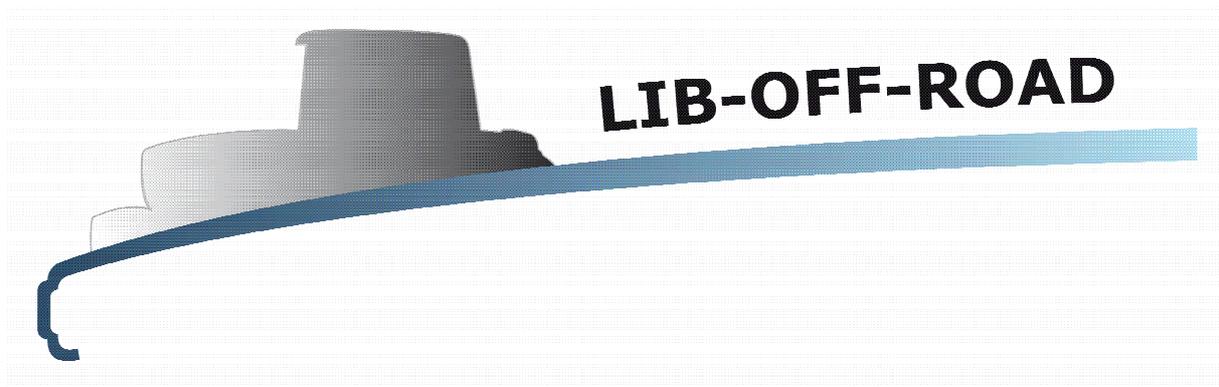


Schlussbericht

Verbundvorhaben LIB-OFF-ROAD „Lithium-Ionen-Batterien in Off-Road-Nutzfahrzeugen zur Steigerung von Effizienz und Autarkie“



Das dem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologies unter dem Förderkennzeichen 19U9003B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

Zuwendungsempfänger:	Förderkennzeichen:
enders Ingenieure GmbH	19U9003B
Titel des Teilvorhabens:	
Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien in Off-Road Nutzfahrzeugen zur Effektivitäts- und Autarkiesteigerung (LIB-OFF-Road)	
Teilvorhaben Fa. enders Ingenieure GmbH: Konstruktion und Entwicklung eines Batteriesystems und deren Komponenten, Integration der Hybridkomponenten sowie Erprobung und Optimierung des Fahrzeugs	
Projektleiter des Teilvorhabens:	Tel.: +49 871 95361 354
Wolfgang Güntner	Email: Wolfgang.Guentner@enders-ing.de
Laufzeit des Vorhabens:	Datum:
von: 01.10.2009	bis: 30.09.2012
	25.03.2013

INHALTSVERZEICHNIS

Schlussbericht Teil I: Projektübersicht	1
1 Aufgabenstellung	1
2 Voraussetzungen, unter denen Vorhaben durchgeführt wurde.....	1
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	2
4 Wissenschaftlich-, technischer Stand, an den das Projekt anknüpft	3
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	3
Schlussbericht Teil II: Ergebnisse des Entwicklungsprojektes	4
1 Darstellung der Ergebnisse	4
1.1 Konzeption und Entwicklung der Batterie	4
1.2 Integration der mechanischen Komponenten in den Demonstrator.....	8
1.3 Integration der elektrischen Komponenten in den Demonstrator.....	11
1.4 Aufbau des Demonstrators	12
2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	15
3 Veröffentlichungen	15
3.1 Erfolgte Veröffentlichungen	15
3.2 Geplante Veröffentlichungen	16
Anhang.....	17
1 Anlage 2: Berichtsblatt	17
2 attachment 3: Document Control Sheet	19

SCHLUSSBERICHT TEIL I: PROJEKTÜBERSICHT

1 Aufgabenstellung

Das Ziel dieses Projekt war es, die notwendigen Technologieentwicklungen im Bereich des Energiespeichers und dessen Anwendung im Off-Road Bereich voranzutreiben und anhand von vielfältigen Anwendungsfällen das Gesamtpotenzial zu evaluieren. Als Energiespeicher ist die Lithium-Ionen-Batterietechnologie als Schlüsselkomponente zur Erreichung der Projektziele betrachtet worden.

Die übergeordneten Ziele für das Projekt sind wie folgt zu nennen:

- Weiterentwicklung und Optimierung von Lithium-Ionen-Batterien in landwirtschaftlichen und anderen Off-Road Nutzfahrzeugen zur Verbesserung der Energieeffizienz
- Untersuchung der Möglichkeiten des Einsatzes von Elektrifizierung in Verbindung mit einer Lithium-Ionen-Batterie auf mobilen Arbeitsmaschinen sowie landwirtschaftlichen Maschine-Gerät-Kombinationen
- Bereitstellung der Elektrizität für angetriebene Traktorarbeitsgeräte und die Entwicklung einer geeigneten elektrischen Leistungsschnittstelle
- Spezifikation, Simulation und Bau eines Batteriedemonstrators
- Aufbau und Test eines Demonstratorfahrzeugs mit hybridem Antriebsstrang
- Realisierung von hybriden und rein elektrischem Fahren anhand eines Demonstratorfahrzeugs
- Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Abgasemission und Hybridisierung
- Untersuchung durch Simulation der Lithium-Ionen-Batterie als stationären Energiespeicher für einen Energieautarke Farm.

2 Voraussetzungen, unter denen Vorhaben durchgeführt wurde

Das Forschungsvorhaben „Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien in Off-Road Nutzfahrzeugen zur Effektivitäts – und Autarkiesteigerung“, Förderprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), stand im direkten Zusammenhang mit dem 3. Verkehrsforschungsprogramm „Mobilität und Verkehrstechnologien“ der Bundesregierung,

mit der Elektromobilität eine technologische Zeitenwende im Verkehrsbereich eingeleitet werden soll.

Das Projekt LIB-OFF-ROAD wurde im Verbund mit insgesamt fünf Partnern (FH Köln, TU München, ZSW, enders Ingenieure, John Deere) und unter der Koordination von John Deere durchgeführt.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Projektlaufzeit reichte von Oktober 2009 bis September 2012 (36 Monate Laufzeit). Die Schwerpunkte der Arbeit der Fa. enders Ingenieure GmbH waren hierbei:

- Bewertung des Batteriekonzepts hinsichtlich der mechanischen Integrierbarkeit in das Gesamtfahrzeug
- Auslegung und Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterie
- Integration der Lithium-Ionen-Batterie in das Gesamtfahrzeug
- Integration sämtlicher zum Betrieb der Batterie benötigten Komponenten in das Gesamtfahrzeug
- Integration des Batteriekühlsystems in das Fahrzeugkühlsystem
- Optimierung von Bauraum und Gewicht
- Belastungsgerechte Befestigung im Fahrzeug
- Entwicklung eines geeigneten Schutz- und Einhausungskonzepts
- Bewertung der Zugänglichkeit und Wartbarkeit im Betrieb
- Überprüfung der Sicherheitsanforderungen im Betrieb
- Bewertung und Optimierung von Herstellungs- und Fertigungsprozessen
- Bewertung und Optimierung von Montageprozessen
- FEM-Simulation von Bauteilen und System (mechanisch und thermisch)

4 Wissenschaftlich-, technischer Stand, an den das Projekt anknüpft

Die Entwicklung der Batterie für den Einsatz im Off-Road-Bereich basiert auf dem technischen Stand der zum Start des Projekts käuflich verfügbaren Batteriezellen. Die Leistungsdaten beruhen auf den zum Start des Projekts üblichen Standards. Ebenso wurde bei der Verwendung der Batterie-Management-Systeme auf handelsübliche Komponenten zurückgegriffen. Für die Verwendung des Gesamtfahrzeuges als Demonstrator wurde ein fabrikneuer, serienmäßiger Traktor des Typs 7530 ePremium mit Standardausstattung der Fa. John Deere hergenommen.

Sämtliche Auslegungen, Berechnungen und Konstruktionen wurden auf dem zum Start des Projektes allgemeingültig vorhandenen technischen Stand aufgesetzt. Die Auslegungskriterien der Batterie und sämtlicher benötigter Komponenten hinsichtlich Festigkeit, Medienverträglichkeit und Einsatzgebiet stammen von den Standardvorgaben und Auslegungskriterien für Komponenten im landwirtschaftlichen Off-Road-Bereich der Fa. John Deere.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Alle Tätigkeiten der Fa. enders Ingenieure GmbH fanden in sehr enger Zusammenarbeit mit der Fa. John Deere statt. Der technische sowie projektorganisatorische Fortschritt wurde direkt mit den technischen Fachabteilungen bei John Deere geplant und abgestimmt. Über die gesamte Laufzeit des Projekts herrschte ein intensiver Informationsaustausch zwischen den einzelnen Projektpartnern. Es gab keine Zusammenarbeit mit Stellen außerhalb des Projektkonsortiums.

SCHLUSSBERICHT TEIL II: ERGEBNISSE DES ENTWICKLUNGSPROJEKTES

1 Darstellung der Ergebnisse

1.1 Konzeption und Entwicklung der Batterie

In enger Zusammenarbeit mit der Fa. John Deere wurden die Spezifikationen der Batterie ausgewählt und ausgelegt. Für den Aufbau des Demonstrators wurden zwei identische Batterien benötigt und entwickelt. Jede einzelne Batterie ist mit folgenden Eckdaten ausgestattet:

Batteriezellen:	HEI 40 High Energy Cell, Fa. li-Tec
Kapazität:	40Ah
Nominalspannung:	40 x 3,6V = 144V
Entladestrom:	1C = 40A to 2C = 80A
Max. Entladestrom:	5C = 200A (puls 10s)
Ladestrom:	2C = 80A (constant)
Max. Ladestrom:	4C = 160A (puls 30s)
Ladetemperatur:	0°C to +40°C
Entladetemperatur:	-30°C to +60°C
LxBxH [mm]:	580 x 242 x 320
Gewicht [kg]:	ca. 60

Als Batterie-Management-System (BMS) kam ein System der Fa. elithion zum Einsatz. Jede einzelne Batterie – Zelle ist bestückt mit einem BMS-Modul, das die jeweilige Temperatur sowie die Spannung bei Laden und Entladen überwacht. Die 40 Zellen jeder einzelnen Batterie werden in 5 logische Bänke mit je 8 Batterie - Zellen aufgeteilt und an einen BMS-Kontroller zu Auswertung angeschlossen. In jeder Batterie befindet sich ein BMS-Kontroller zur Auswertung der einzelnen BMS-Module. Die einzelnen Batterie-Zellen werden mittels einer integralen Rahmenarchitektur gehalten und von der Außenumgebung hermetisch abgeschottet.



Abbildung 1 Integralrahmen

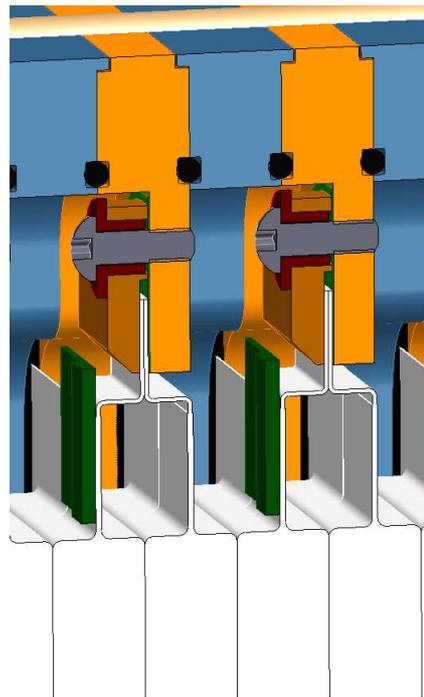


Abbildung 2 Integralrahmen

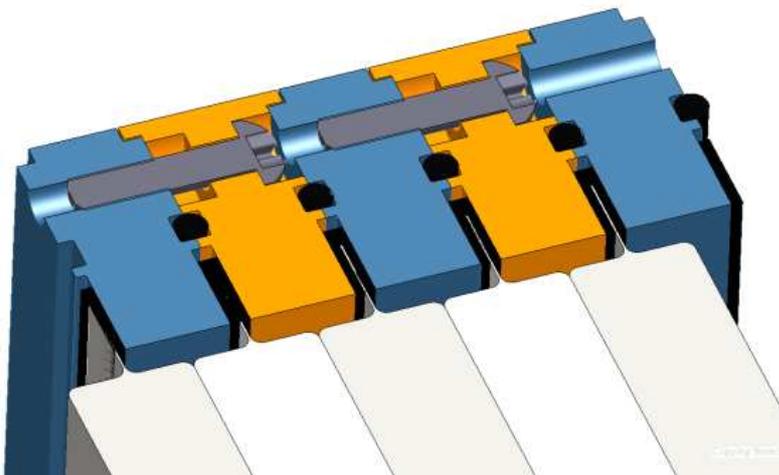


Abbildung 3 Integralrahmen

Die einzelnen Rahmen werden mit je 11 Schrauben verschraubt. Die bei der Montage auftretenden Kräfte durch die Kompression der Dichtungen wurden mittels FEM-Analyse simuliert, um zu gewährleisten, dass die auftretenden Spannungen innerhalb der Grenzwerte liegen. Hieraus wurden die notwendigen Schraubenanzugsmomente für die Montage der Batterie ermittelt und abgeleitet.

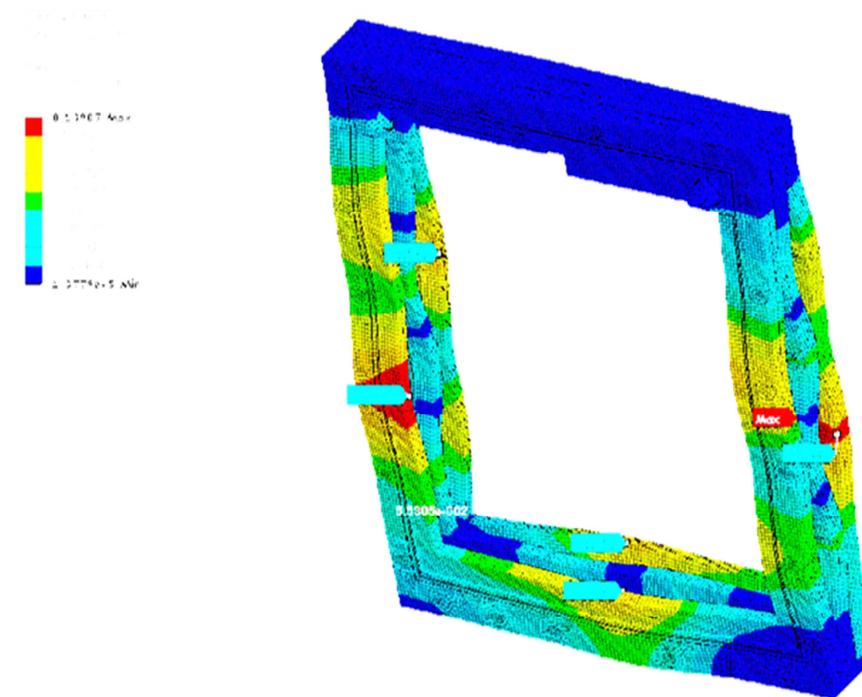


Abbildung 4 FEM-Simulation Deformation Rahmen

Um die Stabilität der einzelnen 40 Rahmen im Gesamtverbund zu erhöhen, wurde die Gesamtbatterie mit vier Zugankern versehen, die durch die gesamte Batterie führen und den Gesamtverbund in sich verspannen. Die auftretenden Spannungen in diesen Zugankern sowie die Verformung des Gesamtverbundes wurden ebenfalls mittels FEM-Analyse simuliert.

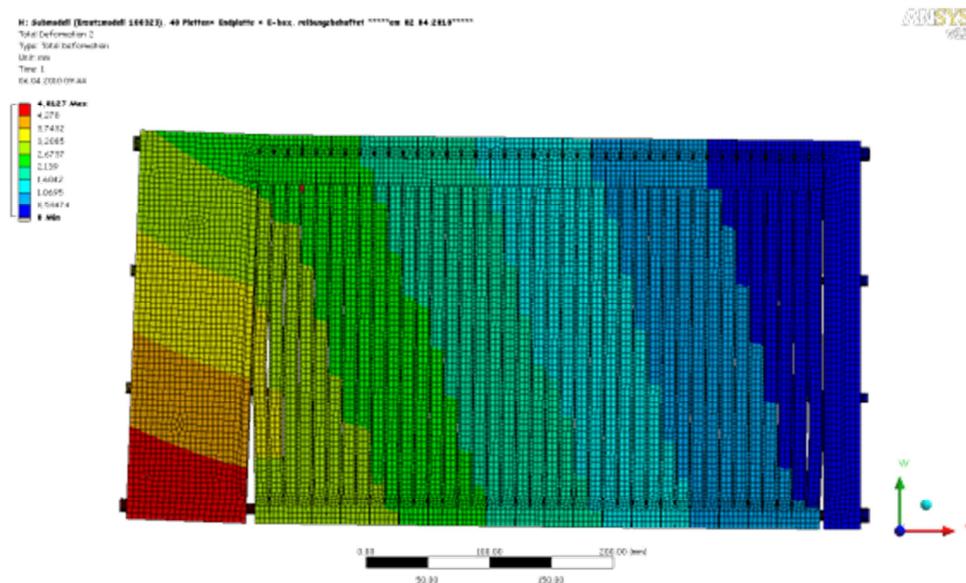


Abbildung 5 FEM-Simulation Deformation Gesamtverbund

Jede Batterie beinhaltet ebenfalls eine innerhalb der Batterie separierte und von außen durch eine verschraubte und ebenfalls gedichtete Öffnung zugängliche Elektro-Box, in der sich sowohl der BMS-Kontroller als auch erforderliche Sicherheitsmodule befinden.

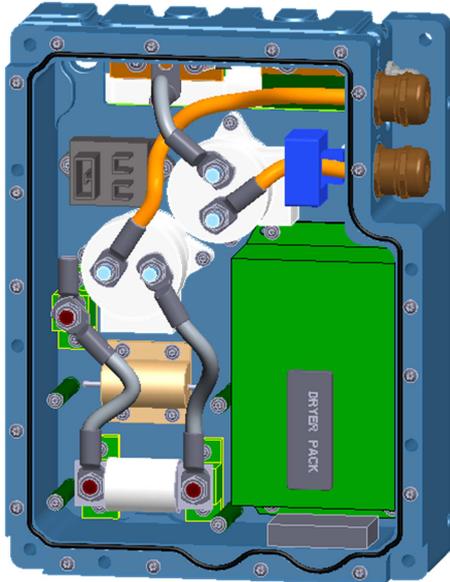


Abbildung 6 Elektro-Box Batterie

Zusammen ergibt die gesamte Batterie eine modular erweiterbare, äußerst kompakte und robuste Einheit, in der noch folgende weitere Funktionen integriert sind: Druckausgleichmechanismen, definierte Berststellen und Kühlung.

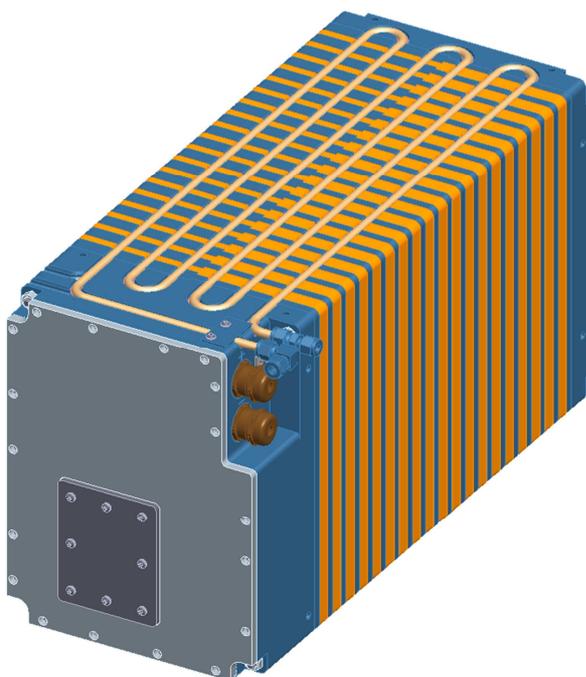


Abbildung 7 LIB-Batterie

1.2 Integration der mechanischen Komponenten in den Demonstrator

Für die Integration der beiden Batterien in den Demonstrator sind noch weitere Komponenten und Schnittstellen notwendig. Diese Schnittstellen setzen sich zusammen aus dem Packaging der beiden Batterien, der benötigten Umrichter, Elektronik-Boxen, Messinstrumente und Bedieneinheiten sowie den Kühl- und Klimakreisläufen der Batterien und der elektronischen Komponenten. Bei der Integration sämtlicher Komponenten in den Traktor wurde besonders auf Zugänglichkeit und Bedienbarkeit geachtet. Bei der Integration der Komponenten in den Traktor gab es einen laufenden Abgleich der Bauräume und Zugänglichkeiten zwischen den CAD-Modellen und dem realen Traktor.

Das gesamte Packaging wurde an der rechten Traktorseite zwischen dem Vorder- und Hinterrad platziert. Hierzu wurde die rechte Aufstiegsleiter in die Fahrerkabine entfernt. Die Elektronikbox wurde an der rechten Kabinentür befestigt. Eine Benutzung dieser Tür ist somit nicht mehr möglich.

Für die Kühlung der Umrichter und der Batterien wurde sowohl der Kühlkreislauf des Traktors als auch der Klimakreislauf erweitert und für den Anschluß der zusätzlichen Komponenten modifiziert.

Als Schutz vor Wasser und Schmutz wurde das gesamte Packaging verkleidet und abgedeckt.

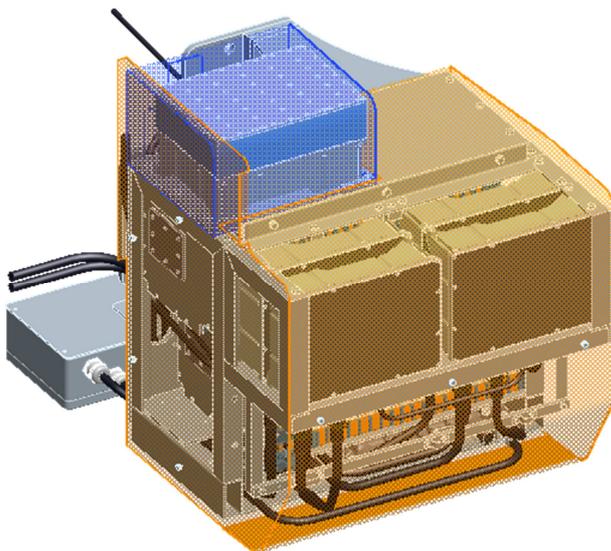


Abbildung 8 Packaging inkl. Abdeckung

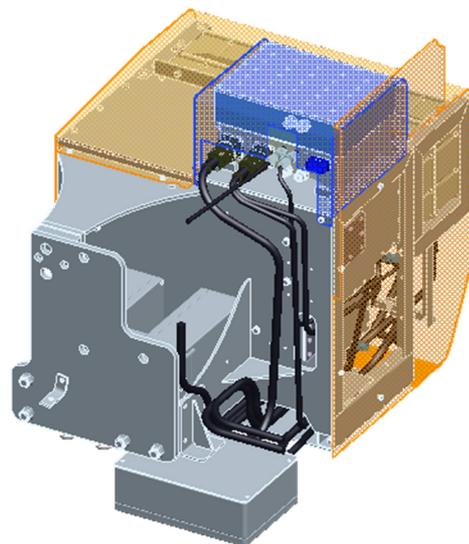


Abbildung 9 Packaging inkl. Abdeckung

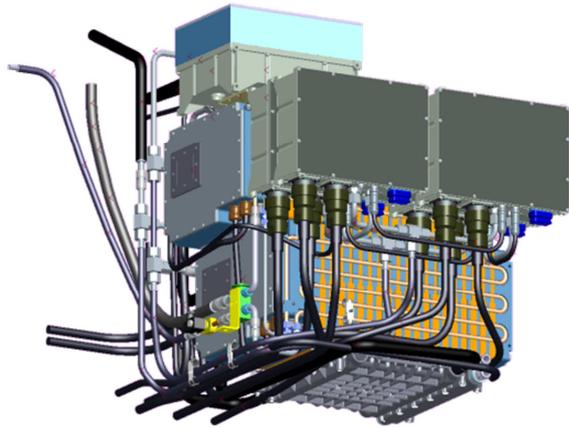


Abbildung 10 Packaging ohne Abdeckung

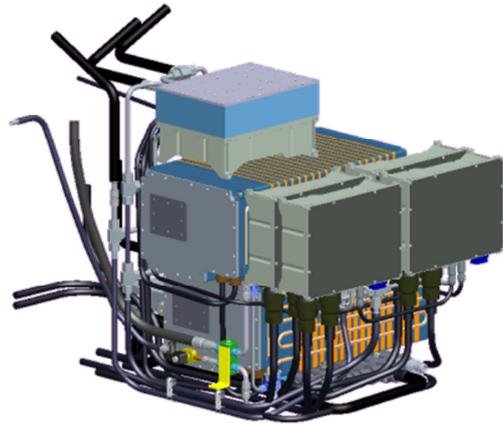


Abbildung 11 Packaging ohne Abdeckung

Um das gesamte Packaging an den Demonstrator anbringen zu können, wurde eine eigene Aufhängung konstruiert. Diese Aufhängung wurde als Schweißkonstruktion ausgeführt und ist direkt an den rechten Rahmen des Traktors angebracht. Die Festigkeit dieser Aufhängung wurde mittels FEM-Analyse auf Festigkeit bei einer Schlaglochfahrt mit einer Belastung von 4 g simuliert.

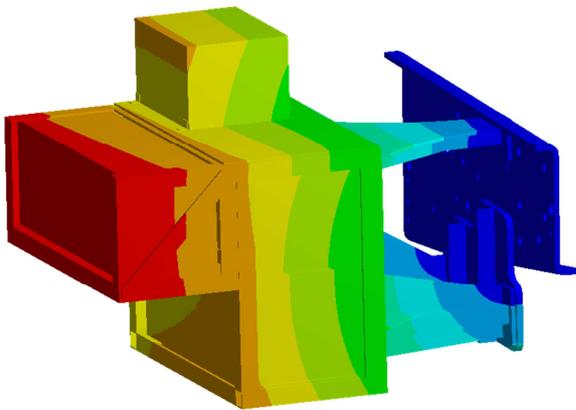


Abbildung 12 Belastung Rahmen

Für die Bedienung, Überwachung und Kontrolle der Batterien und deren Funktionen wurden in der Kabine zusätzliche Komponenten integriert und platziert. Ein Userpanel zur direkten Steuerung der einzelnen Funktionen, ein Messcomputer mit Touchmonitor zur Kontrolle und Überwachung der Batterie sowie Spannungswandler und unabhängige Spannungsversorgungen zur Betreibung des Messcomputers.



Abbildung 13 Kabinenkomponenten

Bei der Platzierung sämtlicher Komponenten wurde Wert darauf gelegt, dass das Gesamterscheinungsbild des Traktor nicht stark beeinträchtigt wird und sich die zusätzlichen Anbauteile funktionell und vom Design her in den bestehenden Traktor einfügen.



Abbildung 14 Demonstrator

1.3 Integration der elektrischen Komponenten in den Demonstrator

Neben der rein mechanischen Entwicklung und Integration der Batterie und sämtlicher zur
 Betreibung notwendigen Komponenten stand auch die gesamte elektrische Integration der
 Batterie in den Traktor in enger Abstimmung mit der Fa. John Deere im Fokus. Im
 Vordergrund stand hier die elektrische Sicherheit für den Bediener. Es wurden sämtliche
 Datenkreisläufe, Hochvolt- und Versorgungskreisläufe sowie Sicherheits- und NotAus-
 Kreisläufe konzipiert, entwickelt und ausgelegt. Die Schnittstellen zu den schon vorhanden
 Kreisläufen im Traktor wurden spezifiziert und in Schaltplänen niedergelegt.

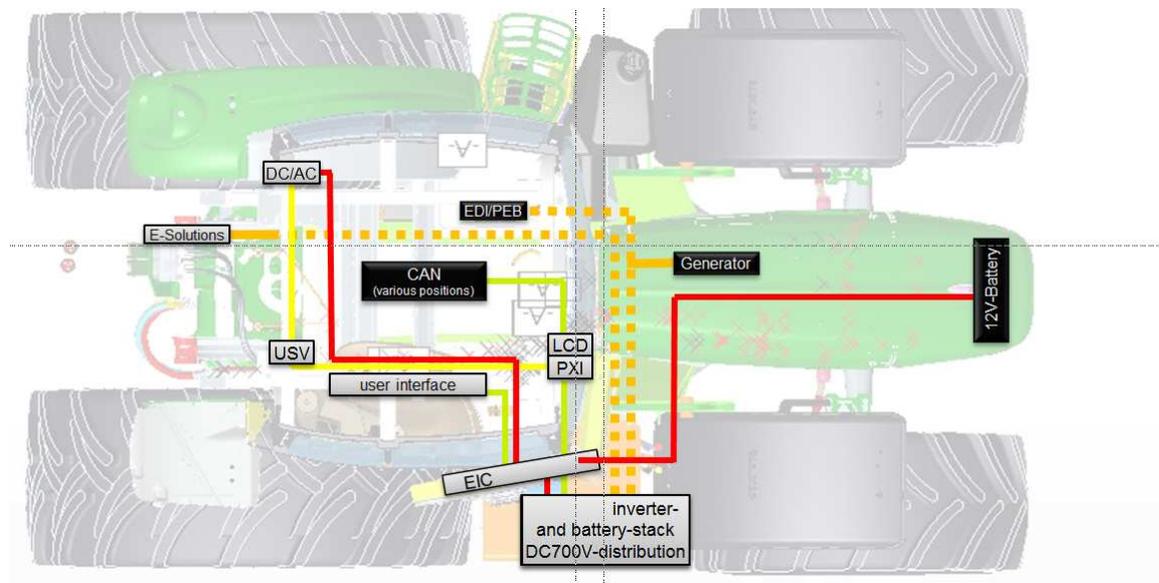


Abbildung 15 Funktionskonzept der elektrischen Kreisläufe

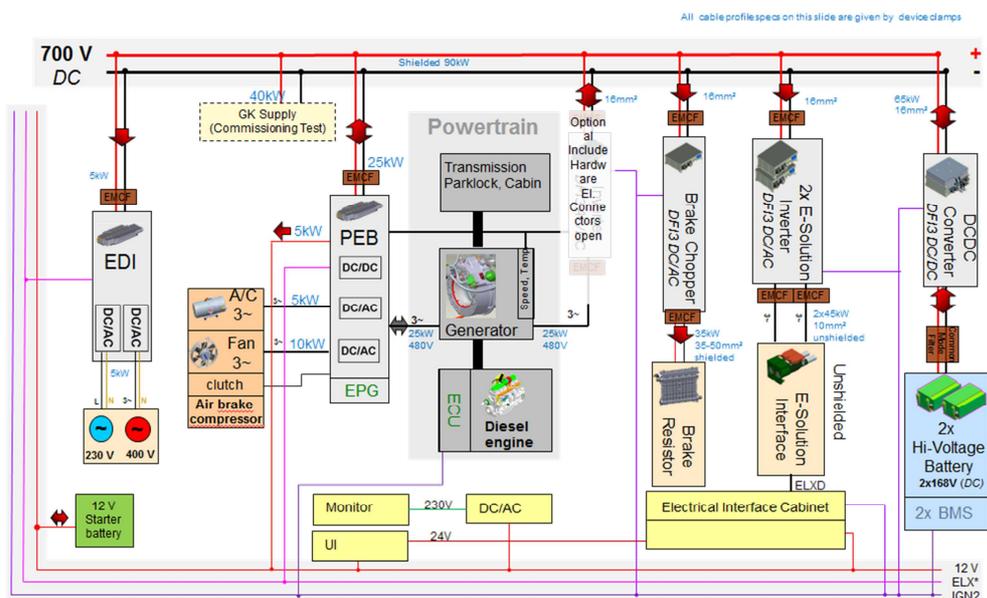


Abbildung 16 Funktionskonzept der elektrischen Kreisläufe

1.4 Aufbau des Demonstrators

Nach Beendigung der Konzept- und Konstruktionsphase hat die Fa. enders Ingenieure GmbH John Deere bei der Beschaffung der Kauf- und Fertigungskomponenten unterstützt. Die einzelnen Stücklisten wurden aus den mechanischen Konstruktionen am CAD-System sowie aus den elektrischen Schaltplänen erstellt und abgeleitet.

Nach der Beschaffung der einzelnen Komponenten wurde zuerst mit dem Aufbau der einzelnen Batterien begonnen. Hier wurde vorrangig auf die Sicherheit mit dem Umgang des Gefahrguts Lithium-Ionen-Zellen Wert gelegt.

Neben dem Aufbau der beiden Batterien wurde ebenfalls ein Batteriedummy bestehend aus 4 Einzelzellen aufgebaut. Dieser Dummy wurde am ZSW einem Nageltest unterzogen.



Abbildung 17 Montage der Batterie

Des Weiteren ist Fa. enders Ingenieure GmbH die Fa. John Deere beim Aufbau des gesamten Demonstrators zur Seite gestanden. Es wurden hier sowohl die Montage des Packaging der Komponenten als auch die Verlegung der Kabel und Leitungen durchgeführt. Ebenfalls wurden die Komponenten in der Kabine angebracht.



Abbildung 18 Kabinenkomponenten

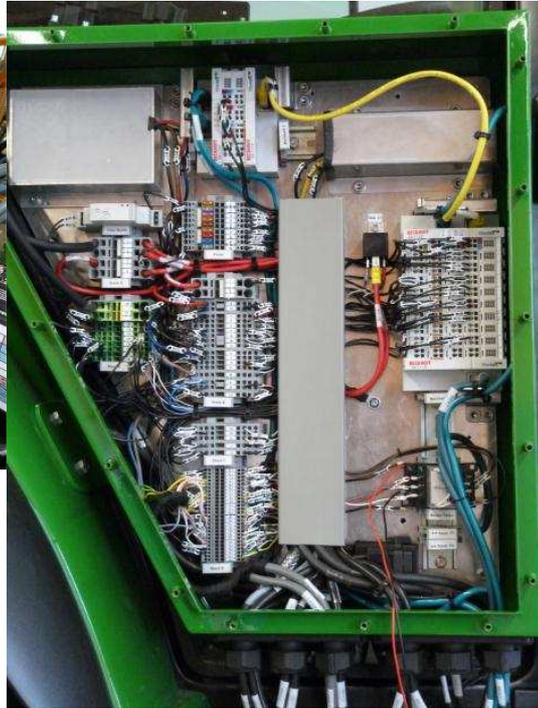


Abbildung 19 Elektrikbox



Abbildung 20 Montage Packaging



Abbildung 21 Montage Packaging

Nach der termingerechten Fertigstellung der Montage und des Aufbaus des Demonstrators wurde dieser an die Fa. John Deere zur Inbetriebnahme der einzelnen Komponenten und Funktionen übergeben.



Abbildung 22 Demonstrator

2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Fa. enders Ingenieure GmbH sieht ausschließlich den Zugewinn an Know How auf dem Themengebiet der Hybridisierung und Elektrifizierung von Fahrzeugen und Landmaschinen als wissenschaftlichen Nutzen. Dieses Know How wird durch den internen Wissenstransfer in anderen Projekten eingesetzt und intensiviert. Mit der Aufstellung als Spezialist im Bereich der landwirtschaftlichen Elektrifizierung und Hybridisierung erhofft sich die Fa. enders Ingenieure GmbH einen wirtschaftlichen Nutzen. Dies geschieht ausschließlich über die indirekte Nutzung der Ergebnisse aus diesem Projekt und den damit verbundenen Wissensbereichen wie emobility, Hybrid-Batterietechnologie, Sicherheitsvorschriften bei Hybridfahrzeugen sowie Montage und Inbetriebnahme von Batteriesystemen und Hybridsystemen.

3 Veröffentlichungen

3.1 Erfolgte Veröffentlichungen

Veröffentlichungen zum Thema dieses Projektes sowie zum Projektfortschritt wurden ausschließlich in den nichtöffentlichen und nur dem Projektkonsortium zugänglichen Projekttreffen gemacht.

Art der Veröffentlichung	Veranstaltung	Ort	Datum	Vortragender
Präsentation des Projektfortschritts	Nichtöffentliches Projekttreffen	John Deere - Mannheim	20.01.2009	Wolfgang Güntner
Präsentation des Projektfortschritts	Nichtöffentliches Projekttreffen	TU-München	19.02.2010	Wolfgang Güntner
Präsentation des Projektfortschritts	Nichtöffentliches Projekttreffen	ZSW – Ulm	21.10.2010	Wolfgang Güntner
Präsentation des Projektfortschritts	Nichtöffentliches Projekttreffen	FH - Köln	08.04.2011	Wolfgang Güntner
Präsentation des Projektfortschritts	Nichtöffentliches Projekttreffen	enders Ingenieure - Ergolding	12.10.2011	Wolfgang Güntner
Präsentation des Projektfortschritts	Nichtöffentliches Projekttreffen	John Deere – Kaiserslautern	21.03.2012	Michael Schmid
Präsentation des Projektfortschritts	Nichtöffentliches Projektabschlussstreffen	John Deere - Mannheim	25.09.2012	Wolfgang Güntner

Table 1: Erfolgte Veröffentlichungen

3.2 Geplante Veröffentlichungen

Es sind keine weiteren Veröffentlichungen zu diesem Projekt geplant.

ANHANG**1 Anlage 2: Berichtsblatt**

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Verbundvorhaben LIB-OFF-ROAD „Lithium-Ionen-Batterien in Off-Road-Nutzfahrzeugen zur Steigerung von Effizienz und Autarkie“ Teilvorhaben Fa. enders Ingenieure GmbH: Konstruktion und Entwicklung eines Batteriesystems und deren Komponenten, Integration der Hybridkomponenten sowie Erprobung und Optimierung des Fahrzeugs		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Güntner Wolfgang		5. Abschlussdatum des Vorhabens September 2012
		6. Veröffentlichungsdatum
		7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) enders Ingenieure GmbH Sonnenstraße 39 84030 Ergolding		9. Ber. Nr. Durchführende Institution
		10. Förderkennzeichen 19U9003B
		11. Seitenzahl 16
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW) i 53107 Bonn		13. Literaturangaben 0
		14. Tabellen 1
		15. Abbildungen 22
16. Zusätzliche Angaben		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		

18. Kurzfassung

Aufbauend auf dem Stand frei käuflich erwerblicher Komponenten zu Lithium-Ionen-Batteriezellen und Batterie-Management-System zum Zeitpunkt des Forschungsprojektes im Oktober 2009 wurde ein Batteriesystem für den Einsatz im landwirtschaftlichen Umfeld entwickelt. Dieses Batteriesystem wurde in einen Serientraktor der Fa. John Deere integriert.

Die Auslegungskriterien beruhen auf den Standardvorgaben und Auslegungskriterien für Komponenten im landwirtschaftlichen Off-Road-Bereich

Zielsetzung war der Aufbau eines Demonstrators zur Untersuchung des Einsatzes von Lithium-Ionen-Batterien in Off-Road Nutzfahrzeugen zur Effektivitäts- und Autarkiesteigerung.

Das Demonstrator mit integriertem Batteriesystem wurde erfolgreich Entwicklung und aufgebaut. Der Demonstrator wurde der Fa. John Deere zur Inbetriebnahme und Auswertung übergeben.

Anwendungsmöglichkeiten bestehen im Wissenstransfer auf die Entwicklung anderer Hybridisierungsthematiken.

19. Schlagwörter

Batteriesystem, Hybridisierung, Konstruktion und Entwicklung, Montage

20. Verlag

21. Preis

2 attachment 3: Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report (final report or publication) Final Report	
3. Title Joint Research Project LIB-OFF-ROAD „Lithium-Ion Battery in Off-Road Utility Vehicles to Increase Efficiency and Self-Sufficiency“ Subproject of the company enders Ingenieure GmbH: design and development of a battery system and its components, integration of hybrid components and testing and optimization of the vehicle.		
4. Author(s) [Name(s), first name(s)] Güntner, Wolfgang	5. End of Project September 2012	
	6. publication date	
	7. form of publication	
8. performing organisation(s) (name, address) enders Ingenieure GmbH Sonnenstraße 39 84030 Ergolding	9. originator's report no.	
	10. reference no. 19U9003B	
	11. no. of pages 23	
12. sponsoring agency (Name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references 0	
	14. no. of tables 1	
	15. no. of figures 22	
16. supplementary notes		
17. presented at (title, place, date)		

18. abstract

A battery system is developed to be used in farm environment. The development is based on free salable components of lithium-ion batteries and battery management systems, available at the start of the research project in October 2009.

The design criteria are determined - in general - according to standard design guidelines, and - in detail - to design guidelines for components in farming vehicles.

The objective is to build a demonstrator in order to investigate the use of lithium-ion batteries in off-road utility vehicles to demonstrate an increase in effectiveness self-sufficiency.

The demonstrator is successfully developed, showing the integrated battery system. The demonstrator is handed over to John Deere for bringing into service and for carrying out the evaluation tests.

Possible applications exist in the transfer of knowledge to the development of other hybridization issues.

19. keywords

Battery System, Hybridization, Construction and Development, Assembly

20. publisher

21. price