

# ProjektB-Elektrik

## Simulationstechnik - Bericht

Studiengang Elektrotechnik

Studienrichtung Fahrzeugelektronik

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, Campus Friedrichshafen

von

Alexander Herrmann    Johannes Ruffer

Abgabedatum:	19.04.2020
Bearbeitungszeitraum:	01.02.2020 - 19.04.2020
Matrikelnummer:	9859538 x 1011921
Kurs:	TFE18-2
Gutachter der Dualen Hochschule:	Sipler



# Eidesstattliche Erklärung

Gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2015.

Wir versichern hiermit, dass wir unsere Projektarbeit mit dem Thema:

*Projekt B-Elektrik*

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben. Wir versichern zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Friedrichshafen, den 12. März 2020

---

Alexander Herrmann

---

Johannes Ruffer

---

AUTOREN



# Kurzfassung

Der folgende Bericht wurde von zwei Studierenden der Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW)-Ravensburg am Campus Friedrichshafen verfasst. Im Rahmen des Moduls Simulationstechnik sollen die Studierenden mithilfe von Matlab und Matlab-Simulink das Verhalten des Gleichstrommotors eines Unwuchtsystems vereinfachen, simulieren und die darauf folgenden Ergebnisse analysieren und interpretieren.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Aufgabenteil a.)</b>	<b>3</b>
2.1. Physikalisches Modell . . . . .	3
2.2. Mathematisches Modell . . . . .	4
2.3. Simulation . . . . .	5
<b>3. Aufgabenteil b.)</b>	<b>7</b>
3.1. Simulationsergebnisse . . . . .	7
<b>4. Ausblick</b>	<b>9</b>
<b>5. Fazit</b>	<b>11</b>
<b>Autorenverzeichnis</b>	<b>13</b>
<b>Verzeichnis verwendeter Abkürzungen und Formelzeichen</b>	<b>15</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>17</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>17</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>19</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>21</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>23</b>
1. Weitere Abbildungen . . . . .	23





# 1. Einleitung

Damit die Elektrik des Unwuchtsystems beschrieben werden kann, müssen Modelle und Vereinfachungen vorgenommen werden.



## 2. Aufgabenteil a.)

- a.) Leiten Sie die Gleichungen der Nebenschlussmaschine her und modellieren Sie die Systemgleichungen des mechatronischen Unwuchtsystems in SIMULINK. Bestimmen Sie Unwuchtkraft  $F_U$ , die durch die Rotation der Masse  $m_2$  auf die Masse  $m_1$  wirkt.

### 2.1. Physikalisches Modell

In Abbildung 2.1 wird der Gleichstrommotor des Unwuchtsystems, vereinfacht durch das physikalische Modell einer Nebenschlussmaschine dargestellt. Diese besteht aus einem Wicklungssystem des Ankerkreises und einer Erregerwicklung, welche dem Motor parallel geschaltet ist. Aufgrund von Wicklungen und Streufeldern im Ankerkreis entsteht eine Induktivität  $L_A$ , über welche die Spannung  $U_L$  abfällt. Dazu ist ein Widerstand  $R_A$  geschaltet. Der Gleichstrommotor wird dabei ausschließlich von der Klemmspannung  $U$  gesteuert.

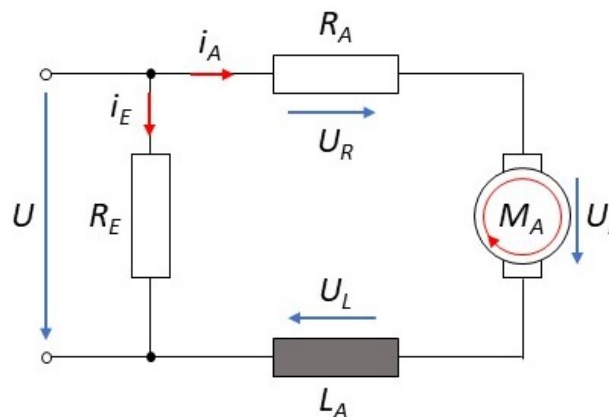


Abbildung 2.1.: Physikalisches Modell einer Nebenschlussmaschine

Die gegebenen Systemparameter lauten dabei:

Ankerflussverkettung, Motorkonstante	$M_A = 50 \frac{\text{Nm}}{\text{A}}$
Ohmscher Widerstand des Ankerkreises	$R_A = 0.1 \Omega$
Induktiver Widerstand des Ankerkreises	$L_A = 10 \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = 10 \text{H}$
Klemmspannung	$U = 100 \text{V}$

**Tabelle 2.1.:** Systemparameter des physikalischen Modells für die Nebenschlussmaschine

## 2.2. Mathematisches Modell

Aufgrund der Schaltung in Abbildung 2.1 und der Vernachlässigung des Erregerstroms  $i_E$ , ergibt sich das mathematische Modell der Nebenschlussmaschine mit den drei Systemgleichungen des Unwuchtsystems:

$$\begin{aligned}
 U &= U_R + U_i + U_L \\
 U &= R_A i_A + K_A \dot{\varphi} + L_A \frac{di_A}{dt} \\
 \frac{di_A}{dt} &= \frac{1}{L_A} (U - K_A \dot{\varphi} - i_A R_A) = f_1(U, \dot{\varphi}, i_A)
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Translatorisch:

$$\begin{aligned}
 (m_1 + m_2) \ddot{s} - m_2 e (\ddot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi) + d_t \dot{s} + cs &= 0 \\
 \ddot{s} &= \frac{1}{m_1 + m_2} [m_2 e (\ddot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi) - d_t \dot{s} - cs] = f_2(\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, s, \dot{s})
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Rotatorisch:

$$\begin{aligned}
 m_2 e^2 \dot{\varphi} - m_2 e \sin \varphi (\ddot{s} + g) d_r \dot{\varphi} - M_A &= 0 \\
 m_2 e^2 \dot{\varphi} - m_2 e \sin \varphi (\ddot{s} + g) d_r \dot{\varphi} - K_A i_A &= 0 \\
 \ddot{\varphi} &= \frac{1}{m_2 e^2} [m_2 e \sin \varphi (\ddot{s} + g) d_r \dot{\varphi} + K_A i_A] = f_3(\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{s}, i_A)
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Die gegebenen mechanischen Systemparameter lauten dabei:

Um die Unwuchtkraft des Systems zu bestimmen, muss das 2. Newton'sche Axiom 2.4 angewendet werden:

$$F = m \cdot a \tag{2.4}$$

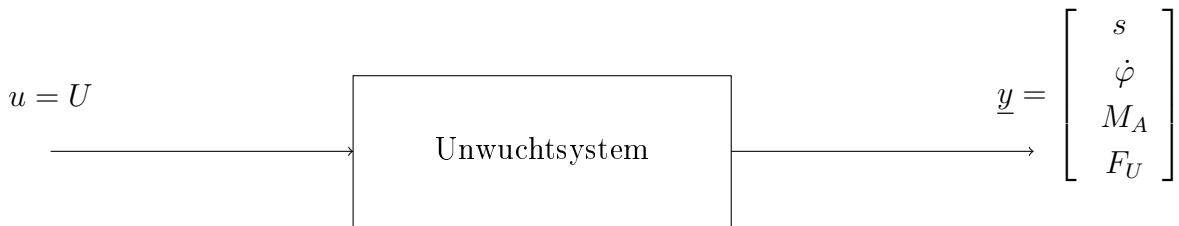
Massen	$m_1 = 90\text{kg}; m_2 = 10\text{kg}$
Federkonstante	$c = 1600 \frac{\text{N}}{\text{m}}$
Dämpfungskonstanten	$d_t = 5 \frac{\text{Ns}}{\text{m}}$
Rotationsarm	$e = 0.2\text{m}$
Erdbeschleunigung	$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

**Tabelle 2.2.:** Mechanische Systemparameter der Nebenschlussmaschine

Daraus ergibt sich, angepasst an das Unwuchsystem:

$$\begin{aligned}
 F_U &= -m_2 \cdot \underline{a} \\
 \text{mit } \underline{a} &= \begin{bmatrix} e\ddot{\varphi} \cos \varphi - e\dot{\varphi}^2 \sin \varphi \\ -e\ddot{\varphi} \sin \varphi - e\dot{\varphi}^2 \cos \varphi \end{bmatrix} \text{ ergibt sich:} \\
 \underline{F_U} &= \begin{bmatrix} e\ddot{\varphi} \cos \varphi - e\dot{\varphi}^2 \sin \varphi \\ -e\ddot{\varphi} \sin \varphi - e\dot{\varphi}^2 \cos \varphi \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Das Unwuchsystem kann modelliert nun wie folgt dargestellt werden:

**Abbildung 2.2.:** Unwuchsystem mit Eingangsspannung und Ausgang (Kinematik, Kinetik)

## 2.3. Simulation

Aufgrund einer Kopplung der beiden Gleichungen 2.2 und 2.3 entsteht eine sogenannte algebraische Schleife, die besagt:

Ursache gleich Wirkung gleich Ursache.

Durch eine Vereinfachung des Systems soll die algebraische Schleife verhindert werden. Dies wird mithilfe von Matlab SIMULINK durchgeführt.



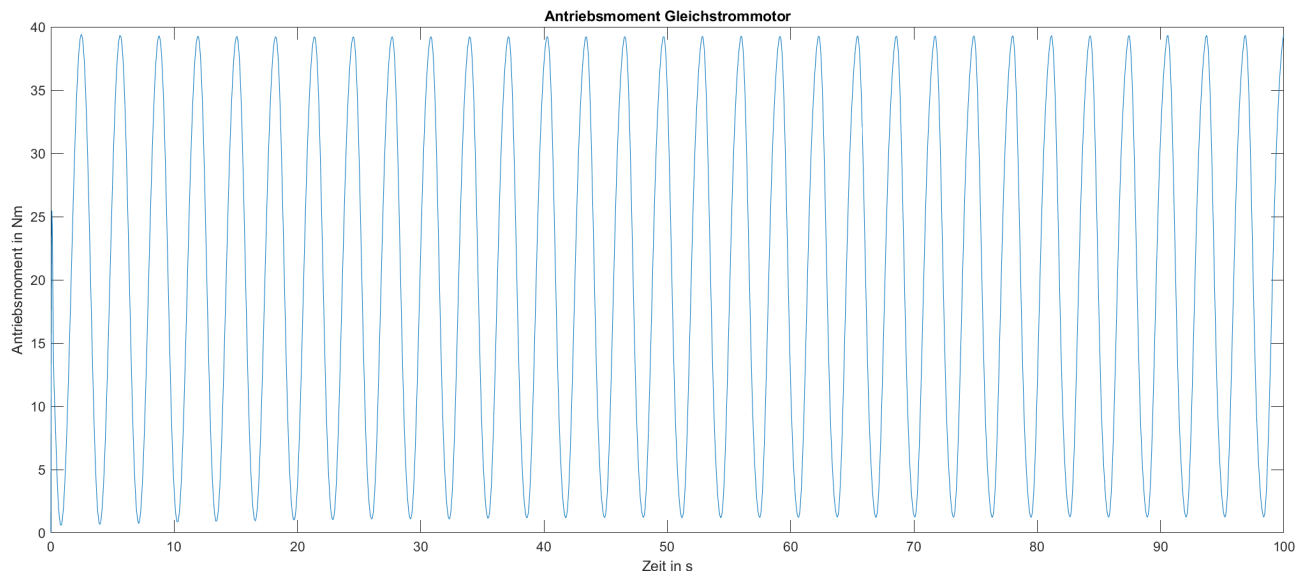
## 3. Aufgabenteil b.)

- b.) Untersuchen Sie die Wechselwirkungen zwischen Schwingssystem und Gleichstrommotor. Bestimmen Sie hierfür die zeitlichen Verläufe des Antriebsmoments  $M_A$ , der Winkelgeschwindigkeit  $\Omega$ , der Unwuchtkraft  $F_U$  und der Auslenkung  $s$  des Systems.

### 3.1. Simulationsergebnisse

Mithilfe von Scopes oder Plots werden nun die gesuchten Signale abgegriffen und als Funktionen der Zeit dargestellt.

In den folgenden Abbildungen 3.1, 3.2 und 3.3 sind das Motormoment  $M$ , Winkelgeschwindigkeit  $\Omega$ , die Strecke  $s$  und die Unwuchtkraft  $F_U$  über die Zeit von 100ms dargestellt.

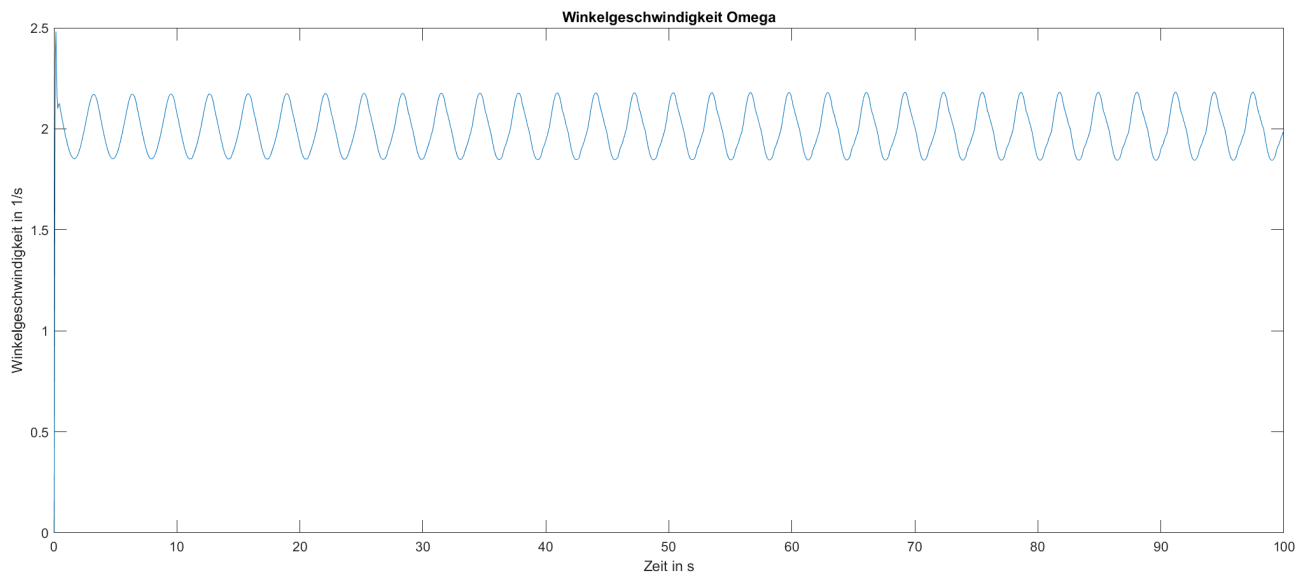


**Abbildung 3.1.:** Simulationsergebnis: Antriebsmoment des Gleichstrommotors

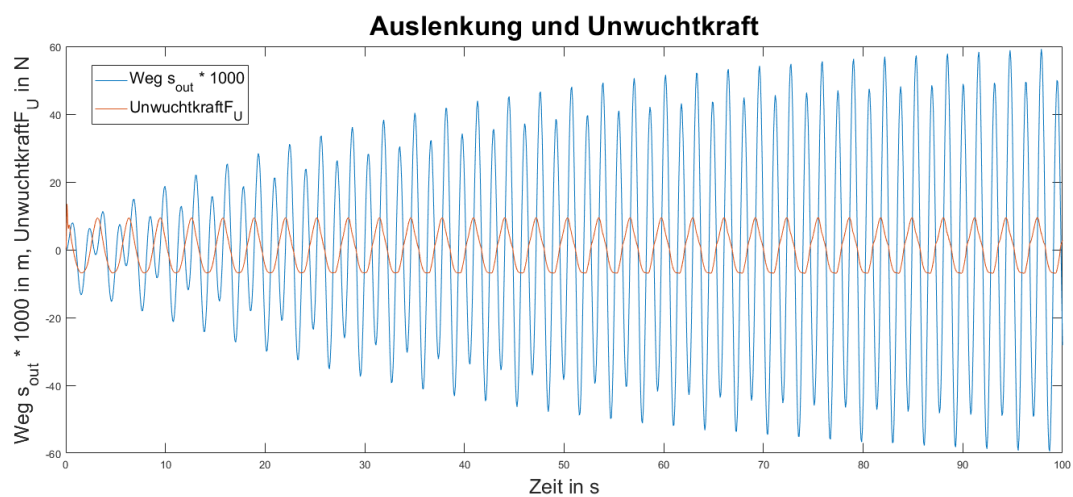
Auffällig ist in Abbildung 3.3, dass die Auslenkung die doppelte Frequenz der Unwuchtkraft hat.

### 3. Aufgabenteil b.)

---



**Abbildung 3.2.:** Simulationsergebnis: Winkelgeschwindigkeit des mechatronischen Systems



**Abbildung 3.3.:** Simulationsergebnis: Auslenkung-1000 und Unwuchtkraft des mechatronischen Systems



## 4. Ausblick



## 5. Fazit



# Autorenverzeichnis

Alexander Herrmann

Johannes Ruffer



# Verzeichnis verwendeter Abkürzungen und Formelzeichen

DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg





# Literaturverzeichnis



# Abbildungsverzeichnis

2.1. Physikalisches Modell einer Nebenschlussmaschine . . . . .	3
2.2. Unwuchtsystem mit Eingangsspannung und Ausgang (Kinematik, Kinetik) . . .	5
2.3. Matlab SIMULINK Blockdiagramm zur Simulation des Systemverhaltens mit Memory-Block zur Umgehung der algebraischen Schleife . . . . .	6
2.4. Angelegte Variablen in Matlab im Workspace . . . . .	6
3.1. Simulationsergebnis: Antriebsmoment des Gleichstrommotors . . . . .	7
3.2. Simulationsergebnis: Winkelgeschwindigkeit des mechatronischen Systems . . . .	8
3.3. Simulationsergebnis: Auslenkung·1000 und Unwuchtkraft des mechatronischen Systems . . . . .	8



# Tabellenverzeichnis

2.1. Systemparameter des physikalischen Modells für die Nebenschlussmaschine . . .	4
2.2. Mechanische Systemparameter der Nebenschlussmaschine . . . . .	5



# A. Anhang

## 1. Weitere Abbildungen