

# Fachbericht Projekt 4 (EIT) - Team 2

## Skatemate

### **Team 2:**

Raphael Brügger

Rafael Eberle

Noah Hütter

Mike Mösner

Selina Reich

Remo Suter

### **Auftraggeber:**

Hans Gysin

### **Coaches:**

Hans Gysin

Matthias Meier

Pascal Schleuniger

Anita Gertiser

Bonnie Domenghino

Pascal Buchschacher

## **Abstract**

**Team 4 members:** Raphael Brügger, Rafael Eberle, Noah Hütter, Mike Mösner, Selina Reich,  
Remo Suter

**Keywords:**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Grobkonzept . . . . .	2
2.2	Bedienung . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Technische Grundlagen</b>	<b>6</b>
3.1	FlexSensor . . . . .	6
3.2	Balancing . . . . .	6
3.3	BLDC Motor . . . . .	6
3.4	FOC . . . . .	7
3.5	FET, H-Brücke . . . . .	7
3.6	Funkübertragung . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Hardware</b>	<b>8</b>
4.1	Überblick . . . . .	8
4.2	Steuerung - Magic-Glove . . . . .	8
4.3	Stromversorgung . . . . .	8
4.4	Motoransteuerung . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Software</b>	<b>10</b>
5.1	Überblick . . . . .	10
5.2	Steuerung - Magic-Glove . . . . .	10
5.3	Stromversorgung . . . . .	10
5.4	Motoransteuerung . . . . .	12
<b>6</b>	<b>Validierung</b>	<b>13</b>
6.1	Überblick . . . . .	13
6.2	Steuerung - Magic Glove . . . . .	13
6.3	Stromversorgung . . . . .	13
6.4	Motoransteuerung . . . . .	13
6.5	Gesamtvalidierung . . . . .	13
6.6	Markttauglichkeit . . . . .	13
<b>7</b>	<b>Schlusswort</b>	<b>14</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>15</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>16</b>

# 1 Einleitung

## 2 Grundlagen

In diesem Kapitel wird das Grobkonzept des Commute von Skatemate dargestellt, um einen Überblick über das Elektroskateboard zu geben. Bevor im Kapitel 3 die dazu notwendigen Grundlagen erklärt werden, wird die Bedienung des Commute erklärt, so dass die Grundlagen besser eingeordnet werden können.

### 2.1 Grobkonzept

Das Projekt Commute von Skatemate kann in drei Grundbereiche unterteilt werden: Die Steuerung über den Magic-Glove, die Motoransteuerung mittels feldorientierter Regelung FOC und die Stromversorgung mitsamt dem selbst konzipierten Akkuladegerät. Wie diese drei Bereiche miteinander interagieren ist in der Abbildung 2.1 dargestellt. Die Antriebstechnik ist über ein Kabel mit der Stromversorgung verbunden, die Inputs der Steuerung erhält sie über ein Funknetz. Nachfolgend werden die drei Bereiche detaillierter erläutert. Dargestellt sind sie im Blockschaltbild der Abbildung 2.2. Zudem wird darauf eingegangen, weshalb diese Lösung gewählt wurde.

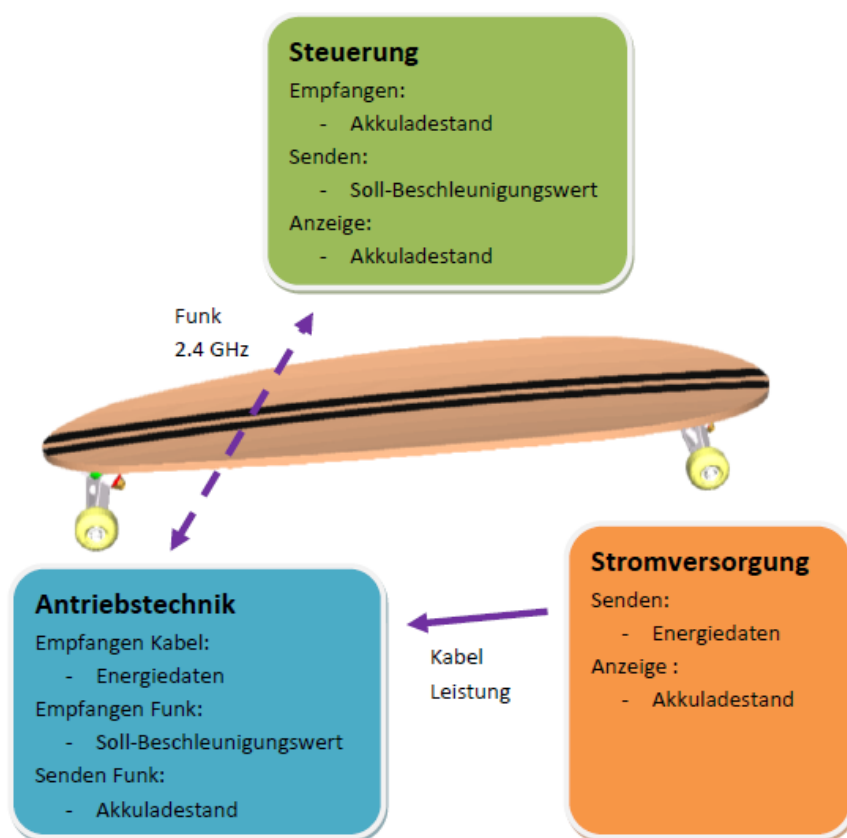


Abbildung 2.1: Blockschaltbild Grobkonzept

## Steuerung über den Magic-Glove

Es gibt verschiedene Wege, wie ein elektrisches Longboard gesteuert werden kann. Eine Variante ist, über Drucksensoren im Brett durch eine Gewichtsverlagerung in Fahrtrichtung eine Geschwindigkeitsregulation zu erreichen. Da auf unebenem Gelände eine natürliche Gewichtsverlagerung entsteht, und diese kompensiert werden müsste, und zudem lokal beschränkte Sensoren die Bewegungsfreiheit auf dem Longboard einschränken können, wurde diese Variante verworfen. Stattdessen wird die Geschwindigkeit über eine Fingerbewegung gesteuert. Dazu wird ein Handschuh mit integrierten Sensoren entwickelt. Dieses Wearable enthält einen Flex Sensor, der die Beugung des Zeigefingers misst. Der Flex Sensor wird im Kapitel 3.1 beschrieben. Die Beugung des Fingers wird mithilfe eines Mikrocontrollers quantifiziert und als Sollbeschleunigung der Motoransteuerung übergeben. Dies geschieht über ein 2.4 GHz Funknetz, dazu ist ein Funkmodul integriert. Die Stromversorgung erfolgt über eine Li-Ion Knopfbatterie LTR2450. In der Abbildung 2.2 sind die einzelnen Elemente der Steuerung dargestellt.

## Antriebstechnik

Als Antrieb ist der OX1 2-10 Motor vorgegeben, dies ist ein Brushless-Gleichstrommotor (BLDC-Motor). Er verfügt nicht über Hallsensoren. Die technischen Hintergründe des Motors werden im Kapitel 3.3 gegeben. Ein BLDC-Motor ist wie ein permanentmagnetischer Drehstrom-Synchronmotor (PMSM) aufgebaut.

Die Ansteuerung kann über eine Kommutierung oder eine Vektorregelung erfolgen [1]. Die Kommutierung kann prinzipiell gesteuert oder ungesteuert erfolgen. Bei der ungesteuerten Kommutierung kann der Motor als Schrittmotor genutzt werden, die Rotorposition folgt der Steuerung. Diese Variante ist für ein gleichmässig rollendes Longboard ungeeignet. Die Kommutierung muss also abhängig von der Rotorposition erfolgen (geführte Kommutierung), die Steuerung reagiert also auf die effektive Rotorposition und passt sich dieser an. Am einfachsten wäre diese mit Sensoren, da unser Motor jedoch nicht über Sensoren verfügt, muss der Motor über eine sensorlose gesteuerte Kommutierung angesteuert werden. Dies funktioniert jedoch nur ab einer Mindest-drehzahl wirklich gut. Zum Anfahren muss der Motor speziell angesteuert werden.

Bei der Vektorreglung, in diesem Fall eine Feldorientierte Regelung (field oriented controll, FOC), werden die Spannungen zur Steuerung aktiv der Rotorlage angepasst. Auch mit der FOC kann zwischen sensorgesteuerte und sensorlosen Regelung unterschieden werden. Bei der sensorlosen Regelung muss wiederum zum Anfahren eine zusätzliche Ansteuerung erfolgen. Kann die Anfangsposition jedoch genügen genau geschätzt werden, läuft der Motor auch bei tiefen Geschwindigkeiten gleichmässig, da er genauer geregelt werden kann. Dies entspricht unseren Anforderungen für das Commute, da ein sanftes Anfahren sehr wichtig ist. Die FOC ist im Kapitel 3.4 erklärt.

Ausgeführt wird die FOC auf einem Mikrocontroller. Mittels eines RF-Modul wird die Sollbeschleunigung empfangen. Eine Halbbrücke mit FET-Treibern (siehe Kapitel 3.5) setzt die gewünschte Motorsteuerung um. Zur Übersicht sind diese Elemente im Blockschaltbild Abbildung 2.2 dargestellt.

## Stromversorgung

Die Stromversorgung erfolgt über ein LiPo 5200mAh Akku, dieser ist vorgegeben. Es besteht ein externes Ladegerät. Da dies jedoch bedeutet, dass der Akku für jedes Laden vom Longboard gelöst werden muss. Dies ist umständlich und gefährdet die Wetterfestigkeit und Robustheit des Commute. Deshalb wird ein eigener, integrierter Akkulader entwickelt, so dass der Akku nicht

[ Quelle  
xxx ]

(xxx korrekt?)

Diese wird  
im Kapitel xxx  
erklärt.

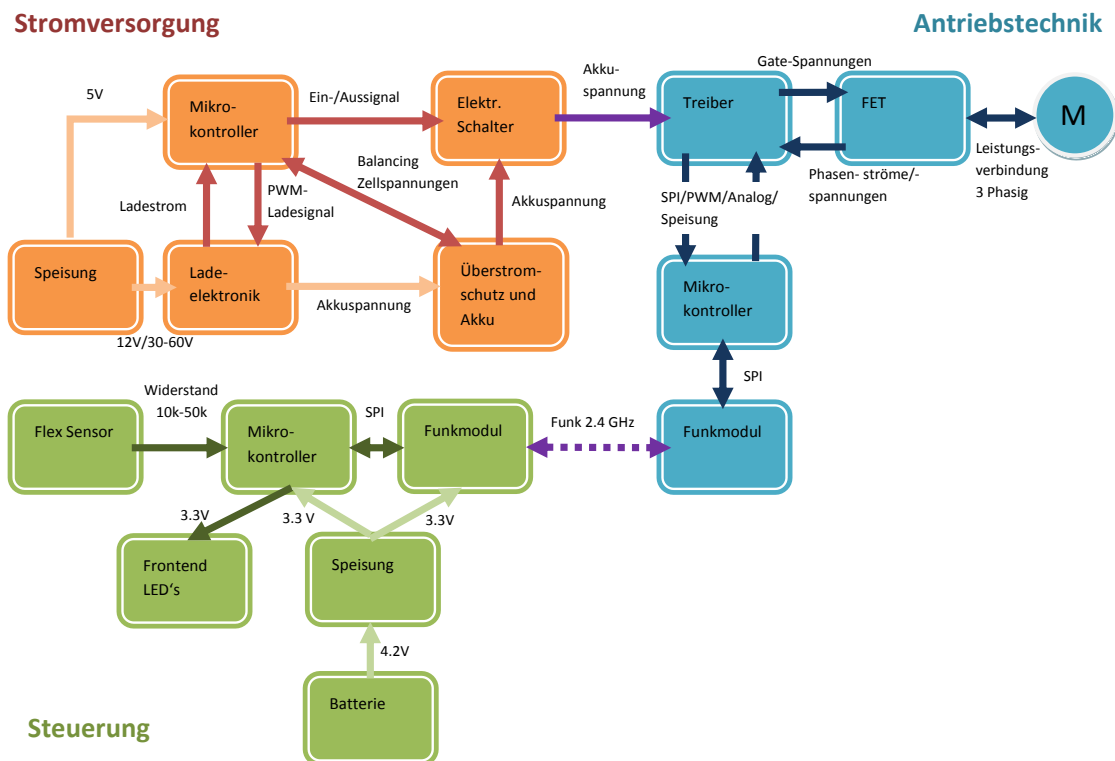


Abbildung 2.2: Detailliertes Blockschaltbild

mehr herausgelöst werden muss. Da die Entladung im Gebrauch sowieso überwacht werden muss, ist der Lader eine Ergänzung und kein alleinstehendes Element. Kernstück der Stromversorgung ist die Balancerschaltung. Dabei wird der Akku erst mit einem konstanten Strom geladen, bis die Zellspannung erreicht ist. Anschliessend wird mit einer konstanten Spannung geladen, bis der Strom unter 100mA gesunken ist, dann sind die Zellen vollständig geladen. Wie das Balancing genau funktioniert, ist im Kapitel 3.2 beschrieben. Anstelle einer eigenen Implementation hätte ein fertiges IC eingekauft werden können, aus finanziellen Gründen wurde jedoch darauf verzichtet. Die Elemente der Stromversorgung sind in der Abbildung 2.2 dargestellt.

## 2.2 Bedienung

Im folgenden wird die Bedienung des Commute beschrieben. Dabei wird erst die Inbetriebnahme beschrieben, anschliessend der alltägliche Gebrauch und zuletzt wird erklärt, wie der Akku geladen werden kann.

### Erste Inbetriebnahme

Bei der ersten Inbetriebnahme des Commute muss der Magic-Glove kalibriert werden. Insbesondere wird dabei die Ruhestellung der Hand definiert. Der Nutzer drückt drei Sekunden auf den Taster, dann zeigen die LEDs die Ruhestellung an, das heisst, alle leuchten und diese in der

Mitte leuchten am stärksten. Nun hält der Nutzer seine Hand in Ruhestellung, also so wie er gerne auf dem Longboard steht. Dies wird als Nullposition definiert. Anschliessend beginnen die LEDs zu laufen – in eine Richtung führt der Nutzer dazu eine Bremsbewegung aus, in die andere Richtung die Bewegung, um zu Beschleunigen. Anschliessend ist die Kalibration abgeschlossen. Nun kann das Commute genutzt werden.

### **Alltägliche Handhabung**

Auf dem Longboard befindet sich ein on/off-Schalter, ebenso auf dem Magic-Glove. Werden diese angeschaltet, ist das Commute betriebsbereit und der Nutzer kann losfahren. Entfernt sich der Nutzer mehr als drei bis vier Meter vom Bord, ist die Kommunikationsverbindung zwischen der Steuerung und der Antriebstechnik unterbrochen, und das Commute schaltet sich automatisch aus. Während der Fahrt wird dem Nutzer mithilfe der LEDs der Batteriestand des LiPo-Akkus angezeigt. Zudem wird die Batterie des Magic-Gloves überwacht und auch über die LEDs angezeigt.

### **Akku aufladen**

Der Akku kann praktisch über einen Stecker am Longboard aufgeladen werden, der Akku muss also nicht herausgelöst werden. Während dem Ladevorgang zeigen drei LEDs am Longboard den Ladestand an. Diese LEDs leuchten auch kurz auf, wenn das Longboard eingeschaltet wird und zeigen damit den Akkustand.



# 3 Technische Grundlagen

## 3.1 FlexSensor

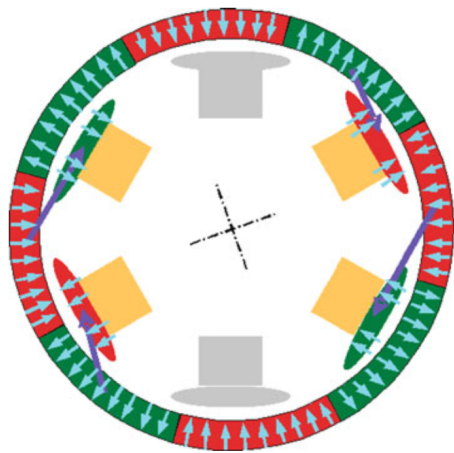
## 3.2 Balancing

Das Board wird durch ein sechs Zellen Lipo Polymer Akku gespeist. Jede einzelne Zelle hat einen eigenen Innenwiderstand, welcher sich mit dem Alter verändert und somit von den anderen Zellen abweicht. Somit geraten die Zellen aus der Balance. Beim Ladevorgang weisen diese unterschiedliche Spannungen auf. Damit alle Zellen wieder auf die gleiche Spannung kommen, braucht es einen Balancing-Vorgang. Dabei werden die Zellen, sobald eine über 4.2V ist, über einen Widerstand auf die nächste Zelle kurzgeschlossen, damit die Spannung auf jeder Zelle wieder den selben Wert hat.

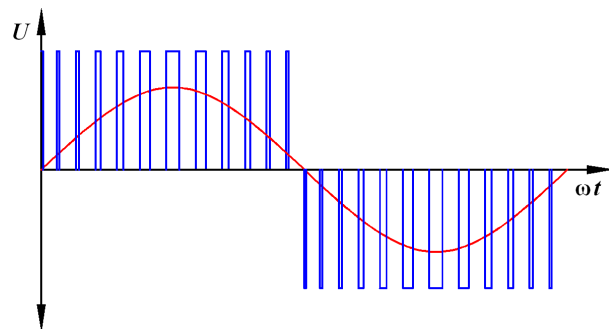
## 3.3 BLDC Motor

Für dieses Projekt wurde der Motor OX1 2-10 zur Verfügung gestellt. Dies ist ein dreiphasen Brushless DC-Motor ohne Hallensensoren. Die gegebenen technischen Daten sind in der Tabelle (Abbildung 3.2) ersichtlich. Des Weiteren ist am Motor ersichtlich, dass die Erregung aus 14 Permanentmagneten besteht und somit 7 Polpaare resultieren. Der Stator besteht aus 12 Spulen, somit ist jede Phase vier Mal gewickelt. Der Aufbau entspricht einem Aussenläufermotor, ein BLDC-Motor verhält sich aus Regelungssicht wie eine permanenterregte Synchronmaschine. In der Abbildung 3.1(a) ist das Feldverhalten dargestellt.

ref neben  
oben ...  
stehend  
u Refer-  
renz; in  
der neben-  
stehenden  
Tabelle



(a) Prinzip Aufbau BLDC [2]



(b) Sinusstrom mit PWM-Spannung [3]

Abbildung 3.1: Aufbau BLDC und PWM-Ansteuerung

Angesteuert wird jede Phase über eine Halbbrücke. Die FOC-Regelungsweise (siehe Kapitel 3.4), setzt einen sinusförmigen Strom auf jeder Phase voraus, dies jeweils 120 Grad Phasenverschoben. Realisiert wird dies mittels PWM-Ansteuerung der Halbbrücken. Da der Strom bei einer L-Last

Grad-  
Zeichen  
einfügen

das Integral der Spannung ist, lässt sich ein quasi-sinusförmiger Strom generieren. Dargestellt ist dies in der Abbildung 3.1(b).

BLDC Motor	Werte
Idle Current	1.2A
Max. Current	50A
Input Volt.	2..10 x 3.6 Lipo (25.2V)
Max. Output	1815W
Max. Pull	6700g
Rated Curren	42.5A
Motor Weight	460g
Shaft	8mm
Motor dimension	Ø50 x 65mm
Internal Resistance	0.0361Ω

Abbildung 3.2: BLDC Daten

### 3.4 FOC

### 3.5 FET, H-Brücke

### 3.6 Funkübertragung

e-Deutsch  
ueberset-  
zung und  
Formatie-  
rung usw

ev in An-  
hang??

[2] und  
korrekt  
zitieren...

# 4 Hardware

## 4.1 Überblick

Vielleicht könnte dieses Schema hier viel gewinnbringender eingefügt werden als im Abschnitt Grobkonzept?

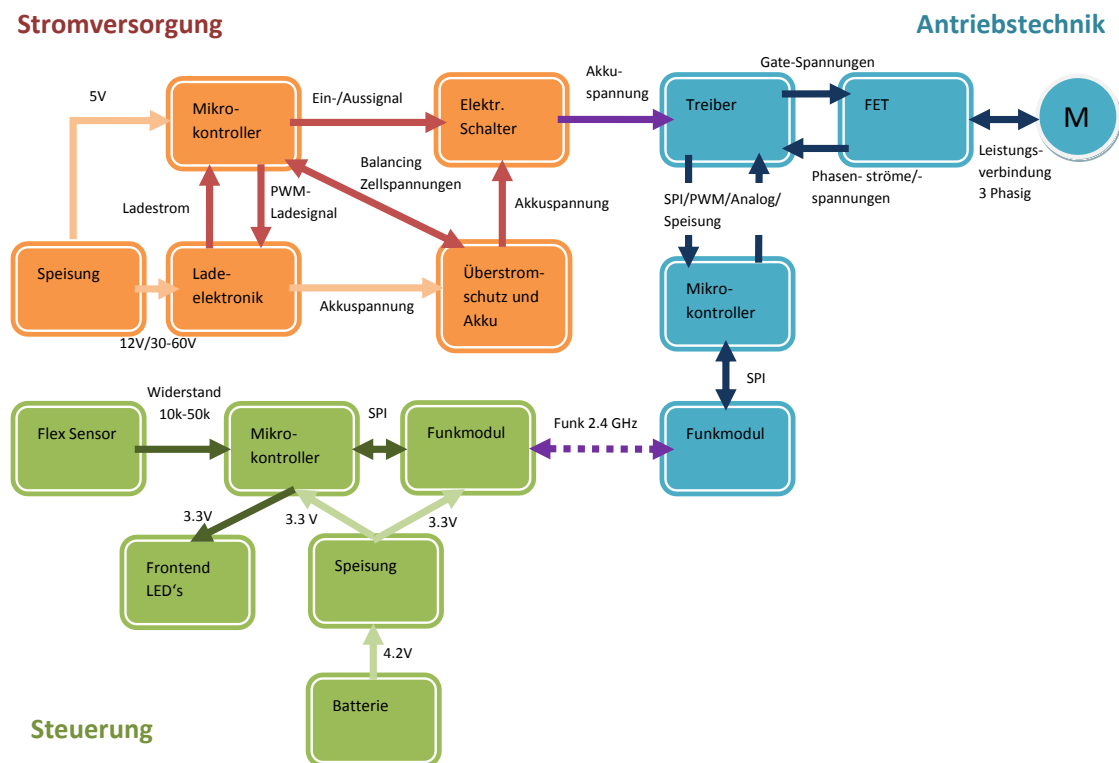


Abbildung 4.1: Detailliertes Blockschaltbild

## 4.2 Steuerung - Magic-Glove

## 4.3 Stromversorgung

Die Stromversorgung ist für dafür Zuständig, das der Akku fachgerecht geladen wird. Zusätzlich überwacht die Schaltung, das der Akku weder überladen, noch tiefentladen wird.

**Balancing**

**Ladeelektronik**

**Mikrocontroller**

## **4.4 Motoransteuerung**

**Treiber IC und Speisung**

**Endstufe (H-Brücke)**

**Messschaltung**

**Mikrocontroller**

# 5 Software

## 5.1 Überblick

## 5.2 Steuerung - Magic-Glove

## 5.3 Stromversorgung

Mit der Software zum Battery Management werden wichtige Punkte geregelt, um ein langes Leben der Akkuzellen zu gewährleisten. Darunter gehören sowohl über- als auch unter- Spannungsschutz sowie ausbalancieren der einzelnen Zellenspannungen beim Laden.

Der aktuelle Ladevorgang wird über drei verschiedenen LED's angezeigt. Dabei zeigen diese den Constant Current (CC), Constant Voltage (CV) und den vollen Zustand (off) an. Diese können als Laden (CC, LED1) Betriebsbereit (CV, LED2) und vollständig geladen (off, LED3) interpretiert werden. Das folgende Zustandsdiagramm (Abbildung 5.1) zeigt den Ablauf der Software auf dem Mikrocontroller.

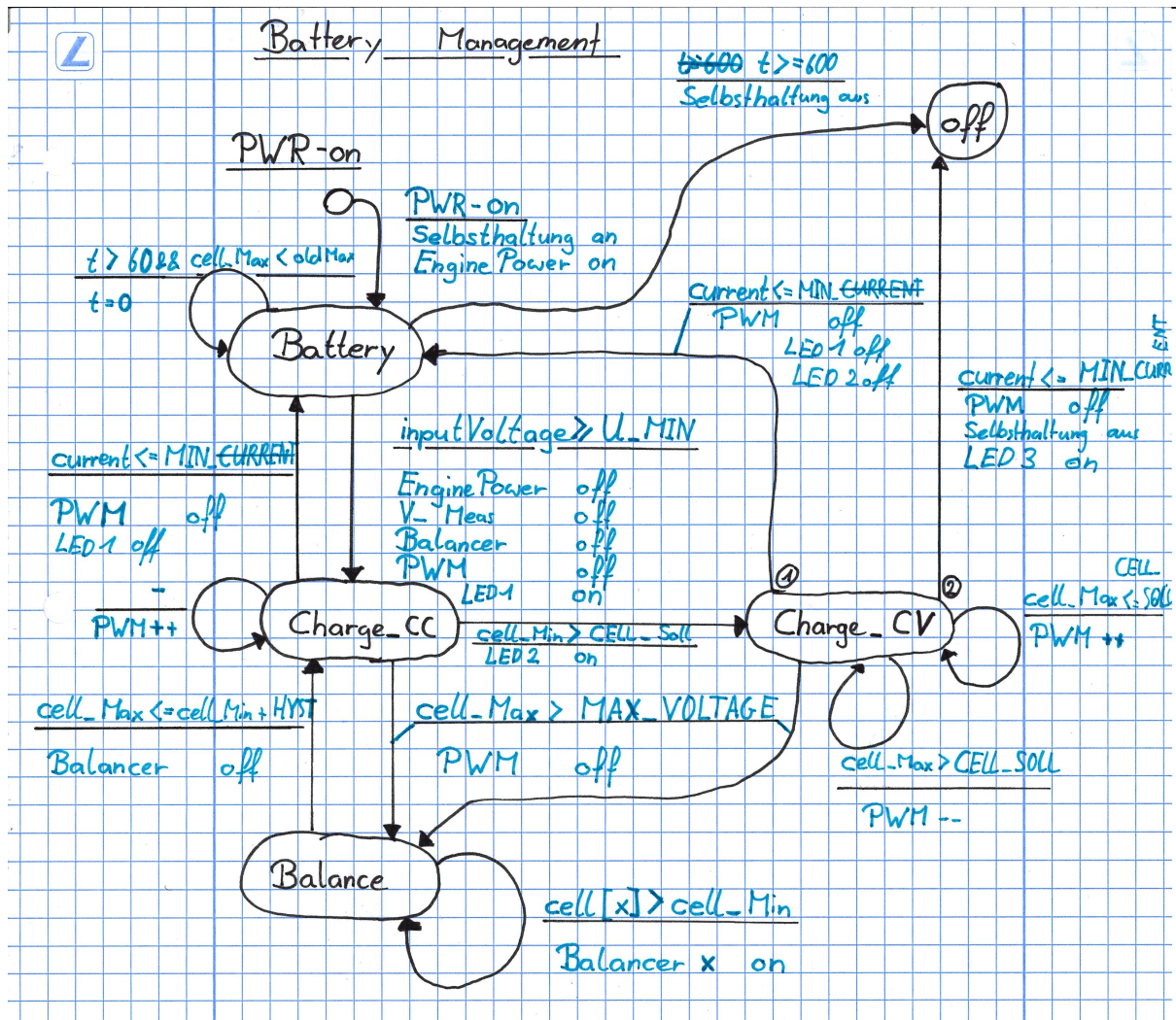


Abbildung 5.1: State Diagramm des Batterie-Managemnet

Wie im Hardwareteil schon beschrieben wurde, hält sich der Mikrocontroller mit einer Selbsthaltung in Betrieb. Diese wird jedoch einerseits mit dem Ein- Taster als auch mit der Eingangsspannung des Ladegerätes überbrückt. Wird einer von diesen aktiviert, startet der Mikrocontroller auf und betätigt die Selbsthaltung.

Beim Start wird als erstes der *Battery* Zustand geladen. Wenn das Ladekabel nicht angeschlossen ist, wird die Schaltung den Motor mit der benötigten Spannung von den Akkuzellen versorgen. Falls das Board über zehn Minuten nicht gebraucht wird oder sich der Akku der unteren Spannungsgrenze nähert, wird das Board ausgeschaltet. Sobald eine Ladespannung des Ladegeräts angelegt wird, wechselt der Mikrocontroller in den Zustand *Charge\_CC*.

In diesem Zustand wird der Strom zunehmend auf die maximalen 5A gebracht und dort konstant gehalten. Dies geschieht durch den Pulsweitenmodulation-Ausgang (PWM-Ausgang) der auf den Schaltregler führt. Je mehr Strom in die Zellen fließt, desto höher wird deren Spannung. Sobald eine Zelle den Maximalwert von 4.3V überschreitet, wird in den *Balance* Zustand gewechselt. Dort werden alle Zellen auf den Wert der niedrigsten Zelle entladen. Die beiden Zustände werden solange wiederholt, bis sich die Spannung der niedrigsten Zelle über der Soll

Spannung befindet. Danach wird in den nächsten Zustand *Charge\_CV* gewechselt. Im *Charge\_CV* Zustand wird mit der Regelung des Zuführstromes versucht, die Zellenspannung weiterhin auf dem Sollwert von 4.15V zu halten. Dieser Strom nimmt mit der immer weiter fortschreitenden Aufladung der Zellen kontinuierlich ab, bis schliesslich ein unterer Grenzwert von XXmA erreicht wird. An diesem Punkt gilt der Akku als voll geladen und wechselt in den Zustand *Off*. Anders als vielleicht zuerst angenommen bleibt das Board dank der Überbrückung der Selbsthaltung aktiv und zeigt durch die 3 leuchtenden LED's an, dass der Akku voll aufgeladen ist. Sobald die Spannung des Ladegeräts abfällt, fällt auch die Selbsthaltung ab. Somit ist das Board komplett ausgeschaltet.

xxx mA

Ein weiterer Schwerpunkt der Software war die Berechnung der Spannungen der einzelnen Zellen. Die Zellen sind seriell miteinander verbunden. Somit addieren sich die Spannungen an den Ausgängen jeder Zelle bis auf 24,9V auf der sechsten Zelle. Da der AD-Wandler des Mikrocontroller nur zwischen 0 und 5 Volt messen kann, müssen die Ausgänge der Zellen mit einem Spannungsteiler mit dem Faktor  $\frac{1}{n}$  herunter skaliert werden. Ab der zweiten Spannung sind die Ausgänge jedoch abhängig von den vorherigen Zellen. Um einen richtigen Wert zu erhalten, muss die Differenz inklusive der richtigen Skalierungsfaktoren berechnet werden. Mithilfe dieser Daten kann man für die Spannung der einzelnen Zellen  $cell_0 \dots cell_n$  folgende Formel herleiten:

$$cell_n = n \cdot ADC(n) - (n - 1) \cdot ADC(n - 1) \quad (5.1)$$

Die Zellspannungen werden in jedem Durchlauf gemessen und in einem Array abgespeichert. Aus diesen Werten werden die minimale und maximale Spannung berechnet, welche für die verschiedenen Logikabfragen in der Statemachine verwendet werden.

erklärung  
/ Liste  
der ver-  
wendeten  
Symbole /  
bedeutung  
ADC,...

## 5.4 Motoransteuerung

### Plattform

Erläuterung der verwendeten SW-Komponenten/Betriebssystem,

### Entwicklungsumgebung

### Programmablauf

Blockschaltmässiger Ablauf der Software

### Peripherie

Verwendete Peripheriegeräte wie Timer, ADC, DMA usw

### Modulübersicht

Jedes Modul wird grob erläutert

### Libraries

Eine Übersicht über alle verwendeten externen Libraries

# **6 Validierung**

## **6.1 Überblick**

## **6.2 Steuerung - Magic Glove**

## **6.3 Stromversorgung**

## **6.4 Motoransteuerung**

## **6.5 Gesamtvalidierung**

## **6.6 Markttauglichkeit**



## 7 Schlusswort

# Literaturverzeichnis

- [1] Wikipedia. Bürstenloser gleichstrommotor. [Online]. Available: [https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCrstenloser\\_Gleichstrommotor#Kommutterung](https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCrstenloser_Gleichstrommotor#Kommutterung)
- [2] G. Babel, *Elektrische Antriebe in der Fahrzeugtechnik: Lehr- und Arbeitsbuch*, 3rd ed., S. Vieweg, Ed.
- [3] image50.png (png-grafik, 1197 auf 645 pixel). [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/source/html/17059/media/image50.png>

# A Anhang