

**Gruppe1:** Bamou Kaldja, Guy Patric ; Chen, Yong ; Geng, Shu ; Kang, Taifei

Jin, Wenbo.

## 1. Übungsaufgabe

### Teil A: Modellierung und Auslegung

- a. Um die Motorbetriebspunkte zu bestimmen, verwenden wir die folgende Fahrwiderstandsgleichung:

$$\sum F = 0 \rightarrow F_{mot, ges} - F_{Luftwi} - F_{Rollwi} - F_{Steigwi} - F_{Beschlwi} = 0$$

$$\frac{M_{mot, ges}}{r} - \frac{\rho}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot v^2 - m \cdot g \cdot \mu \cdot \cos \alpha - m \cdot g \cdot \sin \alpha - m \cdot a \cdot e_i = 0 \quad (1)$$

**Die erste Fahrsituation:**  $\tan \alpha = 0.05$ ;  $v = 12 \text{ km/h} = \frac{10}{3} \text{ m/s}$ ;  $a = 0$

Einsetzen in der Gleichung (1) mit den gegebenen Parameter, gilt es

$$M_{mot, ges} = 1,15 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$n_{mot} = \frac{v}{2\pi r} = \frac{10/3}{2\pi \times 0,06} = 530,516 \text{ U/min}$$

Das Antriebsmoment für jedes Motor ist:

$$M_{mot, je} = M_{mot, ges} / 4 = 1,15 / 4 = 0,288 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Der Fahrwiderstand für jeweiliges Rad ist:

$$F_{widerstand, je} = \frac{M_{mot, je}}{r} = \frac{0,288}{0,06} = 4,8 \text{ N}$$

Die Raddrehzahl ist gleich wie die Motordrehzahl, deshalb ergibt sich:

$$n_{rad} = 530,516 \text{ U/min}$$

**Die zweite Fahrsituation:**  $a = 0$ ;  $\alpha = 0,2 \text{ g}$ ;  $v = \text{von } 0 \text{ bis } 6 \text{ km/h}$

Durch eine konstante Beschleunigung steigt die Geschwindigkeit von 0 bis 6 km/h linear an.  $v = at = 1,962t \text{ (m/s)}$ . Es hängt von Zeit ab.

Wenn die Geschwindigkeit 6 km/h erreicht, ergibt sich die Zeit :

$$t = \frac{v}{a} = \frac{6/3,6}{1,962} = 0,85 \text{ s}$$

## Fahrzeugmechanik I

Der Luftwiderstand ist:

$$F_{\text{Luftwi}} = \frac{\rho}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot v^2 = \frac{1,2}{2} \times 0,8 \times 0,3 \times (1,962 t)^2 = 0,554 t^2 (N)$$

Der Rollwiderstand ist:

$$F_{\text{Rollwi}} = m \cdot g \cdot \mu = 7,848 N$$

Wegen der fehlenden Steigung beträgt der Steigwiderstand 0.

Der Beschleunigungswiderstand ist:

$$F_{\text{Beschlwi}} = m \cdot a \cdot e_i = 20 \times 1,962 \times 1,01 = 39,632 N$$

Die gesamte Fahrwiderstand ist:

$$\begin{aligned} F_{\text{mot, ges}} &= F_{\text{Luftwi}} - F_{\text{Rollwi}} - F_{\text{Steigwi}} - F_{\text{Beschlwi}} \\ &= 0,554 t^2 + 7,848 + 39,632 = 0,554 t^2 + 47,48 \quad (N) \end{aligned}$$

Das gesamte Antriebsmoment ist:

$$M_{\text{mot, ges}} = F_{\text{mot, ges}} \cdot r = 0,06 \times (0,554 t^2 + 47,48) = 0,03324 t^2 + 2,8488 \quad N \cdot m$$

Das Maximum des gesamten Antriebsmoments ist:

$$M_{\text{mot, ges}}_{\text{max}} = 0,03324 \times 0,85^2 + 2,8488 = 2,873 N \cdot m$$

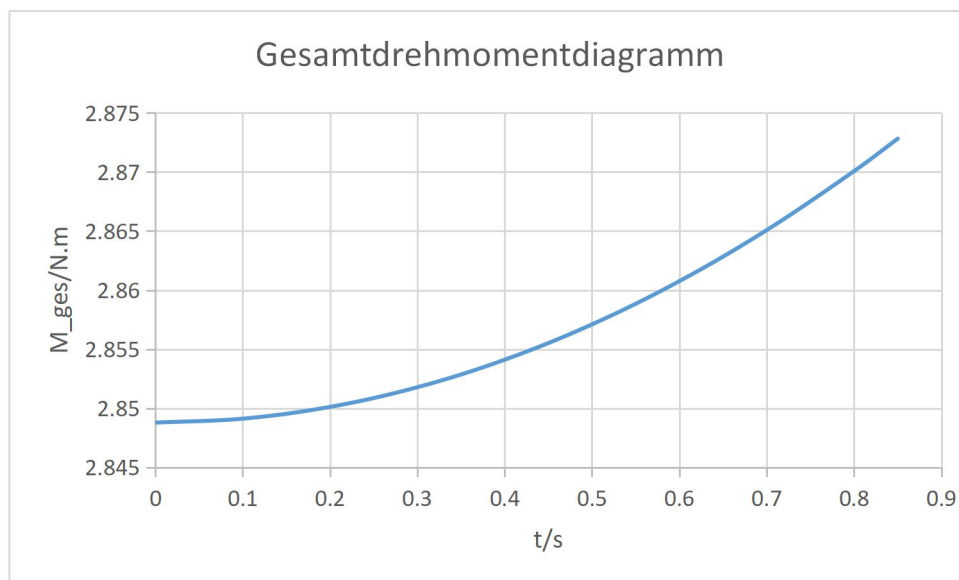


Abbildung 1

Das Drehzahl des Motors ist:

$$n = \frac{v}{2\pi r} = 312,262 t \quad \text{U/min}$$

## Fahrzeugmechanik I

Das Maximum der Drehzahl ist:

$$n_{\max} = \frac{6/3,6}{2\pi \times 0,06} = 265,258 \text{ U/min}$$

Die Diagramm von Drehzahl folgt:

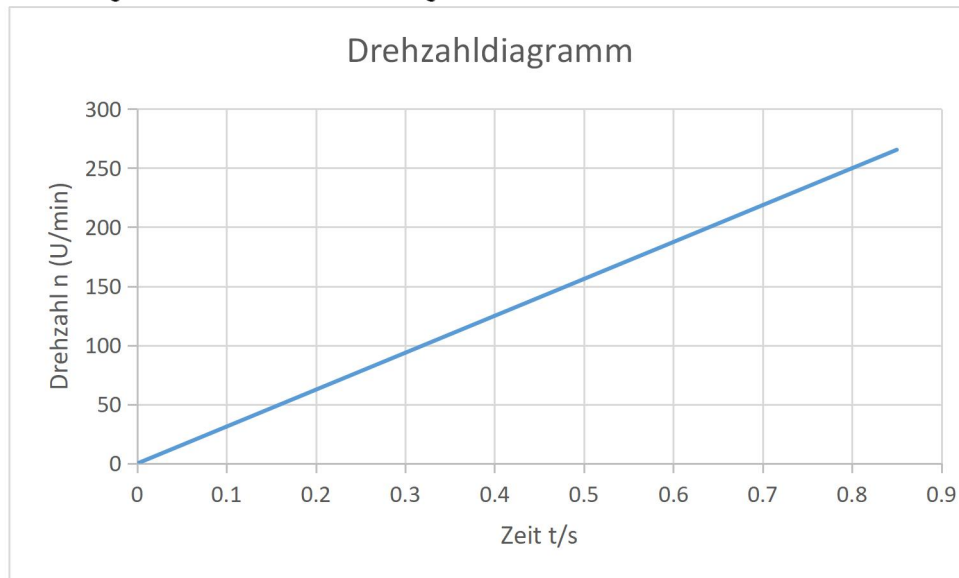


Abbildung 2

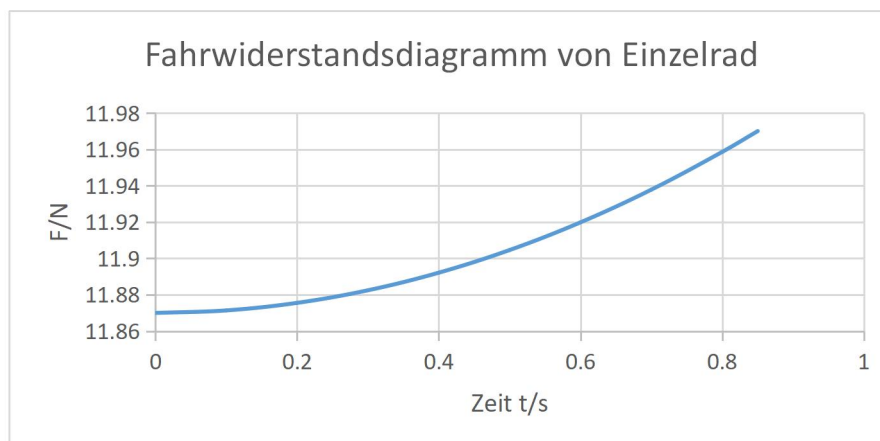
Der Fahrwiderstand für jeweiliges Rad ist:

$$F_{\text{widerstand\_je}} = F_{\text{mot, ges}} / 4 = 0.1385t^2 + 11.87 \text{ N}$$

Das Maximum des jeweiligen Fahrwiderstands ist:

$$F_{\text{widerstand\_je\_max}} = 0.1385 \times 0.85^2 + 11.87 = 11.97 \text{ N}$$

Die Diagramm von jeweiligen Fahrwiderstand folgt:



## Fahrzeugmechanik I

Abbildung 3

Das jeweilige Antriebsmoment ist:

$$M_{\text{rad}} = M_{\text{mot, ges}} / 4 = 0.00831t^2 + 0.7122 \quad N \cdot m$$

Das Maximum des jeweiligen Antriebsmoments ist:

$$M_{\text{rad, max}} = M_{\text{mot, ges, max}} / 4 = 0.7183 \quad N \cdot m$$

Die Diagramm des jeweiligen Antriebsmoments folgt:

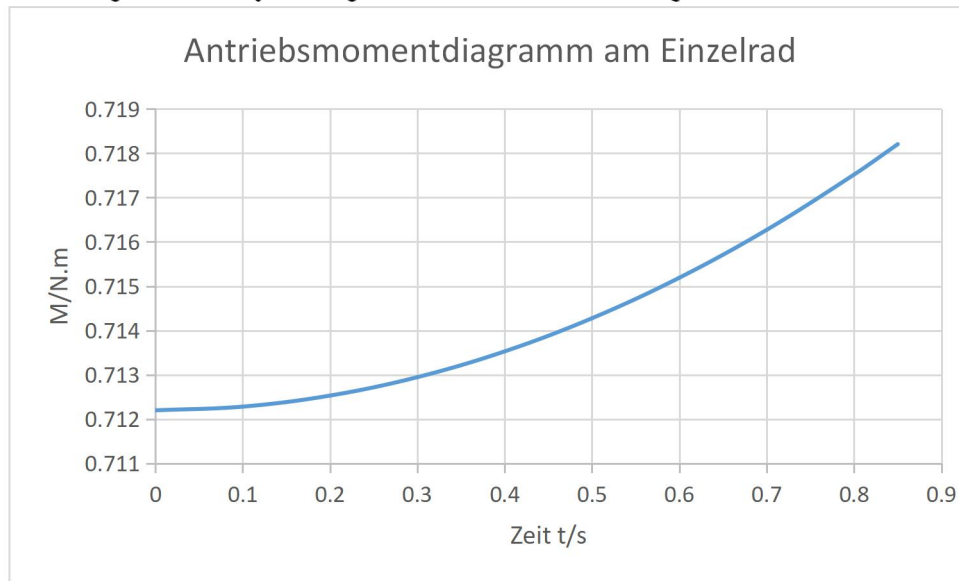
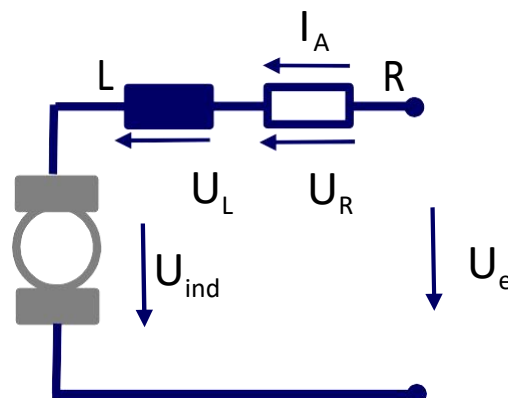


Abbildung 4

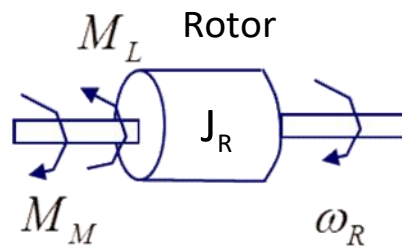
Die Raddrehzahl ist genauso wie Motordrehzahl.(wie die Abbildung 2 zeigt)

b. Das Ersatzschaltbild des permanenterregten Gleichstrommotors folgt :



Dazugehörige Differentialgleichung ist:

$$U_e - U_R - U_L - U_{\text{ind}} = 0 \longrightarrow U_e = I_A \cdot R + L \cdot \frac{dI_A}{dt} + k_m \cdot \omega \quad (2)$$



Dazugehörige Differentialgleichung ist:

$$J_R \cdot \frac{d\omega_R}{dt} = M_m - M_L = k_m \cdot I_A - M_L$$

**c. Ohne Verlust:**

$I_A$  ist konstant, deswegen ist die Ableitung des Stroms gleich null, so gilt:

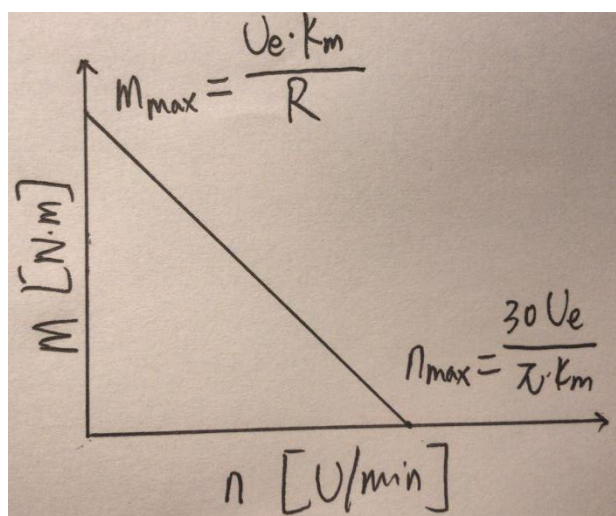
$$L \cdot \frac{dI_A}{dt} = 0$$

Da die geschwindigkeitsabhängige Reibung im motor vernachlässigt wird, ist das innere Drehmoment gleich Außengrunddrehmoment:

Mit der Gleichung ② erhalten wir:

$$M_R = M_M = k_m \cdot I = k_m \cdot \frac{U_e - k_m \cdot \frac{2 \cdot \pi n}{60}}{R} = \frac{U_e \cdot k_m}{R} - \frac{k_m^2}{R} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n \quad \text{③}$$

Die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie folgt:

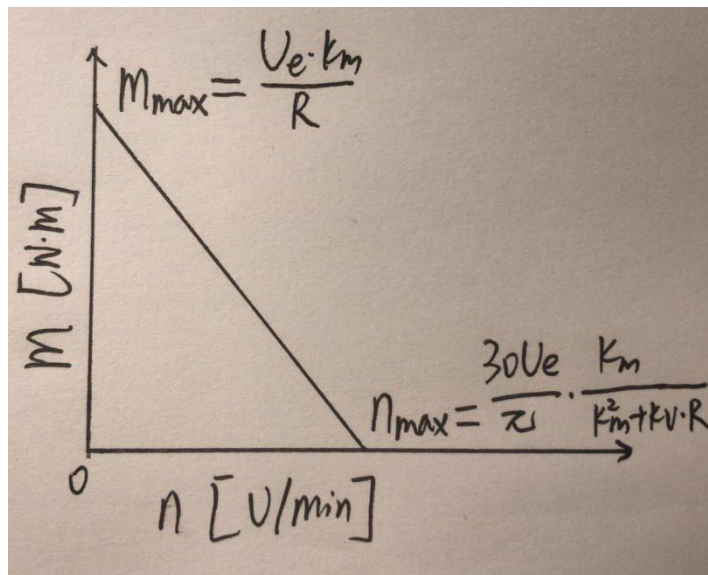


**Mit Verlust:**

## Fahrzeugmechanik I

$$M_R = M_m - M_v = k_m \cdot I_A - k_v \cdot \omega = k_m \cdot \frac{U_e - k_m \cdot \frac{2\pi n}{60}}{R} - \frac{\pi \cdot k_v}{30} n = \frac{U_e \cdot k_m}{R} - \frac{\pi}{30} \left( \frac{k_m^2}{R} + k_v \right) \cdot n$$

Die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie folgt:



- d. Um die Mindestspannung der Batterie zu bestimmen, sollten wir die beiden Fahrsituationen analysieren.

Für die erste Fahrsituation gilt es:  $n = 535,516 \text{ U/min}$ ,  $M_{\text{mot}} = 0,288 \text{ N·m}$

Einsetzen in der Gleichung ③ erhalten wir:

$$U_{e\_min} = 20,008 \text{ V}$$

Für die zweite Fahrsituation gilt es:  $n_{\max} = 265,258 \text{ U/min}$ ,  $M_{\text{mot\_max}} = 0,7183 \text{ N·m}$

Einsetzen in der Gleichung ③ erhalten wir:

$$U_{e\_min} = 38,693 \text{ V}$$

$$U_B = 38,693 \text{ V}$$

Deshalb wählen wir die Versorgungsspannung  $U_A$  von 48V aus.

- e. Das Anlaufmoment ist :

## Fahrzeugmechanik I

$$M_{an} = \frac{k_m \cdot U_B}{R} = 0,774 N \cdot m$$

Beim idealisierten Leerlauf gilt es:

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_M = K_M \cdot I = k_m \cdot \frac{U_e - k_m \cdot \frac{2 \cdot \pi n}{60}}{R} = \frac{U_e \cdot K_m}{R} - \frac{k_m^2}{R} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n = 0$$

Damit  $U_e = 38,693 V$ , dann gilt :

$$n_{leef\_ideal} = 3694,91 U / \min$$

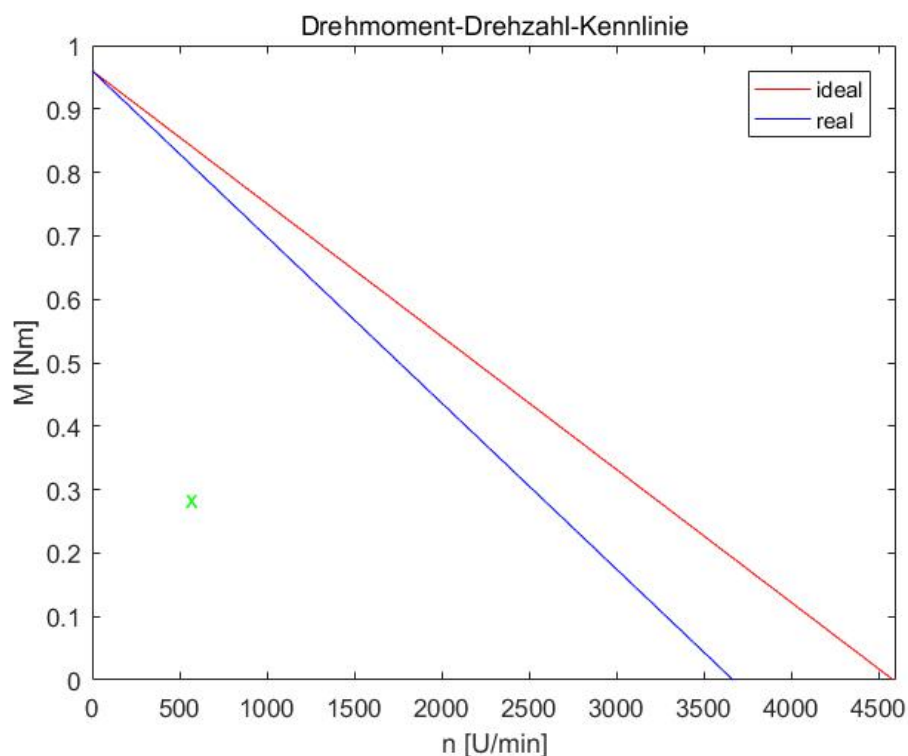
Beim realen Leerlauf gilt es:

$$J \cdot \frac{dw}{dt} = M_m - M_v = k_m \cdot I_A - k_v \cdot \omega = k_m \cdot \frac{U_e - k_m \cdot \frac{2\pi n}{60}}{R} - \frac{\pi \cdot k_v}{30} n = \frac{U_e \cdot k_m}{R} - \frac{\pi}{30} \left( \frac{k_m^2}{R} + k_v \right) \cdot n = 0$$

Damit  $U_e = 38,693 V$ , dann gilt :

$$n_{leef\_real} = 2955,927 U / \min$$

f.  $U_e = 48 V$



## Fahrzeugmechanik I

Dieses Diagramm zeigt die reale(blue) und die idealisierte(rot) Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie, und das grüne Kreuz kennzeichnet den Motorbetriebspunkt der Fahrsituation 1.

Wie die Abbildungen 2 und 4 zeigen, verändern sich die Drehzahl und das Drehmoment von Fahrsituation 2 kontinuierlich im Zeitlauf. Das bedeutet, dass das Strom nicht konstant sein könnte und sich auch kontinuierlich im Zeitlauf verändert. Deshalb ist die Voraussetzung ( $I = \text{konst}$ ) der Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie nicht erfüllt. In diesem Diagramm kann das Motorbetriebspunkt analysiert werden, nur wenn die Geschwindigkeit 6km/h erreicht.

### **Teil B: Modellierung und Simulation**

a. Drallsatz für den elektrischen Einzelradantrieb:

$$J_R \cdot \frac{d\omega_R}{dt} = M_m - M_L - M_V = k_m \cdot I_A - k_V \cdot \omega - M_L$$

$$\text{Damit: } \omega = \frac{v}{r}$$

$$M_L = \frac{F_{\text{luftrwi}} + F_{\text{rollwi}} + F_{\text{steigwi}}}{4} \cdot r$$

$$F_{\text{luftrwi}} = \frac{\rho}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$$

$$F_{\text{rollwi}} = m \cdot g \cdot \mu \cdot \cos \alpha$$

$$F_{\text{steigwi}} = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Maschengleichung für den elektrischen Einzelradantrieb:

$$U_e - U_R - U_L - U_{\text{ind}} = 0 \longrightarrow U_e = I_A \cdot R + L \cdot \frac{dI_A}{dt} + k_m \cdot \omega$$

### **b. Lastfall 1:**

Wie die Abbildung 5 zeigt, wurde das Fahrzeugmodell, welches das Lastmoment wiedergibt, in Simulink modelliert.

In diesem Modell wurde die Winkelgeschwindigkeit als Eingang festgelegt und das gesamte sowie eigene Lastmoment als Ausgänge festgelegt.



## Fahrzeugmechanik I

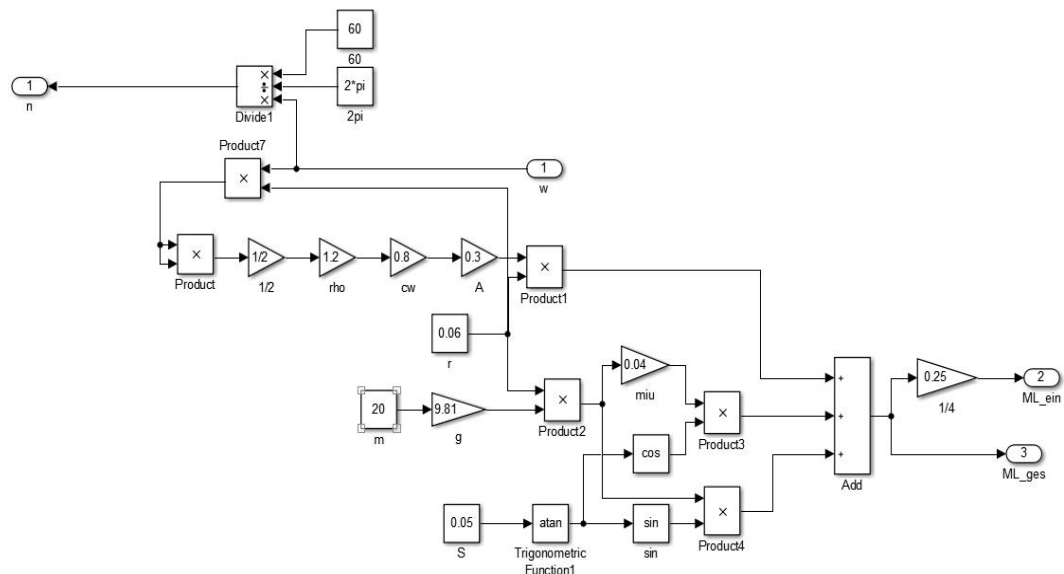


Abbildung 5: Lastfall1\_Fahrzeugmodell

Die Abbildung 6 ist Motormodell .Die Winkelgeschwindigkeit und das eigene Lastmoment wurden als Eingänge festgelegt. Die Eingangsspannung ,das Strom und das Antriebsmoment wurden als Ausgänge festgelegt.

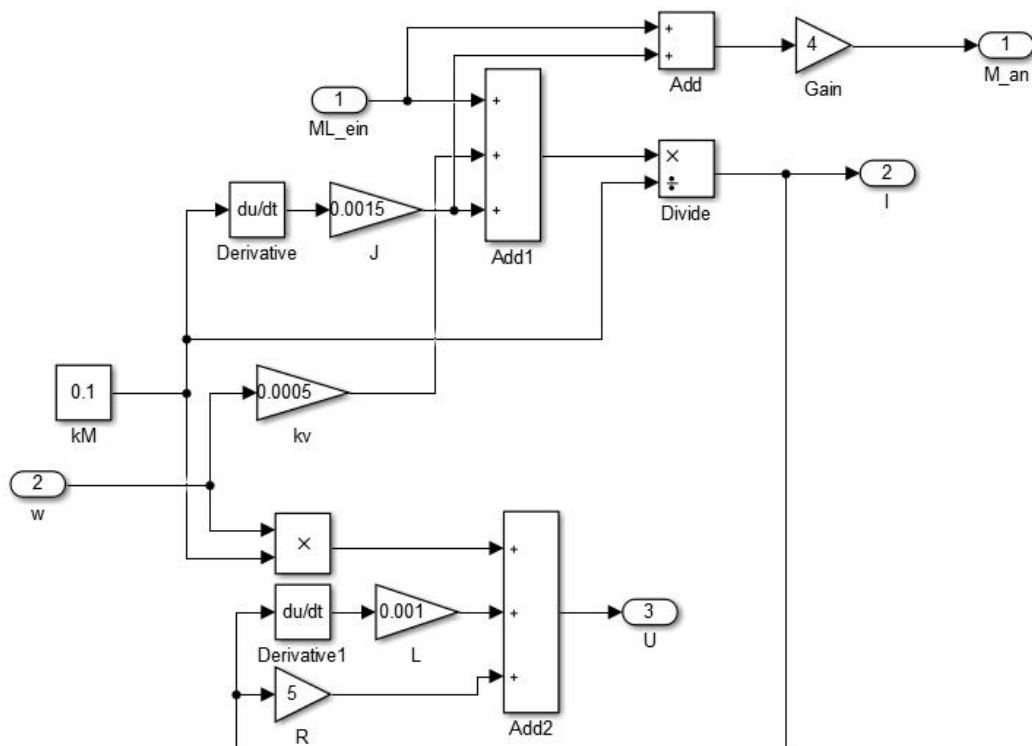


Abbildung 6: Lastfall1\_Motormodell

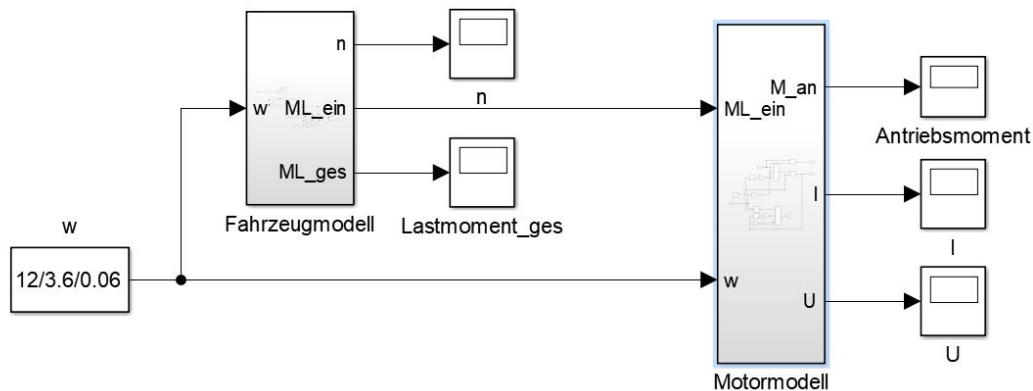


Abbildung 7: Lastfall1\_Gesamt

## Lastfall 2:

Wie die Abbildung 8 zeigt, wurde das Fahrzeugmodell, welches das Lastmoment wiedergibt, in Simulink modelliert.

In diesem Modell wurde die Winkelgeschwindigkeit als Eingang festgelegt. Das gesamte und eigene Lastmoment sowie die Geschwindigkeit wurden als Ausgänge festgelegt.

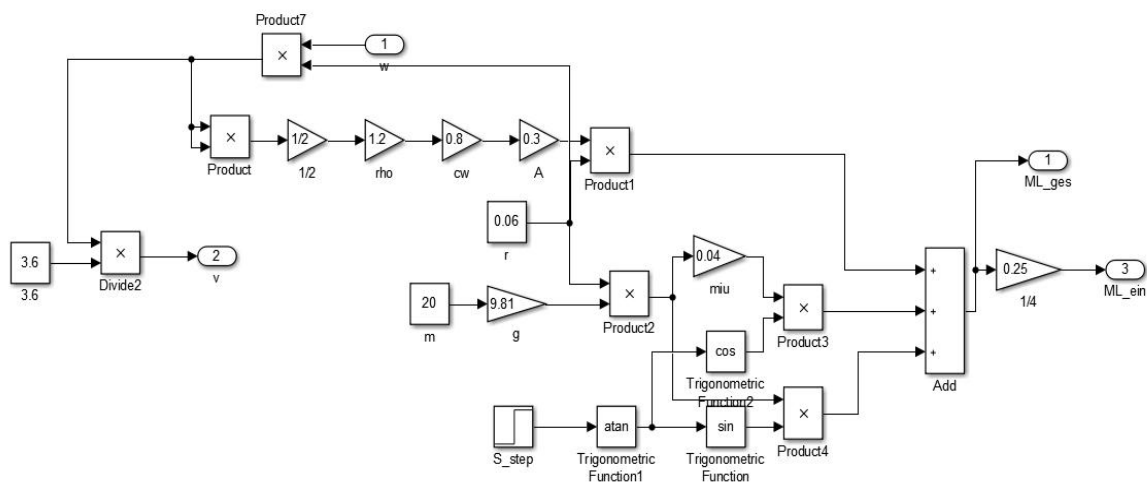


Abbildung 8: Lastfall 2 Fahrzeugmodell

## Fahrzeugmechanik I

Die Abbildung 9 ist Motormodell .Die Eingangsspannung und das eigene Lastmoment wurden als Eingänge festgelegt. Die Winkelgeschwindigkeit, die Raddrehzahl, das Strom und das gesamte Antriebsmoment wurden als Ausgänge festgelegt.

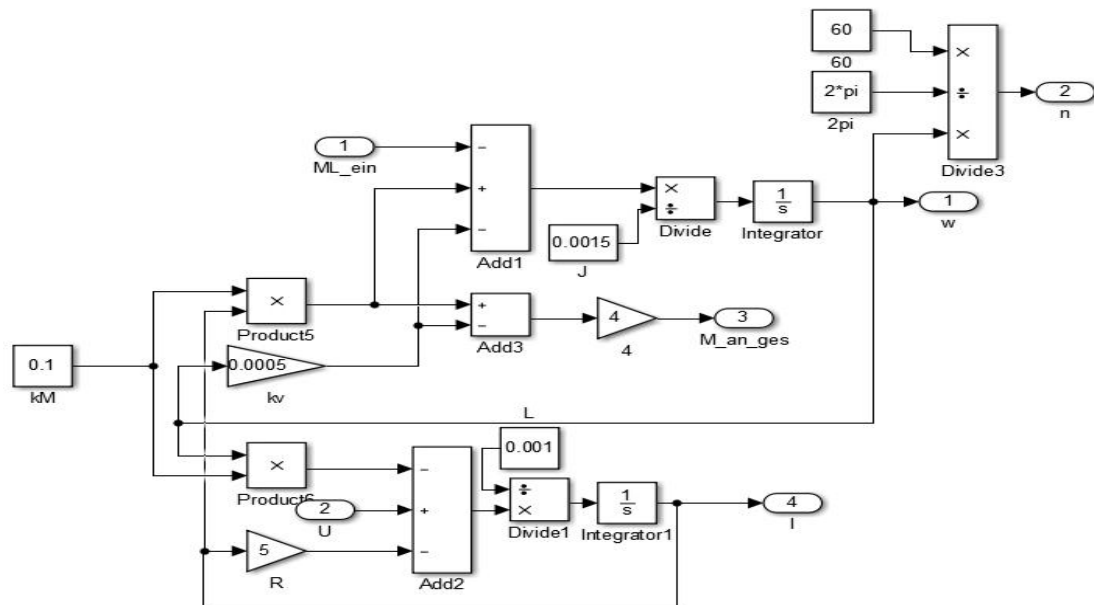


Abbildung 9: Lastfall 2\_Motormodell

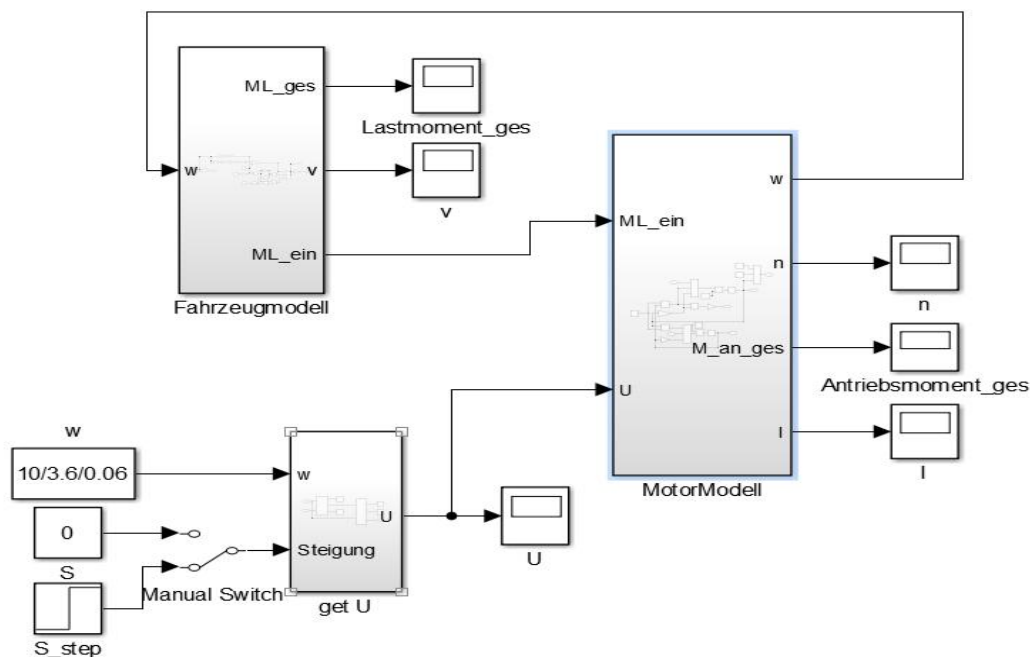


Abbildung 10: Lastfall 2\_Gesamt

## Fahrzeugmechatronik I

### c. i. Lastfall 1:

Eingangsspannung:

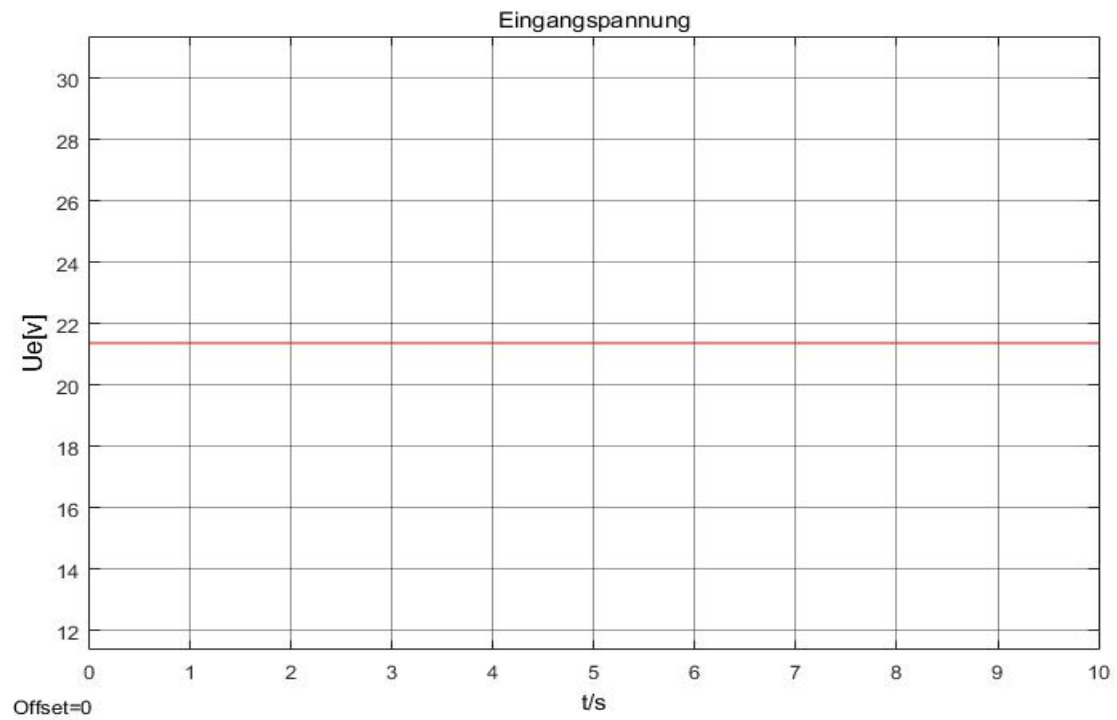
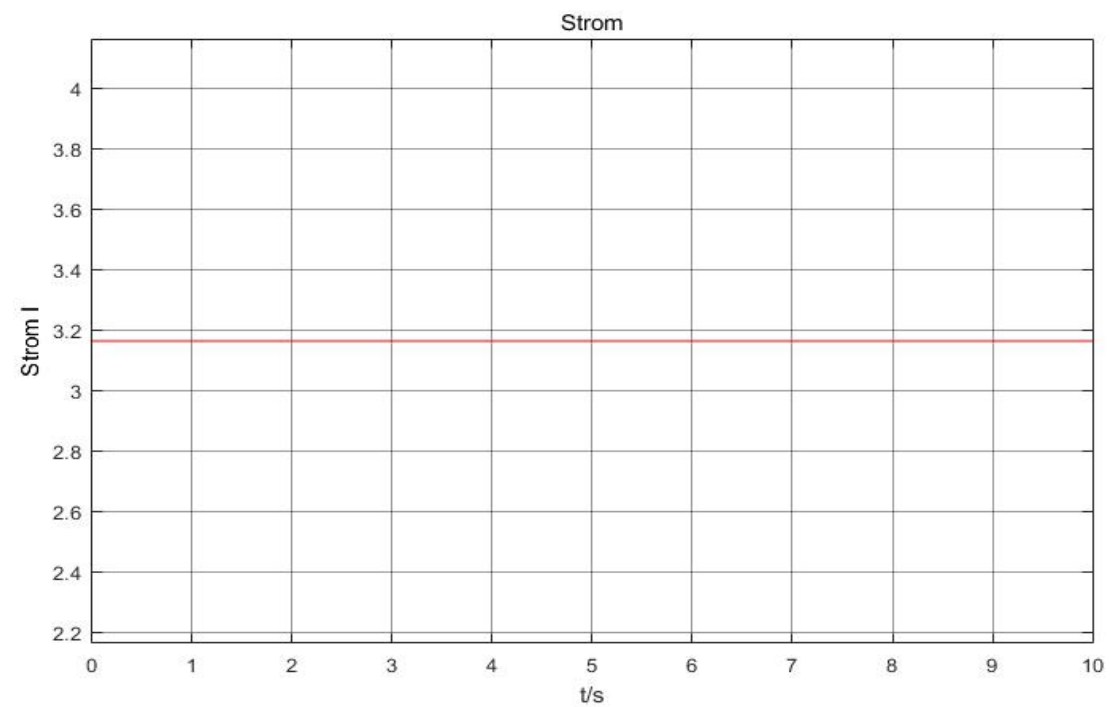


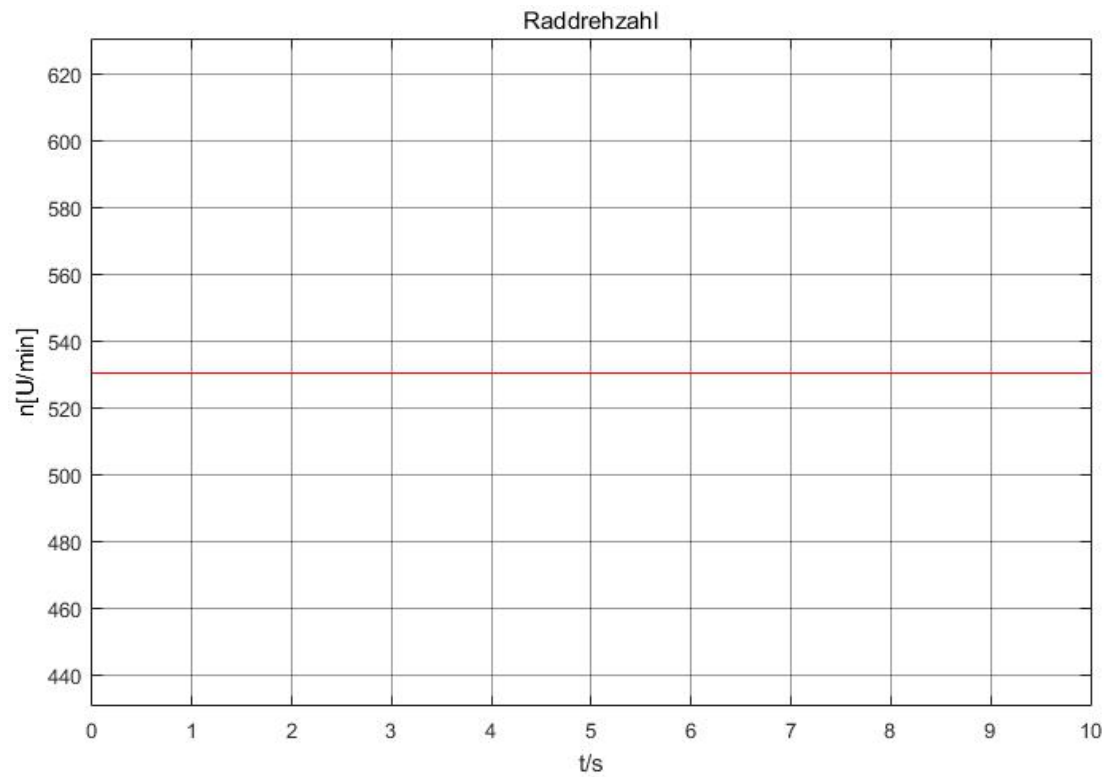
Abbildung 11

Strom:

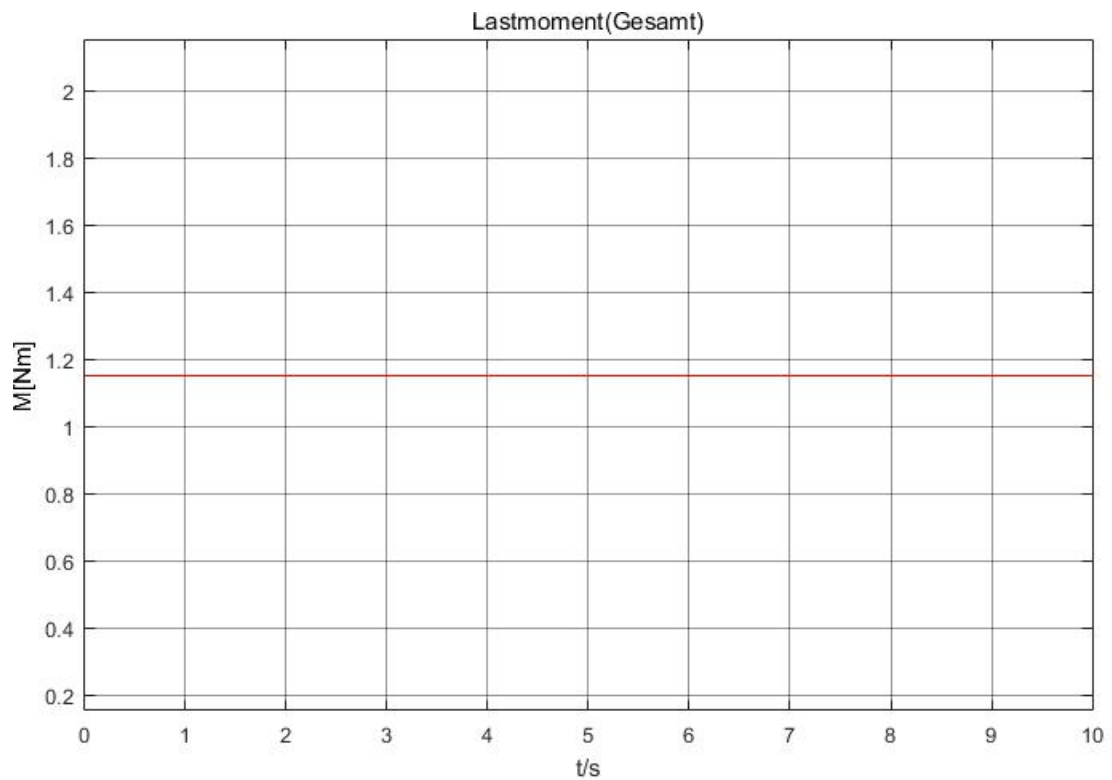


## Fahrzeugmechanik I

Raddrehzahl:

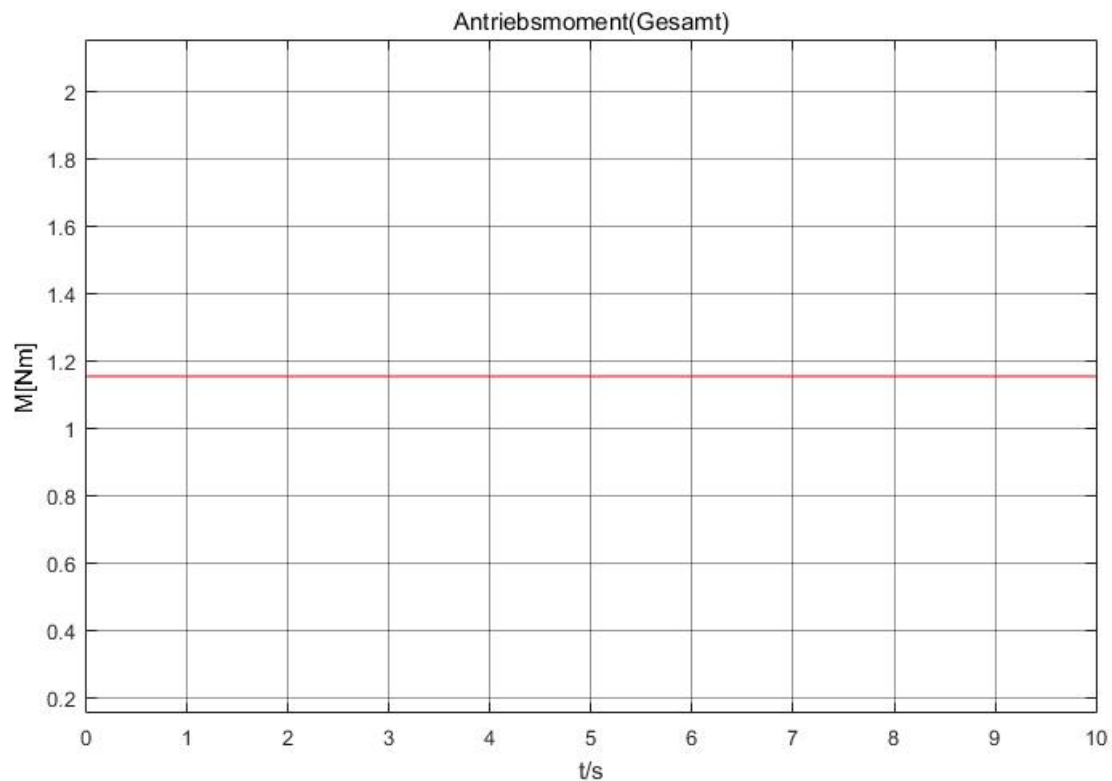


Lastmoment(Gesamte):



## Fahrzeugmechatronik I

Antriebsmoment(Gesamt):



Nach der Abbildung 11 wurde die notwendige Eingangsspannung von 21,37v ermittelt.

Dadurch wurden auch Antriebsmoment ,Lastmoment und Raddrehzahl ermittelt:

$$n=530,5\text{U/min}, M_{\text{an}}=M_{\text{last}}=1,154\text{Nm}$$

Das ist gleich wie die Werten aus Teil A.

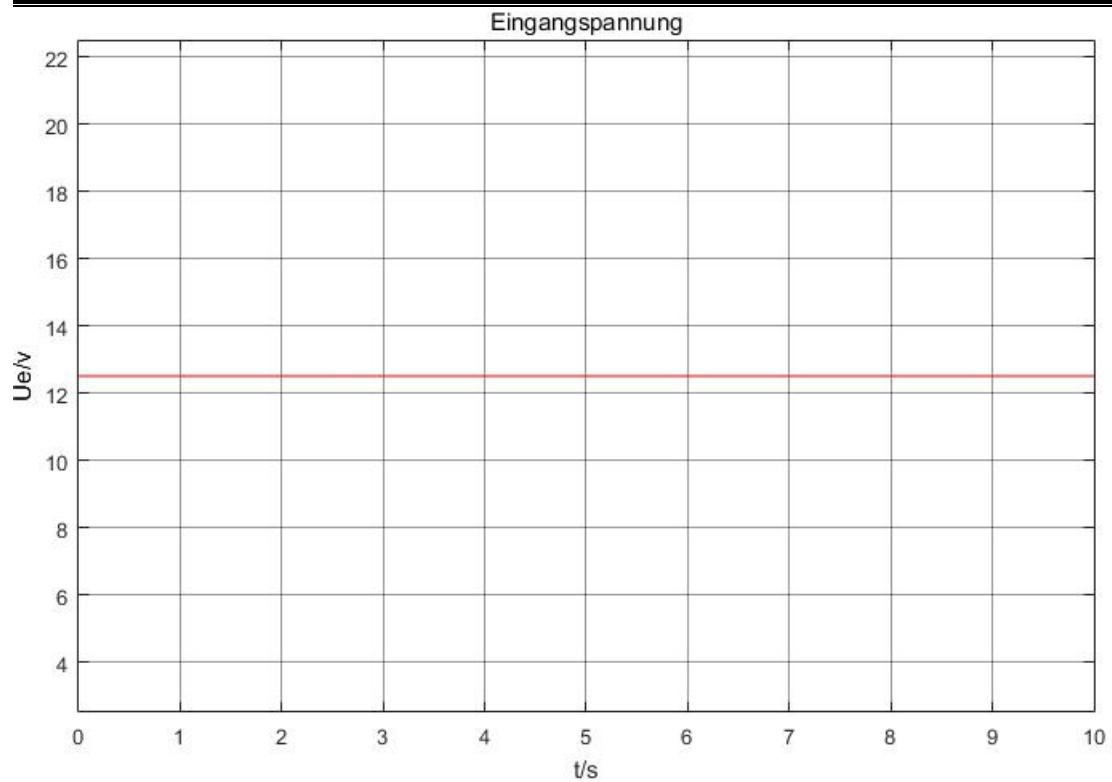
### ii. Lastfall 2:

#### Situation 1:

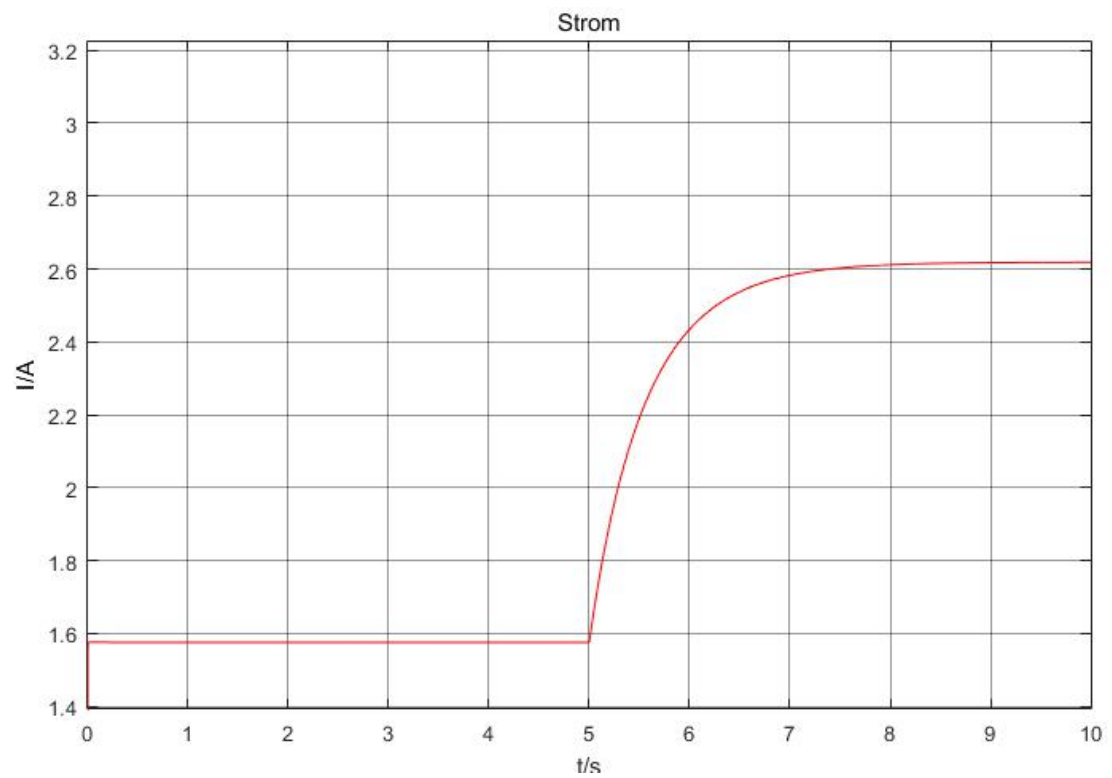
Wenn das Fahrzeug in der Ebene bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10km/h fährt, wird eine notwendige Eingangsspannung durch den Anschluss des Schalters zur Steigung 0 im Simulink berechnet. Durch diese Eingangsspannung wurde der Übergang im Lastfall 2 einmal modelliert.

Eingangsspannung:

## Fahrzeugmechatronik I

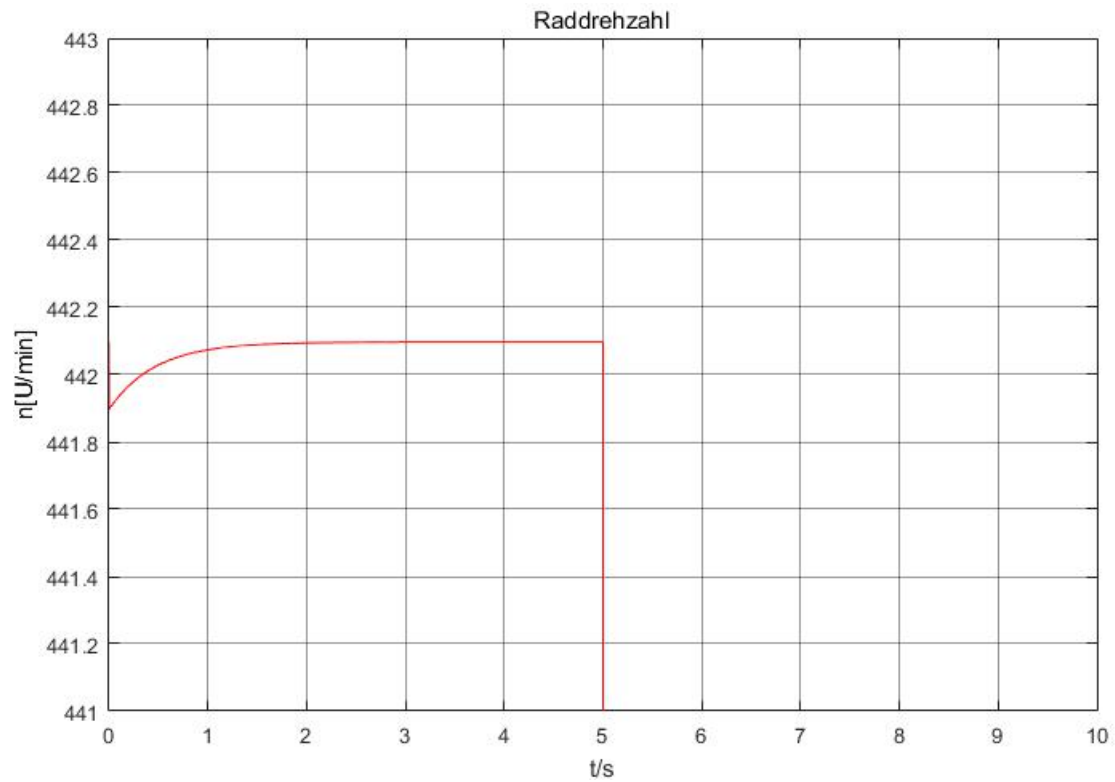


Strom:

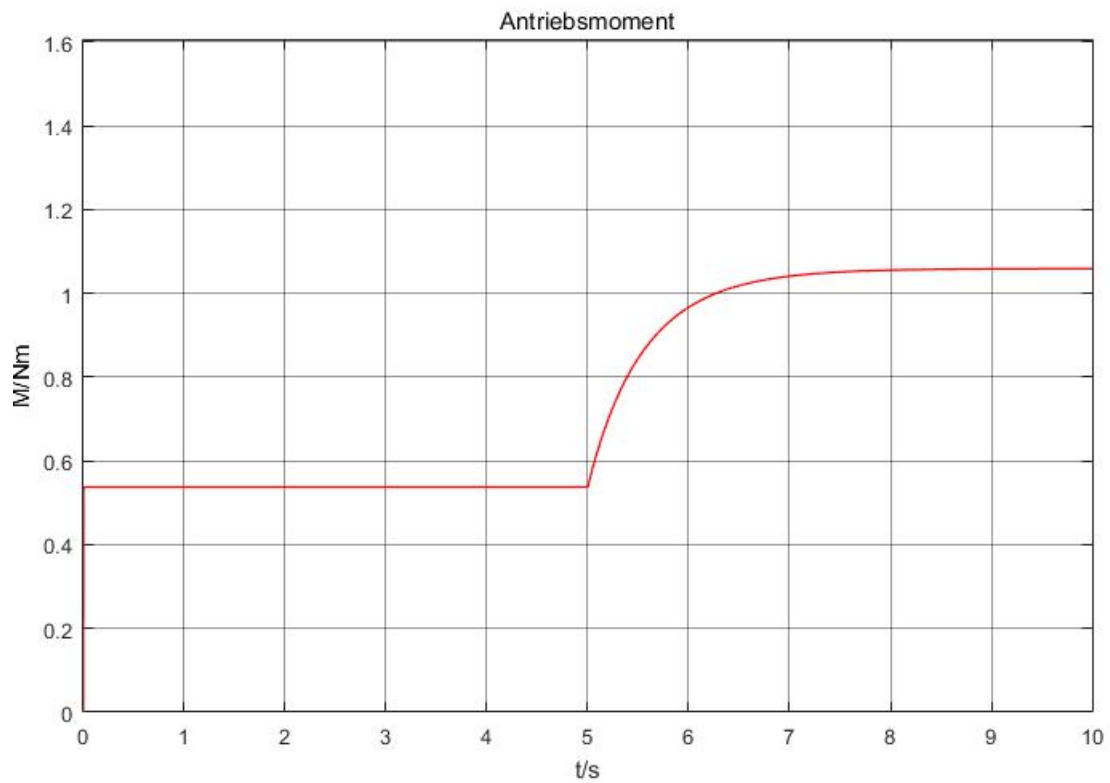


Raddrehzahl:

## Fahrzeugmechatronik I



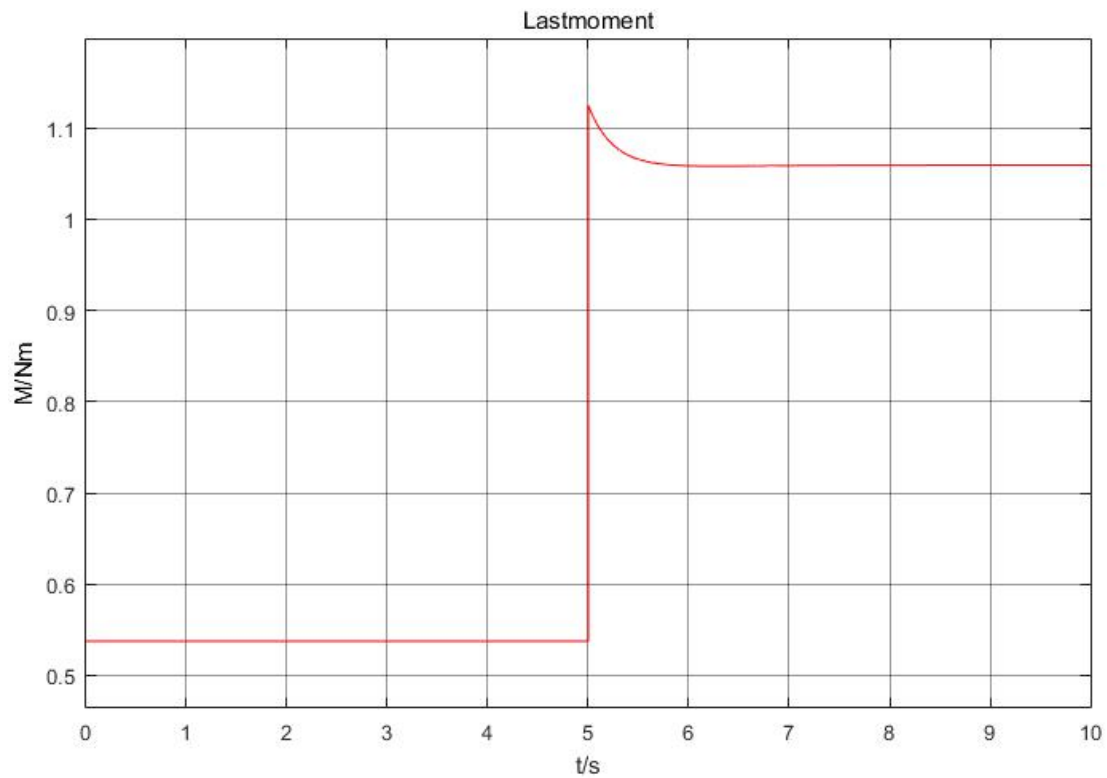
Antriebsmoment:



Lastmoment:



## Fahrzeugmechatronik I



Geschwindigkeit:

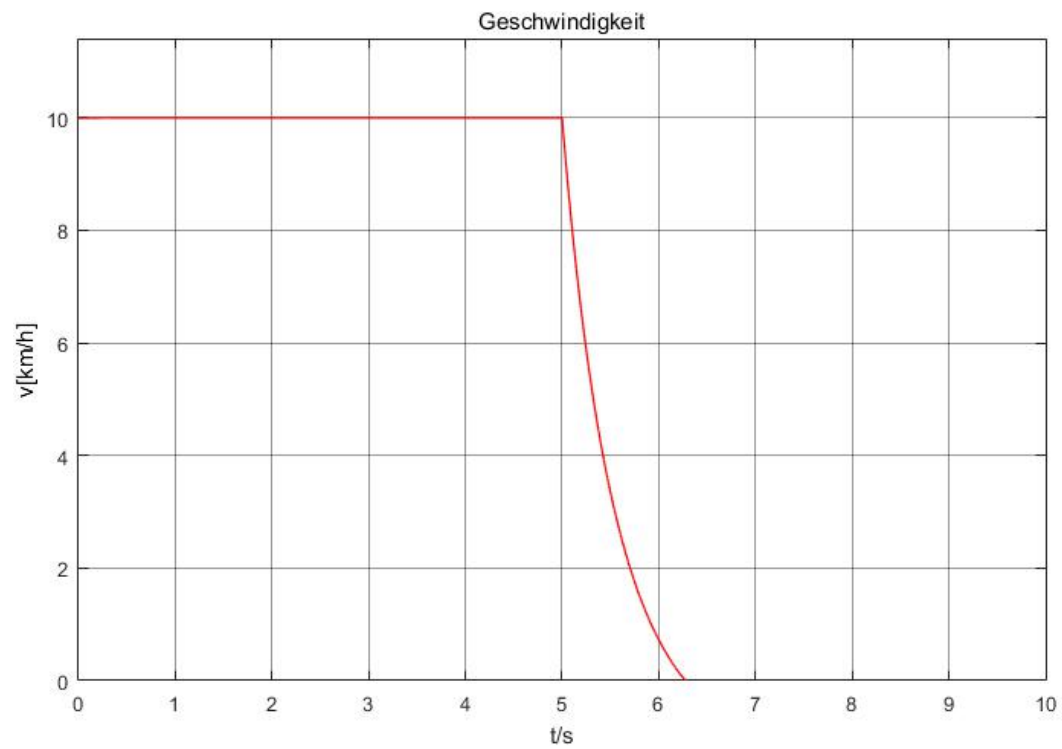


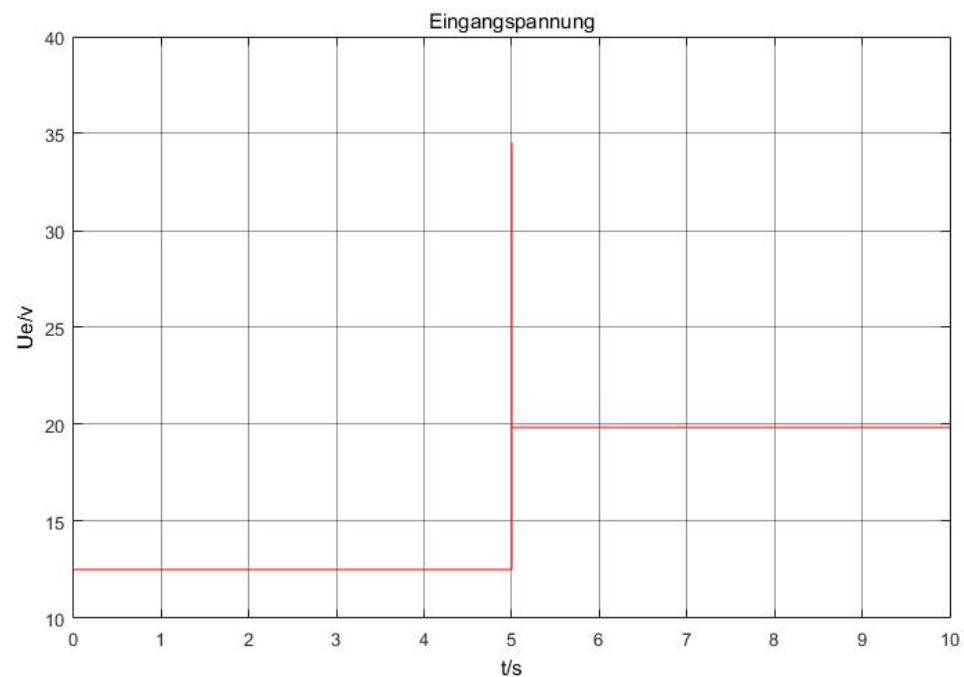
Abbildung 12

**Situation 2:**

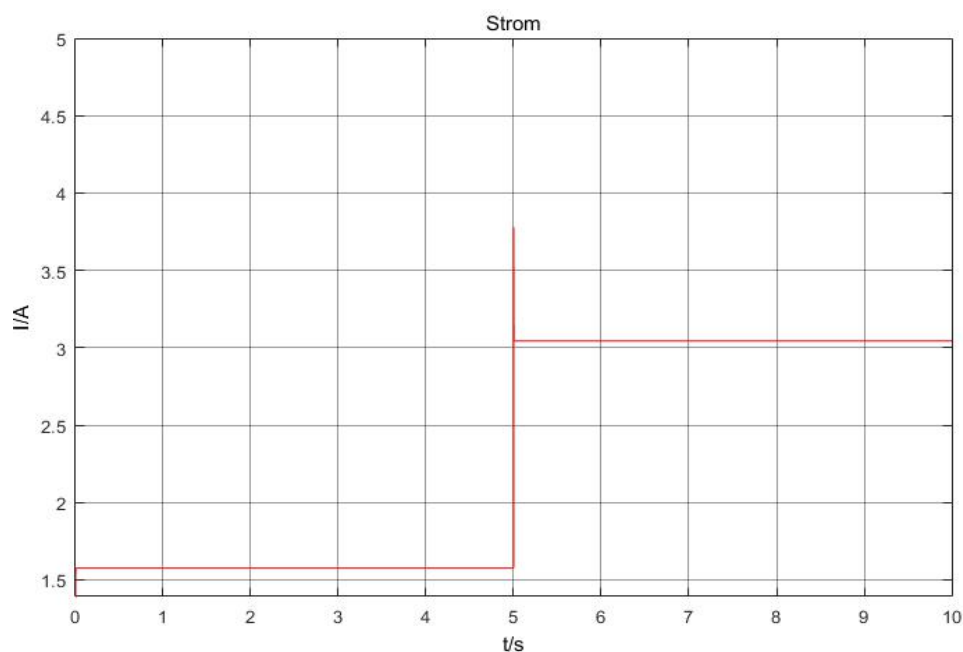
## Fahrzeugmechatronik I

Wenn das Fahrzeug bergauf mit 5% Steigung bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10km/h fährt, wird eine notwendige Eingangsspannung durch den Anschluss des Schalters zur Steigung 'S\_step' im Simulink berechnet. Durch diese Eingangsspannung wurde der Übergang im Lastfall 2 noch einmal modelliert.

Eingangsspannung:

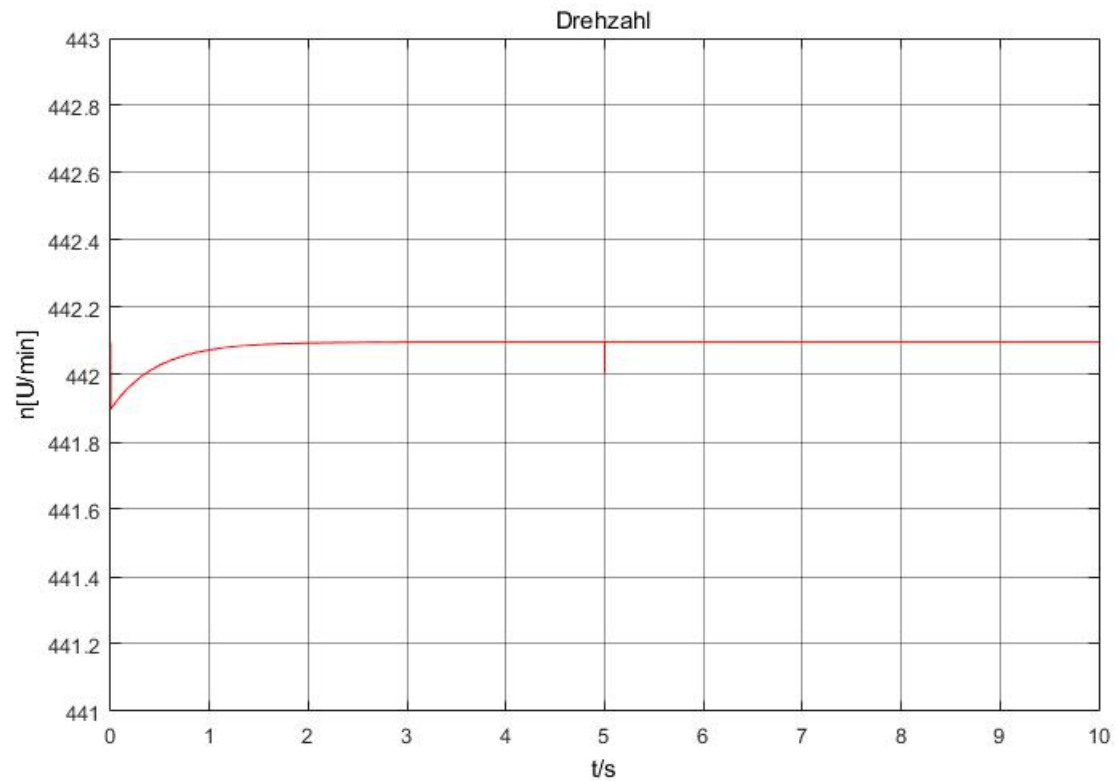


Strom:

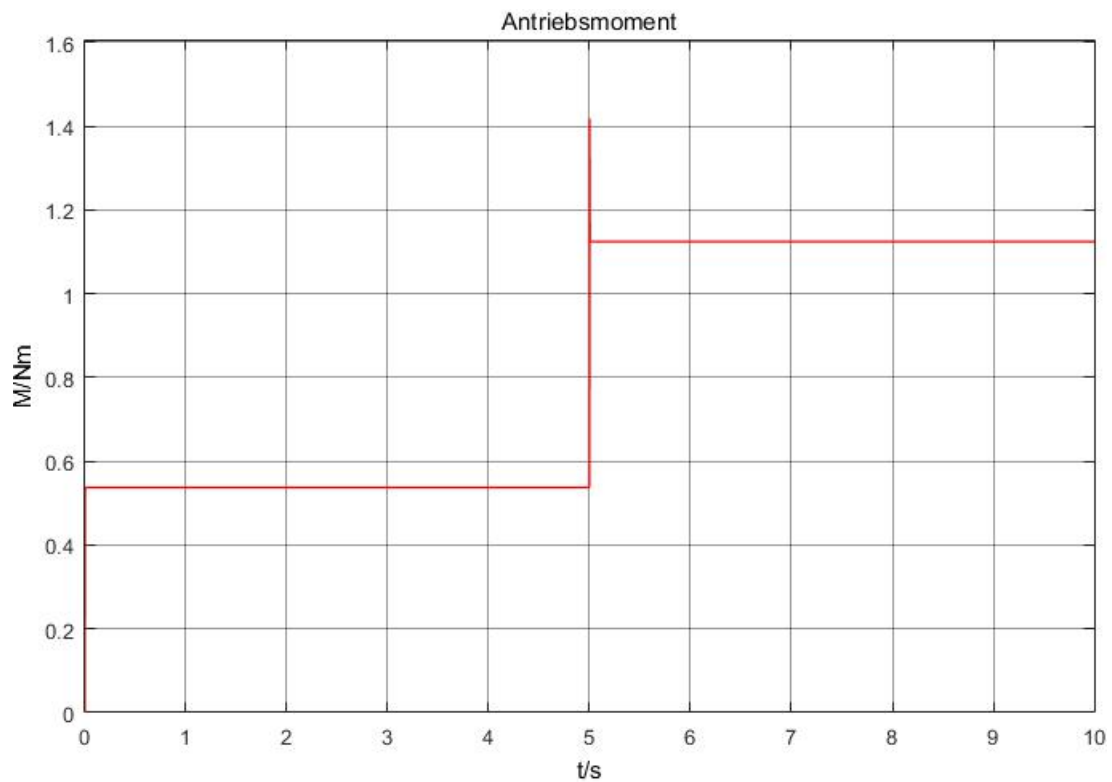


## Fahrzeugmechanik I

Raddrehzahl:

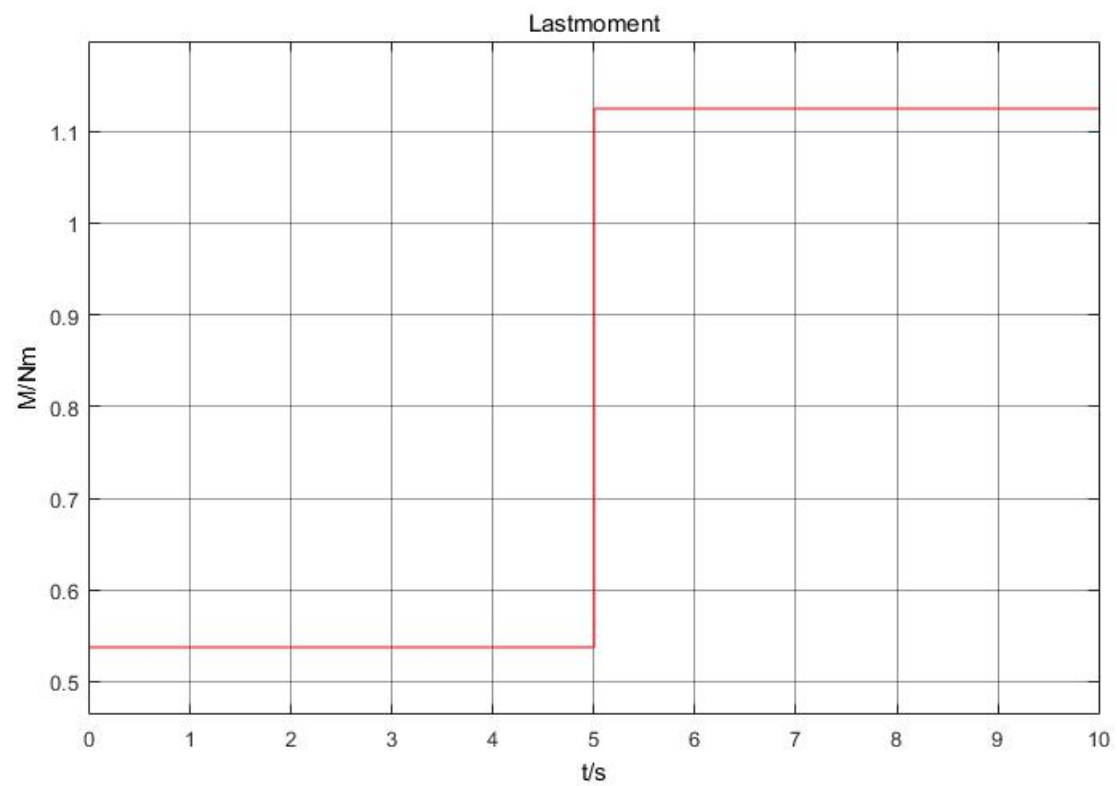


Antriebsmoment:

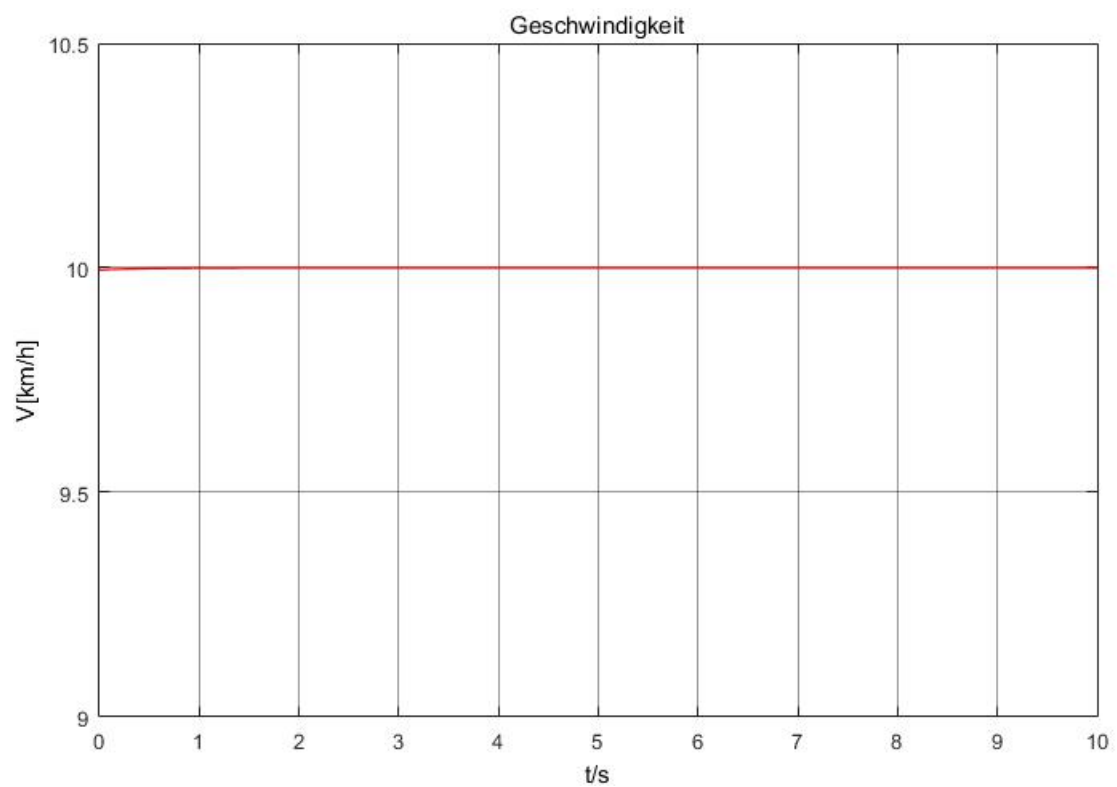


## Fahrzeugmechanik I

Lastmoment(Gesamt):



Geschwindigkeit:



## Fahrzeugmechatronik I

---

### *Abbildung 13*

Wenn das Fahrzeug von einer Fahrt in der Ebene zu einer Bergfahrt überging, sank die Fahrgeschwindigkeit, wie die Abbildung 12 zeigt, zu 0 km/h in der sehr kurzen Zeit. Da die Eingangsspannung in einem kleinen Wert (12,51V) blieb, fehlte das Fahrzeug während einer Bergfahrt an einem ausreichenden Antriebsmoment. Das führte zur schnellen Senkung der Fahrgeschwindigkeit nach dem Zeitpunkt  $t=5\text{s}$ . Im Gegensatz dazu blieb die Fahrgeschwindigkeit in der Situation 2, wie die Abbildung 13 zeigt, bei 10 km/h stabil. Weil die Eingangsspannung zum Zeitpunkt  $t=5\text{s}$  von 12,51V auf 19,85V anstieg, konnte das Fahrzeug durch ein ausreichendes Antriebsmoment mit einer konstanten Geschwindigkeit bergauf fahren. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Senkung der Fahrgeschwindigkeit durch die Vergrößerung der Eingangsspannung verhindert werden kann.