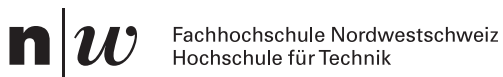


# Fachbericht Projekt 5 EIT

# Detroit Electric Car

Umrüsten eines Detroit Electric Car von 1918 auf Li-Ion Batterien



## **Autoren:**

Yanick Frei  
Marc Müller

## **Auftraggeber:**

Urs Jäger

## **Fachcoach:**

Felix Jenni

Windisch, 21. April 2017

Version: 1.0

# Abstract

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.0.1. Berechnungen zur Batterie . . . . .	2
1.0.2. Steuerung der Geschwindigkeit . . . . .	3
1.0.3. Schaltvorgänge und -zustände . . . . .	8
<b>2. Schlussfolgerung</b>	<b>10</b>
<b>3. Literaturverzeichnis</b>	<b>11</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>12</b>

# 1 Einleitung

### 1.0.1. Berechnungen zur Batterie

Bei der Batterie sind vor allem der maximale Kurzschlussstrom sowie die maximale Verlustleistung von Interesse, da diese für die Sicherung und die Kühlung relevant sind.

Mittels  $\frac{dU}{dI}$ -Messung konnte der Innenwiderstand der Batterie bestimmt werden. Dabei wurde eine Messung im Leerlauf und eine bei einem Strom von ca. 50 A durchgeführt, wobei diese Messung für zwölf in Serie geschaltete Zellen durchgeführt wurde. Die Messung ergab einen Innenwiderstand von 20 m $\Omega$ , deswegen wird zur Sicherheit mit folgenden Werten gerechnet:

- 15 m $\Omega$  als schlimmster Fall für den Kurzschluss (maximaler Kurzschlussstrom)
- 24 m $\Omega$  als schlimmster Fall für die Verlustleistung (maximale Abwärme)

Da jeweils drei Stränge zu 12 Zellen parallel geschaltet sind ergibt sich ein Widerstand von:

$$R_B = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = 5 \text{ m}\Omega \text{ bzw. } 8 \text{ m}\Omega$$

Die Abwärme berechnet sich gemäss der Formel  $P = I^2 \cdot R$  (für diese Berechnungen wird der Wert von 8 m $\Omega$  benützt), dies soll zuerst für einen konstanten Ladestrom von 10 A berechnet werden:

$$P_{V,Laden} = (10 \text{ A})^2 \cdot 8 \text{ m}\Omega = \underline{0.8 \text{ mW}}$$

Für den maximalen Fahrstrom ergibt sich eine Abwärme von:

$$P_{V,Max} = (100 \text{ A})^2 \cdot 8 \text{ m}\Omega = \underline{80 \text{ W}}$$

Der schlimmste Fall eines Kurzschlusses ist ein Kurzschluss direkt an den Klemmen der Batterie. In diesem Fall wird der Stromfluss nur durch die Spannung der Batterie beschränkt. Im schlimmsten Fall muss mit der Ladeschlussspannung und einem kleinen Innenwiderstand der Batterie gerechnet werden, der Kurzschlussstrom berechnet sich gemäss  $I = \frac{U}{R}$  zu:

$$I_k = \frac{12 \cdot 4.2 \text{ V}}{5 \text{ m}\Omega} = \underline{10\,800 \text{ A}}$$

## 1.0.2. Steuerung der Geschwindigkeit

Im Detroit kann die Geschwindigkeit mittels eines Steuerhebels mit fünf Positionen ausgewählt werden. Um dabei die Funktion des Stufenschalters und Motors zu verstehen ist es unabdingbar, zu Beginn einen Blick auf die Funktionsweise des Motors zu richten. Anschliessend werden die verschiedenen Schaltungen, die mit dem Stufenschalter realisierbar sind, vorgestellt.

### Funktion des Reihenschlussmotores

Grundsätzlich ist der verwendete Motor ein Gleichstrommotor. Für diesen Motor sind die beiden Gleichungen 1.1 und 1.2 ausschlaggebend, welche die Funktion des idealen Ankers beschreiben ( $k$  steht dabei für eine Maschinenkonstante, die die Konstruktion des Motors zusammenfasst):

$$M_{el} = k \cdot \Phi_E \cdot I_A \quad (1.1)$$

$$U_i = k \cdot \Phi_E \cdot \omega_{me} \quad (1.2)$$

Wichtig ist die Bemerkung, dass diese Gleichungen für den idealen Anker gelten. Bei einem realen Motor addiert sich zur induzierten Spannung  $U_i$  noch die Spannung über dem ohmschen Ankerwiderstand  $R_A \cdot I_A$ . Ausserdem entstehen im Motor selbst Reibungen, die das verfügbare mechanische Drehmoment reduzieren (beispielsweise Lager oder Lüfter).

Wird angenommen, dass die Nichtlinearitäten klein sind im Vergleich zum idealen Modell kann gesagt werden, dass der Strom proportional zum Moment und die Spannung proportional zur Winkelgeschwindigkeit ist. Mit dem Erregerfluss  $\Phi_E$  können dabei beide Grössen beeinflusst werden:

- Bei erhöhtem Erregerfluss wird das Moment pro Strom grösser, jedoch die Winkelgeschwindigkeit pro Spannung kleiner
- Bei verringertem Erregerfluss wird die Winkelgeschwindigkeit pro Spannung grösser, jedoch das Moment pro Strom kleiner

Über einen veränderlichen Erregerfluss können also gezielt Moment und Geschwindigkeit aneinander angepasst werden. Genau dieses Verhalten wird im Reihenschlussmotor ausgenutzt. Bevor jedoch auf dessen Funktion eingegangen wird, soll der schematische Aufbau des Reihenschlussmotors in Abbildung 1.1 erläutert werden.

Der Erregerfluss ist dabei vom Erregerstrom abhängig, wie in Formel 1.3 gezeigt ist:

$$\Phi_E = \frac{L_E}{N_E} \cdot I_E \quad (1.3)$$

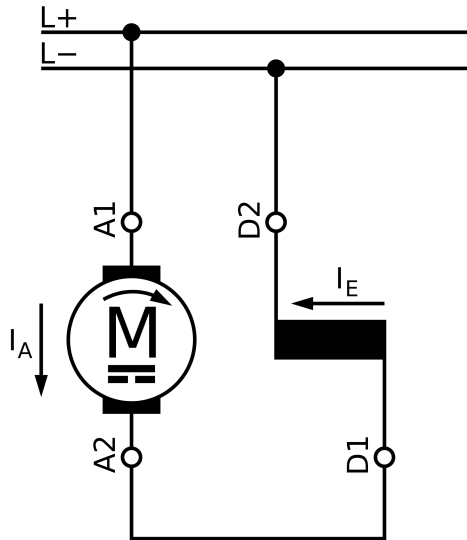


Abbildung 1.1.: Elektrisches Schema eines Reihenschlussmotors [1]

Da durch Anker und Erregerwicklung der selbe Strom fließt, also  $I_A = I_E$  gilt, sieht man sehr gut, dass bei sinkendem Stromfluss zum einen das Moment aufgrund von Formel 1.1 kleiner wird, zum anderen das Moment auch durch die schwächere Erregung (aufgrund des geringeren Stromes) kleiner wird. Das Moment ist also quadratisch abhängig vom Stromfluss. Wird ausserdem die weitere Maschinenkonstante  $c = k \cdot \frac{L_E}{N_E}$  gesetzt, resultieren für die ideale Reihenschlussmaschine die beiden Formeln 1.4 und 1.5:

$$M_{el} = c \cdot I^2 \quad (1.4)$$

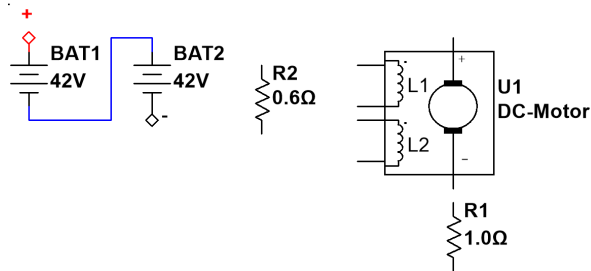
$$\omega_{me} = \frac{U_i}{c \cdot I} \quad (1.5)$$

Da auch bei der Reihenschlussmaschine der ohmsche Spannungsabfall über Anker- und Erregerwicklung einen zum Strom proportionalen Spannungsabfall bewirkt stellt sich für jede angelegte Spannung automatisch ein Gleichgewicht zwischen Drehzahl und Drehmoment ein. Dies erlaubt jedoch weder eine vernünftige Regelung der Geschwindigkeit noch ist es in jedem möglichem Arbeitspunkt besonders effizient.

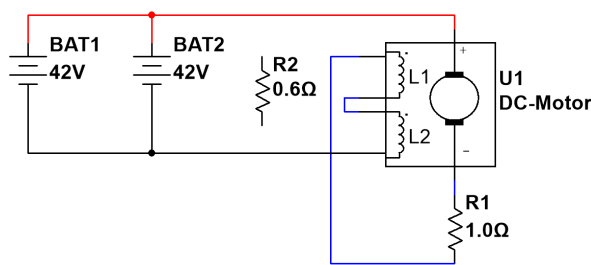
Um diese Probleme anzugehen wird mit der sogenannten Feldschwächung gearbeitet: Bei niedrigen Drehzahlen, wo hohes Moment gefordert ist, wird die Erregung komplett in Serie zum Anker geschaltet. Sind bei höheren Drehzahlen nicht mehr so hohe Momente benötigt, wird ein Teil des Stromes "an der Erregerwicklung vorbei" geleitet, sodass die Erregung zusätzlich geschwächt wird. Dies wird als Feldschwächung bezeichnet.

## Funktion des Stufenschalters

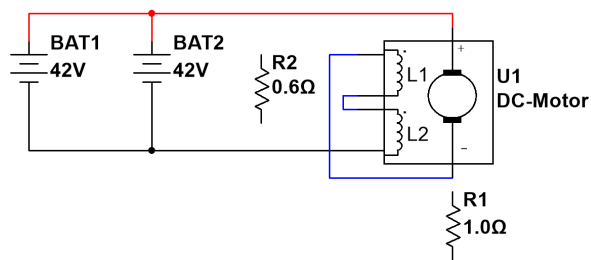
Diese Effekte, die beim Reihenschlussmotor bereits vorgestellt wurden, werden vom Stufenschalter gesteuert. Dies ist zum einen die Spannung über dem Motor, zum anderen ist auch eine mögliche Feldschwächung möglich. Im Folgenden sollen die fünf Fahrstufen sowie die ursprüngliche Ladestufe vorgestellt werden.



**Stufe: Laden** In der Nullstellung des Stufenschalters ist die Batterie im Lademodus. Dazu sind beide Batterien in Serie geschaltet, sodass beide Batterien mit dem selben Strom geladen werden. Sämtliche Komponenten des Motors sowie die beiden Widerstände sind nicht angeschlossen. Diese Stufe ist auch nach dem Umbau des Detroit's weiterhin vorhanden. Das serielle Laden der beiden Batterien wird aber durch die verbauten Dioden verhindert.

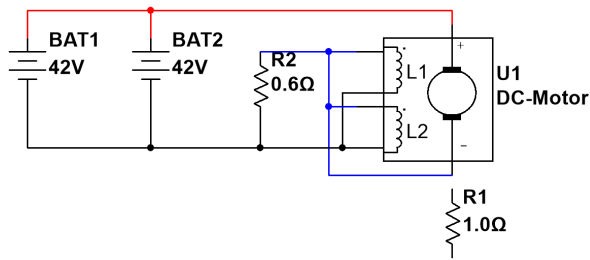


**Stufe: Eins** In der ersten Fahrstufe werden die beiden Batterien parallel geschaltet, wodurch zum einen die Spannung verringert wird, zum anderen auch der für grosse Momente benötigte Strom geliefert werden kann. Um ein maximales Moment zu erreichen sind beide Feldwicklungen in Serie angeschlossen, wodurch durch beide der volle Fahrstrom fliesst. Ausserdem ist zur Begrenzung des Anlaufstromes (da im ersten Moment die induzierte Spannung  $U_i = 0V$  beträgt) der Widerstand  $R_1$  in Serie geschaltet.

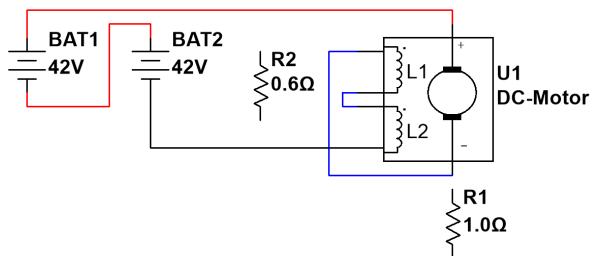


**Stufe: Zwei** Die zweite Stufe ist fast gleich aufgebaut wie die erste. Auch hier wird für ein möglichst grosses Moment die Serieschaltung der Erregerwicklungen sowie die parallelschaltung der Batterien verwendet. Der einzige Unterschied zur ersten Fahrstufe ist, dass der Anfahrwiderstand  $R_1$  überbrückt und somit funktionslos ist. Durch den weggefallenen Spannungsabfall über dem Anfahrwiderstand wird die erreichbare induzierte Spannung grösser, ohne dabei das erreichbare Moment zu reduzieren.

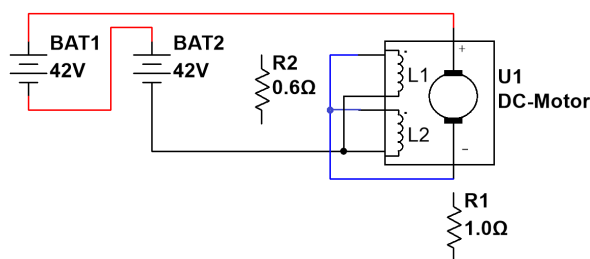




**Stufe: Drei** In der dritten Stufe wird nun erstmals von der Feldschwächung Gebrauch gemacht. Die beiden Erregerwicklungen sind nicht mehr seriell, sondern parallel geschaltet. Ausserdem ist der Widerstand  $R_2$  parallel zu den beiden Erregerwicklungen geschaltet. Durch diese Parallelschaltung ist der Stromfluss in der Erregerwicklung und damit die Erregung selbst deutlich kleiner als in den vorherigen Fahrstufen, wodurch eine höhere Winkelgeschwindigkeit bei reduziertem Moment ermöglicht wird. Die beiden Batterien sind weiterhin parallel geschaltet.



**Stufe: Vier** In der vierten Fahrstufe wird die Spannung durch Serieschaltung der Batterien erhöht. Um weiterhin grosse Kräfte zu ermöglichen, wird die Erregerwicklung wieder von parallel nach seriell verschaltet, wodurch keine Feldschwächung realisiert wird. Stufe vier ist deswegen sehr ähnlich aufgebaut wie Stufe zwei, jedoch sind aufgrund der verdoppelten Spannung höhere Leistungen erzielbar als in Stufe zwei. Es ist gut möglich, dass bei den ursprünglichen Blei-Batterien dieser Leistungszuwachs bei hohen Strömen durch den Innenwiderstand der Batterien zum Teil wieder ausgeglichen wurde, bei den modernen Lithium-Ionen-Akkumulatoren kann dies jedoch demontiert werden.



**Stufe: Fünf** Auch in der fünften und damit höchsten Fahrstufe sind die beiden Batterien für eine höhere Spannung in Serie geschaltet. Hier wird wieder Gebrauch von der Feldschwächung gemacht, indem die beiden Erregerwicklungen parallel geschaltet werden und damit der Fluss reduziert wird. Im Gegensatz zur Stufe drei, bei welcher die Erregerwicklungen ebenfalls parallel geschaltet werden, wird hier auf die zusätzliche Parallelschaltung des Widerstandes  $R_2$  und damit auf die weitere Reduktion des Feldes verzichtet. Dadurch sollten sich auch noch bei hohen Geschwindigkeiten genügende Momente ergeben.

Die Fahrstufen werden dabei vom Stufenschalter mechanisch geschaltet, indem unter den Kontaktfingern mittels Kupferplatten Kontakte verbunden (und damit beispielsweise Widerstände

überbrückt) werden. Die Lagen dieser Kupferplatten ist im Originalschema zu finden, wie es im Anhang unter zu finden ist. Ausserdem ist ein Blick in das Innere des Stufenschalters in Abbildung ?? gegeben:

Anhang  
erstellen

### **1.0.3. Schaltvorgänge und -zustände**

In diesem Kapitel werden die einzelnen Schaltvorgänge und -zustände des Fahrzeuges analysiert und beschrieben. Dabei wird besonders auf das Zusammenspiel von Mechanisch zu Elektrisch eingegangen.

#### **Parken**

Im Zustand Parken ist der Detroit durch die Handbremse gesichert. Diese blockiert die Hinterräder und unterbricht gleichzeitig den Hauptstromkreis durch den Cut-Out-Switch. Gleichzeitig zeigt der Ganghebel in der neutralen Position vertikal nach oben, womit der Rear-Reverse-Switch ebenfalls keinen Kontakt macht. Somit ist Hauptstromkreis sogar zweifach unterbrochen.

#### **Parken zu Neutral**

Im Zustand Neutral ist der Oldtimer nicht mehr durch die Handbremse gesichert. Um diese zu lösen sind zwei Schritte gleichzeitig notwendig. Zum einen soll der Ganghebel in waagerechte Position gebracht werden um ihn dann anschliessend zu sich zu ziehen. Das ist sogleich die Motorbremse, welche die eigentliche Bremsung bei Bedarf unterstützen kann. Damit wird der Sicherungshebel des Cut-Out-Switch betätigt. Somit ist es nun möglich mit dem zweiten Schritt die Handbremse zu betätigen, wodurch sich die Handbremse und sogleich der Cut-Out-Switch aus der Verankerung heben lassen um sich zu lösen und den Hauptstromkreis zu schliessen.

#### **Neutral zu Parken**

Durch die Betätigung der Handbremse wird eine Feder über Zahnräder gespannt und der Cut-Out-Switch unterbricht den Stromkreis. Zu beachten ist, dass die Handbremse mit voller Kraft durchgedrückt wird, damit der Stromkreis klar unterbrochen ist.

#### **Neutral zu Vorwärts**

Durch das Stellen des Ganghebels in waagerechte Position wird der Rear-Reverse-Switch in die Position Vorwärts geschaltet. Das Wegdrücken des Ganghebels wird mit einem Einrasten. Dies setzt einen Hebel in Bewegung, welcher bis hin zum Stufenschalter führt. So dreht dieser nun in Position 1 und das Fahrzeug fährt im 1. Gang los. Ist das Anfahren nun geschehen, kann in den 2. Gang geschaltet werden. Dies erfolgt durch weiteres Wegdrücken des Ganghebels, bis dieser wieder einrastet. Höhere Gänge bis zum 5. können mit der selben Methode erreicht werden.

## **Neutral zu Rückwärts**

Bei einer 45°-Stellung des Ganghebels verschiebt sich der Rear-Reverse-Switch in Position Rückwärts, womit der Stromfluss, wie der Name des Switch schon sagt, umkehrt. Durch gewohntes Schalten in den ersten Gang dreht der Stufenschalter wieder in Position 1 und das Fahrzeug lässt sich rückwärts lenken.

## 2 Schlussfolgerung

### 3 Literaturverzeichnis

- [1] (06.04.2008) Reihenschlussmotor (interne Verschaltung. Wikipedia. Aufgerufen am 18.04.2017. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gleichstrommaschine#/media/File:Reihenschlussmotor.svg>

# A Anhang