



PORSCHE

T2_2000

**Inbetriebnahme eines Startergenerator-Systems mit einem 48V
Kondensator-Speicher**

für die Prüfung zum
Bachelor of Engineering

des Studienganges Elektrotechnik (Automation)
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Stuttgart

von

Moritz Schüler

09.09.2016

Bearbeitungszeitraum:	280 h
Matrikelnummer, Kurs	7735199, STG-TEL14GR3
Ausbildungsfirma:	Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Stuttgart
Betreuer der Ausbildungsfirma:	Ulrich Eger, Diplom-Ingenieur



PORSCHE



Sperrvermerk

Die vorliegende Studienarbeit enthält zum Teil Informationen, die nicht für die Öffentlichkeit bestimmt sind. Alle Rechte an der Studienarbeit einschließlich der Verbreitung auf elektronischen Medien liegen bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG.

Abweichend hiervon darf der Inhalt der Arbeit während einer Sperrzeit von 5 Jahren ab dem Abgabedatum mit der ausdrücklichen schriftlichen Genehmigung der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG an Dritte weitergegeben werden. Nach Ablauf der Sperrzeit ist diese Genehmigung nicht mehr erforderlich.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Projektarbeit mit dem Thema: „Inbetriebnahme eines Startergenerator-Systems mit einem 48V Kondensator-Speicher“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Ort

Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der erneuten Inbetriebnahme eines Riemen-Startergenerator-Systems, das im Rahmen mehrerer Praxis- und Abschlussarbeiten als Prototyp in einem Versuchsfahrzeug eingebaut wurde. Aufgrund verschiedener Defekte befand sich das System längere Zeit in einem fehlerhaften Zustand und soll nun mit einer neuen 48V Lithium Batterie und dem instandgesetzten Riemen-Startergenerator wieder in Betrieb genommen werden. Zunächst soll die Funktion des Systems mit der neuen Batterie in einem Laboraufbau getestet werden, bevor das System anschließend wieder ins Auto eingebaut wird.

Zu Beginn werden die theoretischen Hintergründe der Arbeit vorgestellt. Nachdem einige Kenngrößen von Energiespeichern erklärt wurden, wird auf die Technologien von Lithium Ionen Akkumulatoren und Lithium Kondensator Modulen genauer eingegangen. Zudem wird das Fahrzeugsystem kurz beschrieben. Zum Schluss wird der Laboraufbau genauer betrachtet, wobei auf die Erstellung der Hardware sowie die Anpassung der Software eingegangen wird.

Die Integration der neuen 48V Lithium Batterie wurde erfolgreich durchgeführt und das System befindet sich in einem funktionsfähigen Zustand.

Schlüsselwörter: 48V, Lithium Ionen Batterie, Lithium Kondensator Modul, Riemen-Startergenerator

Abstract

This paper deals with the re-commissioning of a belt starter generator system, which was built as a prototype in a test vehicle within the scope of several practical projects and thesis. Due to various defects the system was in a bad condition and is now to be taken back into operation with a new 48V lithium battery and repaired belt starter generator. First, the function of the system will be tested in a laboratory set-up, before the system is reintegrated into the car.

At the beginning the theoretical background of the work will be presented. After the explanation of some accumulator parameters, the focus is placed especially on the technologies of lithium ion batteries and lithium capacitor modules. In addition, the vehicle system is briefly described. Finally, the laboratory set-up is considered more accurate, whereby the construction of the hardware as also the adaptation of the software is mentioned.

The integration of the new 48V lithium battery has been successfully carried out and the system is in working order.

Key Words: 48V, Lithium ion battery, Lithium capacitor module, belt starter generator

Inhaltsverzeichnis

Sperrvermerk.....	II
Eidesstattliche Erklärung.....	III
Kurzfassung.....	IV
Abstract.....	V
Formelgrößen und Einheiten.....	VIII
Abkürzungen.....	IX
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	X
Abbildungen.....	X
Tabellen.....	XI
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	3
2 Stand der Technik.....	4
2.1 Kenngößen.....	4
2.1.1 Nennspannung.....	4
2.1.2 Kapazität.....	5
2.1.3 C-Rate.....	5
2.1.4 Temperatur.....	5
2.1.5 Energiedichte.....	5
2.1.6 Leistungsdichte.....	6
2.1.7 Batterie Management System (BMS).....	6
2.1.8 Balancing.....	7
2.2 Verwendete Speichertechnologien.....	7

2.2.1 Lithium Ionen Batterie.....	7
2.2.2 Lithium Kondensator Modul.....	11
3 Systemaufbau.....	17
3.1 Bestehendes Fahrzeug.....	18
3.1.1 Das Fahrzeug.....	18
3.1.2 Änderungen zur Serienausstattung.....	19
3.2 Laboraufbau - Hardware.....	22
3.2.1 Übersicht des Laboraufbaus.....	22
3.2.2 Umsetzung.....	23
3.2.3 Fahrzeugeinbau.....	27
3.3 Laboraufbau - Software.....	28
3.3.1 Änderungen im bestehenden Simulink Modell.....	28
3.3.2 Echtzeitüberwachung der Daten in Control Desk.....	32
4 Zusammenfassung und Ausblick.....	35
5 Literaturverzeichnis.....	36
A Anhang.....	1
A1 An das BMS gesendete Botschaften.....	1
A2 Zustandsgraph Rekuperation.....	2
A3 Benutzeroberfläche Control Desk.....	3
A4 An das BMS gesendete Daten.....	4

Formelgrößen und Einheiten

Formelzeichen	Einheit	Bezeichnung
ϑ	°C	Temperatur
Q	Ah	Elektrische Ladung
C	F	Kapazität
I	A	Strom
P	W	Leistung
U	V	Spannung
v	m/s	Geschwindigkeit
ϕ	W/kg bzw. W/l	Leistungsdichte
ω	Wh/kg bzw. Wh/l	Energiedichte

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
BMS	Batterie Management System
C#	C-Sharp (Programmiersprache)
CAD	Computer Aided Design
CAN	Controller Area Network
LIK	Lithium Kondensator
LIN	Local Interconnect Network
MAB	MicroAutoBox
PC	Personal Computer
Porsche AG	Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG
RSG	Riemen-Startergenerator
SOC	State of Charge (Ladestand)
Supercap	Superkondensator
TPU	Time Processing Unit

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1: Aufbau Lithium Ionen Batterie.....	8
Abbildung 2: Explosionszeichnung Lithium Batterie.....	10
Abbildung 3: Prinzip eines Lithium Kondensator Moduls.....	12
Abbildung 4: Funktionsprinzip einer elektrostatischen Doppelschicht.....	13
Abbildung 5: Lithium Kondensator Zelle.....	14
Abbildung 6: Gehäuse eines Super Kondensator Moduls.....	15
Abbildung 7: Aufbau des Riemen-Startergenerator-Systems.....	19
Abbildung 8: Riemen-Startergenerator und Inverter.....	20
Abbildung 9: RSG-System CAD Ausschnitt.....	20
Abbildung 10: Übersichtplan des Fahrzeugsystems.....	22
Abbildung 11: Aufbau Sperrholzplatte.....	23
Abbildung 12: Bedienpanel vorne in Draufsicht (li.) und angeschlossen (re.).....	25
Abbildung 13: CAN Box in Draufsicht (li.) und angeschlossen (re.).....	25
Abbildung 14: dSpace MicroAutoBox II.....	26
Abbildung 15: Laboraufbau Gesamtübersicht.....	27
Abbildung 16: Fahrzeugeinbau (li.) und Adapter (re.).....	28
Abbildung 17: Anpassung Inkrementalgeber vorher (oben) und nachher (unten).....	29
Abbildung 18: An das BMS gesendete Botschaften.....	30
Abbildung 19: Zustandsgraph Rekuperation.....	31
Abbildung 20: SOC abhängige Strombegrenzung.....	32
Abbildung 21: Benutzeroberfläche Control Desk.....	33
Abbildung 22: An das BMS gesendete Daten.....	34

Tabellen

Tabelle 1: Komponenten der Lithium Ionen Batterie.....	10
Tabelle 2: Technische Daten der Lithium Batterie.....	11
Tabelle 3: Komponenten des Lithium Kondensator Moduls.....	15
Tabelle 4: Technische Daten des Lithium Kondensator Moduls.....	16
Tabelle 5: Wertetabelle SOC zu Strom.....	32

1 Einleitung

Während meiner Praxisphase bei der Porsche AG beschäftigte ich mich mit der Weiterführung der Bachelorarbeit „Speichertechnologien im 48V Bordnetz“ von Sebastian Wachter vom 25.11.2015. In seiner Abschlussarbeit ging es um die Entscheidung, welche 48V Energiespeichertechnologien für eine neue Bordnetzspannungsebene in zukünftigen Serienfahrzeugen in Frage kommen. Aufbauend auf den Ergebnissen der Arbeit bestand meine Aufgabe darin den Laboraufbau in ein Fahrzeug zu integrieren und damit einen 48V Riemen-Startergenerator zu betreiben.

1.1 Motivation

Mit der voranschreitenden Entwicklung der Fahrzeuge steigt vor allem das Angebot an Fahrerassistenzsystemen und elektronischen Hilfen. Dadurch wird das herkömmliche Bordnetzsystem stark beansprucht, v.a. neuartige Hochleistungsverbraucher, die auf dem Weg in die Serie sind, wie z.B. der elektrisch unterstützte Abgasturbolader, zeigen hohen Strombedarf.

Der Standard für das Niedervolt-Bordnetz ist momentan die 12V Bleibatterie, da sich diese über Jahre bewährt hat und sich durch die hohen Stückzahlen auch große Kostenvorteile bieten. Nachteile bringt diese Batterietechnologie allerdings auch mit sich, so stößt sie vor allem bei der Zyklisierung aufgrund von Start/Stop und Rekuperation an ihre Grenzen.

Daher haben die großen deutschen Automobilhersteller im Juni 2011 auf dem 15. Fachkongress „Fortschritt in der Automobilelektronik“ entschieden, eine neue Spannungsebene für das Niedervolt-Bordnetz zu erforschen. Hierbei einigten sich die OEMs auf eine Spannungslage von 48V, da dies mehrere Vorteile bietet. Sie befindet sich unterhalb der Grenze für die Berührsicherheit von Gleichstrom, welche

bei 60V liegt, und die oben angesprochenen Hochleistungsverbraucher lassen sich deutlich effizienter betreiben. Letztgenannter Vorteil wurde vor allem bei der Rekuperation bewiesen. Die Firma Continental stattete ein Versuchsfahrzeug mit einem 48V Bordnetz aus und konnte dabei beim ersten Test im NEFZ¹ 13% Kraftstoff gegenüber einem Serienfahrzeug einsparen, bei Demonstrationsfahrten lag der Wert sogar bei 21%. Dieser Erfolg bekräftigte die Forschungen zur 48V Spannungsebene, deshalb soll im Rahmen dieser Arbeit die Integration eines 48V Riemen-Startergenerator Systems durchgeführt und erprobt werden.^{2,3}

1.2 Zielsetzung

Für die Integration des Riemen-Startergenerators in einen Versuchsträger sollte das bestehende Fahrzeugsystem, mit dem es möglich ist verschiedene Speicher direkt im Fahrzeug zu vergleichen, modifiziert werden. Die Ultrakondensator-Module erwiesen sich als unbrauchbar für die gesetzten Anforderungen und wurden deshalb entfernt. Des Weiteren musste die Verkabelung geändert und die Kommunikation der Komponenten untereinander angepasst werden. Zunächst wird der Aufbau im Labor mit einer Lastsenke getestet. Anschließend sollen die Speicher im Versuchsträger bei verschiedenen Betriebsanforderungen verglichen werden.

Zusammengefasst sollen folgende Aufgaben dokumentiert werden:

- Einarbeitung
 - in die Grundlagen der Vernetzung im Fahrzeug
 - in die Dokumentation „Speichertechnologien im 48V Bordnetz“ von Sebastian Wachter
 - in das bestehende Fahrzeugsystem

- Systementwurf

¹ (Wiesinger 2015), genormter Fahrzyklus zur Emissions- und Verbrauchsbestimmung von Serienfahrzeugen

² (Klein 2015)

³ (Finger 2015)

- Planung des Laboraufbaus
 - Planung der Umbauaktionen
 - Auswahl der Hardwarekomponenten
-
- Aufbau und Erprobung des Systems
 - Erstellung der benötigten Hardware und Software
 - Funktionstest an einem Laboraufbau
 - Integration des Aufbaus in den Versuchsträger

1.3 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung gliedert sich die Arbeit in drei weitere Kapitel. In **Kapitel Zwei** werden theoretische Grundlagen über Batteriekenngrößen vermittelt. Zudem werden die verwendeten Speichertechnologien genauer beleuchtet. Im **dritten Kapitel** ist der Fahrzeugaufbau erläutert und eine Beschreibung des Laboraufbaus zum Test der Grundfunktionen aufgeführt. Zusätzlich werden Auszüge der Software beschrieben. Das **vierte Kapitel** fasst die Kernaussagen der Arbeit zusammen und zeigt einen Ausblick auf das weitere Potential und die weiteren Forschungsmöglichkeiten.

2 Stand der Technik

In diesem Kapitel geht es um theoretische Grundlagen zum Aufbau und zu besonderen Eigenschaften von Akkumulatoren. Des Weiteren werden der Laboraufbau mit den verwendeten Komponenten und der Zustand des Fahrzeugs näher beschrieben.

2.1 Kenngrößen

Moderne Energiespeicher werden aus mehreren Zellen aufgebaut, welche die gleichen Eigenschaften besitzen. Diese werden durch ihre Kenngrößen beschrieben und sind ausschlaggebend für das Gesamtverhalten des Speichers, weshalb im Folgenden ein Blick auf die Zellgrößen geworfen wird.

2.1.1 Nennspannung

Ein Grundbegriff bei Akkumulatoren ist die Nennspannung bzw. Nominalspannung. Diese wird bestimmt durch den Aufbau der Zelle sowie den verwendeten Elektrodenmaterialien. Sie entspricht der Durchschnittsspannung, die beim Normalbetrieb anliegt. Zusätzlich zu dieser Größe gibt es die Maximal- oder Ladeschlussspannung sowie die Minimal- oder Entladeschlussspannung, die den Bereich festlegen, in welchem die Zelle betrieben werden sollte.⁴ Dieser Bereich wird sehr ernst genommen, da es bei Überspannung zu einem internen Kurzschluss und somit zu einer Feuerbildung kommen kann. Große Gefahren gehen vom Unterschreiten der Minimalspannung zwar nicht aus, allerdings ist die Zelle nach einmaliger Tiefenentladung nicht wieder verwendbar.⁵

⁴ (Hofmann 2010)

⁵ (Rummich 2009)

2.1.2 Kapazität

Die Kapazität ist ein weiterer Grundbegriff im Themengebiet von Energiespeichern. Sie gibt an, wie viele elektrische Ladungsträger in einem Akkumulator maximal gespeichert werden können. Diese Größe ist bereits von Kondensatoren bekannt. Dort wird die Dimension in Coulomb (C) angegeben, bei Batterien spricht man hingegen von Amperestunden (Ah). Aufbauend auf der Kapazität wurde in Verbindung mit Lithium-Batterien eine neue Kenngröße eingeführt, die C-Rate.⁶

2.1.3 C-Rate

Die C-Rate gibt abhängig von der Kapazität an, mit wie viel Strom ein Speicher entladen bzw. geladen werden darf. Ferner sagt sie aus, wie lange ein Akku mit gewisser Kapazität C mit dem maximalen Entladestrom belastet werden kann, bis dieser komplett entladen ist.⁷

2.1.4 Temperatur

Ein weiterer zu beachtender Punkt ist die Maximaltemperatur, die die einzelnen Zellen eines Energiespeichers haben dürfen, da sonst die Gefahr eines internen Zellkurzschlusses besteht. Der Wert liegt heutzutage meist bei 60°C.^{8,9}

2.1.5 Energiedichte

Aussagen über die Reichweite eines Elektrofahrzeugs können über die Energiedichte getroffen werden. Sie gibt an, wie viel Energie pro Kilogramm bzw. pro Volumen gespeichert werden kann.

2.1.6 Leistungsdichte

Bei der Zellauswahl muss immer ein Kompromiss zwischen der Energiedichte und der Leistungsdichte gemacht werden. So gibt die Leistungsdichte keine

⁶ (Reif 2010)

⁷ (Cadex Electronics Inc. 2016)

⁸ (Akku Abc 2016)

⁹ (CHEMIE.DE Information Service GmbH o.J.)

Informationen über die Reichweite dafür über die maximale Leistung, die eine Zelle abgeben kann und hat somit erhöhten Einfluss auf das Beschleunigungsverhalten eines Elektrofahrzeugs. Sie gibt an, wie viel Leistung pro Kilogramm bzw. pro Volumen bereitgestellt werden kann.¹⁰

2.1.7 Batterie Management System (BMS)

Da die Anforderungen an Akkumulatoren (Leistung, Spannung, Strom, Kapazität) meist den zulässigen Zellspannungsbereich von 2,5 bis 4,2 Volt überschreiten, werden sie aus mehreren Zellen aufgebaut. Diese werden in Reihe geschaltet, um auf die erforderliche Spannungsebene zu kommen. Zusätzlich werden parallele Zellpaare, Zelltripel o.ä. gebildet, um die angestrebte Kapazität bzw. Energie zu erhalten. Dadurch ergibt sich das Problem von sehr komplexen Systemen, bei denen man zudem extrem vorsichtig sein muss, um Übertemperatur oder Überspannung zu verhindern. Die Lösung dieser Problematik ist das Batterie Management System. Heutzutage besitzen nahezu alle neuartigen Energiespeicher ein solches System, welches alle Zellspannungen und -temperaturen überwacht, um die Batterie vor bleibenden Schäden zu schützen. Ein weiterer Grund für die Einführung dieses Systems wird vor allem bei großen Entladeströmen deutlich. In diesem Fall können sich Zellen unterschiedlich stark entladen, da fertigungsbedingt Toleranzen bei der Kapazität vorhanden sind. Das Batterie Management System erkennt dies und gleicht diese Kapazitätsunterschiede wieder aus.^{11,12}

¹⁰ (Rummich 2009)

¹¹ (Korthauer 2013)

¹² (Hofmann 2010)

2.1.8 Balancing

Dieses Ausgleichen der Kapazitätsunterschiede nennt man Balancing. Hier unterscheidet man wiederum in aktives und passives Balancing. Beim aktiven werden Zellen mit höherer Kapazität als der Durchschnitt gesucht, um damit Zellen mit niedriger Kapazität über Ausgleichsströme wieder aufzuladen. Die Kapazität wird sozusagen umgeladen. Da die Qualität eines Speichers immer durch die schwächste Zelle bedingt ist, erkennt man hier den großen Vorteil dieses Systems. Es passen sich alle Zellen auf das gleiche Kapazitätsniveau an und die Qualität des Akkus kann sogar gesteigert werden, da die Zellen mit der schwächsten Kapazität in ihrem Niveau angehoben werden.¹³

Das passive Balancing hingegen bietet diesen Vorteil nicht, es entlädt lediglich die Zellen mit höherem Kapazitätsniveau über einen Widerstand, um ein einheitliches Kapazitätsniveau und somit einen ausgeglichenen Energiespeicher zu erhalten.¹⁴

2.2 Verwendete Speichertechnologien

Anhand der Kenngrößen wurden zwei elektrochemische Speicher ausgewählt, welche den Anforderungen des Systems entsprechen. Diese sollen nachfolgend vorgestellt und genauer erläutert werden.

2.2.1 Lithium Ionen Batterie

Ein moderner Energiespeicher, der zukünftig, vor allem bei Elektrofahrzeugen aber auch bei anderen Kraftfahrzeugen vermehrt Anwendung finden wird, ist der Lithium Ionen Akkumulator. Der Grund und Vorteil, weshalb dieser Speichertyp momentan so beliebt ist, ist die im Vergleich zu anderen Batterietechnologien hohe spezifische Energie im Verhältnis zum verbrauchten Bauraum bzw. zum Gewicht. Allerdings werden sie noch kritisch beäugt, da sie sehr empfindlich auf hohe Temperaturen und sowohl Über- als auch Unterspannung reagieren. Deshalb ist bei diesem

¹³ (Scrosati, Garche und Tillmetz 2015)

¹⁴ (Scrosati, Garche und Tillmetz 2015)

Speichertyp ein Batterie Management System, wie oben bereits erklärt, unverzichtbar.

2.2.1.1 Prinzip

Lithium Ionen Akkumulatoren bestehen grundsätzlich aus 2 Elektroden, die über einen Elektrolyten miteinander „verbunden“ sind. Zusätzlich befindet sich zwischen den beiden Elektroden eine Trennwand, auch Separator genannt. Allgemein wird, wie auch bei der Bleibatterie, die elektrische Potentialdifferenz der Elektroden in einem elektrochemischen Prozess mit Stoffänderung an den Elektroden zur Stromerzeugung genutzt. Der Aufbau ist in Abbildung 1 zu sehen.

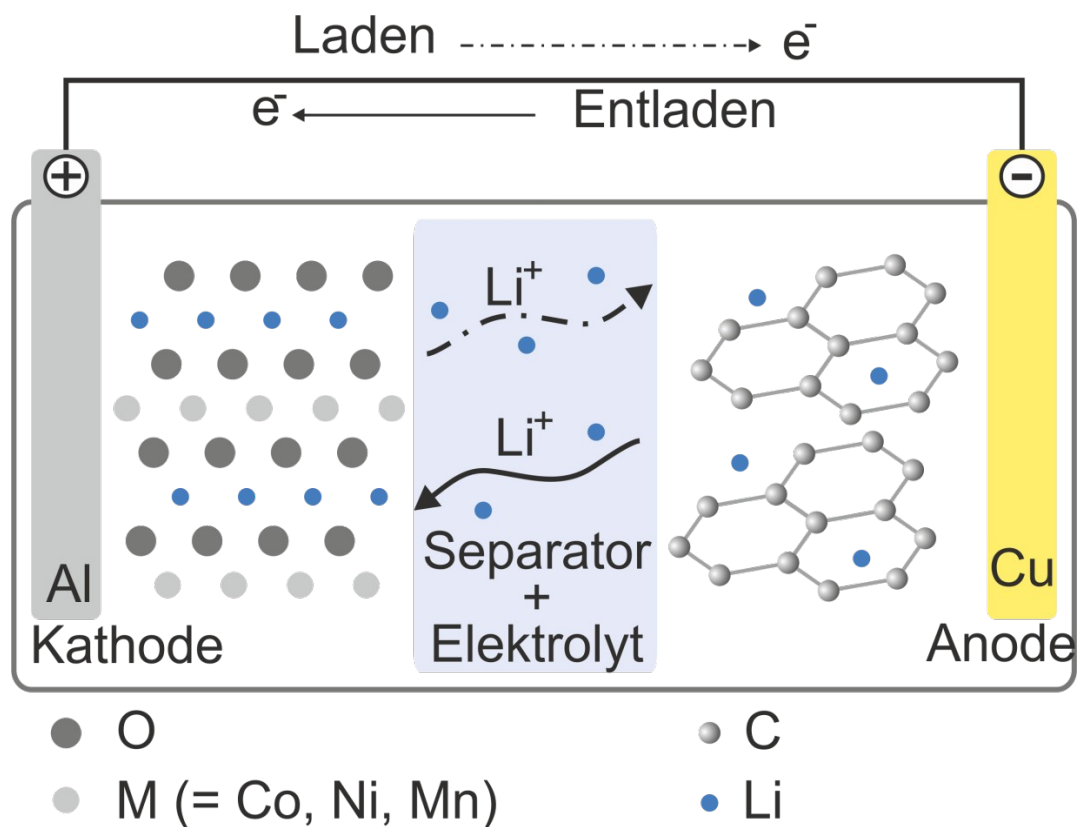


Abbildung 1: Aufbau Lithium Ionen Batterie¹⁵

¹⁵ (Jaiser 2014)

Die negative Elektrode besteht hier aus einer Graphit-Interkalationsverbindung, die positive Elektrode wurde aus Lithium-Metalloxid gefertigt. Sie befinden sich in einem Elektrolyten, einer Flüssigkeit, die die Elektroden leitend verbindet. In der Mitte wurde ein Separator eingefügt, der die Elektroden wieder elektrisch voneinander trennt, allerdings für Lithium-Ionen zum Ladungsausgleich durchlässig ist. Die genaue Bedeutung und Funktion erschließt sich beim Betrachten des Lade- und Entladevorgangs.¹⁶

Beim Entladen gibt die negative Elektrode Elektronen ab, die über den externen Stromkreis die Verbraucher versorgen und dann zur positiven Elektrode gelangen. Zeitgleich wandern gleich viele in der Graphitelektrode eingelagerte positiv geladene Lithium-Ionen als Ladungsausgleich durch den Separator zur positiven Elektrode. Dort werden die überschüssigen Elektronen vom Metalloxid aufgenommen und das Lithium in Ionenform eingebunden.¹⁷

Beim Ladevorgang werden die Elektronen wieder aus der Metalloxidbindung ausgelöst und durch die Spannungsquelle zurück zur Graphitelektrode „gepumpt“. Um die überschüssige Ladung wieder auszugleichen, wandern die eingebundenen Lithium-Ionen durch den Separator zurück in die Interkalationsverbindung und lagern sich zwischen den Graphitschichten ein.¹⁸

2.2.1.2 Aufbau

Der vorliegende Lithium Ionen Akkumulator ist nach dem eben beschriebenen Prinzip aufgebaut und besteht aus 13 dieser Zellen. Zum Betrieb des Energiespeichers werden allerdings noch viele weitere Komponenten benötigt, wie das oft angesprochene BMS. Um einen Überblick darüber zu erhalten, wird in Abbildung 2 der Innenaufbau des Lithium Speichers gezeigt.

¹⁶ (CHEMIE.DE Information Service GmbH o.J.)

¹⁷ (Schaerer o.J.)

¹⁸ (CHEMIE.DE Information Service GmbH o.J.)

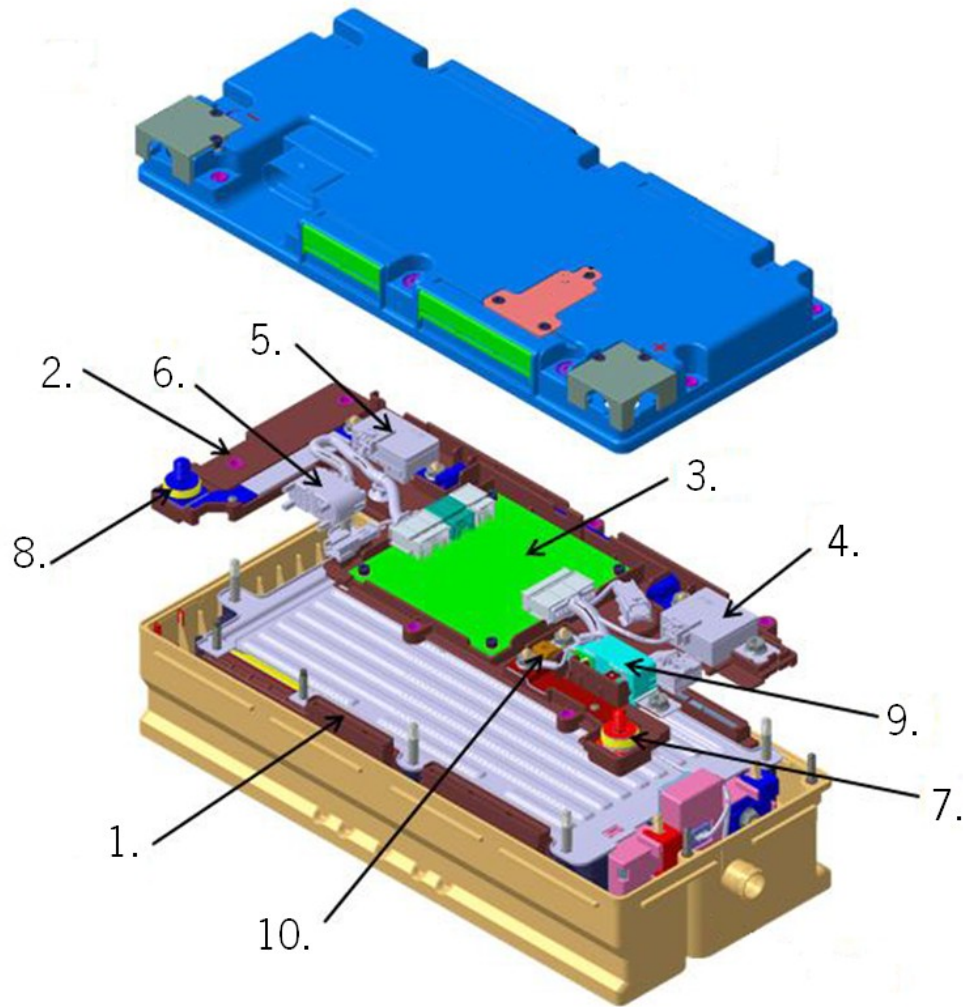


Abbildung 2: Explosionszeichnung Lithium Batterie¹⁹

Nr.	Komponente
1	Zellenmodul
2	Grundplatte
3	Batterie Management System
4	Stromsensor (Shunt)
5	Stromsensor (Hall)
6	Fahrzeugstecker
7	Pluspol
8	Minuspol
9	Relais (Mono-Stabil)
10	Sicherung

Tabelle 1: Komponenten der Lithium Ionen Batterie

¹⁹ (LG Chem 2015)

2.2.1.3 Technische Daten

Die technischen Daten sind in Tabelle 2 gelistet.

KenngroÙe	Wert
Hersteller	LG Chem Ltd
Kapazität	9,6 Ah
Zellen	13
Nennspannung (Zelle)	3,7 V
Nennspannung (Modul)	48 V
Ladestrom	140 A
Entladestrom	225 A
Maximale Ladespannung	54 V
Energiedichte	50 Wh/kg
Gewicht	9,2 kg

Tabelle 2: Technische Daten der Lithium Batterie

2.2.1.4 Schnittstellen

Das Batterie Management System des Lithium Ionen Akkumulators ist mit einer CAN Schnittstelle ausgerüstet. Hierüber können Informationen über den Zustand des Energiespeichers ausgelesen und Anweisungen an das BMS zum Schließen des Relais o.Ä. geschickt werden.

2.2.2 Lithium Kondensator Modul

Als weiteren Energiespeicher, der für das Riemen-Startergenerator-System relevant sein könnte, wurde ein Lithium Kondensator Modul gewählt. Diese junge Technologie schreitet sehr schnell voran, sodass mit der Weiterentwicklung von Superkondensator Modulen, auch Supercaps genannt, auf Lithium Kondensator Modulen eine deutlich höhere Energiedichte erreicht werden konnte. Sie ist zwar nicht vergleichbar mit der Energiedichte von Lithium Ionen Akkumulatoren, dafür haben Lithium Kondensator Module eine höhere Leistungsdichte bei gleicher Nennspannung und kleinerem Bauraum.

2.2.2.1 Prinzip

Lithium Kondensator Module, auch LIK, werden aus zwei großflächigen Elektroden aufgebaut, die ebenso wie beim Lithium Ionen Akku durch einen Elektrolyten elektrisch verbunden und durch einen Separator, hier eine Membran, vor Kurzschluss geschützt sind. Dieser Aufbau ist in einem normalen Superkondensator Modul gleich.²⁰ Unterschiede zeigen sich erst beim Betrachten der Elektroden. Hierbei ist zu erkennen, dass Lithium Kondensator Module eine Mischung aus Lithium Ionen Akku und Superkondensator Modul sind. Die positive Elektrode besteht aus Aktivkohle mit einer sehr großen Oberfläche von bis zu 3000 m²/g und entspricht der gleichen, die bei Superkondensator Modulen verwendet wird, während die negative Elektrode aus einem Lithium Ionen Akku stammt. Deshalb werden LIKs auch Hybridkondensatoren genannt. In Abbildung 3 ist das Prinzip eines LIKs dargestellt.

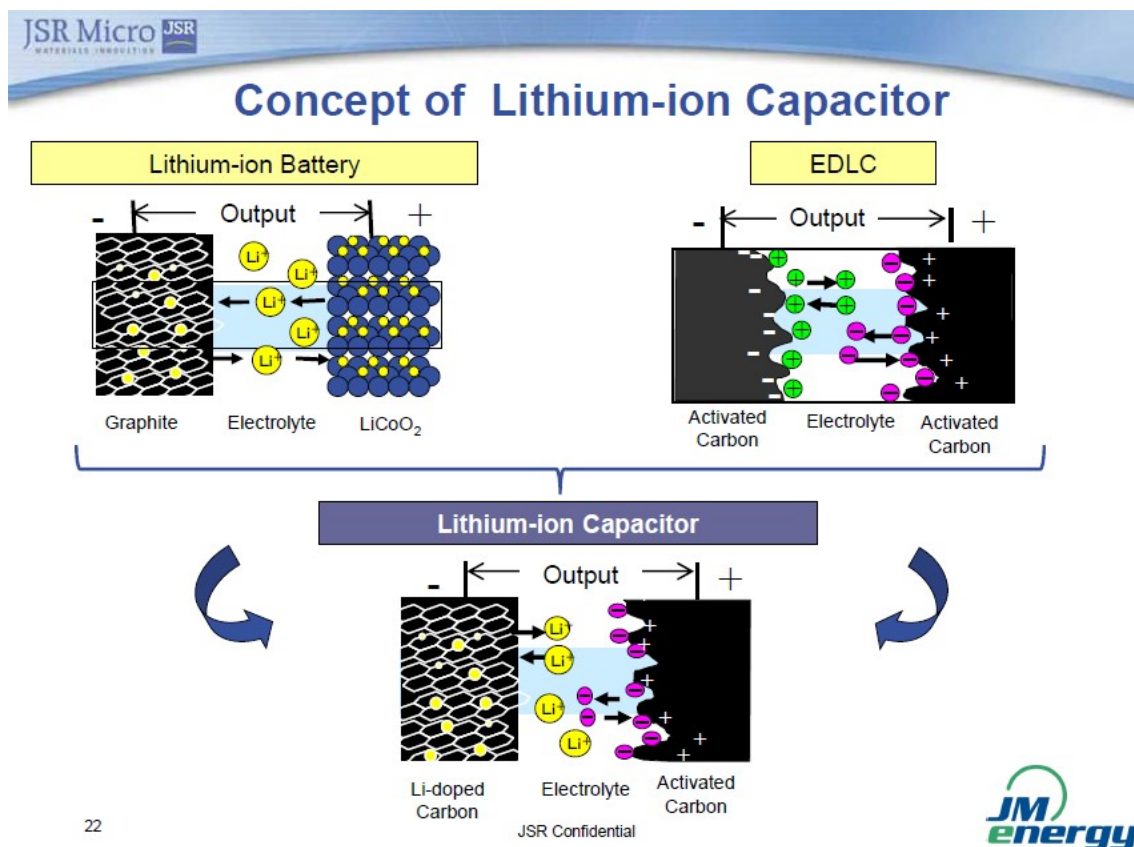


Abbildung 3: Prinzip eines Lithium Kondensator Moduls²¹

²⁰ (Mietke o.J.)

²¹ (JSR Micro 2015)

Der Energiespeicher funktioniert ebenso wie ein Superkondensator Modul nach dem Prinzip der elektrostatischen Doppelschicht und zusätzlich nach dem Prinzip der elektrochemischen Pseudokapazität wie ein Lithium Ionen Akkumulator.²² Das Prinzip der elektrostatischen Doppelschicht lässt sich wie folgt erläutern. Die beiden Elektroden ziehen entgegengesetzt geladene Ionen an, wenn man an sie eine Spannung anlegt. Dadurch lagern sich Lösungsmitteldipole auf der Elektrodenoberfläche an und eine Doppelschicht, auch starre Helmholtzschicht, wird gebildet. In dieser lässt sich ein linearer Potentialverlauf messen, wodurch die Energie gespeichert werden kann. Dieses Prinzip ist in Abbildung 4 nochmal anschaulich dargeboten.²³

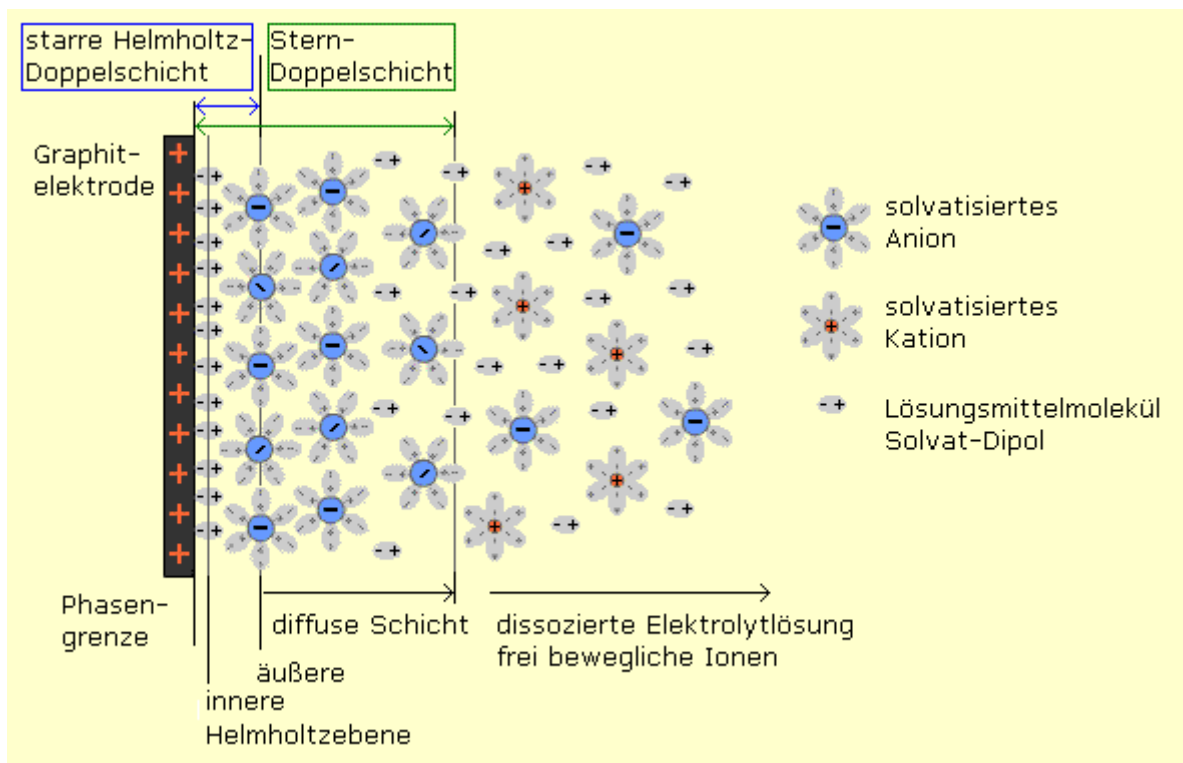


Abbildung 4: Funktionsprinzip einer elektrostatischen Doppelschicht²⁴

²² (JSR Micro 2015)

²³ (Mietke o.J.)

²⁴ (Mietke o.J.)

Durch die Verbindung der beiden Prinzipien werden schnelle Lade- und Entladezeiten wie bei einem Supercap sowie eine hohe Energiedichte wie bei einem Lithium Ionen Akkumulator erreicht.²⁵

2.2.2.2 Aufbau

Das bereitgestellte Lithium Kondensator Modul kommt von der Firma Eberspächer GmbH & Co. KG und besteht aus 13 Zellen des oben beschriebenen Aufbaus. Die Zellen sind in Reihe geschaltet und wurden von JM Energy Corporation in der prismatischen Bauform hergestellt. Das bedeutet, sie sind nicht gewickelt sondern geschichtet aufgebaut. Dies lässt sie leichter als Modul aufbauen. In Abbildung 5 sind die verwendeten Zellen des Lithium Kondensator Moduls zu sehen.



Abbildung 5: Lithium Kondensator Zelle²⁶

Als Batterie Management System wurde das gleiche bekannte System genutzt, welches sich auch in den Supercaps befand und über das in der Abteilung schon Erfahrung gesammelt werden konnte. Untergebracht wurden die einzelnen Zellen in einem in der Bauhöhe modifizierten Gehäuse eines Superkondensator Moduls, welches in Abbildung 6 mitsamt seinen Komponenten dargestellt ist.

²⁵ (JSR Micro 2015)

²⁶ (JSR Micro 2015)

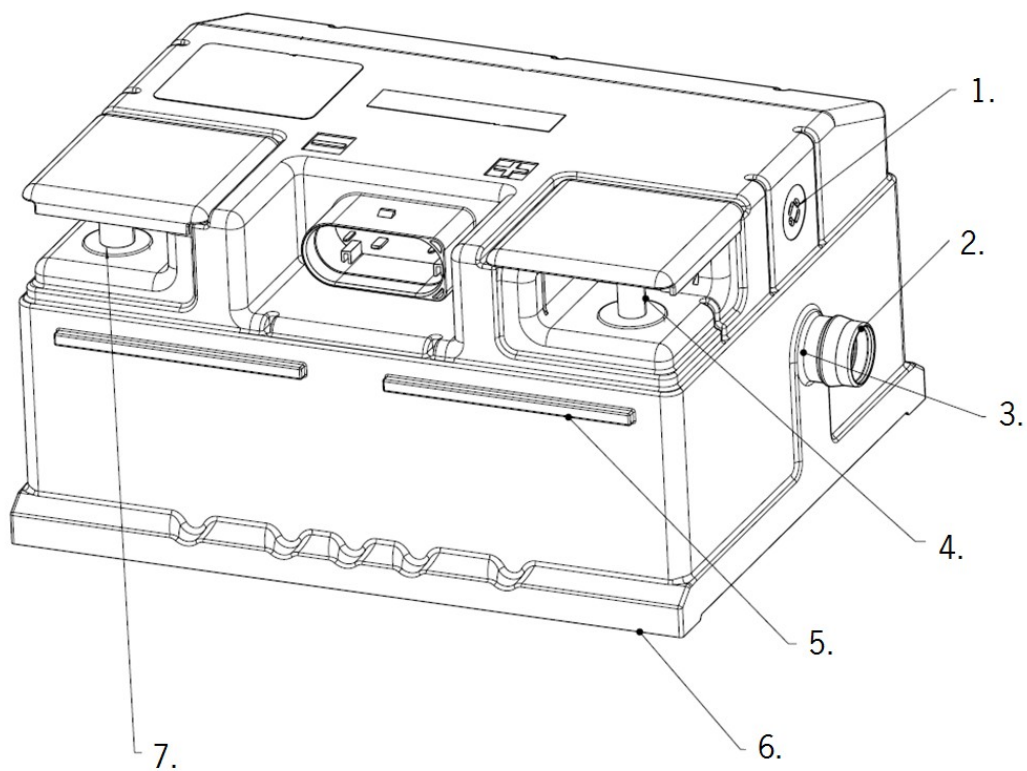


Abbildung 6: Gehäuse eines Super Kondensator Moduls²⁷

Nr.	Komponente
1	Druckausgleichselement Elektronikraum
2	Norm-Stutzen
3	Druckausgleichselement Lithium Kondensatorraum
4	Pluspol
5	Robotergriffleisten
6	Bodenleisten zur Befestigung
7	Minuspol

Tabelle 3: Komponenten des Lithium Kondensator Moduls

2.2.2.3 Technische Daten

Die technischen Daten sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Kenngröße	Wert
-----------	------

²⁷ (Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG 2015)

Hersteller	JM Energy / Eberspächer GmbH
Kapazität	115 F
Zellen	13
Spannungsbereich (Zelle)	2,2 - 3,9 V
Nennspannung (Modul)	48 V
Ladestrom	200 A
Entladestrom	500 A
Maximale Ladespannung	51 V
Energiedichte	16 Wh/kg
Gewicht	Ca. 4 kg

Tabelle 4: Technische Daten des Lithium Kondensator Moduls

2.2.2.4 Schnittstellen

Das Batterie Management System des Lithium Kondensator Moduls ist ebenfalls mit einer CAN Schnittstelle ausgerüstet. Hierüber können wieder Informationen über den Zustand des Energiespeichers ausgelesen und Anweisungen an das BMS gesendet werden.

3 Systemaufbau

In dieser Arbeit lag der Schwerpunkt auf dem Entwurf und der Erstellung eines Laboraufbaus zum Test des Gesamtsystems mit einer neuen Lithium Ionen Batterie. Das Augenmerk lag auf der Weiterführung der Arbeit von Sebastian Wachter, die verschiedenen 48V Energiespeicher unter realen Bedingungen zu vergleichen. Dabei sollten keine weiteren Messungen im Labor vorgenommen werden, um die Eignung der Speicher zu bestätigen, sondern ein verlässlicher Betrieb des Systems gewährleistet werden, um die Akkumulatoren im Fahrzeugbetrieb vergleichen zu können.

Für die Gesamtsimulation des Fahrzeugsystems waren folgende Anpassungen am bestehenden System nötig:

- Substitution der Parallelschaltung aus zwei Superkondensator Modulen durch die 48V Lithium Ionen Batterie
- Erstellen diverser Verteilerboxen
- Nachbilden von Bedienpanels
- Adaption der CAN Kommunikation
- Erweiterung der Rekuperationsbedingungen
- Hinzufügen verschiedener Testvariablen zur Manipulation des Modells

3.1 Bestehendes Fahrzeug

Das nachfolgende Kapitel beschreibt den Zustand des Fahrzeugs vor Beginn dieser Arbeit. Aufgrund diverser Umbauten entspricht das Fahrzeug nicht mehr der Serienversion, sondern wird als Versuchsfahrzeug genutzt. Um den Aufbau des Fahrzeugs besser verstehen zu können, soll in diesem Kapitel Aufschluss über die Komponenten gegeben werden.

3.1.1 Das Fahrzeug

Das Versuchsfahrzeug basiert auf der Serienversion eines Porsche Panamera 4S aus dem Jahr 2010. Der verbaute Motor ist ein 294 kW (400 PS) starker Achtzylinder V-Motor mit 4,8 Litern Hubraum. Gerade diese Ausführung eignet sich sehr gut zur Auswahl der richtigen Speichertechnologie, da es einer sehr großen Leistung bedarf, um den Motor dieses Modells zu starten. Zusätzlich besitzt dieses Fahrzeug weitere große Leistungsverbraucher, wie die Komfortoption der Heckscheibenheizung, welche die Energiespeicher stark beanspruchen.

3.1.2 Änderungen zur Serienausstattung

Neben der oben bereits beschriebenen Erweiterung des Bordnetzes um eine 48V Spannungslage mithilfe zweier neuartiger Speichertechnologien, wurde in das Versuchsfahrzeug ein Riemen-Startergenerator-System eingebaut. In

Abbildung 7 wird das bestehende System vorgestellt.

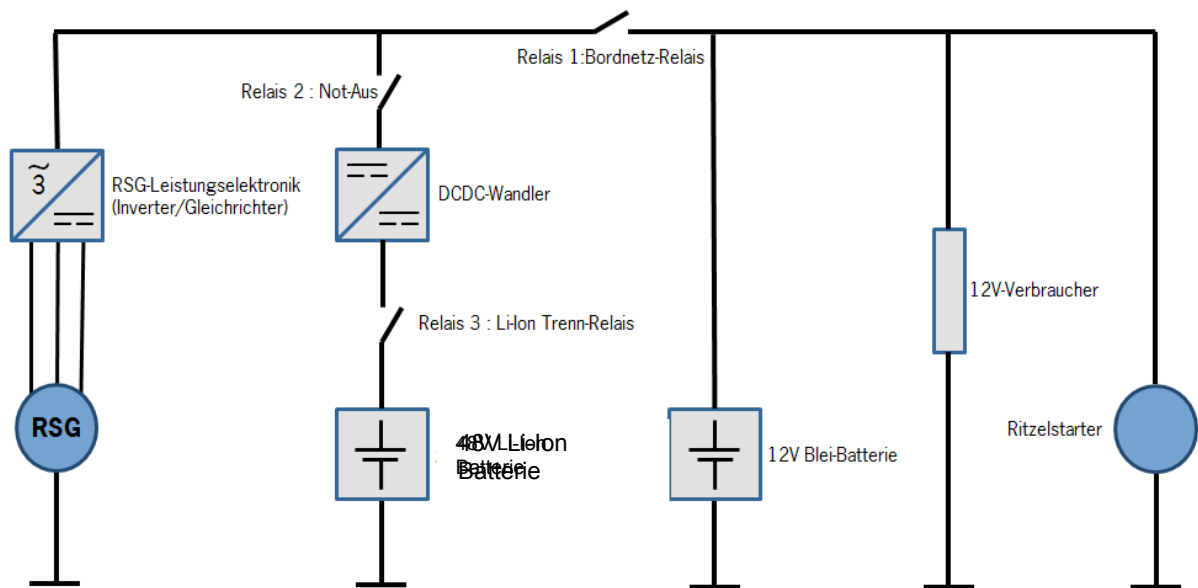


Abbildung 7: Aufbau des Riemen-Startergenerator-Systems²⁸

Es besteht aus dem Riemen-Startergenerator, im folgenden RSG genannt, einem Inverter und den unterschiedlichen Speichertechnologien. Zudem ist ein DC-DC-Wandler eingebaut, der die unterschiedlichen Spannungsebenen miteinander verbindet. In Abbildung 8 ist der Riemen-Startergenerator zusammen mit dem Inverter zu sehen.

²⁸ (Šlitr 2014), abgeändert



Abbildung 8: Riemen-Startergenerator und Inverter²⁹

Das RSG-System verbindet im Gegensatz zu herkömmlichen System die Aufgaben des Starters und des Generators. Der RSG selbst ist über einen Riemen direkt mit der Kurbelwelle verbunden, um den Motor zu starten. Dies ist in Abbildung 9 mit einem CAD Tool modelliert.

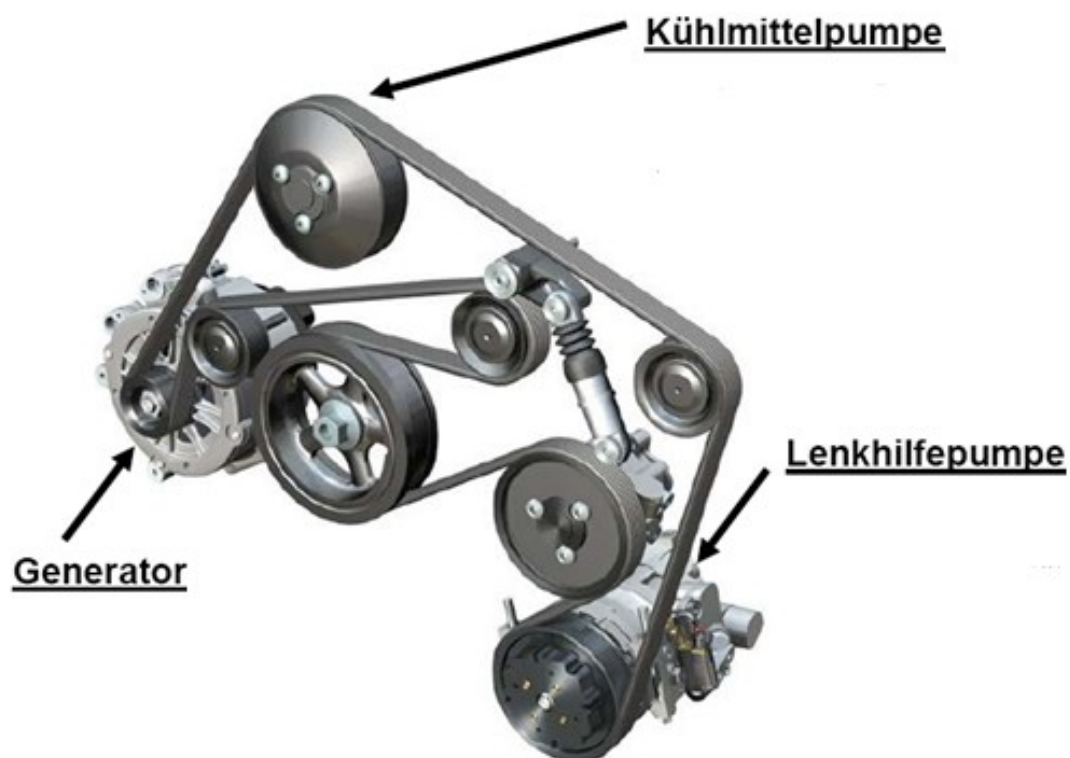


Abbildung 9: RSG-System CAD Ausschnitt³⁰

²⁹ (Lange 2012)

³⁰ (Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG 2014)

Beim Motorstart kommt ein weiterer Teil des Systems zum Einsatz, der Inverter. Er wandelt die Gleichspannung der Energiespeicher in eine Dreiphasenwechselspannung um, damit diese zum Motorstart genutzt werden kann. Die Schwierigkeit bei diesem System liegt darin, dass sich der RSG nicht wie ein normaler Anlasser nach dem Startvorgang einfach auskoppeln lässt. Außerdem besitzt der RSG ein kleineres Übersetzungsverhältnis als ein serienmäßiger Anlasser und benötigt daher deutlich mehr Leistung zum Starten des Motors. Deshalb ist man gezwungen die Spannungsebene zu erhöhen, um ein solches System in ein Fahrzeug zu integrieren, da eine 12V Batterie diese enormen Ströme nicht liefern kann oder sich aufgrund der hohen Belastung die Lebensdauer dieses Speichers zu stark verkürzt.

Zunächst wurde eine Spannungsebene von 26 Volt gewählt, um den RSG zu betreiben. Dabei wurde der serienmäßige Starter nicht ausgebaut, um einen Vergleich des Startverhaltens der beiden Systeme zu ermöglichen. In einem weiteren Schritt wurde die Spannungsebene noch einmal angehoben, da die großen Automobilbauer sich darauf geeinigt haben ein 48 Volt System in die kommenden Fahrzeuge zu integrieren, damit weitere Hochleistungsverbraucher eingebaut werden können. Gesteuert wird das Gesamtsystem von einem Prototyping Steuergerät, der sogenannten MicroAutoBox (MAB) der Firma dSpace. Sie bietet vielseitige Schnittstellen, wie CAN, LIN und analoge sowie digitale Ein- und Ausgänge. Zudem hat die MAB eine serielle Schnittstelle, über die ein CAR-PC angeschlossen werden kann. Mit diesem lassen sich über ein einfaches C#-Programm alle wichtigen Daten in Echtzeit anhand von Tabellen und Diagrammen auf einem LCD-Touchscreen anzeigen und bearbeiten.^{31,32}

3.2 Laboraufbau - Hardware

³¹ (Lange 2012)

³² (Šlitr 2014)

Im nachfolgenden Kapitel werden die Komponenten, die zur Erstellung des Laboraufbaus nötig waren, vorgestellt. Hierbei wird auf die Umbauarbeiten am Sperrholzbrett, welches zum Einbau in den Versuchsträger dient, sowie auf das Erstellen zusätzlicher Bauteile eingegangen, um das System vollständig testen zu können.

3.2.1 Übersicht des Laboraufbaus

Bevor die Verkabelung und Erstellung der fehlenden Bauteile beginnen konnte, wurde ein Übersichtplan über das Gesamtsystem im Versuchsträger erstellt. Dieser wurde um die neuen geplanten Komponenten erweitert und diente als Leitfaden während des gesamten Projekts. In Abbildung 10 ist das Fahrzeugsystem mit all seinen wichtigen Baugruppen dargestellt, sodass ein erster Überblick über die Komplexität geschaffen werden kann.

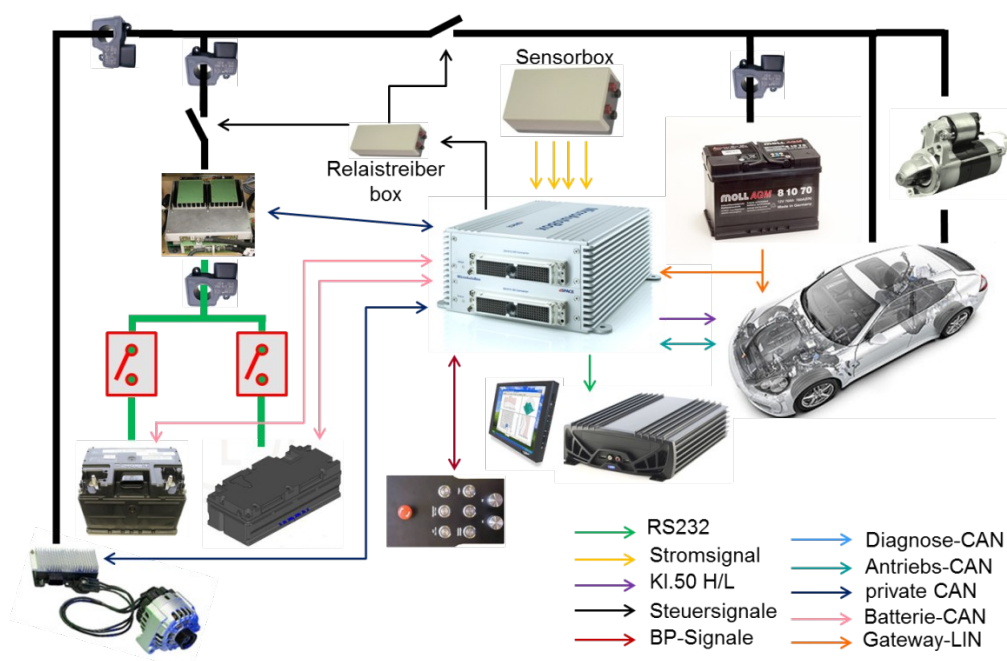


Abbildung 10: Übersichtplan des Fahrzeugsystems³³

3.2.2 Umsetzung

Aufgrund der Portabilität wurde dieses Mal entschieden alle Speicher auf einer Sperrholzplatte unterzubringen, welche in den Kofferraum gelegt werden kann. Dies bringt Vorteile für den Fall, dass wieder Beschädigungen an den Speichern

³³ (Lange, RSG Komponenten 2012), aktualisiert

auftreten oder neue Technologien getestet werden sollen, da diese einfach getauscht bzw. integriert werden können. In der nachfolgenden Abbildung ist die Zusammenstellung der Komponenten auf der Sperrholzplatte zu sehen.

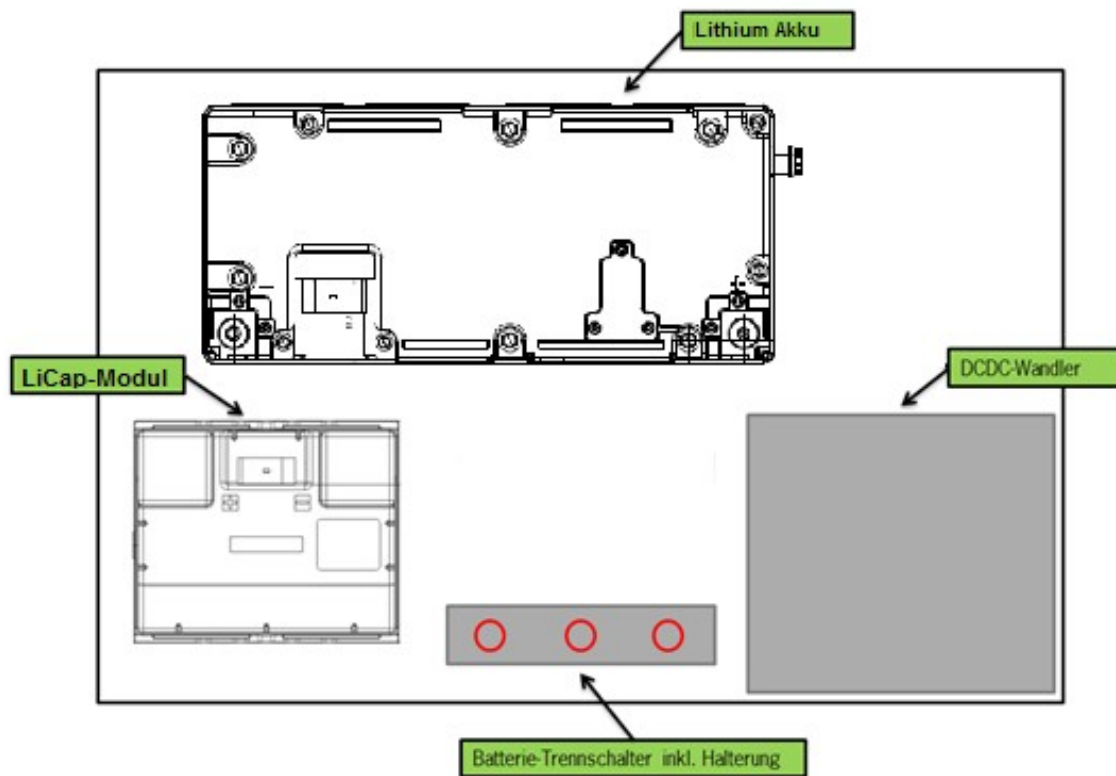


Abbildung 11: Aufbau Sperrholzplatte³⁴

Zusätzlich zu den neuen Energiespeichern ist auf der Sperrholzplatte die Parallelschaltung verbaut, um einen einfachen Wechsel der Energieversorgung durch die unterschiedlichen Technologien zu ermöglichen. Zudem befindet sich ein Gleichspannungswandler auf dem Aufbau, der die Verbindung zwischen der Mittelvolt und der Niedervolt Spannungsebene herstellt. Ebenfalls integriert wurde die Bleibatterie, allerdings nur für den Laboraufbau. Beim Einbau in den Versuchsträger wird diese wieder vom Sperrholz entfernt, da sich bereits eine Niedervolt Batterie an anderer Stelle im Fahrzeug befindet.

³⁴ (Wachter 2015), abgeändert

Da die Aufgabe in einer zuverlässigen Gesamtsimulation bestand, war es von Nöten auch Funktionen, die bereits im Fahrzeugsystem fest verbaut sind, nachzubauen und deren Zusammenspiel zu testen. Dies beinhaltete verschiedene Verteilerboxen, die nachfolgend kurz dargestellt werden.

Zunächst mussten alle Geräte mit Strom versorgt werden, weshalb eine Spannungsverteilerbox gebaut wurde, um eine übersichtliche Verkabelung zu gewährleisten. Es wurden zwei Spannungsebenen gewählt, da einerseits die Fahrzeugkomponenten mit 12 V versorgt werden mussten und andererseits die Stromsensoren einen 5 V Logikpegel erforderten.

Nachdem alle Geräte mit Spannung versorgt waren, fehlten noch einige Komponenten, um die Kommunikation zwischen den einzelnen Baugruppen zu ermöglichen. Deshalb wurden zwei weitere Boxen angefertigt. Zum einen ist das Bedienpanel vorne nachgebaut worden, welches Schalter zum Ein- und Ausschalten des Riemen-Startergenerator-Systems und der Auswahl der unterschiedlichen Startmöglichkeiten enthält. Zum anderen wurde eine CAN Box erstellt, die die Kommunikation der einzelnen Elemente, zum Beispiel des Batterie Management Systems der 48V Lithium Ionen Batterie mit der MicroAutoBox, ermöglicht. In Abbildung 12 und 13 werden beide Bauteile noch einmal gezeigt.



Abbildung 12: Bedienpanel vorne in Draufsicht (li.)
und angeschlossen (re.)

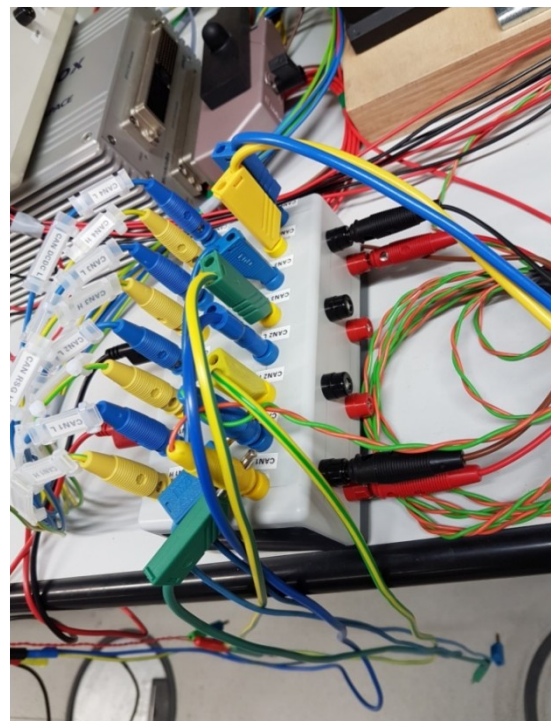
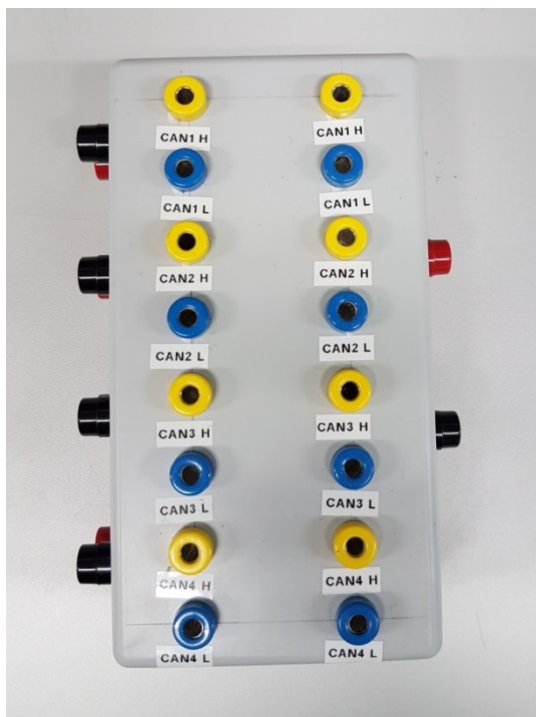


Abbildung 13: CAN Box in Draufsicht (li.) und
angeschlossen (re.)

Als letztes wurde ein Messmodul erstellt, um bei Fehlern in der Hardware die Möglichkeit zu haben, die zu überprüfenden Signale sauber abgreifen zu können. Außerdem wurde die Verbindung der Sensor-Signalleitungen zwischen MicroAutoBox und Stromsensoren über diese Box geleitet.

Mit ihren vielen Schnittstellen, wie CAN sowie digitalen und analogen Ein- und Ausgänge, ist die MicroAutoBox ideal zur Steuerung des Systems. Für diese Anwendung wurde eine MicroAutoBox II des Typs 1401/1511/1512, welche in der nachfolgenden Abbildung zu sehen ist, verwendet.



Abbildung 14: dSpace MicroAutoBox II³⁵

Sie lässt sich über einen LEMO Stecker direkt mit einem PC verbinden, sodass mithilfe der Software Control Desk von dSpace die Möglichkeit besteht, die MAB mit einem Klick zu flashen sowie Daten in Echtzeit zu senden und zu empfangen. Gerade der zweite Punkt war für den Simulationstest im Labor von essentieller Bedeutung. Erleichtert wurde die Programmierung durch das modellbasierte Entwickeln des Steuerungsprogramms mithilfe von Matlab Simulink und anschließender Codegeneration zum Flashen für die MAB. Ein weiterer Punkt für die Verwendung des Steuergeräts ist die optimale Auslegung auf den Einsatz im Fahrzeug. Dies zeigt sich durch ihr robustes Aluminiumgehäuse mit Kühlrippen an den Seiten.

³⁵ (Lange 2012)

Der gesamte Labortischaufbau ist in Abbildung 15 übersichtlich dargestellt.

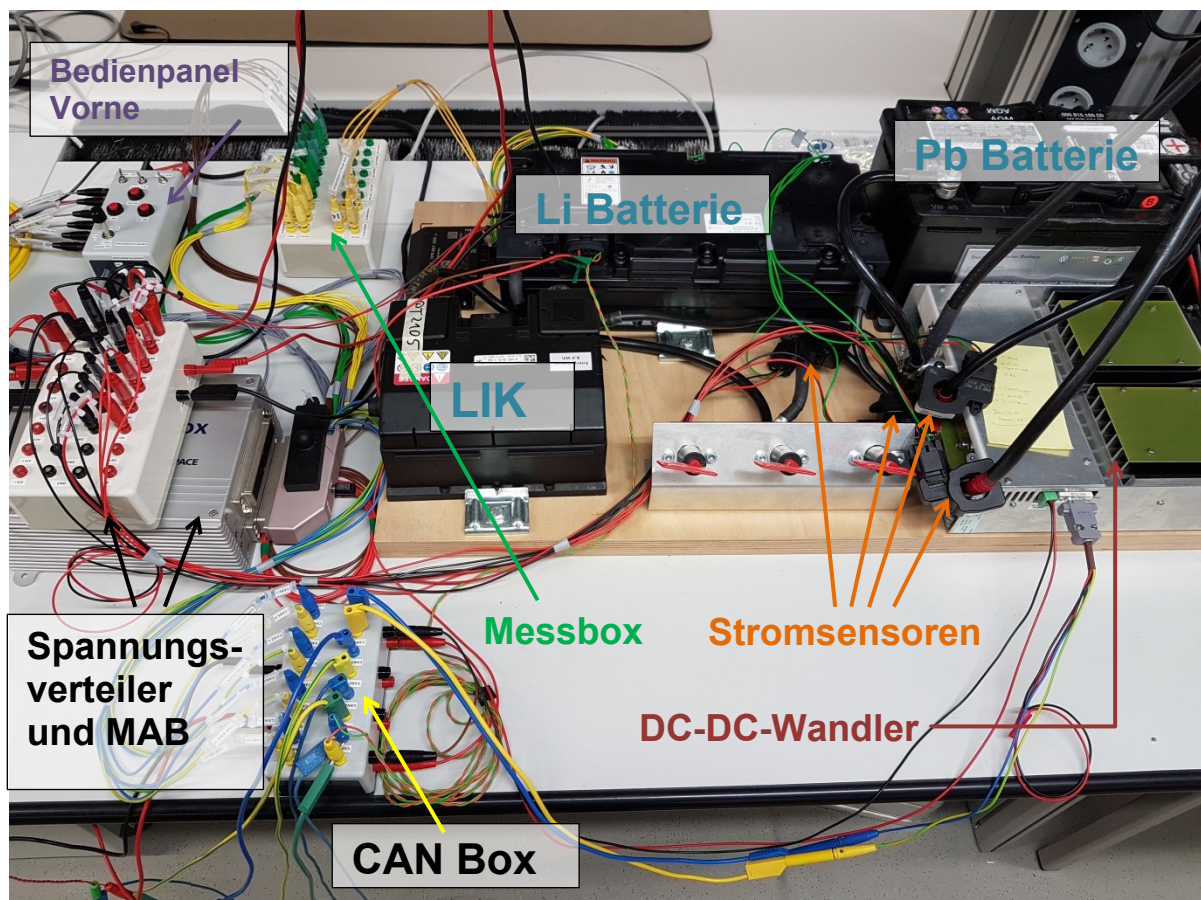


Abbildung 15: Laboraufbau Gesamtübersicht

3.2.3 Fahrzeugeinbau

Als der Versuchsaufbau im Labor zuverlässig lief und alle Zustände auf ihre Funktion getestet waren, konnte das System ins Fahrzeug integriert werden. Dazu wurde, wie bereits erwähnt, die Bleibatterie wieder von der Sperrholzplatte entfernt und diese in den Kofferraum des Versuchsträgers eingebaut. Da sich das Modell der MicroAutoBox verändert hatte und somit auch die Pinbelegung nicht mehr exakt übereinstimmt, musste ein Adapter geschaffen werden. Mithilfe dieser Adaption konnte das Fahrzeug in Betrieb genommen werden. Das nachfolgende Bild zeigt den Einbau in das Fahrzeug mitsamt der Verkabelung und dem Adapter.

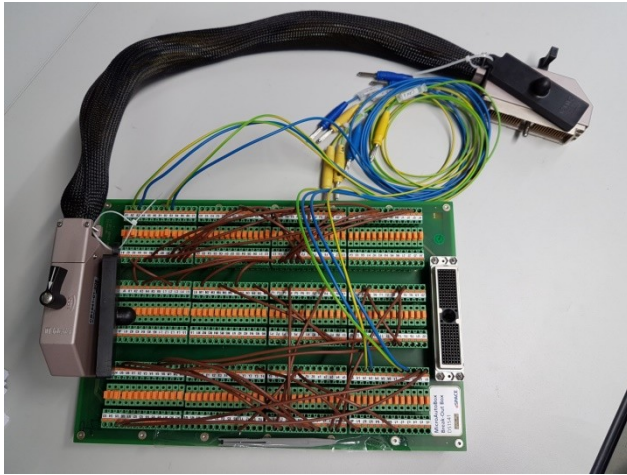


Abbildung 16: Fahrzeugeinbau (li.) und Adapter (re.)

Da leider kein Lithium Kondensator Modul zur Verfügung stand, konnten die Tests und die Integration nur mit der Lithium Ionen Batterie durchgeführt werden. Allerdings wurden alle Schritte vorbereitet, sodass lediglich das momentan eingebaute Superkondensator Modul durch ein LIK Modul ersetzt werden muss.

3.3 Laboraufbau - Software

Im folgenden Kapitel wird auf die Tätigkeiten, die mit Software zu tun haben, eingegangen. Dazu zählen vor allem Programmänderungen im Simulink Modell der MicroAutoBox und Überwachungen mit dem Tool Control Desk.

3.3.1 Änderungen im bestehenden Simulink Modell

Aufgrund des Wechsels auf einen anderen Typ der MicroAutoBox mussten zunächst alle CAN Blöcke auf das neue Modell angepasst werden. Durch den Wegfall einiger Schnittstellen, wie beispielsweise ein Time Processing Unit (TPU) Eingang, der verwendet wurde, um einen Inkrementalgeber auszulesen, musste softwaretechnisch eine Lösung gefunden werden. Die Anpassung ist in den nachfolgenden Screenshots abgebildet.

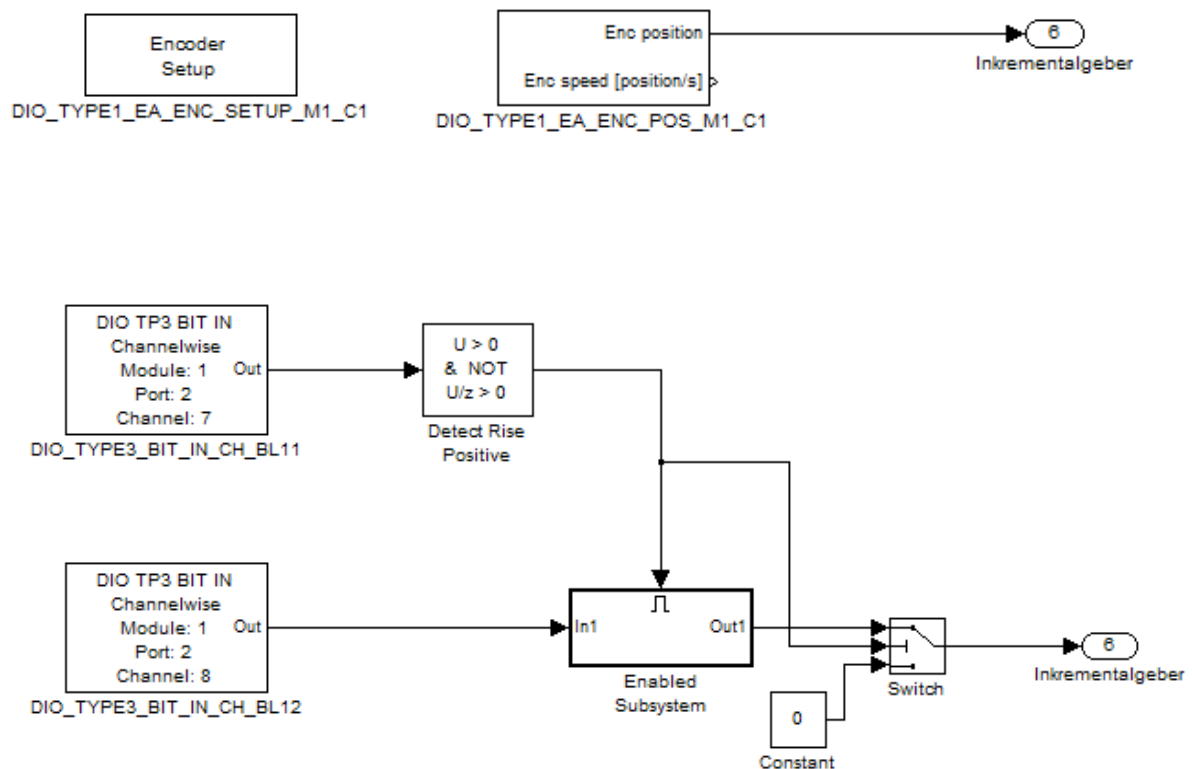


Abbildung 17: Anpassung Inkrementalgeber vorher (oben) und nachher (unten)

Der TPU Eingang wurde durch einen digitalen Eingang mit einer Flankendetektion ersetzt.

Weitere Änderungen beinhalteten die Substitution der CAN Blöcke der alten Lithium Ionen Batterie durch die der neuen. Hierbei mussten vor allem bei den zu sendenden Nachrichten deutliche Änderungen vorgenommen werden, wie in Abbildung 18 zu sehen. Dieses Bild befindet sich in größerer Form im Anhang unter A1.

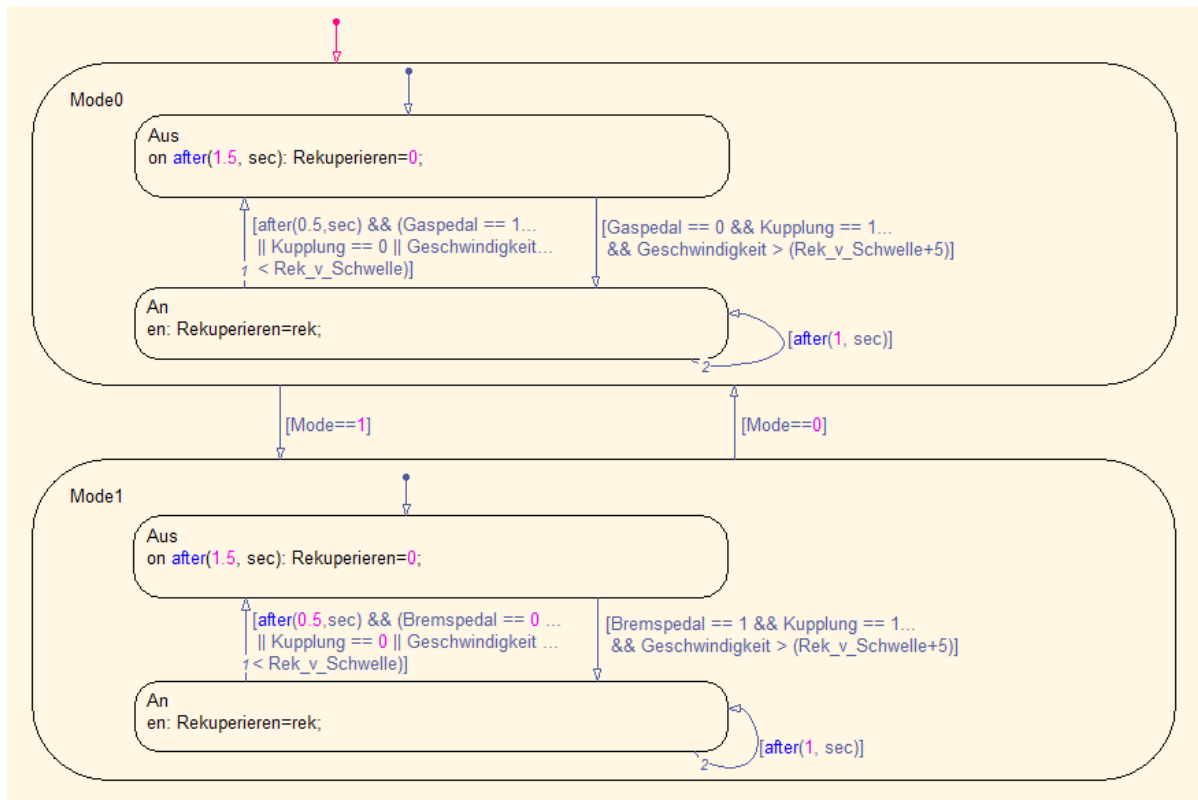


Abbildung 19: Zustandsgraph Rekuperation

Ferner wurden die Probleme analysiert, die dazu führten, dass die Rekuperation bisher nie einwandfrei funktionierte. Der Fehler wurde in der stromabhängigen Spannungssteuerung entdeckt, welche auch zum Laden der Lithium Ionen Batterie durch den Generator genutzt wird. Dieser Vorgang zeigte hier allerdings keine Probleme. Der einzige Unterschied zwischen den Zuständen Rekuperation und Lithium Energiespeicher-Laden bestand im Wert des Ladestroms, der im Falle der Rekuperation deutlich höher ausfiel. Als Lösung wurde eine SOC abhängige Strombegrenzung implementiert. Diese führte zum einen zur Verkürzung der Ladezeit durch die Bleibatterie, da beim Laden nun auch höhere Ströme zulässig sind und zum anderen zur Ermöglichung der zuverlässigen Rekuperation. Die Steuerung ist nachfolgend im Modell und mit einer Wertetabelle dargestellt.

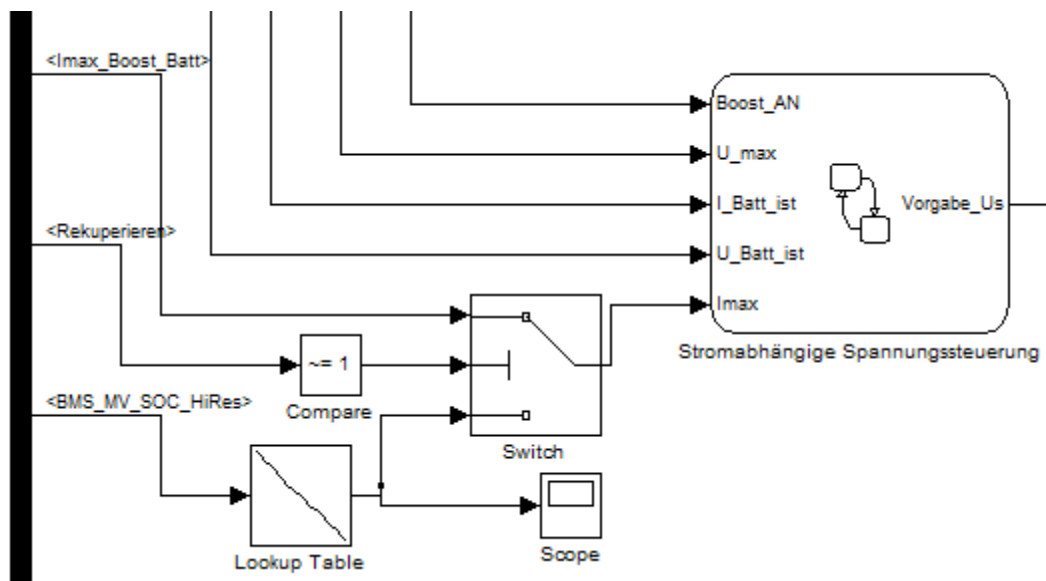


Abbildung 20: SOC abhängige Strombegrenzung

SOC-Wert	Strom-Wert
>95	25
90	32
85	40
80	45
75	53
70	58
65	60
60	63
55	68
50	70
<50	70

Tabelle 5: Wertetabelle SOC zu Strom

3.3.2 Echtzeitüberwachung der Daten in Control Desk

Eingangs wurde bereits erwähnt, dass bei den neuen Speichertechnologien eine Überwachung durch ein BMS unbedingt von Nöten ist. Aus Sicherheitsgründen und aufgrund hoher Ströme, die in diesem System fließen können (500 A für einen Startvorgang), wurden weitere Daten zusätzlich in Echtzeit mit dem Tool Control Desk überwacht. Neben der Anzeigefunktion bietet das Werkzeug den Vorteil auch Parameter im laufenden Programm überschreiben zu können. Dies war vor allem für den Test im Labor sehr hilfreich. Hierzu wurde ein Experiment erstellt, welches

alle wichtigen Daten zur Überwachung und Steuerung des Systems übersichtlich anzeigt. Nachfolgend ist die Benutzeroberfläche des erstellten Experiments in Control Desk zu sehen. Die Abbildung ist in größerem Format im Anhang A3 zu finden.

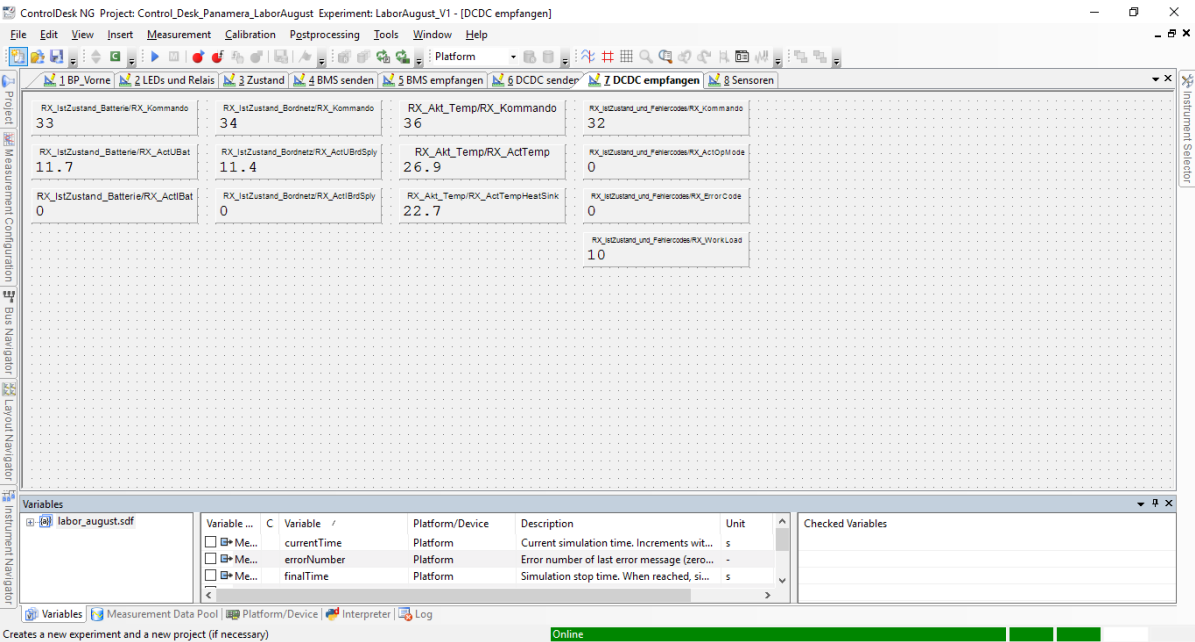


Abbildung 21: Benutzeroberfläche Control Desk

Die Daten konnten in verschiedenen Tabs/Layouts angeordnet werden, um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Zu Beginn konnte die korrekte Funktionsweise der Schalter und Taster in der ersten Ansicht festgestellt werden. Weitere Layouts wurden genutzt, um die Batteriedaten auch für den Nutzer in Echtzeit darzustellen. Zum einen sind die Daten, die das BMS sendet, festgehalten worden. Dies umschließt zum Beispiel Werte wie den SOC, die Ist-Spannung oder die Tatsache, ob das interne Schütz geschlossen ist. Zum anderen hat die Applikation Einsicht in die Größen gegeben, die die MicroAutoBox an das BMS sendet. Abbildung 22 zeigt dieses Layout. Dieses Bild ist im Anhang A4 zur genaueren Betrachtung beigefügt.

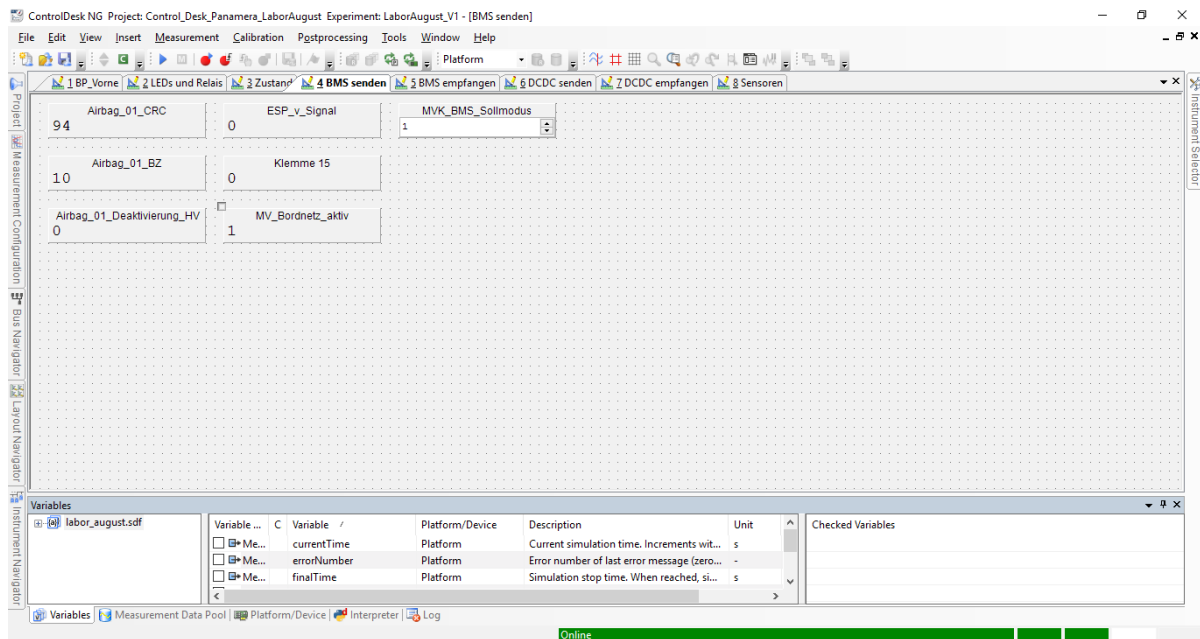


Abbildung 22: An das BMS gesendete Daten

Im Screenshot lassen sich sehr gut die beiden meist verwendeten Blöcke erkennen und unterscheiden. Der eine dient lediglich der Anzeige eines Wertes, somit hat man auf diese Variable keinen Einfluss. Der Zweite hingegen lässt es zu die Werte von Parametern zu ändern. So kann man beispielsweise über den Block „MVK_BMS_Sollmodus“ den Status des internen Schützes ändern. Eine 1 ist eine Aufforderung es zu schließen und die Mittelvolt Spannungsebene zur Verfügung zu stellen, wohingegen alle anderen Werte dazu führen, dass das Schütz geöffnet wird.

Eine weitere wichtige Komponente, deren Daten relevant für die Funktion des Systems sind, ist der Gleichspannungswandler. Hier wurden ebenfalls zwei Layouts, je von den gesendeten und empfangenen Daten erstellt. Dafür wurden in Simulink Optionen implementiert, um den Spannungswandler unabhängig vom restlichen Programm in seine verschiedenen Modi zu versetzen.

Der wichtigste Tab allerdings zeigte den momentanen Zustand und alle Daten, die den Zustand bestimmen, an. Außerdem wurden Parameterblöcke, die der Änderung einzelner Daten zur Zustandssteuerung dienten, in kleinen Gruppierungen zusammengestellt. Hierüber konnten alle Zustände des Systems durchlaufen und die fehlerfreie Funktion festgestellt werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Aufbau einer Testumgebung zur Inbetriebnahme des Riemen-Startergenerator-Systems mit einer neuen 48V Lithium Ionen Batterie erfolgreich durchgeführt. Dabei wurden die gesetzten Ziele erreicht und das System in das Fahrzeug eingebaut. Das RSG-System befindet sich mit kleinen Einschränkungen in einem funktionsfähigen Zustand.

Eine Weiterentwicklung des Systems ist auf jeden Fall denkbar, so können zunächst alle implementierten Funktionen getestet und in Betrieb genommen werden. Zudem gibt es die Möglichkeit weitere Funktionen, wie eine gemeinsame Versorgung des Bordnetzes gleichermaßen aus Lithium Ionen und Bleibatterie, in das bestehende System zu integrieren. Ferner kann die Substitution der Lithium Ionen Batterie durch ein Lithium Kondensator Modul durchgeführt werden, um die Leistungsfähigkeit dieses Speichertyps zu validieren. Ein weiterer Gedanke könnte der Einbau eines 48V Riemen-Startergenerators sein, um das System ohne DCDC Wandler bedienen und die Leistung des Lithium Ionen Akkus voll ausschöpfen zu können.

Zunächst können mit dem neuen System Messungen durchgeführt werden, um die Startzeit mit der vorherigen 48V Variante zu vergleichen und daraus Schlüsse gezogen werden, ob der Umstieg auf einen 48V Riemen-Startergenerator sinnvoll ist.

5 Literaturverzeichnis

Akku Abc. *Akku Abc*. 2016. <http://www.akku-abc.de/li-ionen-akku.php> (Zugriff am 23. August 2016).

Cadex Electronics Inc. *Battery University*. 25. Juli 2016. http://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate (Zugriff am 23. August 2016).

CHEMIE.DE Information Service GmbH. *Chemie.de*. o.J. <http://www.chemie.de/lexikon/Lithium-Ionen-Akkumulator.html> (Zugriff am 23. August 2016).

Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG. „Abbildung Riemen-Startergenerator System.“ Weissach, 27. Januar 2014.

—. „CAD Zeichnung SCAP 48V.“ Weissach, 2015.

Finger, Michael. „CO₂ einsparen, Batterie entlasten.“ *Automobil Elektronik*, Juni 2015: 50-52.

Hofmann, Peter. *Hybridfahrzeuge - Ein alternatives Antriebssystem für die Zukunft*. Wien: Springer-Verlag, 2010.

Jaiser, S. *KIT Karlsruher Institut für Technologie*. Februar 2014. https://www.tvt.kit.edu/370_1258.php (Zugriff am 23. August 2016).

JSR Micro. „JSR Lithium Ion Capacitor.“ Herausgeber: JM Energy. 2015.

Klein, Bernhard. „CO₂-Einsparpotenzial verhilft 48 V zum Durchbruch.“ *Automobil Elektronik*, Juni 2015: 46-49.

Korthauer, R. *Handbuch Lithium-Ionen-Batterie*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2013.

Lange, Dennis. „Ermittlung der Potentiale eines Riemen-Startergenerator-Systems im 12V Bordnetz.“ Bachelorarbeit, Stuttgart, 2012.

Lange, Dennis. *RSG Komponenten*. Powerpoint Präsentation. Weissach, 2012.

LG Chem. „Pack mechanical specification.“ 2015.

Mietke, Detlef. *Vom Elektron zur Elektronik*. o.J.
<http://elektroniktutor.de/bauteilkunde/goldcap.html> (Zugriff am 23. August 2016).

Reif, Konrad. *Batterien, Bordnetze und Vernetzung*. Plochingen: Vieweg+Teubner, 2010.

Rummich, E. *Energiespeicher: Grundlagen, Komponenten, Systeme und Anwendungen*. Renningen: Expert Verlag, 2009.

Schaerer, Thomas. *Elektronik Kompendium*. o.J. <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0810281.htm> (Zugriff am 23. August 2016).

Scrosati, Bruno, Jürgen Garche, und Werner Tillmetz. *Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles*. Oxford: Elsevier & Woodhead Publishing, 2015.

Šlitr, Jiří. „Integration einer 48V-Batterie mit BMS in ein Riemen-Startergenerator-System.“ Praktikumsarbeit, Weissach, 2014.

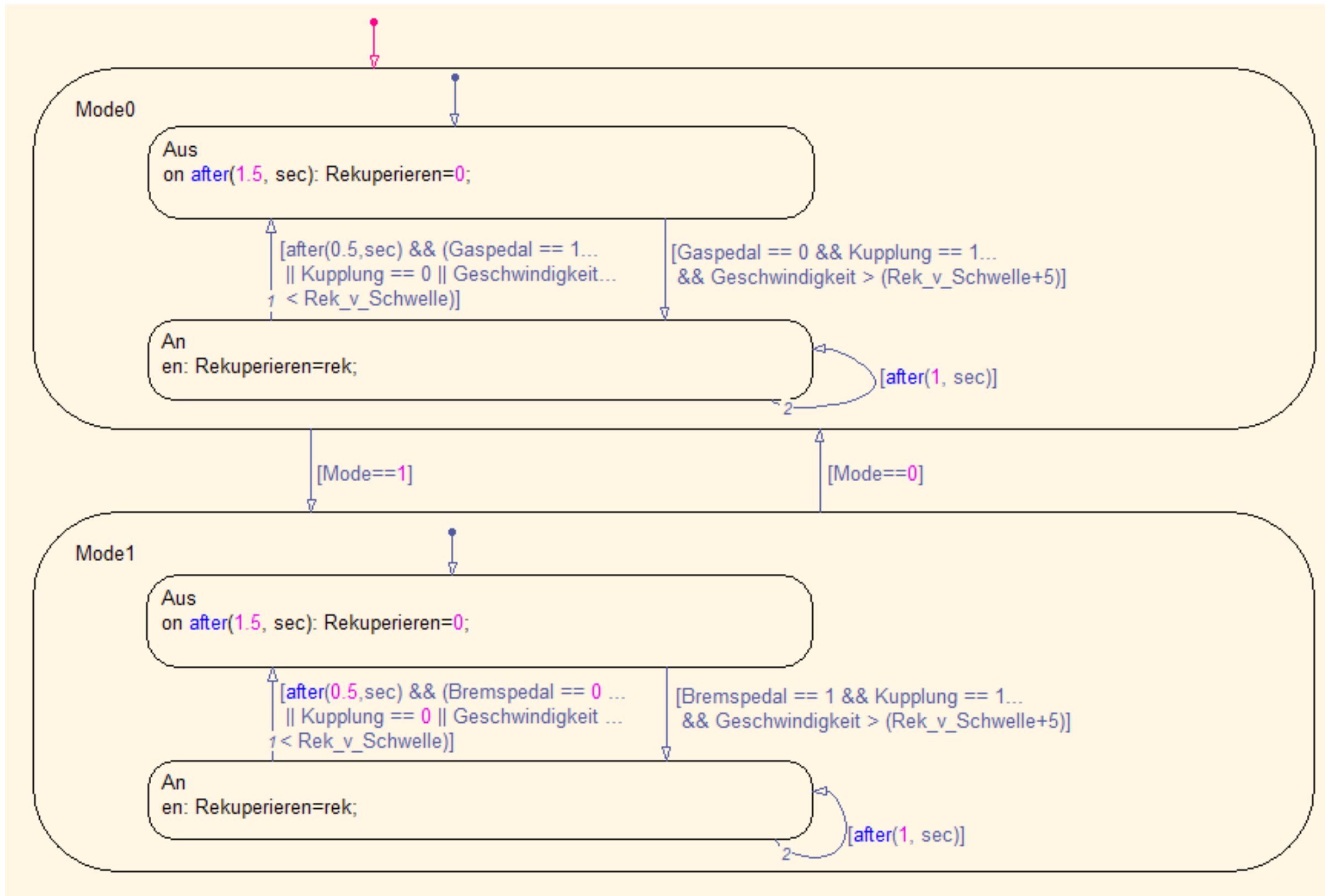
Wachter, Sebastian. „Speichertechnologien im 48V-Bordnetz.“ Bachelorarbeit, Weissach, 2015.

Wiesinger, Johannes. *kfztech.de*. 19. Februar 2015.
<http://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/abgas/abgas2.htm> (Zugriff am 25. August 2016).

A1 An das BMS gesendete Botschaften



A2 Zustandsgraph Rekuperation



A3 Benutzeroberfläche Control Desk

ControlDesk NG Project: Control_Desk_Panamera_LaborAugust Experiment: LaborAugust_V1 - [DCDC empfangen]

File Edit View Insert Measurement Calibration Postprocessing Tools Window Help

Platform

1 BP_Vorne 2 LEDs und Relais 3 Zustand 4 BMS senden 5 BMS empfangen 6 DCDC sender 7 DCDC empfangen 8 Sensoren

Instrument Selector

RX_IstZustand_Batterie/RX_Kommando 33	RX_IstZustand_Bordnetz/RX_Kommando 34	RX_Akt_Temp/RX_Kommando 36	RX_IstZustand_und_Fehlercodes/RX_Kommando 32
RX_IstZustand_Batterie/RX_ActUBat 11.7	RX_IstZustand_Bordnetz/RX_ActUBrdSply 11.4	RX_Akt_Temp/RX_ActTemp 26.9	RX_IstZustand_und_Fehlercodes/RX_ActOpMode 0
RX_IstZustand_Batterie/RX_ActIBat 0	RX_IstZustand_Bordnetz/RX_ActIBrdSply 0	RX_Akt_Temp/RX_ActTempHeatSink 22.7	RX_IstZustand_und_Fehlercodes/RX_ErrorCode 0
			RX_IstZustand_und_Fehlercodes/RX_WorkLoad 10

Variables

Variable ...	C	Variable /	Platform/Device	Description	Unit
<input type="checkbox"/> Me...		currentTime	Platform	Current simulation time. Increments wit...	s
<input type="checkbox"/> Me...		errorNumber	Platform	Error number of last error message (zero...	-
<input type="checkbox"/> Me...		finalTime	Platform	Simulation stop time. When reached, si...	s

Checked Variables

Variables Measurement Data Pool Platform/Device Interpreter Log

Creates a new experiment and a new project (if necessary) Online

A4 An das BMS gesendete Daten

ControlDesk NG Project: Control_Desk_Panamera_LaborAugust Experiment: LaborAugust_V1 - [BMS senden]

File Edit View Insert Measurement Calibration Postprocessing Tools Window Help

Platform

1 BP_Vorne 2 LEDs und Relais 3 Zustand 4 BMS senden 5 BMS empfangen 6 DCDC senden 7 DCDC empfangen 8 Sensoren

Project Measurement Configuration Bus Navigator Layout Navigator Instrument Selector

Airbag_01_CRC 94 ESP_v_Signal 0 MVK_BMS_Sollmodus 1

Airbag_01_BZ 10 Klemme 15 0

Airbag_01_Deaktivierung_HV 0 MV_Bordnetz_aktiv 1

Variables

Variable ...	C	Variable /	Platform/Device	Description	Unit
<input type="checkbox"/> Me...		currentTime	Platform	Current simulation time. Increments wit...	s
<input type="checkbox"/> Me...		errorNumber	Platform	Error number of last error message (zero...	-
<input type="checkbox"/> Me...		finalTime	Platform	Simulation stop time. When reached, si...	s

Checked Variables

Variables Measurement Data Pool Platform/Device Interpreter Log

Online