

# Schlussbericht

## Verbundvorhaben:

Elektromobilitätskonzept mit teilautonomen Fahrzeugen (E2V)

Teilvorhaben: Entwurf und Konstruktion des leistungselektronischen Antriebs- und Bordnetzwandlers

Zuwendungsempfänger: Universität Kassel  
Kompetenzzentrum für dezentrale elektrische  
Energieversorgungstechnik (KDEE) – Fachgebiet Elektrische  
Energieversorgungssysteme  
Wilhelmshöher Allee 71  
34121 Kassel

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Samuel Araujo  
E-Mail: [s.araujo@uni-kassel.de](mailto:s.araujo@uni-kassel.de)  
Telefon: 0561-804-6516

Förderkennzeichen: 16N11722

Projektlaufzeit: 01.08.2011 bis 31.10.2014

# 1. Einführung

## 1.1 Aufgabenstellung und Ziele

Das Teilvorhaben des Fachgebiets Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS) und des Kompetenzzentrums für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) hat einen Beitrag zu dem Vorhaben „E2V- Für spezifische Nutzergruppen adaptierbares teilautonomes Fahrzeug für die Erkundung von Kulturräumen“ geleistet.

Das Vorhaben hat genau dieses Thema zum Inhalt gehabt: ein neues Fahrzeugkonzept, welches spezifisch für ein besonderes Nutzungskonzept, gekennzeichnet durch eine eigene Zielgruppe, begrenzte Verkehrsbereiche, teilautonome Fahrzeugführung und kontextbezogene Fahrerinformation, optimiert wurde und in welchem die inhärenten Vorteile des Elektroantriebes, lokale Emissionsfreiheit, Kompaktheit und exzellente Regelbarkeit wichtige Voraussetzungen waren.

Bei dem Vorhaben handelt es sich konkret um ein Gesamtfahrzeugkonzept, für das zum einen die Systemintegration durchgeführt worden ist und zum anderen, vor allem in den Bereichen EE-Architektur, Antriebsstrang und Karosserie, neue Hardware- und Softwarekomponenten entwickelt worden sind.

Ziele des Teilvorhabens, die in Arbeitspakete untersetzt wurden, waren bei der Entwicklung dieser neuartigen Elektrofahrzeuge im Sinne des Gesamtsystemansatzes des Vorhabens (unter Berücksichtigung aller erforderlichen Voraussetzungen, Teilgebiete und Komponenten) insbesondere:

- Elektrik- und Elektronik-Architektur, inklusive Leistungselektronik, Isolationskoordination und Masse- sowie Schirmungskonzept und schließlich strukturelle und steuerungstechnische Betriebssicherheit bei den Komponenten, die funktionell eine höhere Spannung erfordern
- Funktionale Implementierung des kompletten Antriebsstrangs, inklusive Elektromotoren mit der nötigen Peripherie und Ansteuer Elektronik in das Fahrzeugsystem (leistungsmäßige und funktionelle Auslegung und Auswahl der Komponenten und Baugruppen, Definition und Abstimmung der notwendigen Schnittstellen für eine Steuerung des Antriebsstrangs mit den beteiligten Projektpartnern
- Physische Implementierung des Antriebsstrangs in das Fahrzeug (d. h. ggfs. Integration von Teileinheiten in den Antriebsstrang in Fahrwerk und Karosserie bei gleichzeitiger Anpassung des Sub-Systems an die neuen Antriebsaufgaben wie Wendigkeit und Rücksichtnahme in Fußgängerströmen.)
- Systemkonzept für die Ladung und Handhabung der Batteriespeicher und Bordnetzrichter unter Berücksichtigung der besonderen Rahmenbedingungen, die aus den Nutzungszielen der Fahrzeuge resultieren.

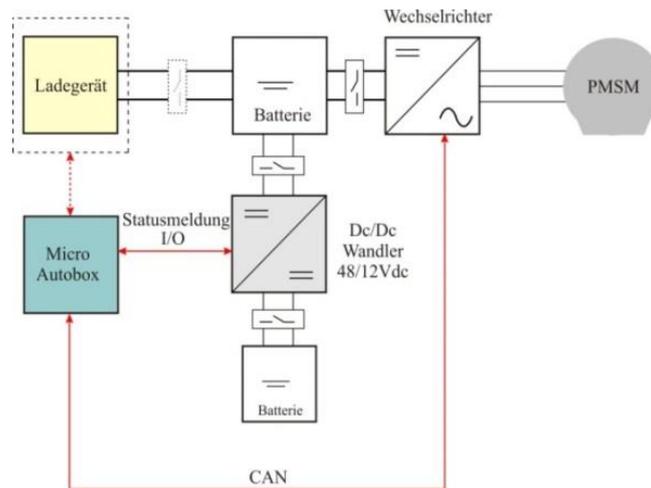


Abbildung 1: Übersicht über das Antriebssystem

Als Voraussetzungen zur Durchführung des Teilvorhabens können zunächst die Grundspezifikationen des Systems bzgl. Funktionalität (Geschwindigkeit, Steigung, Sicherheit) identifiziert werden. Daraus sind die konkreten Spezifikationen auf Systemebene ausgegliedert worden, womit die Vorauswahl der Komponenten und Systemauslegung erfolgte.

## 1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Teilvorhaben war in neun Unterarbeitspakete eingegliedert, deren geplanter zeitlicher Ablauf unten tabellarisch dargestellt ist.

	1. Jahr				2. Jahr				3. Jahr			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
AP1.3: Spezifikation Antrieb und Fahrwerk, Elektromotor	■	■										
AP2.2: Entwurf Antrieb und Fahrwerk			■	■	■	■						
AP2.6: FMEA Analyse				■	■							
AP3.2: Prototypenerstellung Antrieb und Fahrwerk					■	■	■	■				
AP4.2: Aufbau der elektrisch-/elektronischen Systeme								■	■			
AP4.3: Integration								■	■			
AP4.4: Inbetriebnahme der Systeme im Fahrzeug, Freigabe für die Fahrtests									■	■		
AP5.2: Tests im Park Wilhelmshöhe											■	■
AP5.3: Evaluation											■	■

Dennoch konnte die Bearbeitung des Teilvorhabens aufgrund einiger Ereignisse, die unten kurz aufgelistet sind, nicht fristgerecht erfolgen.

- Technische Probleme mit dem ersten Umrichter der Firma Semikron
- Anpassung der Spezifikation des Systems im 2.Jahr
- Verzögerung bei der Lieferung des Wechselrichters der Firma Elmo Motion Control GmbH

- Verzögerung bei der Lieferung der elektrischen Maschinen

Dementsprechend musste die Laufzeit des Projekts kostenneutral um 3 Monate verlängert werden. Dies hat zu der Tatsache geführt dass die Tests im Bergpark und die darauf basierende Bewertung aufgrund ungeeigneter Wetterlage nicht geführt werden konnten.

Eine ausführliche Darstellung der Projektaktivitäten in Rahmen der geplanten einzelnen Arbeitspakete ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

AP #	Titel
1.3	<p><b>Spezifikation Antrieb und Fahrwerk, Elektromotor : Leistungselektronischen Antriebssystem und Peripherie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Im ersten Projektmonaten ist eine Variante der bürstenlosen Gleichstrommaschine (BLDC - Englisch: brushless direct current) untersucht worden. Die Hauptmotivation hinter dieser Untersuchung war die Bewertung der möglichen Gewichtsreduzierung durch diese Technologie. Weiterhin wurden eine Batteriespannung von 300V und Kapazität von 5kWh am Anfang spezifiziert. Die maximale Geschwindigkeit lag bei 20km/h, was bei einer Steigung von 20% zu einem Leistungsbedarf von bis zu 7kW mit einem Spitzendrehmoment von 390Nm führen würde. Vorläufige Simulationen des Antriebsstrangs mit der unten dargestellten Regelstrecke haben nachgewiesen dass die Anforderungen in erster Linie erfüllt werden konnten.</li> </ul> <div style="text-align: center;"> </div> <p><b>Abbildung 2: Regelkreis in der Simulation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nach mehreren Analysen und internen Diskussionen in Konsortium sind angesichts der erhöhten Komplexität des gesamten Systems (bezüglich ihrer Auslegung und Integration) bewährte Ansätze favorisiert worden. Dies betraf zunächst die Maschine (Permanent-Magnet Motor anstatt BLDC) und demzufolge auch den Antriebsumrichter (nicht mehr ein mehrphasiges System sondern eine B6-Brücke). Weiterhin ist eine geringere Batteriespannung im Bereich Schutzkleinspannung (&lt;72V) ausgewählt worden, um sowohl die Sicherheitsanforderungen als auch die Gestaltung des Bordnetzes deutlich zu vereinfachen.</li> <li>• Im Nachhinein sind die maximalen Geschwindigkeit und auch Steigung eingegrenzt worden. Gründe dafür waren unter anderem, Sicherheitsanforderungen im Fahrzeug, Stabilität, Eingrenzung des maximalen Stromes des Wechselrichters und mögliche dynamische Änderungen in der Batteriespannung.</li> </ul>
2.2	<p><b>Entwurf Antrieb und Fahrwerk: Leistungselektronischen Antriebssystem und Peripherie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eine detaillierte Simulation des leistungselektronischen Antriebssystems, diesmal mit dem endgültigen Maschinenkonzept (Permanent-Magnet) und deren vorläufige Parameter, ist durchgeführt worden. Ziel hier war die genauere Belastung der leistungselektronischen Komponenten zu bewerten. Durch die hier geführten Simulationen und unter Berücksichtigung der verschiedenen nicht idealen Effekten im</li> </ul>

System (wie Batteriespannung, dynamisches Verhalten der Maschine, erforderliches Moment zum Aufrichten, Rollwiderstand, usw.) sind Informationen generiert worden, die zur Änderungen der Grundspezifikationen in System geführt haben (siehe letzten Punkt in AP 1.3). Besonders betroffen hier waren die elektrischen Maschinen, die mit zwei Wicklungskonfigurationen ausgelegt werden konnten – die erste geeignet für höhere Geschwindigkeiten und kleineres Drehmoment und die zweite für das entsprechende Gegenteil. Die zweite Konfiguration ist diejenige die im Projekt weiter verfolgt worden ist.

- Ein weiterer Schwerpunkt dieses Arbeitspakets war die Spezifikation des Antriebsumrichters, unter Berücksichtigung der elektrischen Anforderungen der Applikation. Zunächst ist das SKAI-System der Firma Semikron ausgewählt und angeschafft worden. Leider hat sich bei der Inbetriebnahme herausgestellt dass dieses System grundsätzlich für einen anderen Maschinentyp (Asynchron anstatt Synchron) und auch für andere Sensoren (A/B Encoder) ursprünglich ausgelegt worden ist und daher mit nur sehr viel Aufwand für die Projektzwecke umgerüstet werden konnten. Daher ist einen anderen Wechselrichter der Firma Elmo Motion Control ausgewählt worden, der gegenüber dem Semikron System für ein geringeres Stromniveau ausgelegt ist aber über deutliche mehr Schnittstellen und Programmierungsmöglichkeiten verfügt.
- Aufgrund der geringeren Drehzahl der Maschine wegen des direkten Antriebskonzepts musste der Encoder eine sehr hohe Auflösung aufweisen, um die Stabilität des Regelkreises zu gewährleisten. Eine ausführliche Recherche und experimentelle Bewertung von mehreren Lösungen fand in Rahmen des Projekts statt. Hierfür ist eine Hilfsschaltung mit Mikrokontroller zum Ablesen und Bewertung der Messergebnisse programmiert worden. Weiterhin sind auch Effekte bei dem Aufbau und Betrieb (Ungenauigkeit bei der Platzierung, Versetzung der Achsen, Vibration) unter die Lupe genommen worden.

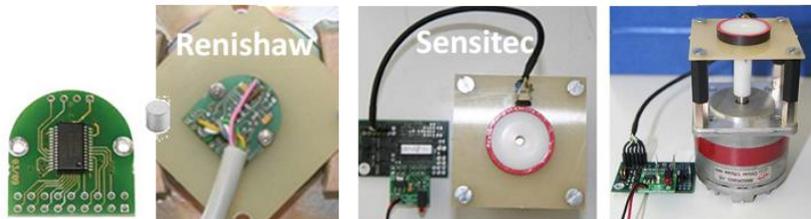


Abbildung 3: Recherche und experimentelle Bewertung verschiedenen Encoderkonzepten

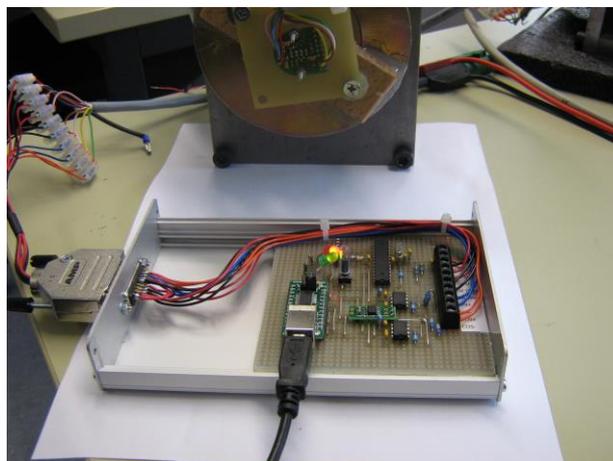
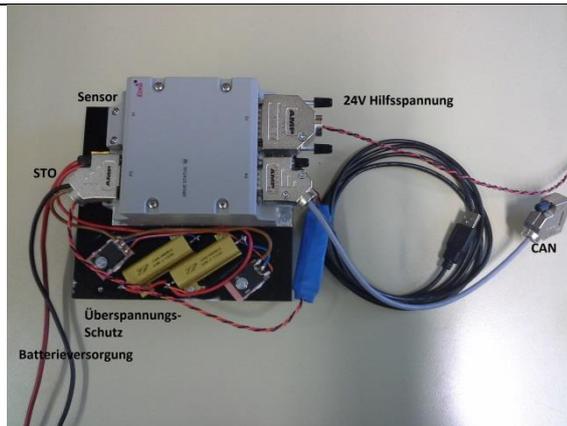


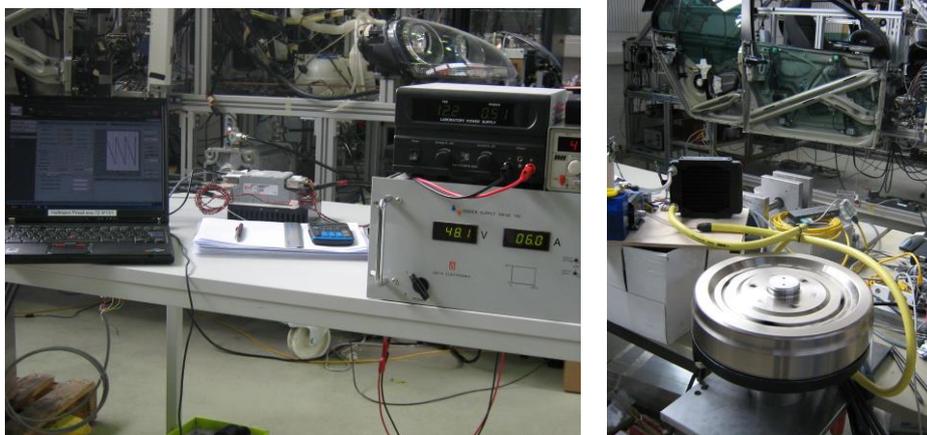
Abbildung 4: Hilfsschaltung zur Überprüfung des Encoders

- In Rahmen dieses Arbeitspakets erfolgte auch die Spezifikation des Ladegeräts.

	<p>Zunächst sind die verschiedenen Ladestrategien für die gezielte Batterietechnologie recherchiert worden. Ferner sind die erforderlichen Betriebsbereiche bzgl. Strom und Spannung auch berücksichtigt worden, neben Anforderungen wie galvanische Trennung und Kühlung. Anhand dieser Informationen fand eine ausführliche Recherche und Bewertung von geeigneten Ladegeräten statt.</p>
<p><b>2.6</b></p>	<p><b>FMEA Analyse - Leistungselektronischen Antriebssystem und Peripherie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunächst sind bereits vorhandene Systeme die eine ähnliche Funktion aufweisen in Details untersucht worden. Ein Beispiel hierfür war das Segway, wo alle kritische Komponenten der Antriebselektronik redundant ausgeführt sind.</li> <li>• In Zuge der FMEA Analyse sind dann die sicherheitsrelevanten Funktionen zur Risikominderung in der Antriebstechnik gemäß Definitionen in der EN 61800-5-2 bewertet worden. Neben der korrekten Realisierung der Sicherheitsfunktionen auf Steuer- und Leistungselektronik war die Berücksichtigung möglicher Fehler durch die Drehgebersensorik von entscheidender Bedeutung. Dazu wurden auch Maßnahmen zur Notbremse des Systems recherchiert, für den Fall dass das Energierückspeisen aufgrund einer höheren Batteriespannung nicht mehr möglich ist. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind dann am Ende in der FMEA des gesamten Fahrzeugs eingeflossen.</li> </ul>
<p><b>3.2</b></p>	<p><b>Prototypenerstellung Antrieb und Fahrwerk - Leistungselektronischen Antriebssystem und Peripherie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Angesichts der Änderungen in der Bordnetzarchitektur, ist einen kommerziellen Bordnetzwannder von 48V auf 12V spezifiziert und ausführlich getestet worden, mit dem Ziel das thermisches Verhalten und Schutzmaßnahmen zu überprüfen. Im letzten Projektjahr hat der Partner Hella einen Bordnetzwannder mit ähnlichen Eingeschalten zur Verfügung gestellt, der im Fahrzeug eingesetzt worden ist.</li> <li>• Eine sehr enge Zusammenarbeit mit dem Partner K&amp;A fand auch in diesem Arbeitspaket statt, mit dem Ziel einen Prototyp des Antriebssystems zu fertigen. Dies betraf die Spezifikation, Einsatz und mechanische/elektrische Integration des besten Drehmomentsensors in der Maschine.</li> </ul> <div data-bbox="584 1312 1145 1727" data-label="Image"> </div> <p><b>Abbildung 5: Integration Encoder in der Maschine</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterhin ist auch hier eine Vorabversion des Antriebswechselrichters mit erforderlichen Schutzmaßnahmen wie Überspannungsschutz eingebaut und zur Verfügung gestellt worden. Mit diesem Prototyp sind alle vorläufigen Tests in Maschinenprüfstand sowohl bei dem Partner K&amp;A als auch im Fachgebiet FSG durchgeführt worden.</li> </ul>



**Abbildung 6: Wechselrichter Prototyp**



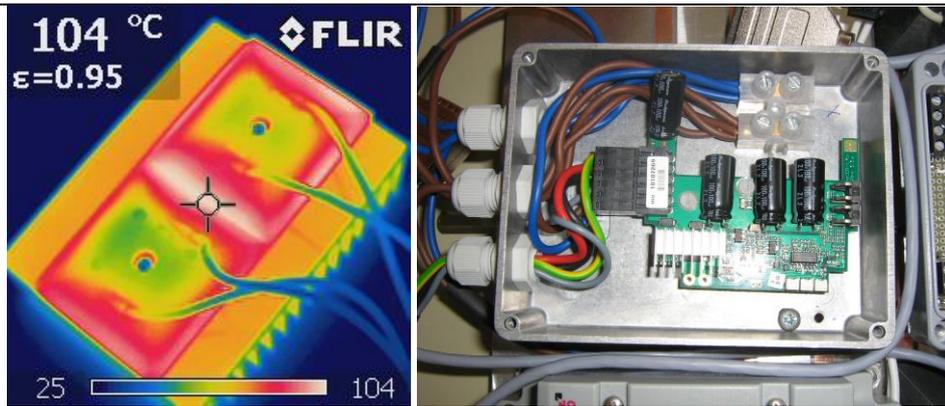
**Abbildung 7: Erste Tests im Labor mit dem Antriebsumrichter**

- In diesem Arbeitspaket fand auch die experimentelle Überprüfung des Ladegeräts. Ziele der Untersuchung hier waren die Anpassung und Verifizierung der Ladekurven, Inspektion der Sicherheitsmaßnahmen und Vermessung der Verluste.



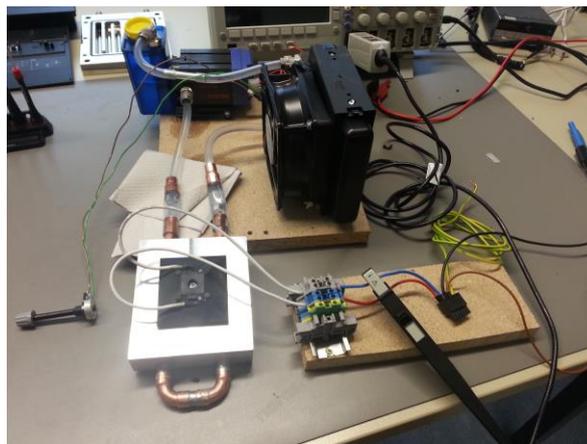
**Abbildung 8: Tests im Labor mit dem Ladegerät**

- Eine weitere Aufgabe hier war die Auslegung der Notbremse. Nach Berechnung der erforderlichen Energie und auch entsprechenden Zeitkonstanten, würden verschiedene Lastwiderstände für Pulsanwendungen experimentell geprüft. Die Elektronik zur Erkennung einer möglichen Überspannung und dementsprechend Ausführung der „Chopper“ Funktion wurde ebenfalls hier spezifiziert und getestet.



**Abbildung 9: Thermische Tests der Bremswiderstände (links) und Chopper-Elektronik (rechts)**

- In Rahmen dieses Arbeitspakets fand auch die grundlegende Auslegung des Kühlkreises. Hierfür sind nicht nur die maximalen erwarteten Verluste der Elektronik (Antriebsumrichter und Ladegerät) berücksichtigt worden, sondern auch die zusätzliche Energie der Bremswiderstände, die für den Sonderfall einer Notbremse ausgelegt worden sind. Weiterhin sind die Anforderungen der elektrischen Maschinen bzgl. der Flussmenge und des empfohlenen Temperaturgradienten auch in der Auslegung eingeflossen. Die zwei Wärmetauscher, Pumpe und Ausgleichbehälter sind dementsprechend spezifiziert, angeschafft und im Labor getestet worden, um ihre Leistungsfähigkeit nachzuweisen.



**Abbildung 10: Überprüfung des Kühlkreises**

**4.2 Aufbau der elektrisch-/elektronischen Systeme - Leistungselektronischen Antriebssystem und Peripherie**

- In enger Zusammenarbeit mit dem Konsortium fand hier die endgültige Auslegung des Kühlkreises mit Fokus auf die Kühlplatte und Integration der leistungselektronischen Komponenten. Aus Platzgründen ist eine doppelseitige Nutzung der Platte ausgewählt worden, wie unten dargestellt ist.

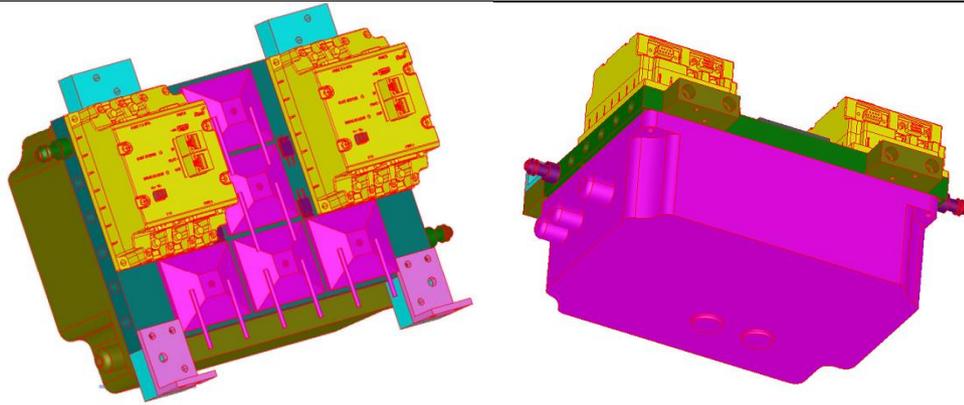


Abbildung 11: Konzept zur Integration der leistungselektronischen Komponenten auf die Kühlplatte

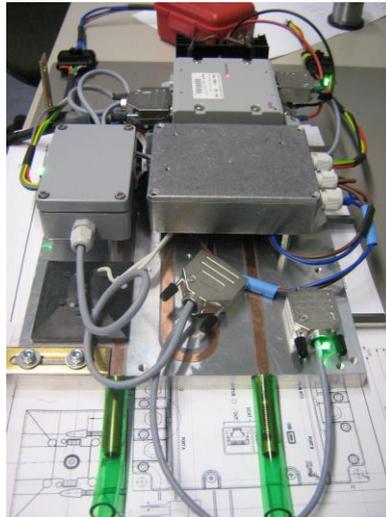


Abbildung 12: Aufbau der integrierten leistungselektronischen Komponenten

- Ein weiterer Beitrag in Rahmen dieses Arbeitspakets war die Unterstützung bei der Spezifikation und Auswahl der Leistungs- und Signalkabel.
- Schließlich fand hier die ausführliche Überprüfung der elektrischen Antriebsmaschine mit Lastmaschine im Fachgebiet FSG zur Anpassung des Regelkreises statt. Die Regelparameter wurden zunächst mittels einer Selbstanpassungsfunktion des Elmos Systems bestimmt worden und dann mittels Simulationen in Matlab verfeinert. Dementsprechend sind Tests bei verschiedenen Lastübergängen geführt worden um die Ergebnisse der Auslegung des Regelkreises zu validieren.

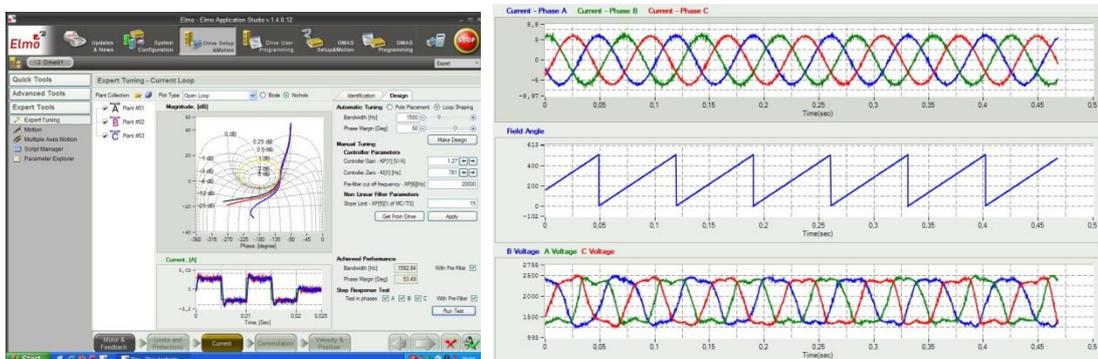


Abbildung 13: Überprüfung und Anpassung des Regelkreises (Benutzeroberfläche des Elmo Systems)

<p><b>4.3</b></p>	<p><b>Integration - Leistungselektronischen Antriebssystem und Peripherie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• In Rahmen dieses Arbeitspakets fand der Aufbau der leistungselektronischen Komponenten, Kühlkreis und deren Anbindung mit der Steuerelektronik und Sensorik statt.</li> <li>• Angesichts der gemeinsamen Ausführung von Minus- und Karosseriepotalential, musste ein zusätzlicher Zwischenkreis ausgelegt und aufgebaut werden. Ziel hier war die Senkung der hochfrequenten Ströme zwischen Wechselrichter und Batterie, um mögliche Störungen zu reduzieren. Eine weitere Anforderung bei der Auslegung war die Eingrenzung des Ladestromes und Entladung des Speichers für den Fall einer Unterbrechung der Verbindung mit der Batterie.</li> </ul>  <p style="text-align: center;"><b>Abbildung 14: Hilfszwischenkreis zur Reduzierung der hochfrequenten Ströme zwischen Batterie und Wechselrichter</b></p>
<p><b>4.4</b></p>	<p><b>Inbetriebnahme der Systeme im Fahrzeug, Freigabe für die Fahrtests- Leistungselektronischen Antriebssystem und Peripherie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund der ausführlichen Vorbereitungen und experimentellen Tests mit den Teilsystemen, konnte die Inbetriebnahme im System reibungslos erfolgen. Minimale Anpassungen waren nur bei der Verkabelung notwendig.</li> </ul>
<p><b>5.2</b></p>	<p><b>Tests im Park Wilhelmshöhe - Leistungselektronischen Antriebssystem und Peripherie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Angesichts der ungeeigneten Wetterlage am Ende des Projekts (Winter) und auch fehlenden Integration der Navigations- und Bedienungssystem konnten keine Tests im Bergpark durchgeführt werden.</li> </ul>
<p><b>5.3</b></p>	<p><b>Evaluation - Leistungselektronischen Antriebssystem und Peripherie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund der ausgefallenen Tests in Bergpark konnte keine abschließende Bewertung des Systems unter realen Nutzungsbedingungen geführt werden.</li> </ul>

## 1.4 Weitere Angaben

Die Aktivitäten des Teilvorhabens erfolgten zum Teil in enger Zusammenarbeit mit Herstellern einigen leistungselektronischen Komponenten, wie der Fall war bei Elmo Motion Control GmbH und Renishaw.

## 2. Eingehende Darstellung

### 2.1 Ergebnisse

Zusammengefasst fanden in Rahmen des Teilvorhabens die Spezifikation, Aufbau, Tests und erfolgreiche Integration im Fahrzeug der folgenden Komponenten:

- Sensorik für Maschine
- Antriebswechselrichter
- Kühlkreis
- Notbremse
- Ladegerät

Neben diesen Aufgaben können weitere Ergebnisse identifiziert werden, die unten nach Thema aufgelistet sind:

- a) Maschinenkonzept:
  - a. Entwicklung von Betriebsszenarien zur ausführlichen Berechnung der Anforderungen, gemeinsame Entwicklung von alternativen Maschinekonzepten
- b) Regelung der Maschine :
  - a. Simulation der Regelstrecke
  - b. Anpassung der Regelung zur Stabilisierung des Antriebstranges
- c) Sicherheit:
  - a. FMEA Analyse nach EN61800-5-2, mit Berücksichtigung von mehreren sicherheitsrelevanten Anforderungen
  - b. Einführung und Aufbau der elektrischen Notbremse
- d) Sensorik:
  - a. Zusammenstellung der grundlegenden Anforderungen des Encoders für die anvisierte Applikation
  - b. Experimentelle Bewertung verschiedenen Encodern
  - c. Integration- und Verkabelungskonzept
- e) Auswahl Batteriespannung:
  - a. Bewertung der Verluste neben weiteren Vor- und Nachteilen der verschiedenen Alternativen
- f) Kühlung:
  - a. Thermische Modellierung des Wasserkühlkreises
- g) Ladetechnik:
  - a. Experimentellen Tests zur Anpassung und Validierung des Ladevorgangs

### 2.2 Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse

Einerseits haben die Aktivitäten des Projekts die Gestaltung von zahlreichen studentischen Projekten ermöglicht, die zur Weiterbildung von Bachelor-Studenten und Verbreitung der Thematik „Elektromobilität“ maßgeblich beigetragen haben. Andererseits wurden auch mehrere Veranstaltungen in Rahmen der Vorlesungen des Fachgebiets EVS organisiert, die zur Verbreitung der Ergebnisse und Erfahrungen gedient haben.

Nicht zuletzt sind die erworbenen Erkenntnisse im Bereich Spezifikation von Antriebssträngen und Sensorik neben den sicherheitstechnischen Anforderungen aus 61800-5-2 sowohl in laufenden Projekten als auch in denjenigen die sich gerade in der Auftragsphase befinden eingeflossen.

## 2.3 Bekannte Fortschritte

Während der Projektlaufzeit wurden einige Weiterentwicklungen in Richtung zwei-achsigen Mobilitätskonzepte beobachtet, hauptsächlich das EN-V der Firma General Motors. Feldtests mit diesem System sind im dritten Quartal 2014 gestartet.



Abbildung 15: Hilfszwischenkreis zur Reduzierung der hochfrequenten Ströme zwischen Batterie und Wechselrichter

## 2.4 Veröffentlichung der Ergebnisse

Es wurden keine wissenschaftlichen Publikationen in Konferenzen oder Zeitschriften in der Laufzeit des Projekts gemacht und es sind zurzeit auch keine geplant. Dennoch wurde eine Kurzfassung des Projekts in dem Jahresbericht des Fachgebiets veröffentlicht (als Anhang).

Ansprechpartner  
DR.-ING. SAMUEL ARAÚJO, DIPL.-ING. WOLFRAM HOFMANN (EVS)

Titel  
**ELEKTROMOBILITÄTSKONZEPT MIT TEIL-AUTONOMEN FAHRZEUGEN (ELECTRICAL EXPLORE VEHICLE – E2V)**

title  
**E-MOBILITY CONCEPT FOR SEMI-AUTONOMOUS VEHICLES (ELECTRICAL EXPLORE VEHICLE – E2V)**

Auf dem Weg zu marktfähigen Elektrofahrzeugen sind wesentliche technologische Hürden zu überwinden. Im Rahmen des Förder-schwerpunktes „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität – Strom“ fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Projekt E2V (Förderkennzeichen 16N11722) unter der Leitung von Prof. Brabetz (Fachgebiet Fahrzeugsysteme und Grundlagen der Elektrotechnik).

*On the way towards saleable electric vehicles major technological obstacles have to be overcome. Within the focal point of support "key-technologies for e-mobility" the German Federal Ministry of Education and Research sponsors among other things the research of electric-vehicle concepts under the coordination of Prof. Brabetz (Department Vehicle Systems and Basics of electrical engineering).*

Für viele abgeschlossene Räume, insbesondere Parks und Kulturlandschaften, ist es wünschenswert, dass sich gerade ältere oder bewegungseingeschränkte Menschen fortbewegen können, ohne die Infrastruktur anpassen zu müssen. Hier setzt das Projekt E2V an und entwickelt für diese Nutzungsszenarien ein kompaktes, wendiges und leichtes Elektrofahrzeug für bis zu zwei Personen.

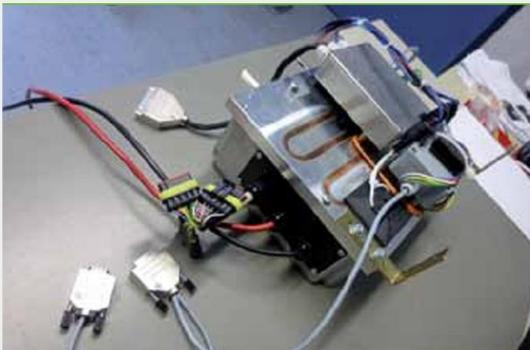
*For many enclosed areas, like parks and other landscapes, it is desirable to give older or people with walking disabilities the opportunity to be mobile, without changing infrastructural conditions. For this purpose the project-participants from research and industry develop a light, compact and agile vehicle for up to two passengers.*

Am KDEE wurden die leistungselektronischen Baugruppen, wie Antriebswechselrichter und Bordnetzwan-dler, in enger Zusammenar-beit mit den insgesamt 10 Projektpartnern aus Forschung und Industrie entwickelt.

*The KDEE therefore developed power electronic components like the drive inverter and the dc-dc-converter for the on-board power supply.*

[www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/fsg/forschung/e2v.html](http://www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/fsg/forschung/e2v.html)

[www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/fsg/forschung/e2v.html](http://www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/fsg/forschung/e2v.html)



Laboraufbau Leistungselektronik  
Experimental setup power electronics



Fahrzeugprototyp  
Vehicle-prototype

**Projektpartner: Universität Kassel (Fachgebiet Fahrzeugsysteme und Grundlagen der Elektrotechnik, Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik, Fachgebiet Leichtbau-Konstruktion, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik), E.ON Mitte AG, FINE Mobile GmbH, Ernst Hombach GmbH & Co. KG, Hymer Leichtmetallbau GmbH & Co. KG, Krebs und Aulich GmbH, Hella KGaA Hueck & Co.**  
**Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen 16N11722)**

GEFÖRDERT VOM  
 Bundesministerium für Bildung und Forschung

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN -	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel  Schlussbericht zum Teilvorhaben „Entwurf und Konstruktion des leistungselektronischen Antriebs- und Bordnetzwandlers“ in Rahmen des Verbundvorhabens „Elektromobilitätskonzept mit teilautonomen Fahrzeugen (E2V)“	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Vasconcelos Araújo, Samuel (Dr.-Ing.)	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.10.2014
	6. Veröffentlichungsdatum 15.05.2015
	7. Form der Publikation -
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Universität Kassel FB16 Kompetenzzentrum für dezentrale elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme Wilhelmshöher Allee 71 34121 Kassel	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 16N11722
	11. Seitenzahl 13
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 1
	14. Tabellen 2
	15. Abbildungen 15
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projekträger VDI/VDE-IT . Berlin 28.Mai 2015	
18. Kurzfassung  Das Teilvorhaben des Fachgebiets Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS) und des Kompetenzzentrums für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) hat einen Beitrag zu dem Vorhaben „E2V- Für spezifische Nutzergruppen adaptierbares teilautonomes Fahrzeug für die Erkundung von Kulturräumen“ geleistet. Fokus der Aktivitäten lag an der Spezifikation, Validierung und Systemintegration der folgenden Schlüsselkomponenten: Antriebsumrichter, Sensorik für die elektrische Maschine und Ladetechnik.  Eine wichtige Aufgabe war zunächst die Spezifikation des Antriebsstrangs, mit Berücksichtigung von Sicherheitsanforderungen im Fahrzeug, Stabilität, Eingrenzung des maximalen Stromes des Wechselrichters und mögliche dynamische Änderungen in der Batteriespannung. Aufgrund solchen kritischen Anforderungen sind bewährte Ansätze favorisierten worden und zwar eine Permanent-Magnet Motor mit dreiphasiger Brücke. Zwei Maschinekonzepte wurden am Ende abgeleitet, womit entweder höhere Geschwindigkeiten oder Drehmomente erreicht werden könnten. Weiterhin wurde in Rahmen der Entwicklung des Antriebstrangs zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen nach EN 61800-5-2 abgeleitet, wie z.B. die Einführung einer elektrischen Notbremse.  Angesichts der galvanischen Verbindung zwischen Karosserie und negativen Pol von Batterie, mussten zusätzlichen Maßnahmen zur Entstörung geführt werden. Für diesen Zweck ist einen zusätzlichen Zwischenkreis in Pfad zwischen Batterie und Wechselrichter entwickelt und eingesetzt.  Eine besondere Herausforderung im Projekt lag an der geringeren Drehzahl der Maschine wegen des direkten Antriebskonzepts. Deswegen waren einerseits sehr hohe Drehmomente erforderlich. Weiterhin, musste die der Encoder eine sehr hohe Auflösung aufweisen, um die Stabilität des Regelkreises zu gewährleisten. Zu diesem Zweck wurden mehreren in Markt verfügbare Sensoren im Labor experimentell getestet. Die Regelung der Maschine wurde dann durch Simulationen und auch weitere Messungen im Prüfstand für die Anwendung optimiert.  Nicht zuletzt wurden die Anforderungen bzgl. Ladetechnik in Anlehnung an den ausgewählten Batterien abgeleitet so dass ein passendes Ladegerät spezifiziert werden könnte. In Rahmen des Vorhabens fand auch die die Anpassung und Verifizierung der Ladekurven neben der Inspektion der Sicherheitsmaßnahmen und Vermessung der Verluste statt.	
19. Schlagwörter Elektromobilität, Leistungselektronik, Antriebsumrichter, direkter Antrieb	
20. Verlag -	21. Preis -

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN -	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. Title  Final report covering the task "Design and construction of power electronics drive and on-board conversion stage" within the joint project "Electro-mobility with partially autonomous vehicles (E2V)"	
4. author(s) (family name, first name(s))  Vasconcelos Araújo, Samuel (Dr.-Ing.)	5. end of project 31.10.2014
	6. publication date 15.05.2015-
	7. form of publication -
8. performing organization(s) (name, address) Universität Kassel FB16 Kompetenzzentrum für dezentrale elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme Wilhelmshöher Allee 71 34121 Kassel	9. originator's report no.
	10. reference no. -
	11. no. of pages 12
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 13
	14. no. of tables 2
	15. no. of figures 15
16. supplementary notes -	
17. presented at (title, place, date) Projektträger VDI/VDE-IT . Berlin 28.Mai 2015	
18. abstract  The activities of the Chair of Electric Power Supply Systems (EVS) and the Competence Centre for Distributed Electrical Energy Supply Technology (KDEE) have made a contribution to the joint-project "Electro-mobility with partially autonomous vehicles - E2V". Focus of activities was on the specification, validation and system integration of the following key components: main electrical drive, sensors for the electric machine and charging technology.  An important task was initially the specification of the drive train, taking into account safety requirements in the vehicle, stability, limitations of the maximum current of the inverter and possible dynamic changes in the battery voltage. Due to such critical requirements, proven approaches have been favored, leading to the selection of a permanent magnet motor with a three-phase bridge. Two engine concepts were derived at the end, which enabled either higher speeds or torques. Furthermore, within the development of the powertrain additional safety measures were considered in accordance with EN 61800-5-2, being the introduction of electrical emergency brakes.  Given the galvanic connection between the car body and the negative pole of the battery, additional measures for suppression of electrical interferences were taken. An additional intermediary circuit was developed and used in the path between the battery and inverter for such purpose.  A particular challenge in the project was the lower rotation speed of the machine, caused by the direct drive concept . Therefore, very high torques were required. Furthermore, the encoders needed to have a very high resolution in order to ensure the stability of the control loop. For such purpose, several sensors available in the market were experimentally tested in the laboratory. The control of the machine was then optimized by means of several simulations and other measurements in the test bench.  Not least, the requirements of the charging technology with respect to the selected batteries were evaluated so that a suitable charger could be specified. In the framework of the project was performed the adaptation and verification of loading curves alongside the measurement of the losses.	
19. keywords Electro-mobility, power electronics, electrical drive, direct train	
20. publisher	21. price