.3 Zeigen Sie durch Berechnung, wie man die Werte der Geschwindigkeitsachse aus der Drehzahlachse erhält.
- 3.4 Ermitteln Sie die maximalen Geschwindigkeiten („Vollgas“) in der Ebene und bei einer Steigung von 10 %.
- 3.5 Berechnen Sie die mechanische und die elektrische Leistung des Motors im markierten Nennbetriebspunkt. Beachten Sie die $\eta(M)$ -Kennlinie.
- 3.6 Ermitteln Sie die Verlustleistung im Nennbetrieb und den Verlustwiderstand des Motors.
- 3.7 Berechnen Sie die Reichweite, wenn der Roller im Nennbetriebspunkt fährt ($P_{MotorElektr} = 560 \text{ W}$).
- 3.8 Zeigen Sie durch Berechnung, dass die Reichweite bei einer 10 %-Steigung und voll geladenen Akkus lediglich 7,8 km beträgt.
Begründen Sie, warum sich die Reichweite bei der steilen Bergfahrt derart drastisch reduziert und die Überhitzungswarnlampe nach kurzer Fahrt leuchtet.
- 3.9 Um Schäden durch hohe Ströme zu vermeiden wird die Motorspannung beim Anfahren durch PWM abgesenkt. Beschreiben Sie die Funktionsweise einer PWM.
- 3.10 Berechnen Sie den Tastgrad, bei dem sich ein Anfahrmoment von 35 Nm einstellt.
- 3.11 Bei einer Bergabfahrt von 800 m.ü.Meer auf 200 m.ü.Meer speist der Motor zurück in die Batterie. Geben Sie an, in welchem Quadranten sich der Motor beim Rückspeisen befindet.

