

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schlussbericht 3Ccar

Zuwendungsempfänger: AVL Software and Functions GmbH 93059 Regensburg	Förderkennzeichen: 16EMOE003
Vorhabensbezeichnung: “Integrated Components for Complexity Control in affordable electrified cars – 3Ccar” Teilvorhaben der AVL Software and Functions GmbH (AVL-SFR): „Wesentliche Verbesserungen von Komfort, Kontrolle und Kosten durch den Einsatz neuer Halbleiter- und Systemintegrationstechnologien in elektrisch betriebenen Fahrzeugen“	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2015 bis 31.10.2018	
Berichtszeitraum: 01.06.2015 bis 31.10.2018	
Datum: 15.04.2019	
Vorgelegt beim Projektträger: Simon Brunner VDI/VDE Innovation + Technik GmbH Steinplatz 1 10623 Berlin	
Vorgelegt durch: Thomas Steffenhagen AVL Software and Functions GmbH Im Gewerbepark B29 93059 Regensburg Email: thomas.steffenhagen@avl.com	

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16EMOE003 gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhalt

1. Kurze Darstellung	5
1.1. Aufgabenstellung für das Projekt 3Ccar	5
1.1.1 AP 1 Requirements – Anforderungen.....	5
1.1.2 AP 2 System Level Design – System-Level-Design	5
1.1.3 AP 4 Embedded Systems and Computing Algorithms – Eingebettete Systeme und Computing-Algorithmen.....	5
1.1.4 AP 5 System Integration and Demonstration – Systemintegration und Demonstration.....	5
1.1.5 AP 6 Validation and Tests – Validierung und Tests.....	5
1.1.6 AP 7 Dissemination, Exploitation and Standardization – Verwertung, Veröffentlichung, Standardisierung	5
1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	6
1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens	6
1.4. Stand von Wissenschaft und Technik.....	7
1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	8
2. Eingehende Darstellung.....	9
2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele.....	9
2.1.1 AP 1 Requirements – Anforderungen.....	9
2.1.2 AP 2 System Level Design – System-Level-Design	11
2.1.3 AP 4 Embedded Systems and Computing Algorithms – Eingebettete Systeme und Computing-Algorithmen.....	14
2.1.4 AP 5 System Integration and Demonstration – Systemintegration und Demonstration.....	16
2.1.5 AP 6 Validation and Tests – Validierung und Tests.....	18
2.1.6 AP 7 Dissemination, Exploitation and Standardization – Verwertung, Veröffentlichung, Standardisierung	22
2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	22
2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	22
2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.....	22
2.5. Während der Durchführung bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	23

2.6. Erfolge oder geplante Veröffentlichungen	23
3. Literaturverzeichnis.....	24
4. Abbildungsverzeichnis.....	25

1. Kurze Darstellung

1.1. Aufgabenstellung für das Projekt 3Ccar

Das Projekt 3Ccar hatte zum Ziel, neuartige integrierte Komponenten zur Komplexitätskontrolle in erschwinglichen intelligenten Elektroautos bereitzustellen. AVL Software and Functions GmbH war an der Durchführung der Arbeitspakete beteiligt, welche in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

1.1.1 AP 1 Requirements – Anforderungen

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die Anforderungen zur Entwicklung von Konzepten und Lösungen des kompletten Batterie-Systems, der Zellen und Sensoren sowie des DC/DC-Wandlers definiert.

1.1.2 AP 2 System Level Design – System-Level-Design

In diesem Arbeitspaket konzentrierten sich die Aufgaben auf die Modellierung und Simulation der jeweiligen Komponenten des Batteriesystems.

1.1.3 AP 4 Embedded Systems and Computing Algorithms – Eingebettete Systeme und Computing-Algorithmen

In diesem Arbeitspaket wurden die Software Regelalgorithmen und die Hardware für das Batteriesystem und DC/DC-Wandler entwickelt.

1.1.4 AP 5 System Integration and Demonstration – Systemintegration und Demonstration

Das Ziel dieses Arbeitspakets war es die Integration aller entwickelten Lösungen zur Anwendung im Batteriedemonstrator.

1.1.5 AP 6 Validation and Tests – Validierung und Tests

Das Arbeitsergebnis dieses APs sind die Testergebnisse des Batteriesystems und dessen Teilsysteme, wie Power-Line-Kommunikation, Zell-Sensoren, DC/DC-Wandler und Validierung der Algorithmen.

1.1.6 AP 7 Dissemination, Exploitation and Standardization – Verwertung, Veröffentlichung, Standardisierung

Die AVL Software and Functions GmbH hat in Kooperation mit den Konsortiumspartnern dazu beitragen, die Aktivitäten und Ergebnisse der Entwicklungen im Projekt 3Ccar öffentlich zu verbreiten und gemeinsame Standards zu finden.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Durch die Kombination von mehreren Geräten in einem Fahrzeug zu einem leistungsfähigeren Gerät lassen sich viele Vorteile gewinnen. Diese bestehen darin, Kosten zu reduzieren, weil Kosten für Gehäuse, Bauteile, Stecker und Leitungen wegfallen. Außerdem wird zusätzlich die Ausfallsicherheit erhöht und weniger Daten übertragen, was zur Reduktion von Komplexität führt.

Das Konsortium in Deutschland arbeitete hier eng mit den europäischen Konsortiumspartnern zusammen und waren in allen Arbeitspaketen vertreten.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Folgendes Diagramm zeigt die Planung der Aktivitäten der AVL Software and Functions GmbH und Ablauf der Arbeitspakete.

Arbeitspakete	Q 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12
AP1 Requirements	X	X	X	X								
AP2 System Level Design				X	X	X	X	X	X			
AP4 Embedded Systems				X	X	X	X	X	X	X	X	X
AP5 Integration					X	X	X	X	X	X		
AP6 Validierung und Test								X	X	X	X	X
AP7 Veröffentlichung, Standardisierung	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Eine kostenneutrale Verlängerung der Laufzeit um fünf Monate wurde beantragt und genehmigt.

Die verschiedenen Teilprojekte (Supply Chains) sind jeweils mit den einzelnen Arbeitspaketen verknüpft, wie nachstehendem Diagramm zu entnehmen ist. AVL Software and Functions war maßgeblich an Supply Chain 1 „Smart Battery“ beteiligt.

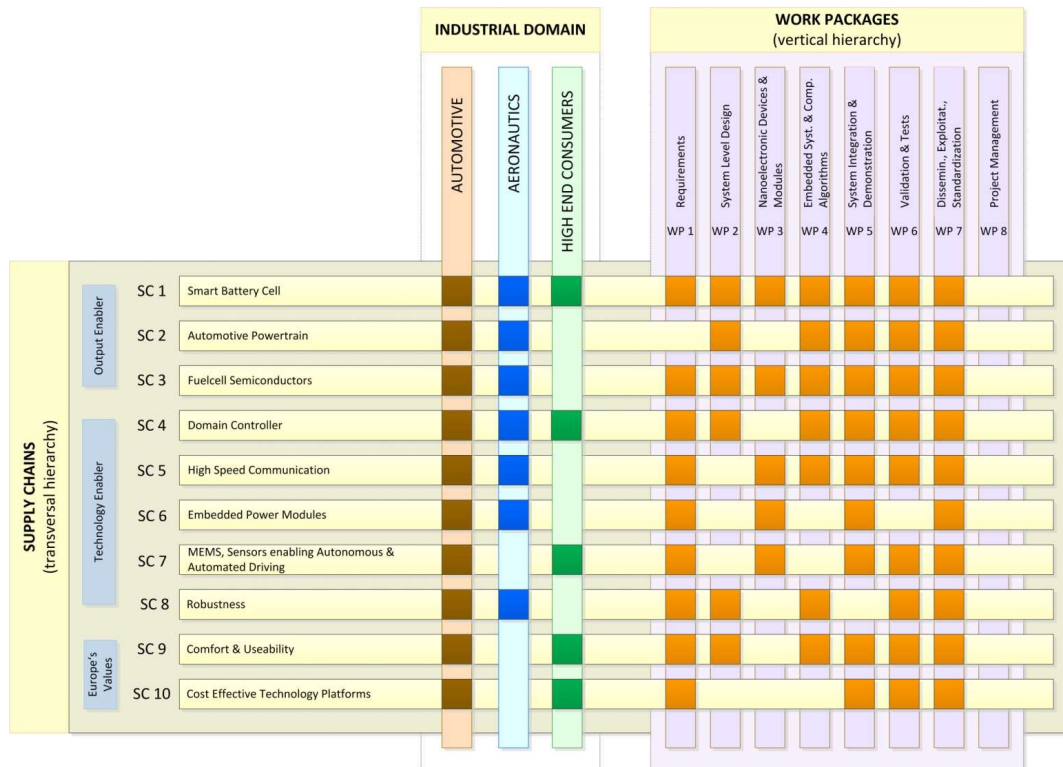


Abbildung 1: Verknüpfung der Supply Chains mit den Arbeitspaketen

1.4. Stand von Wissenschaft und Technik

In heutigen Bordnetzarchitekturen wird meist ein dezentraler Ansatz angewendet. Dies bringt zwar Vorteile Komponenten leichter einzeln ersetzen zu können jedoch insbesondere Bauraum- und Gewichtsanforderungen können kaum noch erfüllt werden. Das folgende Bild zeigt einen typischen Aufbau für ein 12V/48V Bordnetz und den damit verbundenen Herausforderungen in Bezug auf Bauraum auf.

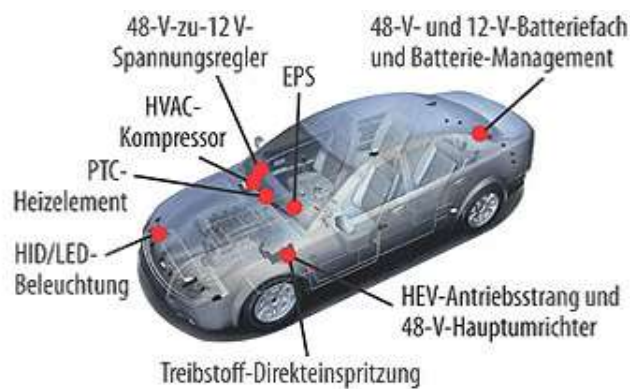


Abbildung 2: Typische 12V/48V Bordnetzarchitektur

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Innerhalb des Deutschen Konsortiums war ein ausgiebiger Kontakt mit Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung e.V. (FhG-IISB & FhG-IPA) vorhanden.

Auf Europäischer Ebene gab es eine enge Zusammenarbeit mit folgenden Projektpartnern:

- QinetiQ Limited (UK)
- Technische Universiteit Eindhoven (NL)
- Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (NL)
- University di Pisa (IT)
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (FR)

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Im Folgenden werden die Ergebnisse der von AVL Software and Functions bearbeiteten Arbeitspakete AP1, AP2, AP4, AP5, AP6 und AP7 berichtet.

2.1.1 AP 1 Requirements – Anforderungen

Zu Beginn des Projekts wurde das Gesamtsystem und die einzelnen Subsysteme definiert. Im Rahmen von AP 1 wurden die Anforderungen zur Entwicklung dieser gemeinsam mit den jeweiligen Partnern spezifiziert.

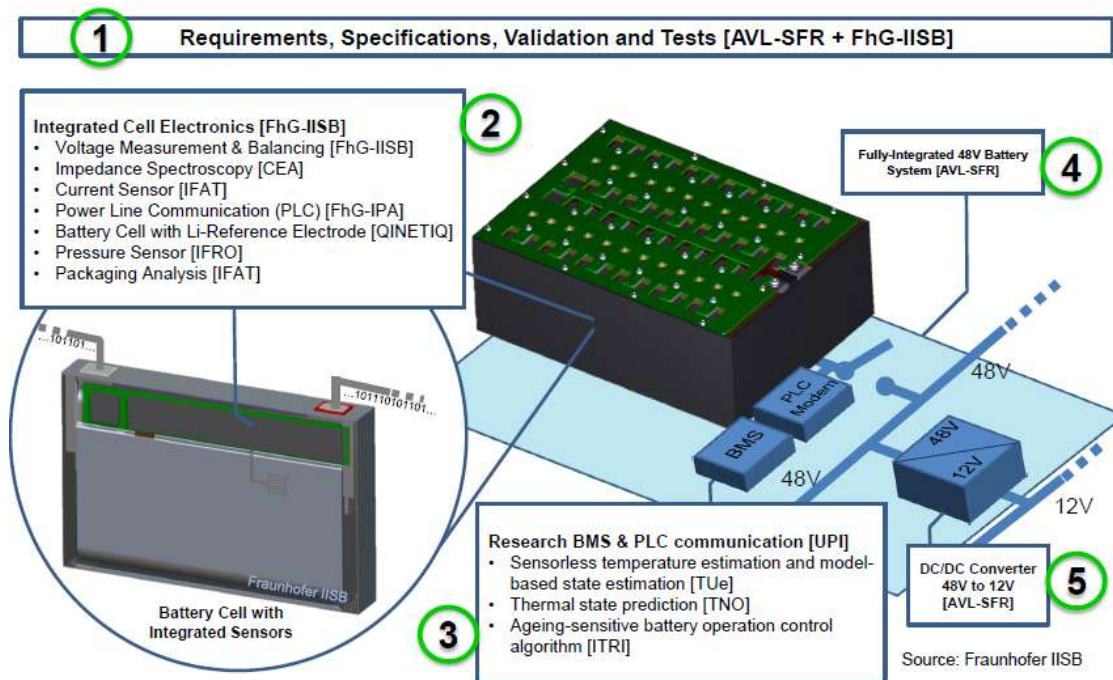


Abbildung 3: Smartes Batterie System mit integriertem DC/DC-Wandler

- Integration von Elektronik und Sensoren in die Batteriezelle (Spannungsmessung und Balancing, Elektrochemische Impedanzspektroskopie, Strommessung, Drucksensor)
- Entwicklung von Batteriezellen mit Lithium-Referenzelektrode
- Power Line Communication (PLC) zur Kommunikation zwischen Zellen und BMS Master
- BMS Master Steuergerät mit diversen Algorithmen und Modellbasierten Ansätzen, zur sensorlosen Temperatur- und Zustandsbestimmung
- DC/DC-Wandler zur Herabsetzung der 48V auf 12V

- Entwicklung eines automotive Batteriemoduls (Auswahl der Steckersysteme und Integration der Einzelkomponenten)
- Validierung und Test des gesamten Batteriemoduls

AVL Software and Functions war hauptverantwortlich für die Definition der Requirements zur Integration aller Baugruppen in das 48V Batteriesystem und die Auslegung des 48V/12V DC/DC-Wandlers.

Die Requirements sind an die Norm LV148 angelehnt, die als Standard für automotive 48V Bordnetze gilt.

Die wichtigsten Anforderungen des DC/DC-Wandlers:

- Die Leistung muss mindestens 1 kW liefern
- Die Kühlung soll nur passiv erfolgen
- Die Eingangsspannung des DC/DC muss zwischen 36 und 52V liegen
- Die Ausgangsspannung des DC/DC muss zwischen 9 und 18V liegen

2.1.2 AP 2 System Level Design – System-Level-Design

Für den 48V/12V-DC/DC-Wandler wurde eine push pull Topologie gewählt. Das bedeutet, dass ein komplementäres Paar von MOSFETs für die Ausgangsschaltung verwendet wird. Einer der MOSFETs blockiert, während der andere leitfähig ist. Zusätzlich wurde auf einen Multiphasen Ansatz gesetzt um die Leistung auf die einzelnen Phasen aufzuteilen und auch sicherheitskritische Aspekte, z.B. Redundanz bei Ausfall einer Phase, zu berücksichtigen. Damit ist es möglich die benötigte Leistung von 1 kW in einer effizienten Weise zu übertragen.

Die nachfolgende Grafik zeigt die Architektur des Wandlers mit den jeweiligen Schlüsselkomponenten. Als MOSFETs wurde die neueste Halbleitergeneration von Infineon verwendet. Entsprechend der Automobilnorm repräsentiert KL40 die Spannung von 48V, welches der Eingang der Batterien ist. KL41 ist der zugehörige GND. Am Ausgang des DC/DCs werden KL30, das den Anschluss an das 12 V Bordnetz darstellt und KL31 als zugehöriger GND angeschlossen

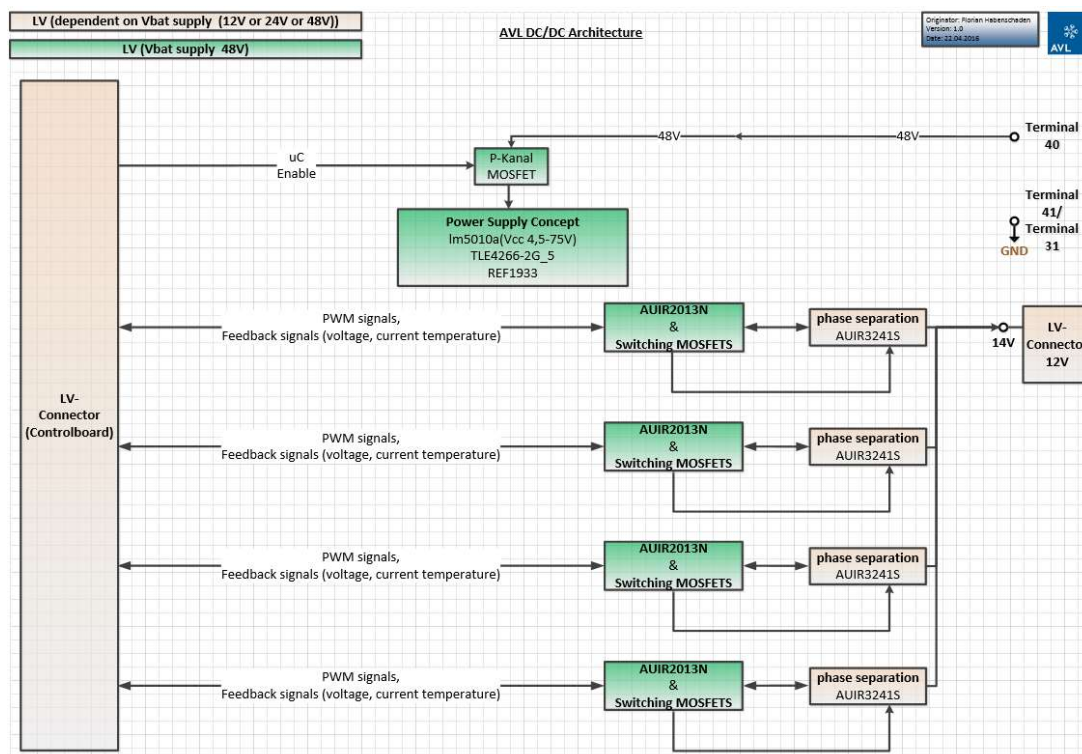


Abbildung 4: DC/DC Architektur

Um die Leistungsfähigkeit des DC/DC vorab zu optimieren, wurden entsprechende Modelle erstellt und verschiedene Simulation durchgeführt.

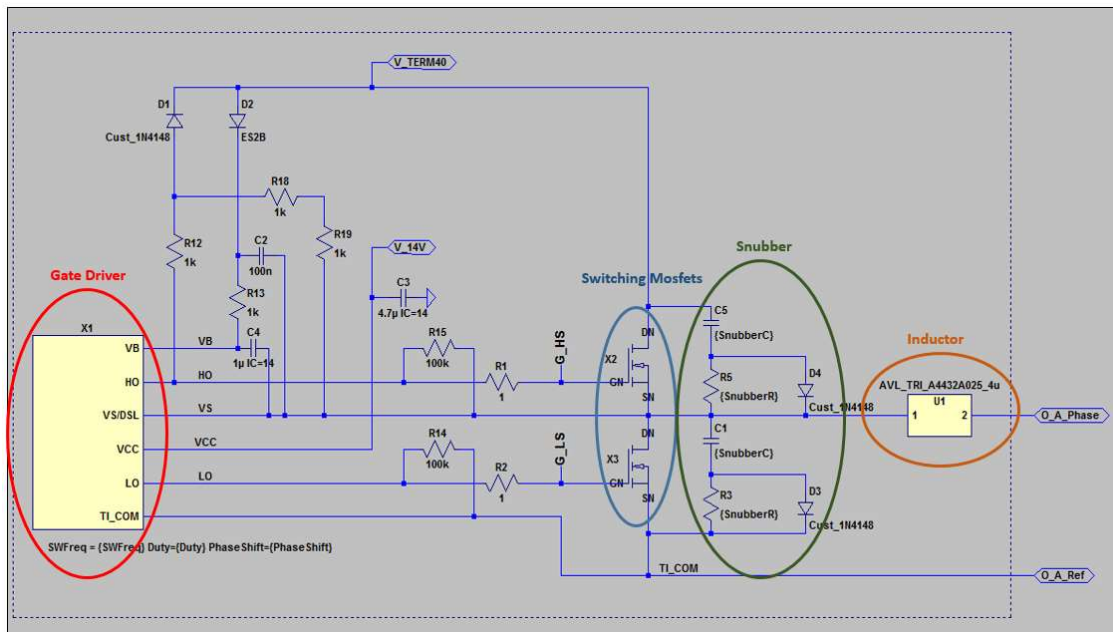


Abbildung 5: 48V/12V-DC/DC Spice Modell (1 Phase)

So konnte die Schaltfrequenz untersucht werden, bei der die Schaltung am effizientesten arbeitet, sowie die optimale Anzahl an Phasen um den Ausgangsspannungsripple zu reduzieren.

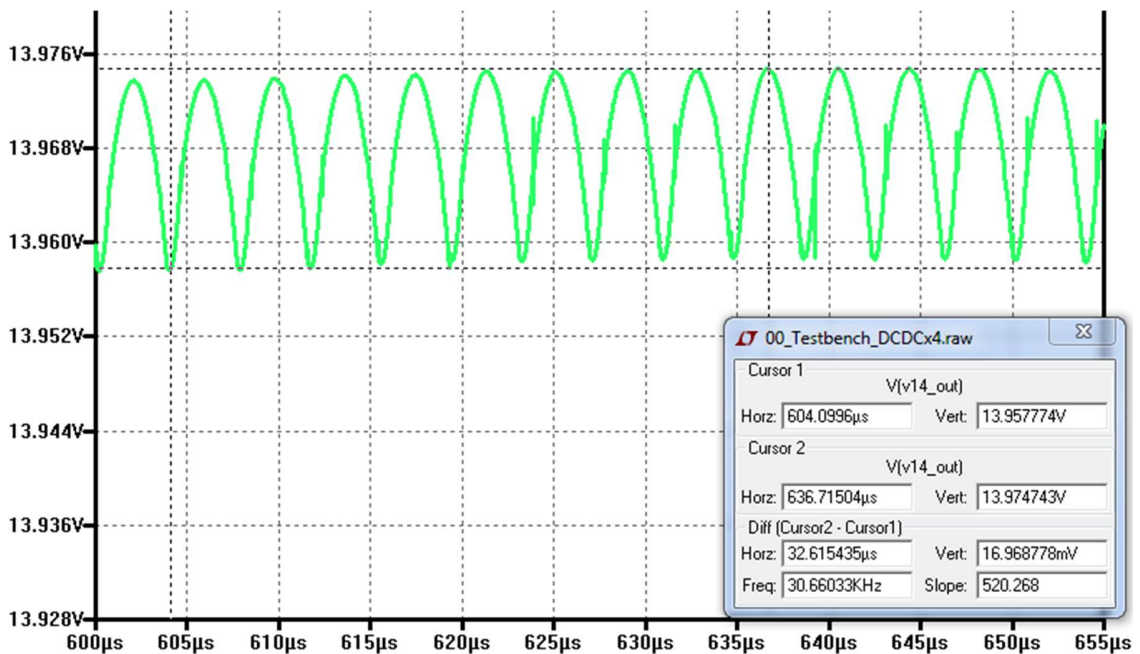


Abbildung 6: Ausgangsspannung V14_OUT mit vier Phasen

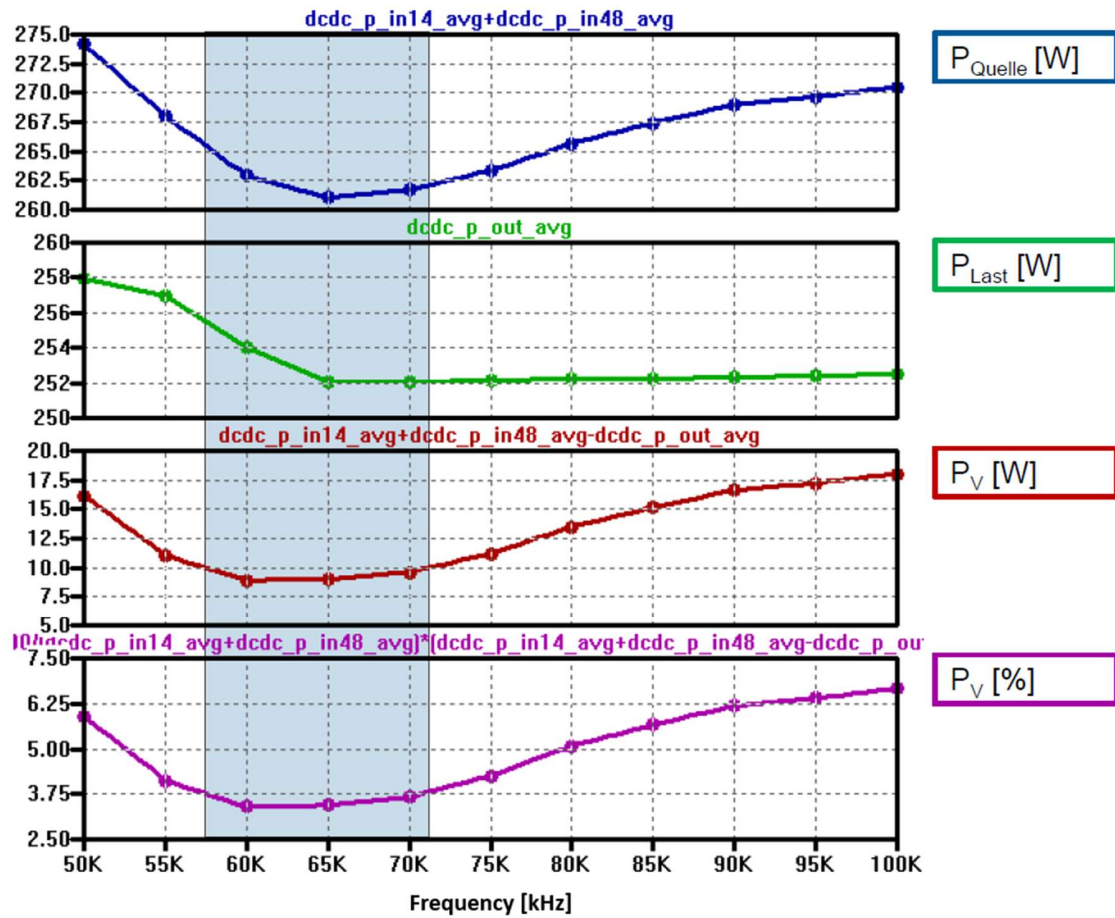


Abbildung 7: Leitungsanalyse bei verschiedenen Schaltfrequenzen

Gemäß den Simulationen wurde als Schaltfrequenz 65 kHz gewählt und 4 Phasen mit jeweils 90° versetztem Ansteuersignal.

2.1.3 AP 4 Embedded Systems and Computing Algorithms – Eingebettete Systeme und Computing-Algorithmen

Das folgende Bild zeigt die Architektur des DC/DC-Wandlers und dessen Steuerung. Auf der linken Seite ist die DC/DC Control Unit zu erkennen, die mit 48V versorgt wird und einen Infineon Aurix Mikrocontroller besitzt. Auf der rechten Seite ist der eigentliche DC/DC Converter zu sehen, der die 48V auf 12V reduziert und aus vier Phasen besteht.

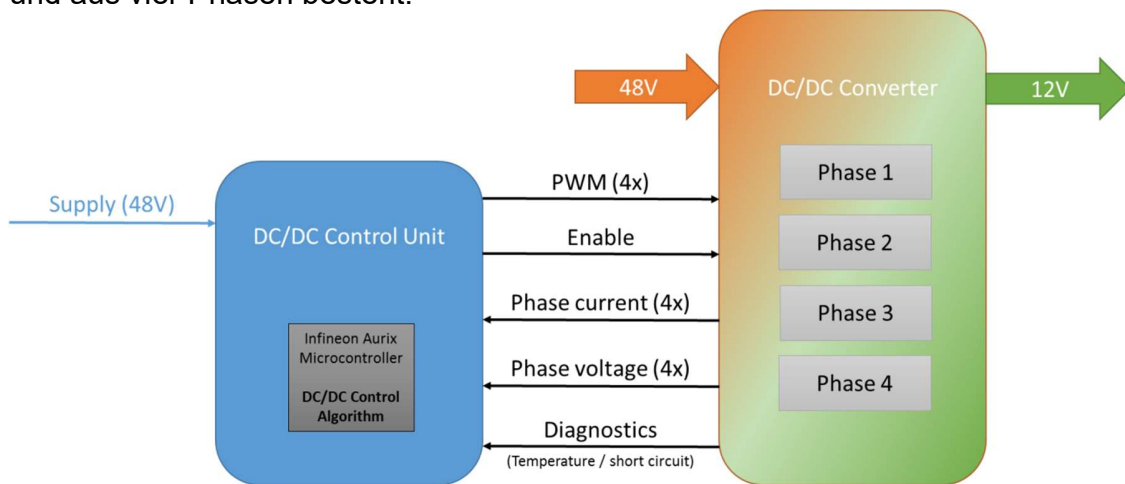


Abbildung 8: DC/DC Hardware Architektur

Als Control Unit kann jede Hardware mit einem Mikrocontroller verwendet werden, auf welchen der Kontrollalgorithmus lauffähig ist. Aus Verfügbarkeitsgründen wurde eine AVL-SFR eigene 48V BCU für die Entwicklung und das Testen des Algorithmus verwendet.

Die Ansteuerung erfolgt über 4 PWM Signale, deren duty cycle je nach Ausgangsspannung der jeweiligen Phase geregelt werden. Zusätzlich werden noch die Phasenströme sowie verschiedene Messwerte zur Diagnose eingelesen.

Zusätzlich zu den Algorithmen wurden erste Tests der entwickelten Hardware durchgeführt.

Folgendes Bild zeigt den Aufbau des DC/DC-Wandlers (unten) mit der Control Unit (oben) wie sie später auch in das Batteriesystem eingebaut werden.



Abbildung 9: DC/DC-Wandler (blau) mit Control Unit (grün)

Nachfolgende thermografische Aufnahme des Wandlers wurde mit einer Last von 1 kW bei Raumtemperatur aufgenommen. Es ist zu sehen, dass alle Phasen sich gleich stark erwärmen, was bedeutet, dass die Last gleichmäßig auf alle Phasen verteilt ist.

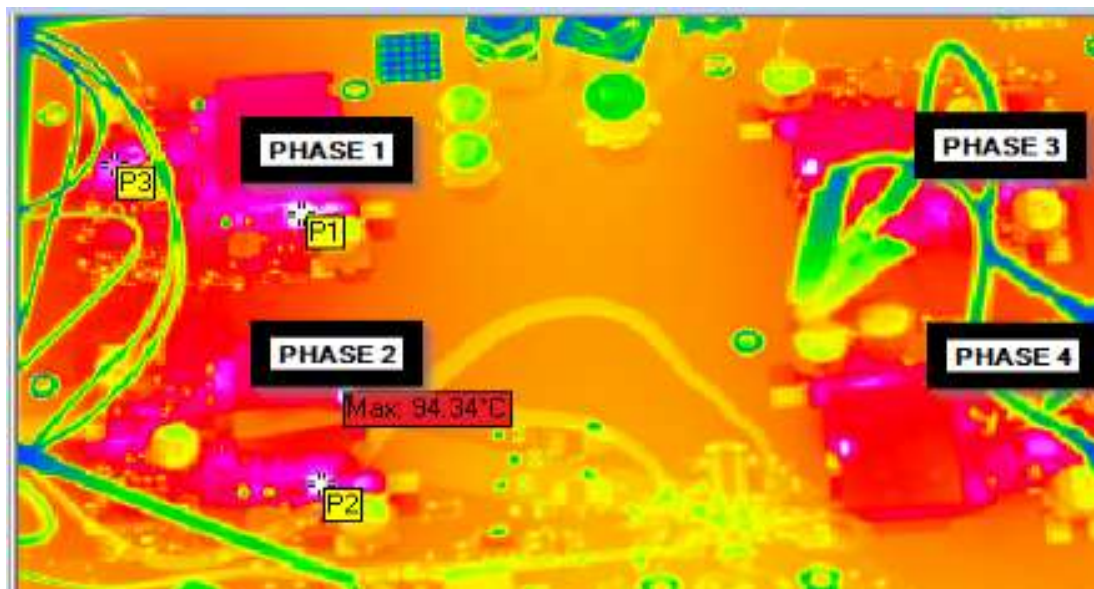


Abbildung 10: Thermografisches Bild des DC/DC mit 1 kW

Der heißeste Punkt befindet sich mit einer Temperatur von 94,34°C an den Wicklungen der Induktivität. Bei diesem ersten Test war noch kein Kühlkörper vorhanden, so dass im Verbund mit Kühlkörper die Wärme noch besser abgeleitet werden kann.

2.1.4 AP 5 System Integration and Demonstration – Systemintegration und Demonstration

AVL-SFR war verantwortlich für die Systemintegration. Im Batteriesystem befinden sich Batteriezellen, ein DC/DC, ein Stromsensor, Überstromschutzeinrichtungen, eine Steuereinheit, ein Relais und eine Power Line Communication (PLC). Ein Kommunikationsstecker um mit anderen Geräten im Fahrzeug zu kommunizieren ist ebenfalls vorhanden.

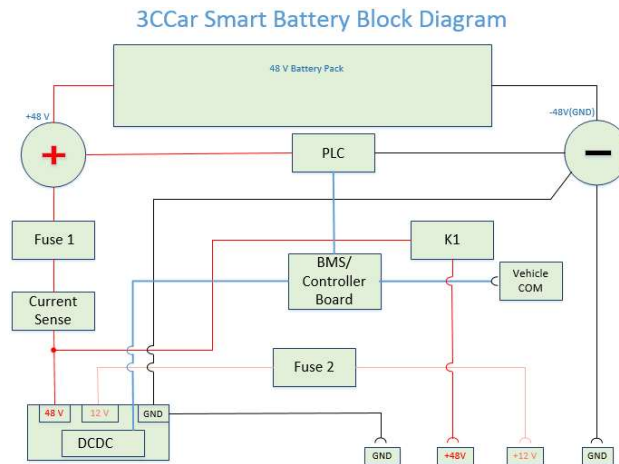


Abbildung 11: System Architektur

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Explosionszeichnung des gesamten Aufbaus mit einer Beschreibung der einzelnen Komponenten.

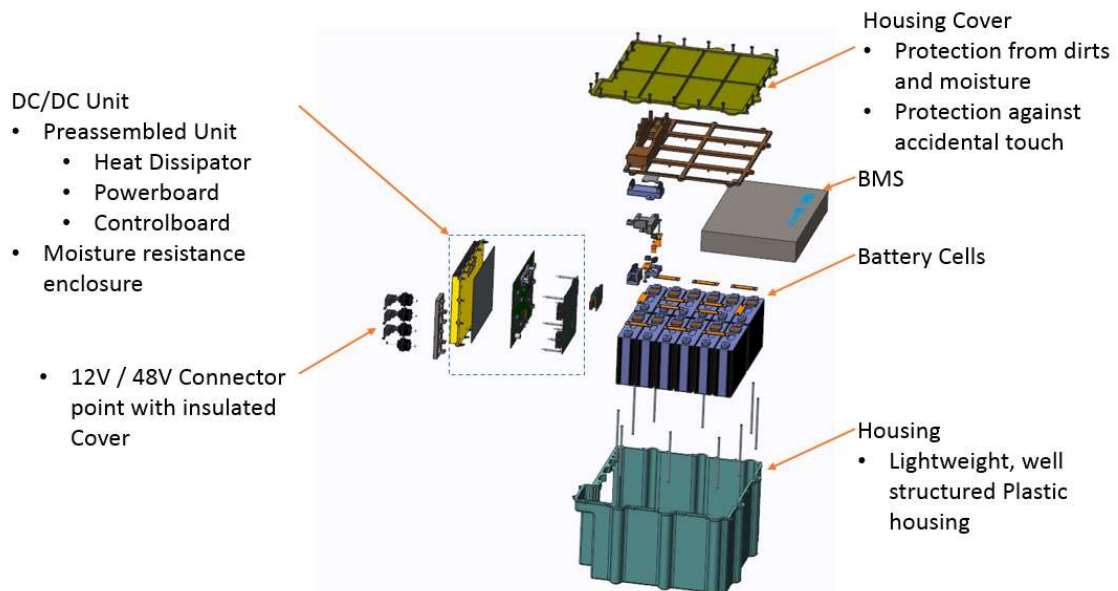


Abbildung 12: Explosionszeichnung des Batteriesystems

Die Batteriezellen werden mit einer Halterung fixiert. An dieser Halterung werden auch die E/E-Komponenten befestigt. Darüber ist Platz für das BMS.

Der DC/DC, inkl. Control Unit und Kühlkörper, ist so montiert, dass der Kühlkörper an der Außenseite des Gehäuses ist, um bestmögliche Entwärmung zu gewährleisten.

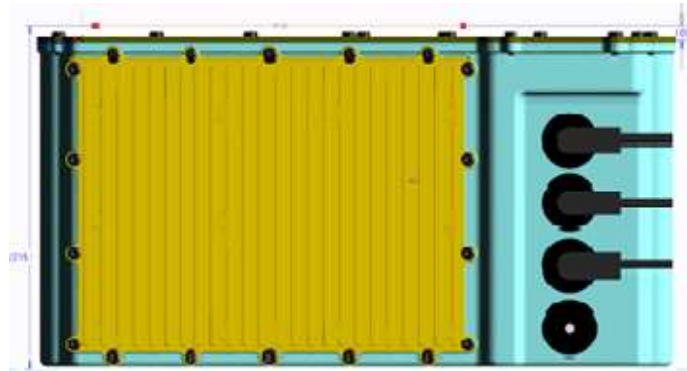


Abbildung 13: Batteriesystem Ansicht auf Kühlkörper und Stecker

2.1.5 AP 6 Validation and Tests – Validierung und Tests

In diesem Arbeitspaket war AVL-SFR für das Testen des DC/DC-Wandlers und des Gesamtsystems verantwortlich.

a) DC/DC-Wandler

In folgender Abbildung wird der Schematische Testaufbau des DC/DC-Wandlers gezeigt.

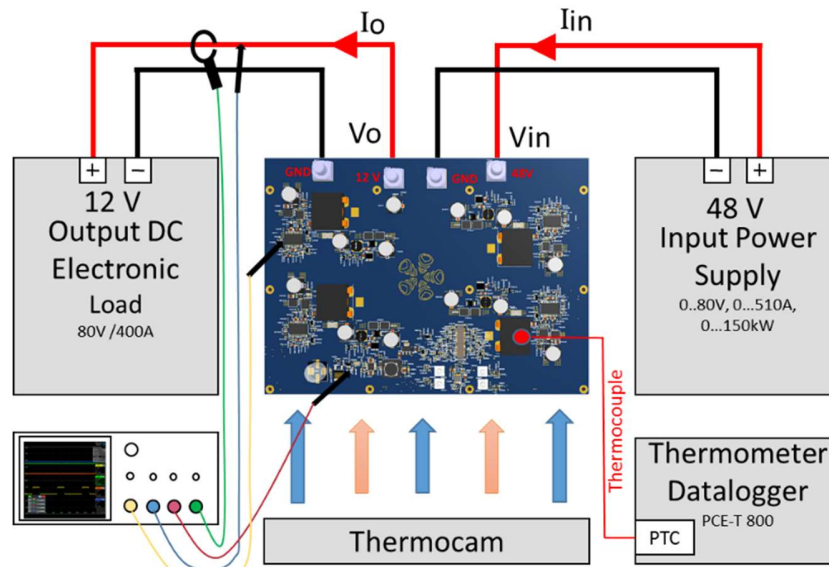
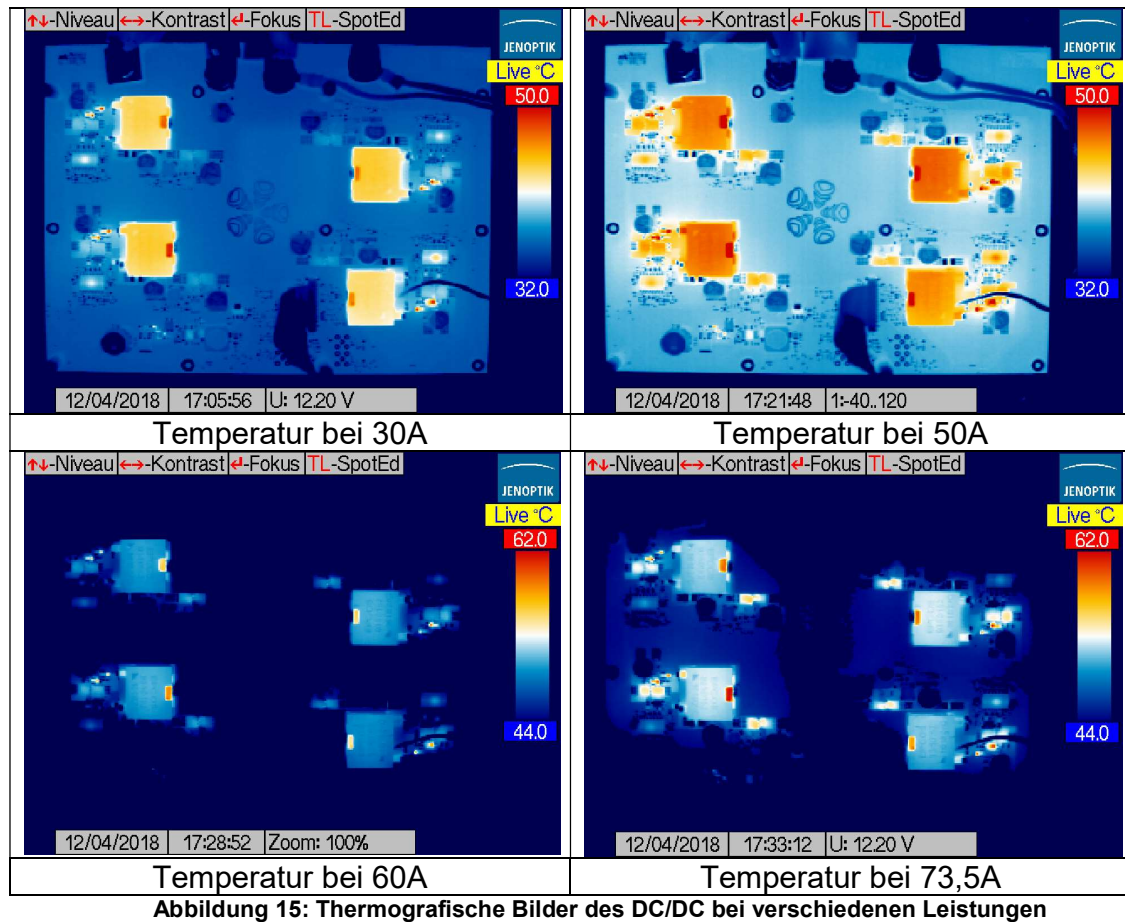


Abbildung 14: Schematischer Testaufbau DC/DC-Wandler

Mit Hilfe der elektronischen Last wurden verschiedene Tests durchgeführt und die Leiterplatte sowie die Bauteile mit der Wärmebildkamera überprüft.



Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Tests bis zu einer maximalen Last von ca. 1,1 kW mit einer konstanten Eingangsspannung von 47,98V und einer Ausgangsspannung im Bereich von 13,6V bis 13,9V. Außerdem werden der Eingangs- und Ausgangsstrom, die Ausgangsleistung, und die Temperatur des wärmsten Bauteils, der Induktivität, aufgezeigt.

Power supply & electronic load measurements for $V_{in} = 47,98 \text{ V}$					
$I_{in} \text{ [A]}$	$V_o \text{ [V]}$	$I_{out} \text{ [A]}$	Temp Induct. $[\text{°C}]$	$P \text{ [W]}$	$R \text{ [}\Omega\text{]}$
1,7	13,8	5	32,3	69	2,76
3,1	13,9	10	38,6	139	1,38
6,2	13,9	20	43,1	277	0,698
7,7	13,9	25	46,0	347	0,556
9,2	13,8	30	47,7	414	0,460
12,3	13,8	40	50,4	552	0,345
15,2	13,7	49,9	54,5	684	0,275
18,3	13,7	60	58,0	822	0,228
21,4	13,7	70,1	61,0	960	0,195
22,5	13,6	73,6	62,1	1001	0,185
24,4	13,6	80	64,6	1088	0,170

Mittels Ausgangsstrom und -spannung sowie Eingangsstrom und -spannung kann der Wirkungsgrad des DC/DC in Abhängigkeit der Ausgangsleistung bestimmt werden. Für Leistungen über 150W ergibt sich ein Wirkungsgrad von etwa 94%

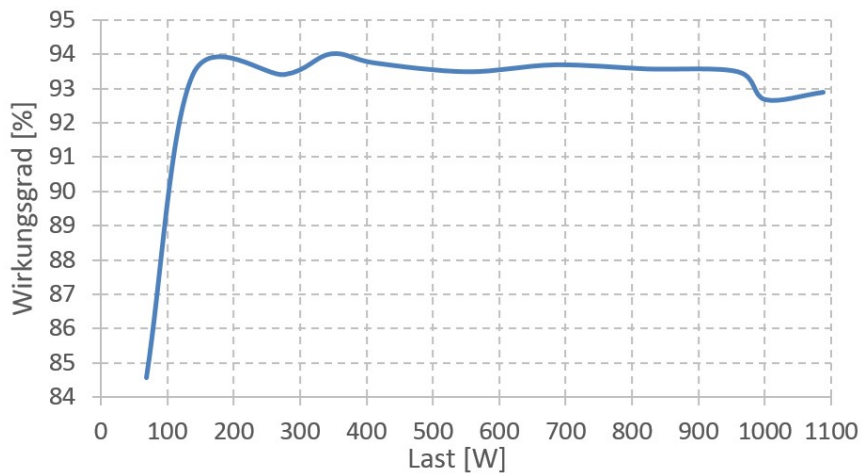


Abbildung 16: Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Ausgangsleistung

b) Gesamtsystem

Der verwendete Testaufbau des Gesamtsystems ist im folgenden Bild zu sehen. Das Batteriesystem wurde an eine elektronische Last angeschlossen, mit dem der Entladestrom geregelt wird. Das verwendete BMS ist mit einem Host-PC verbunden um die Batterieüberwachung und Steuerung zu visualisieren und die Sensordaten mit zu loggen.

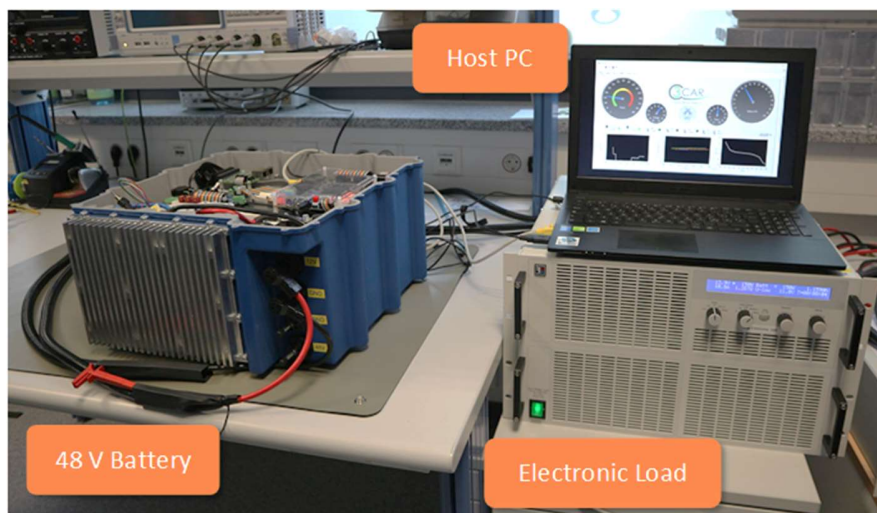


Abbildung 17: Testaufbau Gesamtsystem

Das Gesamtbatteriesystem wurde mit unterschiedlichen Entladezyklen mit unterschiedlichen Entladeströmen getestet. Exemplarisch wird in der folgenden Tabelle ein solcher Entladezyklus aufgezeigt.

Schritt	Leistung [W]	Dauer [s]
1	0	57
2	100	53
3	500	68
4	1000	71
5	500	80
6	100	63
7	1000	65
8	100	142
9	1000	62
10	500	100
11	1000	95
12	500	98
13	100	108
14	0	54

Das folgende Diagramm zeigt das verwendete Leistungsprofil und die Batteriespannung in Abhängigkeit der Zeit. Dabei ist zu sehen, dass die Spannung bei größerer Last schneller sinkt als bei kleinen Lasten. Außerdem ändert sich die Spannung sprunghaft, wenn sich die Last auch sprunghaft ändert.

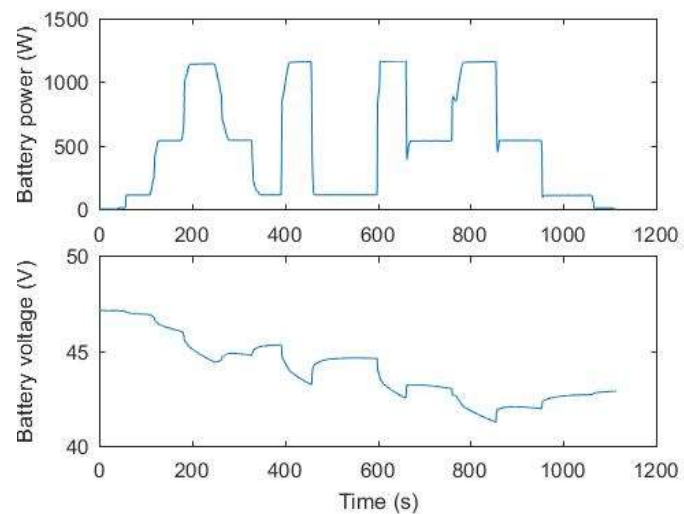


Abbildung 18: Leistungs- und Spannungsprofil

Alle Tests wurden mit Erfolg durchgeführt und zeigen, dass der Demonstrator alle in AP1 definierten Anforderungen erfüllt.

2.1.6 AP 7 Dissemination, Exploitation and Standardization – Verwertung, Veröffentlichung, Standardisierung

Die AVL Software and Functions GmbH hat in Kooperation mit den Konsortiumspartnern dazu beitragen, die Aktivitäten und Ergebnisse der Entwicklungen im Projekt 3Ccar öffentlich zu verbreiten und gemeinsame Standards zu finden.

2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis wird separat mit dem Verwendungsnachweis zur Verfügung gestellt.

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Durch die Kombination von einer Batterie und eines DC/DC Wandlers in einem Gerät lassen sich Kosten reduzieren, da Kosten für Gehäuse, Bauteile, Stecker und Leitungen wegfallen. Das Aufteilen der Leistung der DC/DC Topologie in mehrere separaten Phasen erhöht die Verfügbarkeit des 12V Bordnetz und die Ausfallwahrscheinlichkeit wird vermindert, außerdem werden durch die hohe Integration des Systems weniger Daten übertragen, was schon immer im Vordergrund bei der Entwicklung in der Automobilindustrie stehen.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Das Projekt 3Ccar bietet einen Lösungsansatz zur Reduzierung der komplexen Verkabelung in Batteriesystemen und im Gesamtfahrzeug. Dies wird erreicht durch das Zusammenführen von verschiedenen Modulen, die bisher typischerweise als Einzelkomponenten im Fahrzeug verbaut wurden, zu einem intelligenten und kompakten 48V/12V Batteriesystem.

Die gesamte Smart Battery als Demonstrator ist eine Plattform für die Weiterentwicklung und findet Einsatz in Anwendungen, die sich mit E-Mobilität beschäftigen.

AVL-SFR hat durch das Projekt auch einen Erkenntnisgewinn im Bereich 48V Versorgung, Spannungswandlung und Integration in minimierten Bauraum erlangt, und somit ist es möglich Kunden schneller, effizienter und kostengünstiger bei der Serien-Entwicklung automotive integrierter Energieversorgungs- und Antriebssysteme zu unterstützen.

Im entwickelten DC/DC-Wandler wurde auf ein Multiphasenkonzept gesetzt. Dadurch wird nicht nur die Leistung symmetrisch auf mehrere Phasen aufgeteilt, was den Vorteil hat, dass Bauteile mit entsprechend geringerer Stromtragfähigkeit

gewählt werden können, darüber hinaus kann durch eine Erhöhung oder Reduktion der Phasenzahl auch eine einfache Anpassung an verschiedene Leistungsanforderungen geschehen, ohne dass es einer kompletten Neuentwicklung des Wandlers bedarf.

Die Aufwandsersparnis für Neuentwicklungen durch das bestehende modulare Phasendesign wird auf mindestens 30% geschätzt.

2.5. Während der Durchführung bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Laufzeit sind keine Ergebnisse Dritter bekannt geworden, die die Projektdurchführung beeinflusst haben.

2.6. Erfolge oder geplante Veröffentlichungen

Es wurden zwei Patente eingereicht, die sich aktuell in Prüfung befinden.

Des Weiteren hat AVL-SFR an einem Paper mitgearbeitet, das auf der IEEE ISIE im Juni 2019 präsentiert werden soll („Implementation and Test of a 48 V Smart Battery System with Integrated DC/DC Converter“).

3. Literaturverzeichnis

4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verknüpfung der Supply Chains mit den Arbeitspaketen	7
Abbildung 2: Typische 12V/48V Bordnetzarchitektur	7
Abbildung 3: Smartes Batterie System mit integriertem DC/DC-Wandler	9
Abbildung 4: DC/DC Architektur.....	11
Abbildung 5: 48V/12V-DC/DC Spice Modell (1 Phase).....	12
Abbildung 6: Ausgangsspannung V14_OUT mit vier Phasen.....	12
Abbildung 7: Leitungsanalyse bei verschiedenen Schaltfrequenzen	13
Abbildung 8: DC/DC Hardware Architektur	14
Abbildung 9: DC/DC-Wandler (blau) mit Control Unit (grün).....	15
Abbildung 10: Thermografisches Bild des DC/DC mit 1 kW	15
Abbildung 11: System Architektur	16
Abbildung 12: Explosionszeichnung des Batteriesystems	16
Abbildung 13: Batteriesystem Ansicht auf Kühlkörper und Stecker	17
Abbildung 14: Schematischer Testaufbau DC/DC-Wandler.....	18
Abbildung 15: Thermografische Bilder des DC/DC bei verschiedenen Leistungen	19
Abbildung 16: Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Ausgangsleistung	20
Abbildung 17: Testaufbau Gesamtsystem	20
Abbildung 18: Leistungs- und Spannungsprofil.....	21