

Themenbereiche

- **E-Bike, Pedelec**
- **Motorersatzschaltbild**
- **Motorkennlinien**
- **Reichweitenberechnung**
- **Tiefsetzsteller**

Inhaltsverzeichnis

2 Vergleich Energiespeicher Akku und Diesel.....	2
3 Akku in einem Pedelec.....	2
4 Funktionsprinzip Elektromotor.....	3
5 E-Bike-Motor.....	4
6 Reichweitenberechnung Pedelec 1.....	5
7 Abi-Musteraufgabe: Testfahrt mit dem Pedelec.....	6
8 Kennlinien Motor.....	8
9 E-Bike (17P).....	9
10 Weitere mögliche Aufgabenstellungen zur Aufgabe 8.....	10
11 Elektroroller.....	12
12 MOSFET in einer E-Bike-Steuerung.....	14
13 Transistorbrückenschaltung.....	14
14 Tiefsetzsteller für energiesparende LED-Beleuchtung.....	15
15 Tiefsetzsteller.....	16
16 Motorsteuerung in Biogasanlage.....	17
17 Selbstfahrendes Transportsystem (NP 14/15).....	19

1 Vergleich Energiespeicher Akku und Diesel

Energiedichten:	Diesel: 11,8 kWh/kg	(Dichte Diesel: 0,85 kg/Liter)
	Strom aus Li-Ionen-Akkus: 0,13 kWh/kg	
durchschnittliche Wirkungsgrade :	Dieselmotor mit Getriebe: 23,5 %	
	Elektromotor mit Elektronik: 95 %	
	Entladewirkungsgrad Akku: 95 %	

Für 500 km Fahrstrecke benötigt ein Diesel- bzw. Elektro- KFZ ca. 63 kWh Antriebsenergie.

- 1.1 Berechnen Sie die Massen der benötigten Energiespeicher Dieseltank und Li-Ionen-Akku.
- 1.2 Welche Anforderungen (5 Stichpunkte) werden an Akkumulatoren in Fahrzeugen gestellt?
- 1.3 Nennen Sie mindestens 2 Vorteile von Li-ION-Akkus gegenüber älteren Akkuarten.
- 1.4 Nennen Sie mindestens 2 Probleme bei Li-ION-Akkus.

Nehmen wir an, der Tankvorgang von 80 Liter Diesel dauert 3 min. und eine elektrische Schukosteckdose (230 V) kann maximal 16 A liefern (wegen der Sicherung)

- 1.5 Berechnen Sie die Energiemenge W_{Tank} , die in einem 80 L-Tank gespeichert ist und die Energiemenge W_{Nutz} , die davon zur Fortbewegung verwendet wird.
- 1.6 Ermitteln Sie den Energiestrom beim Diesel-Tanken in kWh pro Stunde. Diese entspricht der „Anschlussleistung“ des Tankkrüssels.
- 1.7 Ermitteln Sie, welche Energiemenge W_{elekt} im Akku gespeichert werden muss, damit eine Elektrofahrzeug die gleiche Energiemenge W_{Nutz} wie in 1.5 zur Fortbewegung nutzen kann. (Annahme: beide Autos benötigen die gleiche Antriebskraft)
- 1.8 Berechnen Sie die Anschlussleistung, die ein elektrisches Ladesystem haben müsste, damit der elektrische Ladevorgang genauso schnell (3 min) wie der Dieselladevorgang vonstatten gehen könnte.
- 1.9 Ermitteln Sie die Anzahl an Schukosteckdosen, die eine solche elektrische Anschlussleistung zur Verfügung stellen würde.

Haushalt-Drehstrom-Anschlüsse arbeiten mit 400 V / 16 A, Baukranschlüsse mit 400 V / 32 A oder 400 V / 63 A. In Elektroauto-Prospekten wird oft eine Schnellladezeit (0 % bis 80 % der max. Akkukapazität) angegeben. (Achtung bei Drehstrom: $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$ mit $\cos \varphi = 1$)

- 1.10 Ermitteln Sie die Schnellladezeiten für die 3 verfügbaren Drehstromanschlüsse.

Zum Vergleich: aktuelle Elektrofahrzeuge haben lediglich eine Akkukapazität 20 kWh und können z.B. über spezielle 125 A-Gleichstrom-Ladestationen, die 50 kW leisten in 30 min schnell geladen werden.

2 Akku in einem Pedelec

Dem Datenblatt eines Antriebssystems werden folgende Daten entnommen:

Akku: 48 V / 6,6 Ah / 317 Wh, Zellenzahl 39, Zellenspannung: 3,7 V,
 $\eta_{\text{Entladung}} = 0,9$

Motor: $P_{\text{ab-max}} = 250 \text{ W}$

Radumfang: 2 m

- 2.1 Geben Sie an, wie die Akkuzellen verschaltet sind (Skizze).
- 2.2 Ermitteln Sie die maximale Ladungsmenge, die eine Zelle aufnehmen kann. (Diese Angabe ist z.B. wichtig, wenn man eine defekte Zelle austauschen will.)

- 2.3 Die Fortbewegung auf der Ebene mit 25 km/h benötigt ein durchschnittliches Drehmoment von 10 Nm. Sie stellen Ihr Pedelec auf die Unterstützungsstufe 2, dies beudet bei diesem Modell, dass der Motor 43 % der Antriebsleistung übernimmt.
 Berechnen Sie die zu erwartende Reichweite bei voll geladenem Akku.
 $\eta_{\text{Motor}} = 0,92$

Der Gegenwind bläst Ihnen mit ca. 20 km/h (Windstärke 3,5) entgegen. Daher erhöht sich das aufzubringende Drehmoment auf 21,6 Nm. Sie schalten auf Unterstützungsstufe 4 (Motor ca. 66,7 %), dabei müssen Sie wie bei 2.3 ca. 125 W treten, werden trotzdem langsamer und der Motor bringt seine maximale mechanische Abgabeleistung von 250 W auf.

- 2.4 Ermitteln Sie die Fahrgeschwindigkeit.
 2.5 Berechnen Sie die nun zu erwartende Reichweite bei voll geladenem Akku.

Alternativ wird ein anderer Akku verwendet, im Datenblatt findet man folgende Angaben:
 Akku: 48 V / 8,8 Ah , Zellenzahl 52, Zellenspannung: 3,7 V,
 $\eta_{\text{Entladung}} = 0,9$

Im Prospekt wird eine Reichweite von 105 km angegeben.

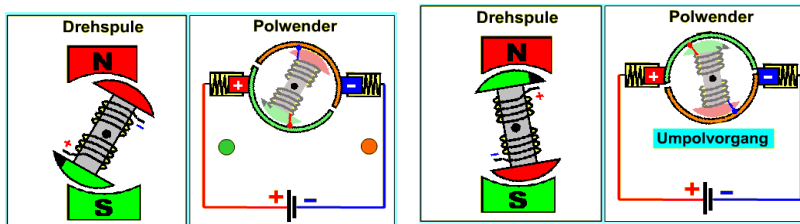
- 2.6 Ermitteln Sie, für welche prozentuale Motorunterstützung die Reichweitenangabe gilt.
 Gehen Sie von einem erforderlichen Drehmoment von 10 Nm bei $v = 25 \text{ km/h}$ aus.

Der Akku kostet 600 € und kann 1200 mal aufgeladen werden. Eine Energiemenge von 320 Wh ermöglicht 70 km Fahrtstrecke. Die Lade- und Entladewirkungsgrade betragen 90 %. Eine kWh aus dem Stromnetz kostet 25 Cent.

- 2.7 Berechnen Sie die entstehenden Kosten (Akku + Strom) pro 100 km für eine Akkuliebensdauer unter der Annahme, dass der Akku immer nach 70 km wieder ganz aufgeladen werden muss.
 2.8 Vergleichen Sie die Kosten mit den reinen Verbrauchskosten eines PKW mit 6 L /100 km und 1,50 € / L.

3 Funktionsprinzip Elektromotor

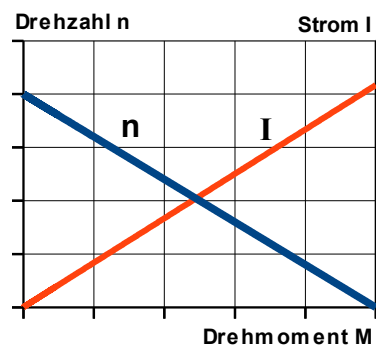
- 3.1 Erklären Sie die Notwendigkeit der Kommutierung beim Gleichstrommotor anhand der nebenstehenden Prinzip-Bilder.



- 3.2 Erklären Sie folgende Begriffe, die man in einem E-Bike-Prospekt findet: bürstenloser Motor, elektronisch kommutiert, außenliegender Rotor, Rekuperation

- 3.3 Markieren Sie in den nebenstehenden Motorkennlinien die Punkte "Leerlauf" und "Anlauf". Begründen Sie Ihre Angaben.

- 3.4 Erklären sie anhand des Motorersatzschaltbildes den Verlauf der Kennlinie $I(M)$. Zeichnen Sie den prinzipiellen Verlauf von $P_{ab}(M)$ ein.



4 E-Bike-Motor

Nennbetrieb: $U_{\text{nenn}} = 36\text{V}$, $P_{\text{nenn-elektrisch}} = 250\text{W}$, $M_{\text{Nenn}} = 10\text{ Nm}$, $\eta_{\text{Nenn}} = 84\%$,

$n_{\text{Nenn}} = 3,348 \frac{1}{\text{s}}$ entspricht $v = 25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bei einem Radumfang von 2,074m.

Die mechanischen Verluste des Motors bleiben unberücksichtigt.

4.1 Nennbetrieb: Berechnen den Nennstrom, den Ankerwiderstand und die im Motor induzierte Spannung U_{ind} .

Die Geschwindigkeit wird vom Fahrer auf 20 km/h festgelegt bei 100% Motorbetrieb.

4.2 Entnehmen Sie das notwendige Drehmoment aus der Kennlinienschar $M(v)$. Zeigen Sie, dass der Motorstrom in diesem Betriebspunkt 5,694 A beträgt..

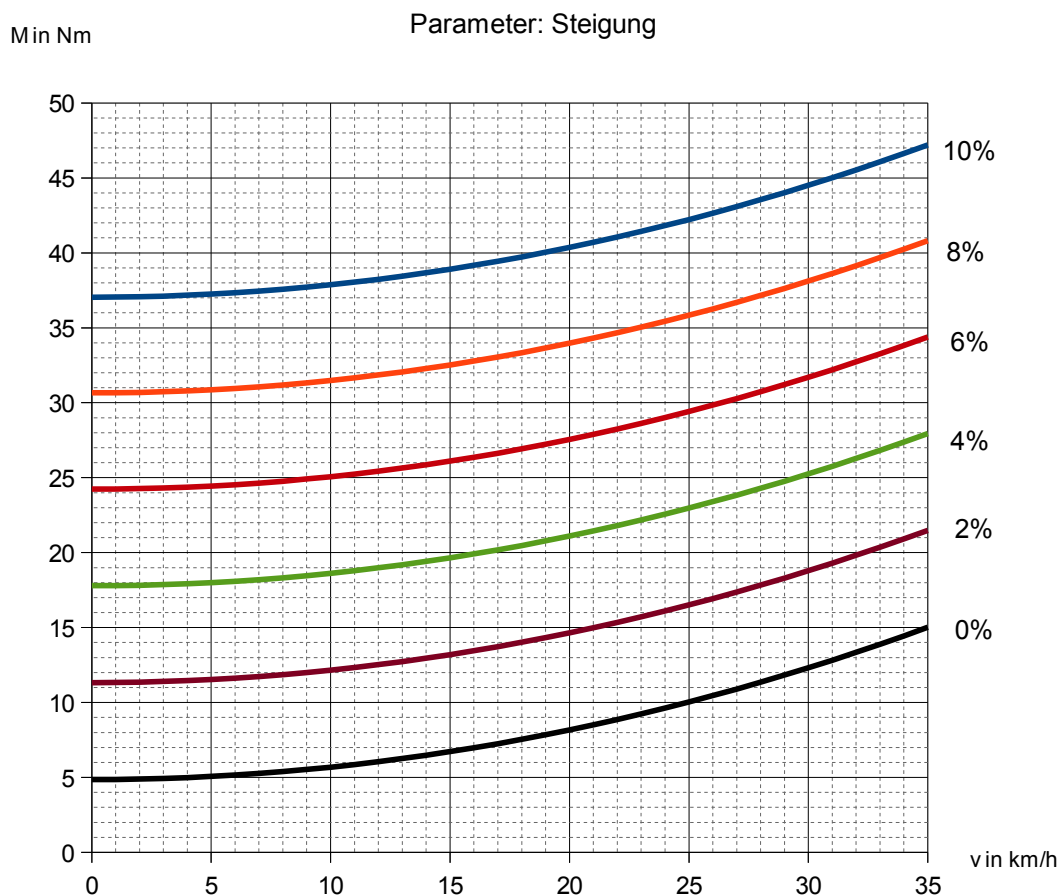
4.3 Berechnen Sie die notwendige Klemmenspannung am Motor

$$R_{\text{Anker}} = 0,83\Omega, \quad n = \frac{v}{\text{Radumfang}}$$

Anleitung: Beachten Sie das Motorersatzschaltbild und die Motorgleichungen.

4.4 Berechnen Sie P_{ab} und P_{zu} für den Fall 4.1 und stellen Sie fest, ob sich der Wirkungsgrad geändert hat.

Drehmoment in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit



5 Reichweitenberechnung Pedelec 1

Ein Pedelec-Fahrer fährt zuerst mit $v = 25 \text{ km/h}$ auf der Ebene eine Strecke von $s = 40 \text{ km}$ mit einer Motorunterstützung von 25 % (Motor 25 %, Mensch 75 %).

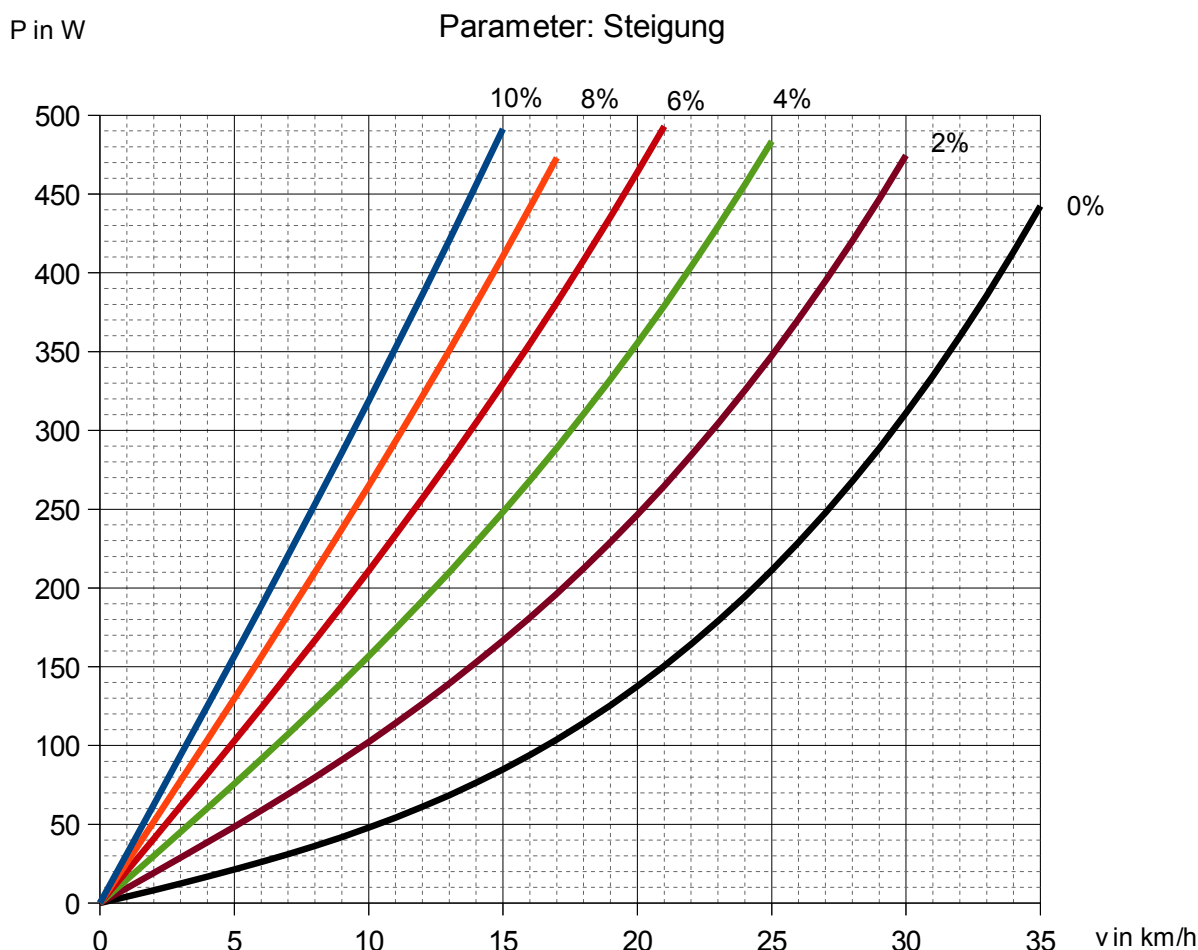
Anschließend schaltet er auf Motorunterstützung 50 % und fährt mit 15 km/h eine 10 km lange Bergstrecke mit 8 % Steigung hoch.

Vor der Fahrt hat er seinen 280 Wh -Akku voll aufgeladen.

Rechnen Sie in allen Fällen mit einem Wirkungsgrad des Motors von 80 %.

- 4P 5.1 Berechnen Sie, ob die gespeicherte Energiemenge zur Bewältigung der Strecke ausreichend ist. Verwenden Sie die Kennlinienschar $P(v)$.
- 2P 5.2 Bei der Bergabfahrt werden 30 % der bei der Bergauffahrt benötigten Motor-Energie wieder in den Akku zurückgespeist. Im Akku sind dann nach der Bergabfahrt 54 Wh vorhanden. Begründen Sie, auf welche Unterstützungsstufe der Fahrer bei der Heimfahrt in der Ebene (25 km/h , 40 km , wie oben) schalten soll: 10 %, 25 %, 50 %?

Leistung in W in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit



6 Abi-Musteraufgabe: Testfahrt mit dem Pedelec

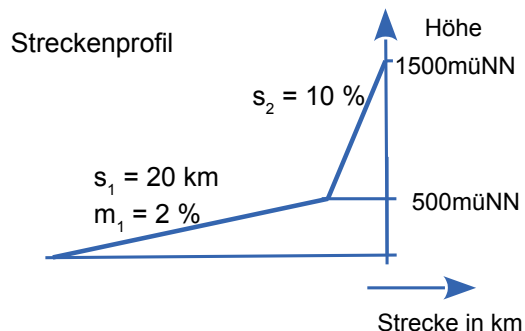
Ein Pedelec-Fahrer ($m_{\text{ges}} = 90 \text{ kg}$) nutzt eine Bergtour als Testfahrt für seinen neuen Akku.

Er wählt eine Teststrecke mit folgendem Streckenprofil:

Den ersten Abschnitt über 20 km möchte er mit der Maximalgeschwindigkeit von 25 km/h zurücklegen. Im zweiten Abschnitt rechnet er damit, dass auf der Steigungsstrecke ($m_2 = 10 \%$) der Akku vollständig entleert wird.

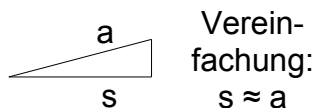
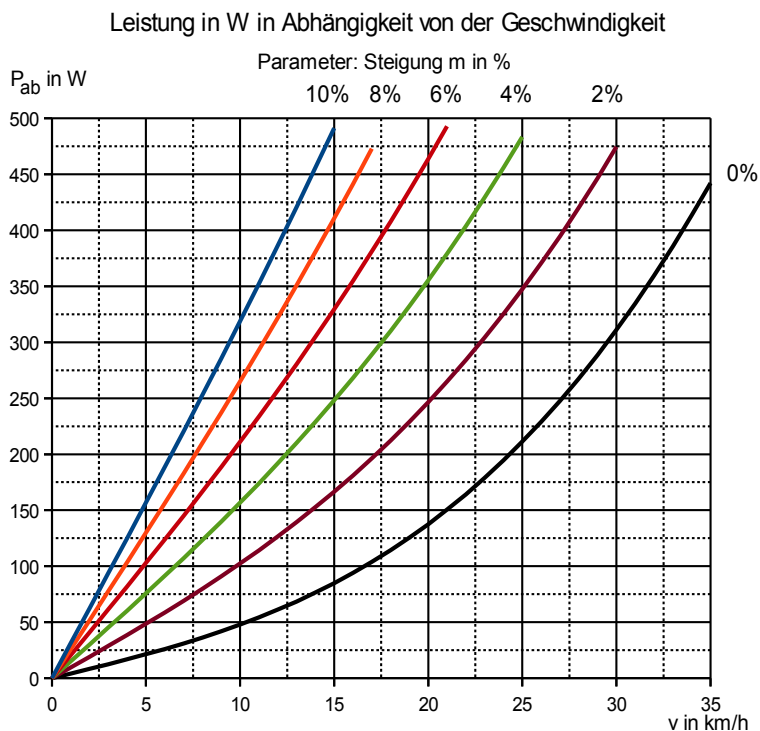
Vor der Fahrt lädt er seinen 36 V-Akku 4 h lang mit 2 A Ladestrom.

Der Gesamtwirkungsgrad des Antriebs (Motor, Akku, Mechanik) beträgt 80 %.



Leistungsermittlung

Zur Leistungsermittlung steht die nebenstehende Kurvenschar $P(v)$ zur Verfügung.



- 1P 6.1 Ermitteln Sie die notwendige mechanische Leistung auf dem ersten Streckenabschnitt.
- 1P 6.2 Ermitteln Sie die elektrische Motorleistung für eine Motorunterstützung von 60 %. (60 % leistet der Motor, 40 % der Fahrer).
- 3P 6.3 **Fragestellungen zur Vertiefung:** Begründen Sie die Form der Kurven $P(v)$. Bestimmen Sie den Luftwiderstandsbeiwert des Radfahrers ($F_{\text{Luftwiderstand}} = 32,7 \text{ N}$, $A_{\text{Radfahrer}} = 0,9 \text{ m}^2$). Bewerten Sie Ihr Ergebnis anhand der Übersicht „Widerstandsbeiwert verschiedener Körper“ in der Formelsammlung.

Energie im Akku

- 1P 6.4 Berechnen Sie die im Akku enthaltene Energiemenge.
- 2P 6.5 Berechnen Sie die nach dem ersten Streckenabschnitt im Akku verbleibende Energiemenge.

Bergfahrt - zweite Etappe

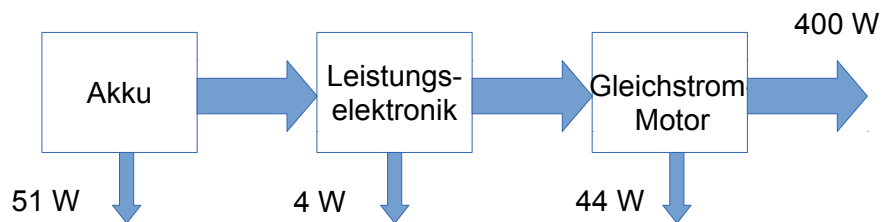
Die Rahmenbedingungen für den zweiten Abschnitt sind:

Die maximale mechanische Motorleistung beträgt 400 W.
Der Fahrer kann dauerhaft 100 W aufbringen

Es steht die nach 6.5 berechnete verbleibende Energiemenge für diese Etappe zu Verfügung (Ersatzwert, wenn unter 6.5 kein Ergebnis: 80 Wh)

- 6.6 Bestimmen Sie die maximale Motorunterstützung in Prozent, die vom Fahrer gewählt werden kann, sowie die damit mögliche Geschwindigkeit.
- 6.7 Ermitteln Sie die zurückgelegte Strecke und die überwundenen Höhenmetern, wenn der Fahrer mit 15,3 km/h und maximaler Motorleistung fährt.
- 6.8 Wie viele Höhenmeter können ohne Tretunterstützung - nur mit der verbleibenden Ladung des Akkus- überwunden werden?
- 6.9 Zwei Fahrer (gleiche Gesamtmasse) befinden sich im Wettstreit. Zu Beginn der zweiten Bergetappe steht beiden eine Akkuladung von 80 Wh zur Verfügung. Beide dürfen körperlich 100 W aufbringen. Es gewinnt, wer nach 2 h die meisten Höhenmeter hat. Welche Geschwindigkeit ist optimal, um den Wettbewerb zu gewinnen?

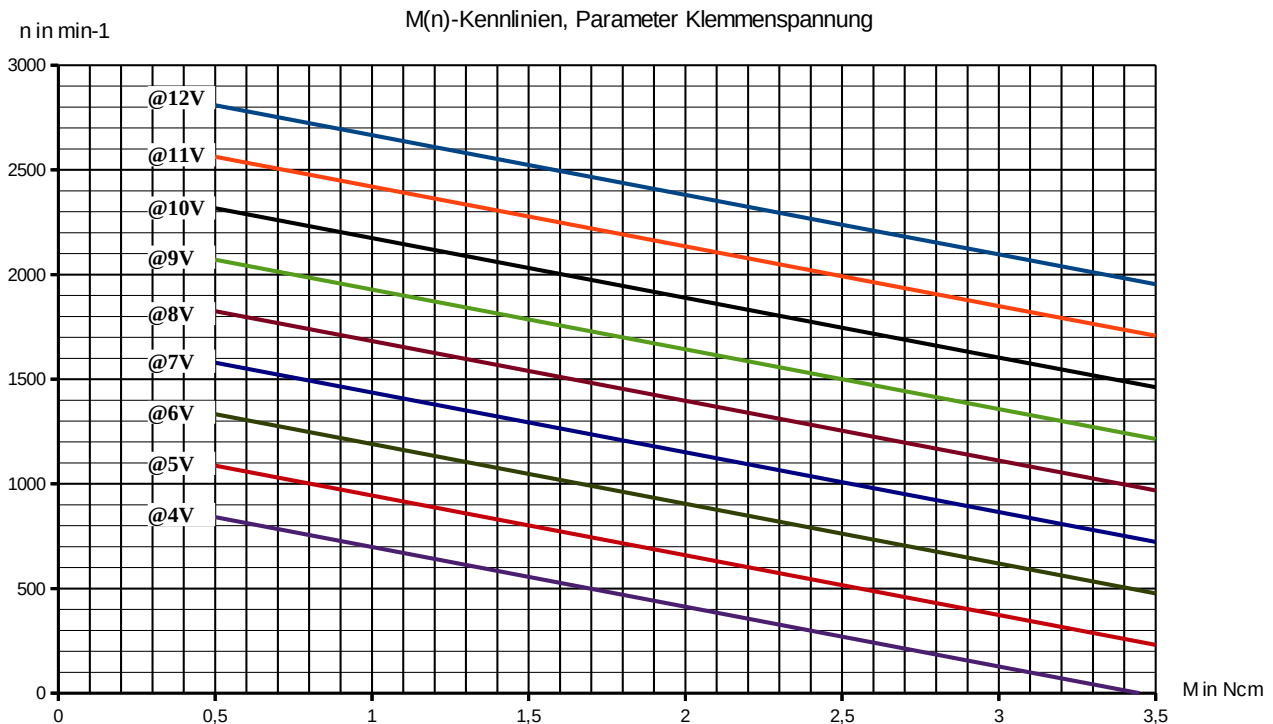
Energieflussdiagramm (weitere Vertiefung)



Das folgende Energieflussdiagramm zeigt, wie sich der Gesamtwirkungsgrad von 80 % bei einer mechanischen Leistung des Antriebs von 400 W zusammensetzt.

- 6.10 Berechnen Sie die Teilwirkungsgrade von Akku, Leistungselektronik und Gleichstrommotor. Nennen Sie die maßgeblichen Eigenschaften dieser Komponenten, welche die Teilwirkungsgrade beeinflussen?

7 Kennlinien Motor



Bei einem Versuchsmotor wurden die dargestellten Kennlinien aufgenommen.

7.1 Skizzieren Sie die U (n)-Kennlinie im Leerlauf.

7.2 Beschreiben Sie einen Versuch zur Aufnahme der Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie bei einer Klemmenspannung von 12V.

Bei einem Leistungsgleichstrommotor (im E-Bike) haben die Kennlinien den prinzipiell gleichen Verlauf, nur natürlich mit anderen Zahlenwerten an den Achsen. Daher sollen an den dargestellten Kennlinien einige typische Fahrsituationen beim E-Bike durchgespielt werden.

7.3 Begründen Sie, welche Achse man in eine „Fortbewegungs-Geschwindigkeitsachse“ umrechnen könnte.

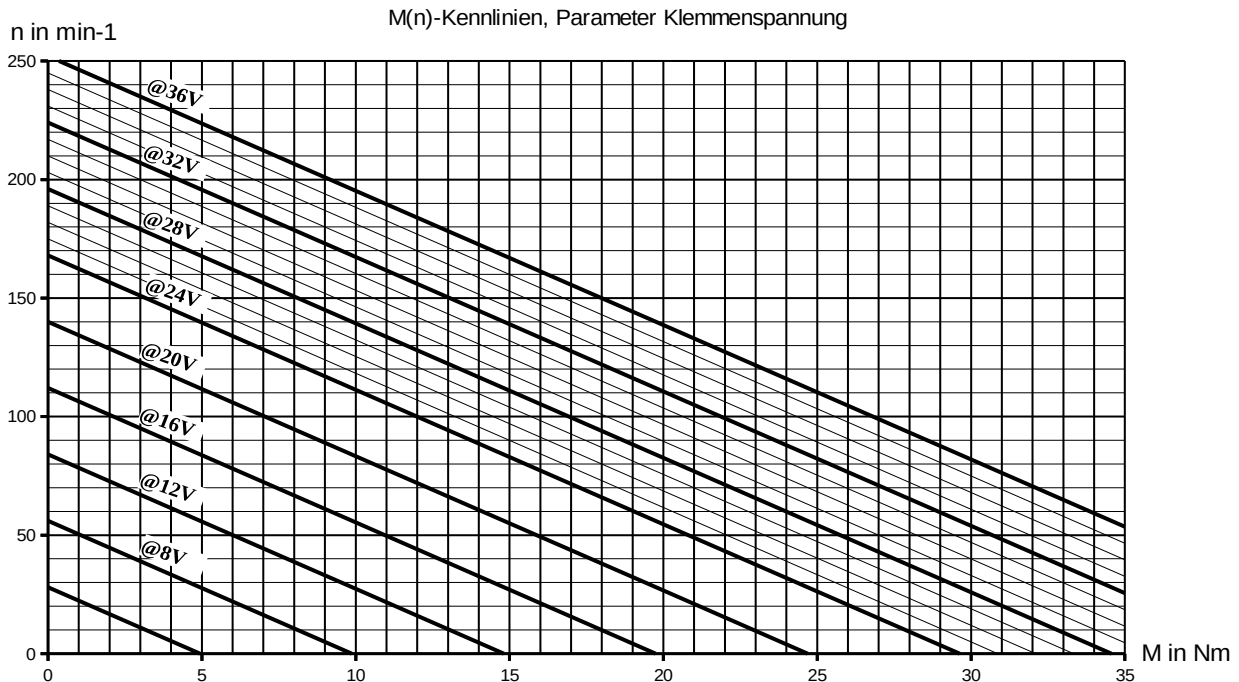
7.4 Nehmen wir an, bei 1 Ncm und $n = 1500 \text{ min}^{-1}$ bewegen wir uns in der Ebene. Nun wollen wir schneller fahren. Beschreiben Sie die Änderung am Motor und zeichnen Sie diese im Kennlinienfeld ein.

(a) ohne und b) mit Berücksichtigung des sich ändernden Gegenwinds

7.5 Nehmen wir an, bei 1 Ncm und $n = 1200 \text{ min}^{-1}$ bewegen wir uns in der Ebene. Nun möchten wir mit gleichbleibender Geschwindigkeit einen Berg hinauf fahren, wobei sich das aufzubringende Drehmoment verdoppelt. Beschreiben Sie die Änderung am Motor und zeichnen Sie diese im Kennlinienfeld ein. Beschriftung: c).

8 E-Bike (17P)

Der Motor eines E-Bikes besitzt die im $n(M)$ -Diagramm dargestellte Kennlinien. Diese gelten für die angegebenen Motor-Ankerspannungen. Die Motorachse ist direkt an der Hinterradachse angebracht. Eine Geschwindigkeit von $v = 20 \text{ km/h}$ entspricht einer Drehzahl von $n = 160 \text{ U/min}$ des Motors. Der 36 V-Akku besitzt eine Kapazität von 380 Wh. Der Wirkungsgrad des Motors mit angeschlossener Elektronik beträgt $\eta = 90\%$, die Nennspannung beträgt $U_{\text{Klemme}} = 36 \text{ V}$.



- 2P 8.1 Berechnen Sie den Radumfang des Hinterrads.
- 0,5P 8.2 Lesen Sie ab, welches Drehmoment der Motor bei der Nennspannung $U_{\text{Klemme}} = 36 \text{ V}$ und $n = 160 \text{ U/min}$ abgeben kann.
- 4,5P 8.3 Skizzieren Sie das Ersatzschaltbild des Motors und ermitteln Sie die elektrische Leistungsaufnahme P_{elekt} und die Verlustleistung P_{verlust} im Nennbetrieb sowie den Ankerwiderstand R_{Anker} .

Bei der Fahrt mit 20 km/h an einer 4 %-Steigung muss insgesamt ein Drehmoment von $M = 21 \text{ Nm}$ aufgebracht werden.

- 1P 8.4 Erklären Sie mit dem Diagramm, warum diese Fahrt nicht alleine mit dem Motor, sondern nur nur mit Tretunterstützung möglich ist.
- 5P 8.5 Ermitteln Sie die am Motor notwendige Ankerspannung und den fließenden Motorstrom bei einer Tretunterstützung von 50 % (50 % Mensch, 50 % Motor), $\eta = 90\%$. 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 8.6 Berechnen Sie die Reichweiten bei beiden Geschwindigkeiten und bewerten Sie die Ergebnisse hinsichtlich Reichweite, Fahrtdauer und körperlicher Anstrengung.
 $\eta_{\text{Motor}} = 90\%$, Energieinhalt Akku $W = 380 \text{ Wh}$

Lösungen: 8.1: 2,08 m 8.2: 16,2 Nm 8.3: 301,6 W; 30,2 W; 0,43 Ω 8.4: mehr als 36 V...
 8.5: 31,5 V; 6,2 A; 10,6 Vs 8.6: 102 km; 97,5 km

9 Weitere mögliche Aufgabenstellungen zur Aufgabe 8

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

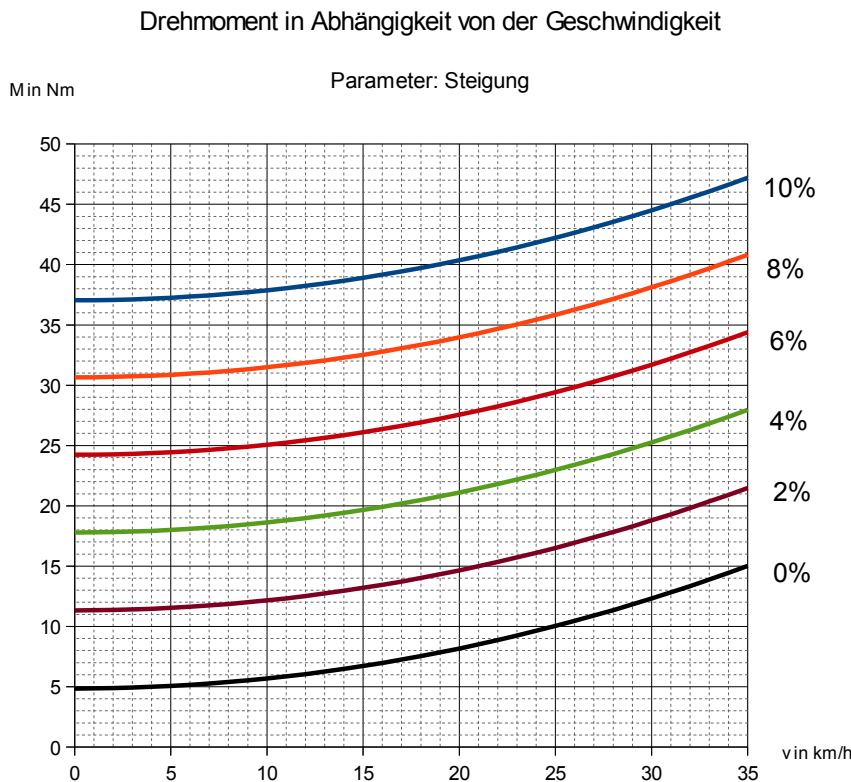
- Sie fahren in der Ebene mit $n = 160$ U/min ($v = 20$ km/h).
- Sie fahren in der Ebene mit $n = 120$ U/min ($v = 15$ km/h).
- Sie fahren am Berg bei einer Steigung von 6 % mit $n = 120$ U/min ($v = 15$ km/h).

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. 8 durch 2 Kreuze, verbinden Sie diese durch ein Geradenstück und beschriften Sie das Geradenstück mit der Aufgabennummer 9.2 bis 9.4.

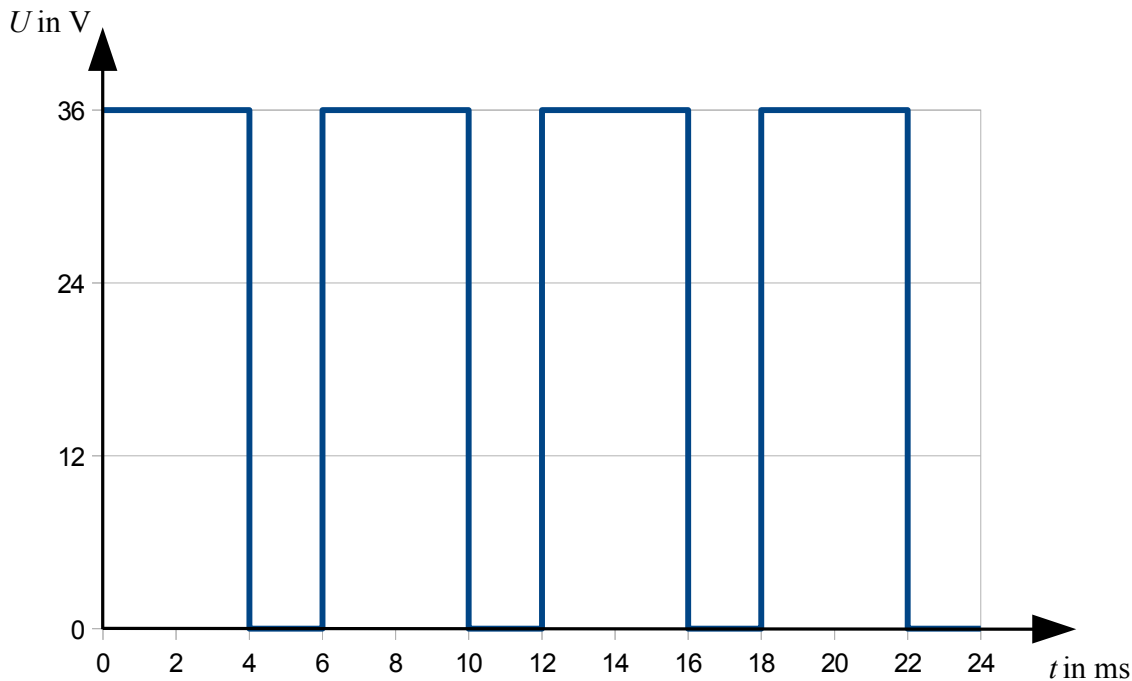
- 9.2 Umschaltung von der Fahrt in der Ebene mit 20 km/h ohne Tretunterstützung (100 % Motor) auf die Fahrt in der Ebene mit 20 km/h bei 50 % Motorunterstützung.
- 9.3 Umschaltung von der Fahrt in der Ebene mit 15 km/h bei 50 % Motorunterstützung auf die Fahrt am Berg (6 %) mit 15 km/h bei 50 % Motorunterstützung.
- 9.4 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.
- 9.5 Berechnen Sie in den Fällen 9.3 und 9.4 die Leistungen, die der **Mensch** auf dem E-Bike vor und nach der Umschaltung aufbringen muss ($m_{\text{ges}} = 100$ kg).

Lösungen: 9.1: 8,2 Nm; 6,7 Nm; 26,2 Nm 9.2: 29,5 V / 25,2 V
 9.3: 20 V / 27,8 V 9.4: 24,5 V; 33,5 V 9.5: 0 W / 68,7 W; 42 W / 82,3 W

Diagramm zur Aufgabe 9.1: Insgesamt notwendiges Drehmoment für ein E-Bike mit $m = 100$ 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.

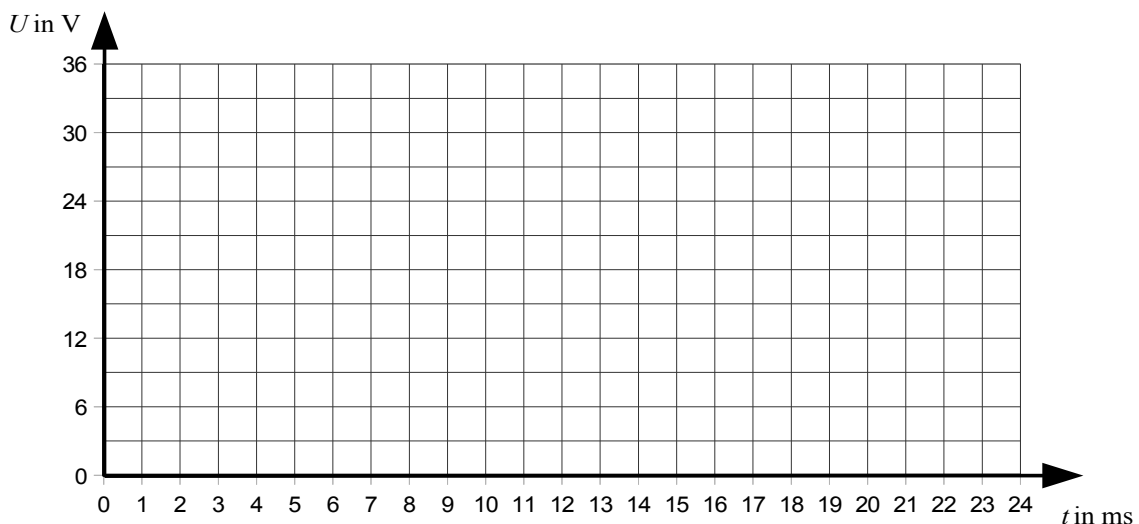


9.6 An der Motorklemme liegt folgendes PWM Signal



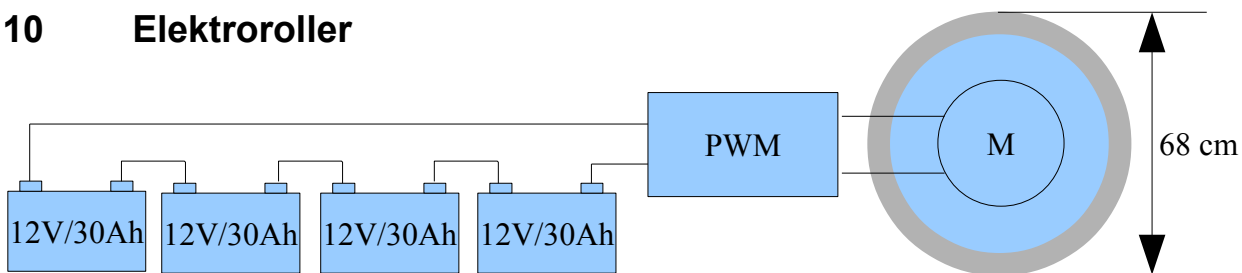
Welche resultierende Spannung liegt am Motor an?

- 9.7 Die Motorspannung beträgt 24 V. Die neue Drehzahl soll 100 U/min sein. Ermitteln Sie die maximale Steigung die mit 50 % Tretunterstützung möglich ist.
- 9.8 Es soll eine Steigung mit 8% und einer Geschwindigkeit von 5 km/h gefahren werden. Die Tretunterstützung soll 50 % betragen. Ermitteln Sie die benötigte Ankerspannung am Motor.
- 9.9 Wie groß muss der Tastgrad gewählt werden, damit die Ankerspannung von 9.8 am Motor anliegt. Zeichnen Sie das PWM Signal ins Diagramm ein (Periodendauer T = 6 ms).



9.10 Berechnen Sie P_{elekt} I_{Anker}

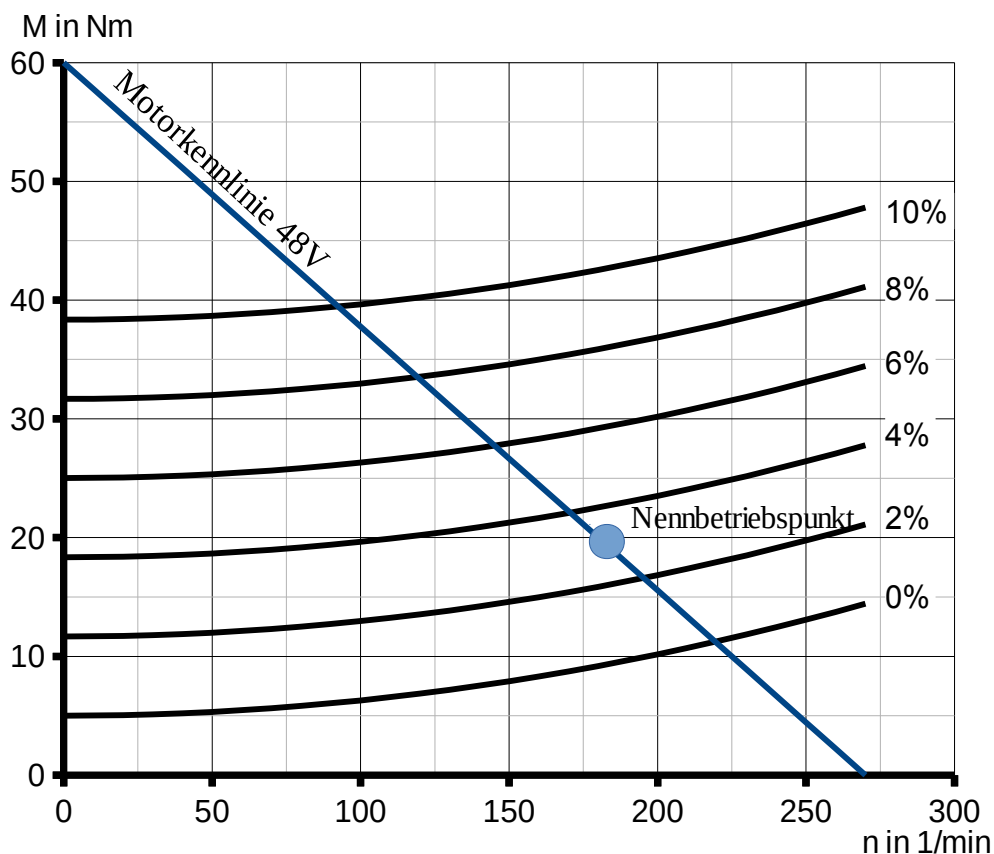
10 Elektroroller



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

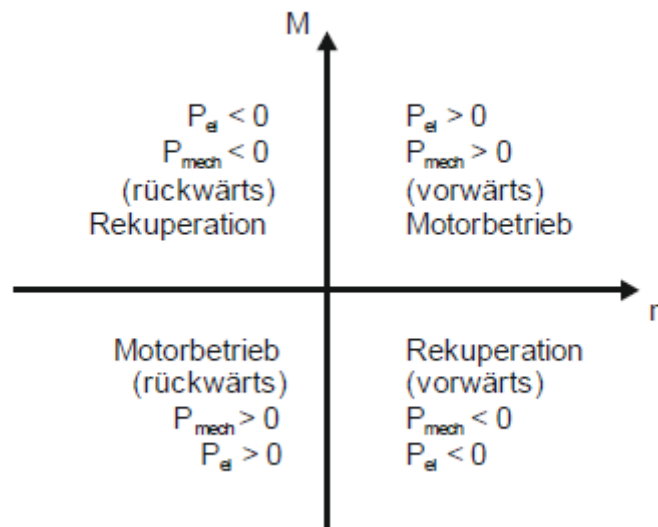
Daten: Motorwirkungsgrad im Nennbetrieb 85%
 Entladewirkungsgrad Akkus 90%
 Masse von Fahrzeug plus Fahrer $m = 150 \text{ kg}$

Motorkennlinie $M(n)$ und Fahrkennlinien bei verschiedenen Steigungen in %



- 10.1 Geben Sie die Leerlaufdrehzahl n_0 und das Anlaufmoment M_A des Motors an.
- 10.2 Zeichnen Sie die Motorkennlinie für eine reduzierte Spannung von 36 V ein.
- 10.3 Tragen Sie an der X-Achse zusätzlich die Fahrzeuggeschwindigkeit in km/h ein.
- 10.4 Berechnen Sie die Geschwindigkeit, die sich bei einer Fahrt in der Ebene bei „Vollgas“ einstellt.
- 10.5 Der Roller wechselt von der Ebene in eine Steigung von 4%. Geben Sie Drehmoment und Geschwindigkeit des neuen Arbeitspunktes an.

- 10.6 Berechnen Sie die mechanische und die elektrische Leistung des Motors im markierten Nennbetriebspunkt.
- 10.7 Berechnen Sie die Verlustleistung im Nennbetrieb und den Ankerwiderstand des Motors.
- 10.8 Um Schäden durch hohe Ströme zu vermeiden wird die Motorspannung beim Anfahren durch PWM abgesenkt. Beschreiben Sie die Funktionsweise einer PWM.
- 10.9 Berechnen Sie den Tastgrad bei dem sich ein Anfahrmoment von 30 Nm einstellt.
- 10.10 Berechnen Sie die Reichweite, wenn der Roller im Nennbetriebspunkt fährt ($P_{\text{Motorelekt}} = 444 \text{ W}$).
- 10.11 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.

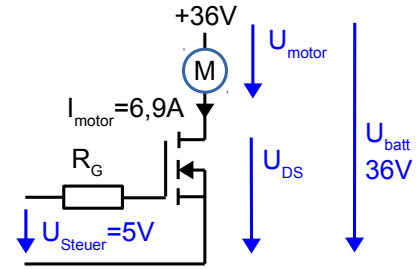


- 10.12 Dabei gehen 20% der Energie für den Luftwiderstand verloren. Berechnen Sie die Energie in kWh, die durch die Rekuperation gewonnen wird.

11 MOSFET in einer E-Bike-Steuerung

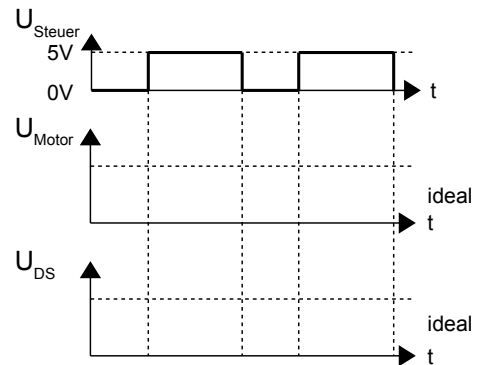
Die Steuergleichspannung beträgt zunächst fest 5V.
 Am Transistor fällt die Spannung $U_{DS} = 0,7V$ ab.

- 2P 11.1 Berechnen Sie den Widerstand R_{DS-ON} und die Verlustleistung des MOSFETs sowie die elektrische Aufnahmeleistung des Motors.
- 1P 11.2 Ermitteln Sie den Wirkungsgrad hat das Gesamtsystem, wenn der Motor 230W mechanische Leistung abgibt?

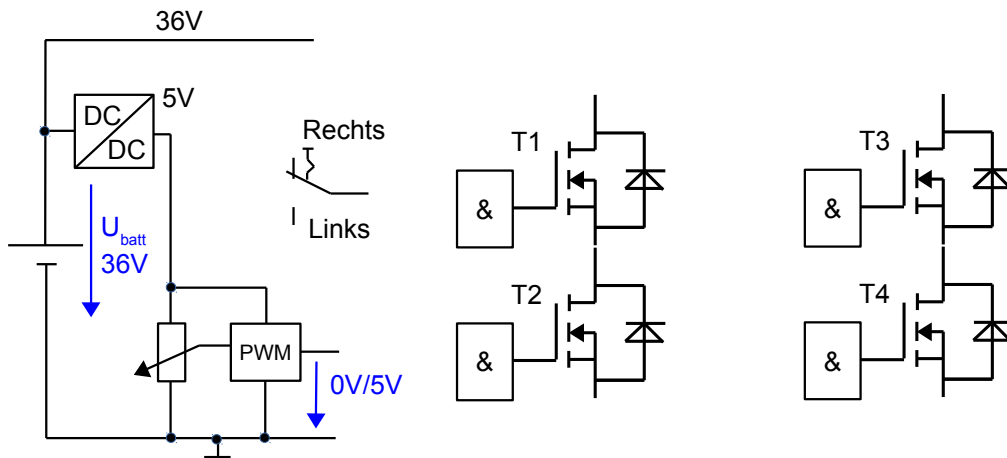


An den Eingang der Schaltung (U_{Steuer}) wird das abgebildete PWM-Signal angelegt.

- 2,5P 11.3 Erklären Sie das Prinzip einer PWM-Steuerung. Warum steuert man Motoren mit PWM-Signalen?
- 1,5P 11.4 Bestimmen Sie den Tastgrad des PWM-Signals U_{Steuer} .
- 1,5P 11.5 Zeichnen Sie die idealen Spannungsverläufe von U_{Motor} und U_{DS} unter Angabe der Spannungen in die Diagramme ein.
- 1,5P 11.6 Berechnen Sie die elektrische Leistung des Motor.



12 Transistorbrückenschaltung

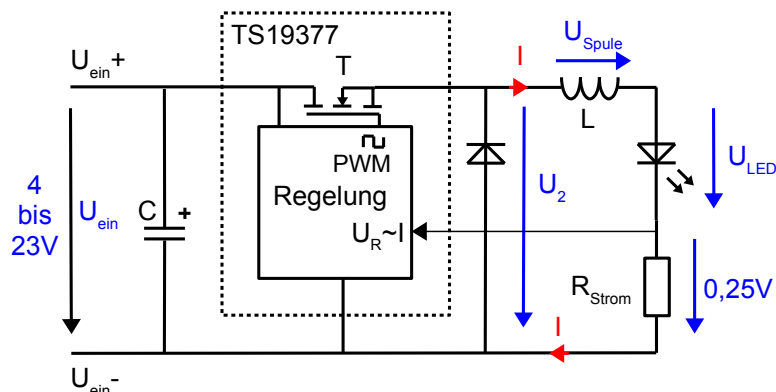


Eine 36V-Batterie ist die Spannungsversorgung. Ein DC/DC-Converter erzeugt daraus 5V für die Logik und den PWM-Generator. Am Poti (Gashebel) kann man den Tastgrad des PWM-Signals ändern. Für den Drehrichtungs-Schalter gilt die Zuordnung Rechts = 0.

- 4P 12.1 Schließen Sie einen 36V-Motor an die Brückenschaltung an und ergänzen Sie alle fehlenden Leitungen sowie notwendige Invertierungen. In der Stellung "Rechts" soll der Strom von rechts nach links durch den Motor fließen. Markieren Sie farbig den Motorstromkreis (Batterie -> Motor) für Rechtsdrehung.

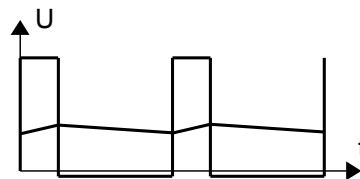
13 Tiefsetzsteller für energiesparende LED-Beleuchtung

Ein Tiefsetzsteller-IC mit integriertem Transistor T erlaubt den Betrieb von Hochleistungs-LEDs an Gleichspannungen zwischen 4V und 23V.



Ein PWM-Signal schaltet den Transistor. Die Regelung stellt den Tastgrad so ein, dass die Spannung am Widerstand R_{Strom} im Mittel 0,25V beträgt. Wenn man einen Widerstand von $0,25\Omega$ einsetzt, wird auf diese Weise der Strom durch die LED auf $I = 0,25V / 0,25\Omega = 1A$ ungefähr konstant gehalten. Der Verbraucher (= Last) ist die LED.

- 0,5P 13.1 Geben Sie den Laststromkreis an, wenn der Transistor durchgeschaltet ist.
- 3P 13.2 Geben Sie an, durch welche Bauteile der Laststrom fließt, wenn der Transistor sperrt. Welche Aufgaben haben dabei die Diode und die Spule?
- 3P 13.3 Erklären Sie nun, welche elektrischen Größen im rechten Diagramm zu sehen sind.
- 2,5P 13.4 Zeichnen Sie die noch fehlenden Spannungen dazu. Insgesamt soll man U_{ein} , U_{Spule} , U_{LED} , U_2 sehen.
- 6P 13.5 Man versucht, Spulen so klein wie möglich aufzubauen, weil sie dann billig und klein sind. Markieren Sie die Aussagen mit richtig (r) und falsch (f).
- 1) Je kleiner die Induktivität L einer Spule ist, desto flacher ist der Stromverlauf in der Spule.
 - 2) Wenn man die Frequenz des PWM-Signals erhöht, schwanken I und U_{LED} .
 - 3) An Spulen kann sich der Stromfluss sprunghaft ändern.
 - 4) Spulen speichern Energie durch fließenden Strom.
 - 5) Je schneller sich der Stromfluss in der Spule ändert, desto größer ist die induzierte Spannung an der Spule.
 - 6) Je weniger Windungen eine Spule hat, desto größer ist der Leitungswiderstand R .



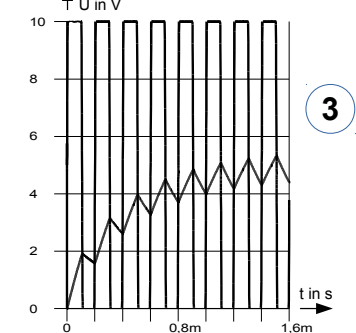
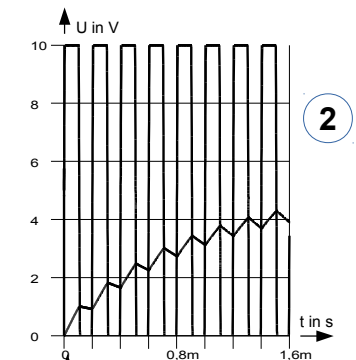
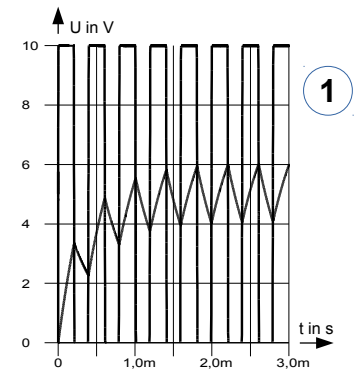
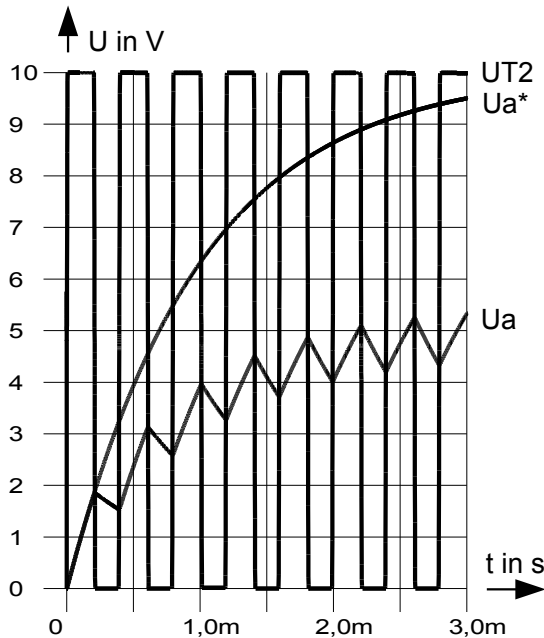
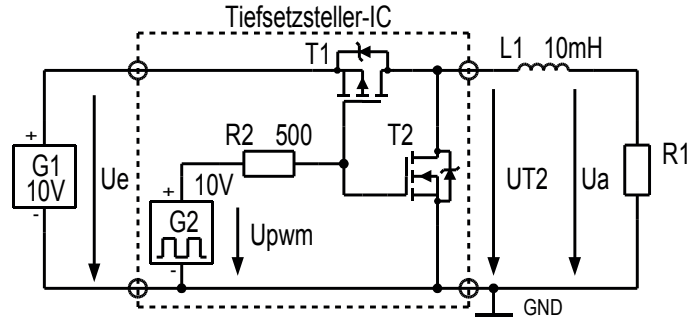
14 Tiefsetzsteller

Die Abbildung zeigt eine Schaltung mit Tiefsetzsteller-IC: Die Transistoren **T1** und **T2** sind **abwechselnd leitend** und werden von einem PWM-Signal angesteuert. R1 ist der Lastwiderstand (z.B. statt einer LED oder einem Motor). T2 ersetzt die oft übliche Diode im Tiefsetzsteller.

- 2P 14.1 Geben Sie an, durch welche Bauteile der Laststrom fließt
 a) wenn T1 leitet
 b) wenn T1 sperrt

- 2P 14.2 Erklären Sie die Aufgabe der Spule L1.

In den Oszillogrammen sind die Spannungsverläufe von UT2 und Ua abgebildet. Ua* zeigt den Verlauf, wenn T1 eingeschaltet bleibt.



- 3P 14.3 Berechnen Sie R1, wenn L1 = 10 mH beträgt.
 Anleitung: Beachten Sie die Zeitkonstante und die Formeln der Spule in der Formelsammlung.

Bei der Aufnahme der 3 kleinen Oszillogramme wurden Werte in der Schaltung verändert.

- 4P 14.4 Erklären Sie, welche Veränderungen in der Schaltung bei den Oszillogrammen 1 bis 3 gegenüber dem großen Oszillogramm vorgenommen wurden.

- 2P 14.5 Skizzieren Sie die Spannungsverläufe von UT2 und Ua im eingeschwungenen Zustand, wenn der Transistor T1 1/4 der Zeit eingeschaltet und 3/4 der Zeit ausgeschaltet wird.

15 Motorsteuerung in Biogasanlage

Funktionsweise einer Biogasanlage

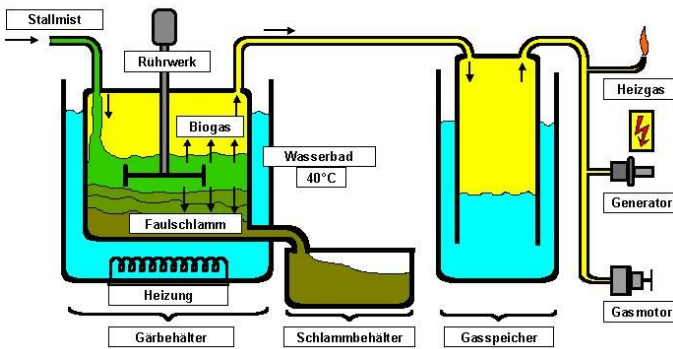


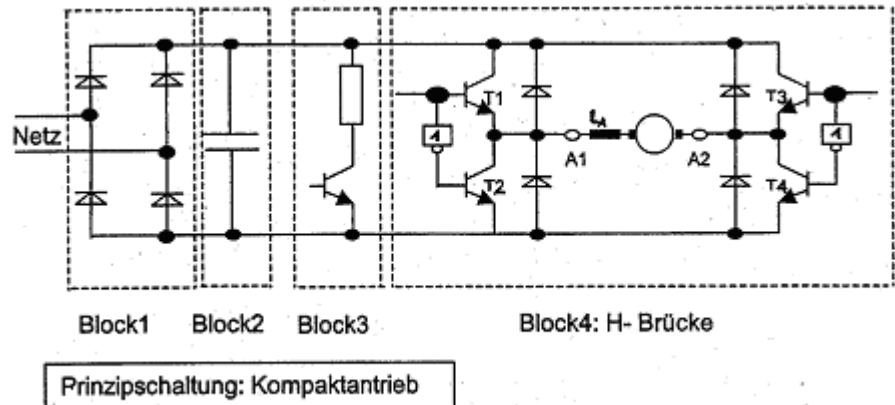
Abbildung 1: DC-Motor 110V/56A

H-Brücke, Tiefsetzsteller und Drehzahlregelung eines DC-Motors

Das Rührwerk wird mit einem permanenterregten Gleichstrommotor betrieben. Die Bemessungsspannung ist 110V. Der Motor wird an der Steckdose mit 230V AC angeschlossen.

- 1P 15.1 Nennen Sie 2 Gründe, warum dieser Motor nicht direkt an die Steckdose angeschlossen werden kann.

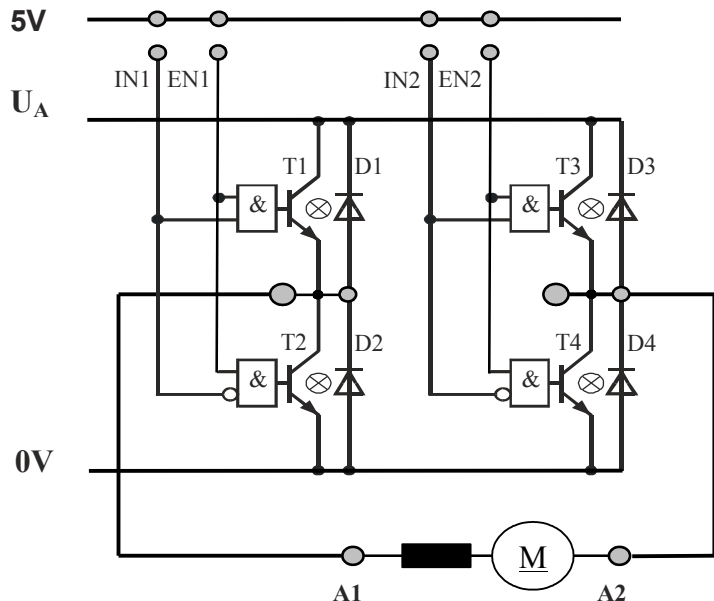
Die Drehrichtung und die Drehzahlsteuerung erfolgt über einen PWM-Geber und H-Brücke nach nebenstehender Schaltung



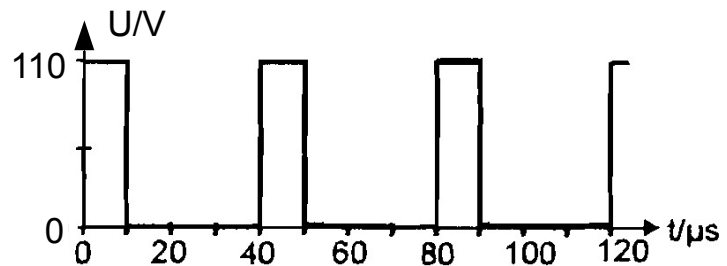
- 3P 15.2 **Benennen** Sie die Blöcke 1 bis 3 und erläutern Sie deren Aufgaben.

- 2P 15.3 Das Rührwerk wird im Rechts- und Linkslauf betrieben. Rechtslauf: Strom fließt von A1 nach A2. Mit welchen binären Signalen müssen die Moduleingänge IN1, IN2, EN1, EN2 der H-Brücke belegt werden, damit sich die Antriebswelle des Gleichstrommotors rechts bzw. links dreht? (siehe folgende Abbildung)

- 2P 15.4 Zeichnen Sie in die nebenstehende Darstellung den Weg des Motorstroms in der Schaltung im Linkslauf ein.



Der Gleichstrommotor wird vom H-Brückenmodul mit dem abgebildeten Spannungssignal U angesteuert



- 2P 15.5 Berechnen Sie den Tastgrad g und den Mittelwert der Motorspannung
- 1P 15.6 Begründen Sie die Notwendigkeit der invertierten H-Brückentransistoren in einem Schaltungszweig.
- 2P 15.7 Zeichnen Sie den prinzipiellen Stromverlauf im Motor in das obere Diagramm ein. Begründen Sie den eingezeichneten Stromverlauf.
- 1P 15.8 Berechnen Sie die Schaltfrequenz f der Motorspannung
- 1P 15.9 Aus welchem Grund wird ein Motor mit diesen hohen Frequenzen betrieben?
- 2P 15.10 Eine weitere Möglichkeit zur Drehzahlsteuerung ist der Einsatz eines einstellbaren Vorwiderstandes. Stellen Sie die Möglichkeiten Vorwiderstand und PWM-Steuerung einander gegenüber.

Vertiefung: Ist das Rührwerk nicht in Betrieb, soll an der Welle des Motors durch die PWM ein Haltemoment erzeugt werden, d.h. der Motor dreht sich nicht, kann aber auch durch äußere Einflüsse nicht gedreht werden, wie dies im Leerlauf möglich wäre. Zur Erzeugung des Haltemomentes muss der Motor permanent sehr schnell von Links- in Rechtslauf wechseln.

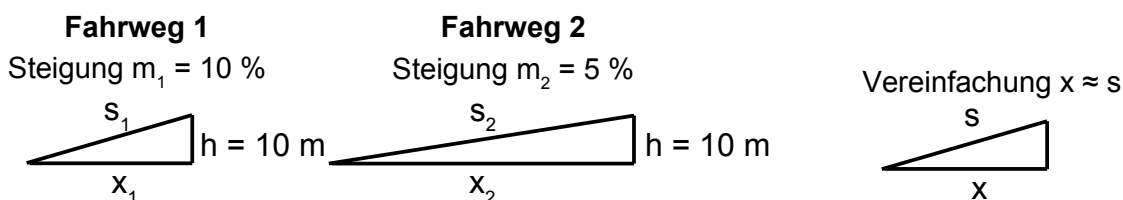
- 3P 15.11 Wie müssen die Eingänge IN1 und IN2 beschaltet werden, um das Haltemoment zu erzeugen?
- 2P 15.12 Zeichnen Sie das Spannungs-Zeit-Diagramm am Motor für den Fall des Haltemomentes.
- 2P 15.13 Skizzieren Sie die typische Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des permanentenerregten Gleichstrommotors. Zeichnen Sie die Betriebspunkte Anlauf und Leerlauf ein.

16 Selbstfahrendes Transportsystem (NP 14/15)

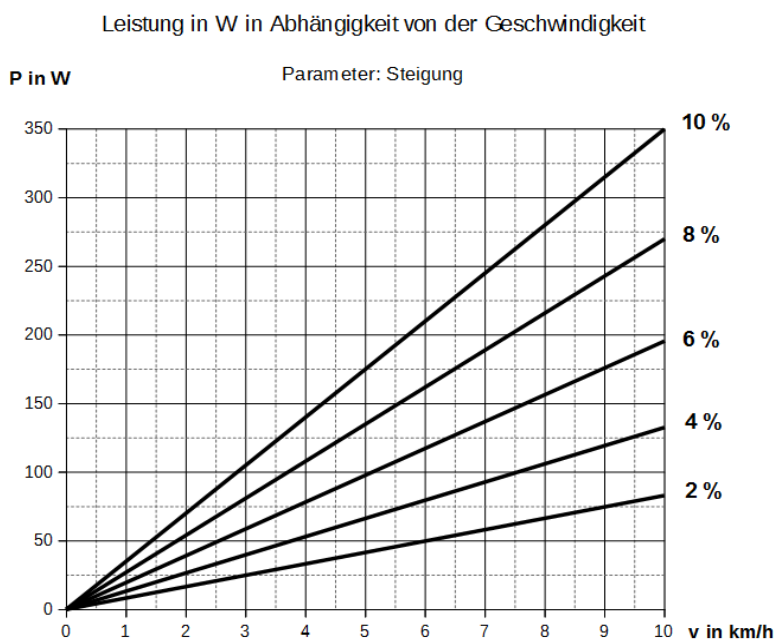
Um zwei Produktionsanlagen miteinander zu verbinden soll ein selbstfahrendes Transportsystem für kleine Lasten eingesetzt werden. Dieses Fahrzeug wird elektrisch betrieben und von einem Akkumulator mit Energie versorgt.

Akkuspannung	U_{Akku}	= 12 V
Akkuenergieinhalt	W_{akku}	= 120 Wh
Maximaler Ladestrom	I_{Lmax}	= 5 A
Leistungsaufnahme Steuerung	$P_{\text{Steuerung}}$	= 15 W

Das Fahrzeug soll eine Last von $m_L = 50 \text{ kg}$ über einen Höhenunterschied von $h = 10 \text{ m}$ aufwärts transportieren. Dafür stehen zwei verschiedene Fahrwege zur Verfügung, die im Folgenden untersucht werden.



- 16.1 Ermitteln Sie die Länge der Strecken s_1 und s_2 . 1
- 16.2 Das Transportsystem soll sich mit einer Geschwindigkeit von $v = 5 \text{ km/h}$ in beide Richtungen bewegen. Für das Beladen wird eine Zeit von $t_B = 5 \text{ s}$, für das Entladen eine Zeit von $t_E = 4 \text{ s}$ angenommen. Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge sind zu vernachlässigen. Bestimmen Sie für beide Fahrwege die Zeit für einen kompletten Transportzyklus t_{Weg1} und t_{Weg2} , bestehend aus Beladen, Hinfahrt, Entladen und Rückfahrt. 2
- 16.3 Ermitteln Sie mit Hilfe des untenstehenden Diagramms, welche Leistung der Motor jeweils aufbringen muss. 1



Für einen Transportzyklus bei Fahrweg 1 muss eine Energie von 4,14 Wh aufgewendet werden. Mit einer Akkuladung sind dann 29 Fahrten möglich.

Fahrweg 2:

Gesamtfahrdauer: $t_{Weg2} = 297$ s

ein Fahrweg: $t_{Fahrdauer2} = 144$ s

$P_{Antrieb2} = 80$ W

- | | | |
|------|--|---|
| 16.4 | Ermitteln Sie wie, viele Zyklen mit einer Akkuladung auf Fahrweg 2 gemacht werden können.
Gehen sie dabei davon aus, dass die Steuerung permanent Leistung benötigt und für den Antrieb bei der Fahrt nach unten keine Energie aus dem Akku entnommen wird. | 3 |
| 16.5 | Berechnen Sie die Anzahl der möglichen Fahrten beider Varianten, wenn bei der Rückfahrt max. 70% der Energie der Hinfahrt zurückgespeist werden kann.
Beachten Sie dabei, dass der maximale Ladestrom des Akkus nicht überschritten werden darf. Überschüssige Energie wird in Wärme umgewandelt. Die reine Fahrdauer pro Strecke beträgt 72 s bei Fahrweg 1 und 144 s bei Fahrweg 2. (Hinweis: $P_{Antrieb1} = 175$ W) | 6 |
| 16.6 | Schätzen Sie die Wirkungsgrade beider Fahrwege mit Hilfe der aufgewandten potentiellen Energie ab. | 2 |
| 16.7 | Diskutieren Sie die wichtigsten Vor- und Nachteile der beiden Varianten. | 2 |