

Abschlussbericht zum Projekt

FHprofUnt2012: LiKo- Entwicklung 12 V Lithium-Ionen-Starter Batterien mit (Lithium)-Kondensatoren zur Kaltstartverbesserung und Erhöhung der Zykluslebensdauer

der Technischen Hochschule Ingolstadt

Zuwendungsempfänger: Technische Hochschule Ingolstadt
Zentrum für Angewandte Forschung (ZAF)
Esplanade 10
85049 Ingolstadt

Projektpartner: AUDI AG, EVA Fahrzeugtechnik GmbH,
TU Chemnitz

Förderkennzeichen: 03FH059PX2

Projektleitung: Prof. Dr. Hans-Georg Schweiger
 0841/9348-4500
 hans-georg.schweiger@thi.de

Projektlaufzeit: 01.11.2012 – 31.10.2015

A. Inhalt

I.	Kurzdarstellung	4
	1. <i>Aufgabenstellung.....</i>	<i>4</i>
	2. <i>Voraussetzungen/Ausgangslage</i>	<i>5</i>
	3. <i>Planung und Ablauf des Vorhabens</i>	<i>6</i>
	4. <i>Anknüpfungspunkte in Wissenschaft und Technik.....</i>	<i>7</i>
	5. <i>Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....</i>	<i>7</i>
II.	Eingehende Darstellung	8
	1. <i>Soll-Ist-Vergleich der geplanten und erzielten Ergebnisse sowie der eingesetzten Mittel</i>	<i>8</i>
	2. <i>Erläuterung der wichtigsten Positionen im zahlenmäßigen Nachweis</i>	<i>9</i>
	3. <i>Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....</i>	<i>10</i>
	4. <i>Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses (Fortschreibung des Verwertungsplanes).....</i>	<i>11</i>
	5. <i>Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen während der Durchführung.....</i>	<i>12</i>
	6. <i>Geplante und erfolgte Veröffentlichungen im Rahmen des Vorhabens.....</i>	<i>13</i>
III.	Erfolgskontrollbericht	13
IV.	Kurzfassung/Berichtsblatt.....	14

B. Abbildungen

Abbildung 1 Projektplan des Projekts LiKo aus dem Projektantrag. Dort wurde ein Startermin zum 01.07.2012 angenommen. Tatsächlicher Projektplan war der 01.01.2012 bedingt durch die Genehmigung des Projekts.6

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Das technische Ziel des Projektes LiKo war es, die unter Punkt 2 beschriebenen Nachteile der aktuell in PKW eingesetzten Blei-Batterietechnologie durch den Einsatz einer Parallelschaltung von Lithium-Ionen-Batterien und Kondensatorzellen zu beheben.

Das wissenschaftliche und technische Hauptziel des Projekts „LiKo“ lag in der Erforschung der optimalen Kombination von Kondensatoren und Lithium-Ionen-Zellen für die Anwendung als 12-V-Starterbatterie für den Einsatz im PKW. Dabei sollen die unter Punkt 2 beschriebenen Nachteile der aktuell im PKW eingesetzten Blei-Batterietechnologie vermieden werden. Ziel dabei ist es, eine Lehre zum technischen Handeln zu entwickeln anhand welcher möglich ist, die Batterie auf optimale Kaltstartfähigkeit wie auch auf optimale Lebensdauer auszulegen. Anhand von Prototypen soll die Eignung der zu entwickelnden technischen Lehre demonstriert und nachgewiesen werden. Die erarbeiteten Konzepte und Prototypen sollen dabei in Zusammenarbeit mit den Partnern aus Industrie und Forschung validiert und auf ihre Anwendbarkeit im industriellen Umfeld überprüft werden. Dabei sollen folgende Aufgaben bearbeitet werden:

- Anforderungsanalyse und Lastenhefterstellung für das Batteriesystem
- Konzeptphase zur Erstellung und Bewertung verschiedener Konzepte zur Parallelschaltung von Lithium-Ionen-Zellen und Lithium-Kondensatoren
- Bewertung der Eignung von Lithiumkondensatoren, Benchmark mit Doppelschicht- und Elektrolytkondensatoren, Auswahl der optimalen Kondensatortechnologie
- Technologiebenchmark für Lithium-Ionen-Zellen und Kondensatoren und Auswahl für die Verschaltung optimal geeigneter Zell- und Kondensatortypen
- Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für diesen Batterietyp
- Aufbau von mehreren unterschiedlichen Prototypen
- Konzeptwettbewerb zur Auswahl des besten Prototypen
- Optimierung dieses Prototyps durch eine Entwicklungsschleife
- Erprobung der Batterien im Labor
- Test der Batterien im Fahrzeug
- Impedanzbasierte Batteriemodelle zur Batteriezustandsbestimmung
- Entwicklung einer kostengünstigen Batteriemangement-, Balancing- und Überwachungselektronik speziell für diese Anwendung
- Entwicklung von Algorithmen für die Batteriezustandserkennung für einen Verbund aus Lithium-Ionen-Zellen und Lithium-Kondensatoren
- Benchmark mit Bleibatterien (Kosten, Lebensdauer, Gewicht und Bauraum)

Durch eine kooperative Promotion mit der TU Chemnitz soll das Kooperationsnetzwerk der Hochschule Ingolstadt, wie auch das der Arbeitsgruppe „Sichere Energiespeicher“ (Prof. Dr. Schweiger) weiter ausgebaut und gestärkt werden. Ebenso soll durch diese Kooperation die Verbundfähigkeit der THI und ihre Sichtbarkeit in der deutschen Forschungslandschaft gestärkt werden.

Die im Projekt „LiKo“ gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen sollen auch zur Nachwuchsförderung an der Technischen Hochschule Ingolstadt dienen, in dem gezielt durch verschiedene Arbeiten (Projektarbeiten, Abschlussarbeiten) im Projekt praxisnah eingebunden wird. Ebenso soll das Projekt „LiKo“ dazu dienen, die Lehre in den Vorlesungen zum Thema Energiespeicher praxisnah zu bereichern.

Durch die enge Einbindung der beiden Industriepartner, wie auch der TUC in das Projekt konnte auch eine Intensivierung des Wissens- und Technologietransfers zwischen der Hochschule und den Unternehmen erzielt, und dabei folgende Ziele erreicht werden:

- Stärkung der Vernetzung und Förderung der Zusammenarbeit über die gesamte Wertschöpfungskette an dem hochinnovativen Gebiet der Energiespeicher für Fahrzeuge. Von der Grundlagenforschung, über die angewandte Forschung und Mittelstand bis hin zum großen Industrieunternehmen.
- Stärkung der Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit des KMU im Bereich des Aufbaus und Testens von Energiespeichern.
- Stärkung des Wissenstransfers zwischen Grundlagen- und Angewandter Forschung in beide Richtungen auf dem Gebiet der Energiespeicherentwicklung.

2. Voraussetzungen/Ausgangslage

Nach dem Stand der Technik werden in PKW Blei-Batterien als Starterbatterien eingesetzt. Diese bewährte Technologie weist zwei wesentliche Nachteile auf. Zum einen ist die Energiedichte dieser Batterien sehr gering, daher müssen sehr schwere Batterien im Fahrzeug verbaut werden, um die nötige Energie zu speichern. Typische Blei-Batterien wiegen bis zu 30 kg. Gelingt es, dieses Gewicht zu reduzieren, so kann der Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs auf einfache Art reduziert werden. Der zweite Nachteil dieses Batterietyps ist seine geringe Lebensdauer. Vor allem die Zyklenfestigkeit dieser Batterien ist nur sehr gering. Die Einführung von Start/Stopp Systemen wie auch der Rekuperationsfunktion zur Bremsenergierückgewinnung und Einspeisung der Bremsenergie ins 12-V-Bordnetz des Fahrzeugs, führen zu einer deutlichen Kraftstoffeinsparung und damit zu einer Reduzierung des CO₂ Ausstoßes. Durch die geplante Einführung des Segelbetriebs (Abschaltung des Verbrenners während der Fahrt, wenn kein Antrieb benötigt) wird die CO₂ Emission noch weiter reduziert. Diese Maßnahmen führen aber zu einer deutlichen Zunahme der Zyklenbelastung der Bleibatterie. Dies hat eine deutliche Reduzierung der Lebensdauer der Bleibatterie im Fahrzeug zur Folge. Je nach Fahrprofil und Fahrzeugklasse erreichen Blei-Batterien nur noch eine Lebensdauer von 1 bis 2 Jahren (Mit Segelbetrieb noch darunter). Durch den verfrühten Ausfall dieser Batterien entstehen sehr hohe Gewährleistungskosten beim Fahrzeughersteller bzw. Austauschkosten für den Fahrzeughalter, wie auch ein nicht unerheblicher Energieverbrauch für den Austausch und das Recycling der Bleibatterien.

Ein Ansatz, um gleichzeitig das Lebensdauerproblem wie auch das Gewichtsproblem zu lösen, ist der Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien als 12 V Bordnetzatterie im Fahrzeug. Die Energiedichte dieser Batterietechnologie ist um ein vielfaches höher als die von Bleibatterien. Die Zyklenfestigkeit liegt um mindestens den Faktor 100 über der von typischen Bleistarterbatterien. Der Nachteil dieser Batterietechnologie liegt in ihrer geringen Kaltstartfähigkeit, wenn energieoptimierte Zellen eingesetzt werden. Um dieses Problem zu umgehen, ist es Ziel des Projekts, eine 12 V Bordnetz Batterie zu entwickeln, bei der

Teile für den Erprobungsträger wie auch dem Demonstrator erhöht wurde, und damit weniger Teile extern durch Dienstleister angefertigt wurden, sondern durch Studenten als Hiwis an der THI gefertigt wurden, wurde auch hier der geplante Stand übertroffen.

4. Anknüpfungspunkte in Wissenschaft und Technik

Für die Auslegung der Batterien wurden die relevanten Standards für 12-V-Starterbatterien DIN 43539-2, DIN EN 50432-1, DIN EN 50342-2, DIN EN 50342-3, DIN EN 50342-4, DIN EN 50342-5 und DIN 50272-1 verwendet. Ebenso relevant waren für die Auslegung der Batterie die Werksnormen der Audi AG und des Volkswagenkonzerns, wie die VW 75073, VW 80000, VW 80101 und VW 81000. Ebenso waren die Datenblätter der eingesetzten Batterie- und Kondensatorzellen wie auch die der eingesetzten Elektronischen Bauelemente wesentliche Grundlage für die Entwicklung der 12-V-Starterbatterien. Die Quellenangaben dazu sind in diesem Abschnitt weiter unten unter Fachliteratur mit aufgeführt.

Für die Durchführung des Vorhabens wurden die über die Bibliothek der THI bereitgestellten Informationsdienste genutzt, wie: Google, Google Scholar, BASE (Bielefeld Academic Search Engine), DKF Kraftfahrzeugtechnik, IEEE Xplore Digital Library, INSPEC, Science Direct, TEMotive Elektromobilität, DEPATISnet, Espacenet und Perinorm.

Im Rahmen dieses Projekts wurde neben den oben genannten Normen folgende Fachliteratur genutzt.

- [1] Jossen, Weydanz, Moderne Akumulatoren richtig einsetzen, Ubooks, 2006
- [2] Linden: Handbook of Batteries, McGraw-Hill 2001
- [3] Wenzel: Batterietechnik, Expert Verlag, 2002
- [4] Kiehne et al.: Batterien, Expert Verlag, 2003
- [5] Conway: Electrochemical Supercapacitors, Kluwer, 1999
- [6] Birke und Schiemann: Akumulatoren, 2013, Herbert Utz
- [7] C. Dyer, P. T. Moseley, Z. Ogumi, D. A. J. Rand, B. Scrosati, *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Elsevier 2009

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die interne wissenschaftliche Zusammenarbeit an der THI konnte durch das Projekt LiKo gestärkt werden. Insbesondere die Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Johannes Pforr (Leistungselektronik) profitiert davon. In dieser Arbeitsgruppe wird ein direkt von Audi finanziertes Projekt für die Entwicklung einer Leistungselektronik für eine 12-V-Batterie bearbeitet. Hier ergibt sich ein guter Erfahrungsaustausch hinsichtlich der Durchführung von Batterietests. Neben der bereits etablierten Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Johannes Pforr, konnte mit dem neu an der THI berufenen Professor für Aufbau und Verbindungstechnik, Gordon Elger, die Zusammenarbeit im Bereich der Verbindungstechnik von Batterien etabliert werden. Mit Industriemitteln konnte Prof. Schweiger eine Anlage zum Widerstandsschweißen von Batteriezellen beschaffen. Prof. Elger unterstützte dabei mit seiner Arbeitsgruppe den Aufbau der Anlage, welche beim Aufbau des Demonstrators zum Einsatz kam und in Folgeprojekten an der THI genutzt wird.

Im Laufe des Projektvorschritts ergaben sich auch Anknüpfungspunkte zum Austauschprogramm AWARE. Hier ist es geplant mit der Batterieforschungsgruppe von Prof. Patrio Rodolfo Impinnisi (LACTEC / UFPR Brasilien) enger zusammen zu arbeiten. Diese Arbeitsgruppe beschäftigt sich im Wesentlichen mit der Erforschung von Bleibatterien. Im Laufe des Berichtszeitraums bestand dort die Möglichkeit Benchmarkmessungen an Bleibatterien durchzuführen. Als Ergebnis dieser Messungen ergaben sich interessante Ansätze zur Verbesserung der Kaltstartprofile. Diese werden gerade zwischen Audi und VW do Brasil diskutiert. Durch diesen Aufenthalt ergab sich auch ein Kontakt zur Batteriegruppe von VW do Brasil und eine erste Anfrage zu einer potentiellen Zusammenarbeit.

Durch das Projekt LiKo kam es zu einer engen Zusammenarbeit mit den Firmen Amada Miyachi Europe GmbH und Marquardt GmbH. Diese unterstützen tatkräftig beim Verschweißen mit ihren Widerstands- und Laserschweißanlagen. Ebenso konnte über diese Firmen ein Link zur EVA Fahrzeugtechnik hergestellt werden. Dort wird gerade die Theologie dieser Firmen zu Produktion von Batterieprototypen evaluiert. Auch die Firma Autoliv GmbH unterstütze das Projekt LiKo durch die Überlassung von Pyrosicherungen. Diese wurden im Demonstrator erfolgreich eingesetzt und trugen dort wesentlich zu einer Reduktion des Gewichts und des Innenwiderstands der Batterie bei.

Besonders hervorzuheben war die Zusammenarbeit mit der Firma TOSHIBA. Diese Firma ermöglichte es dem Projekt LiKo eine ganz neue Generation an Lithium-Titanat-Zellen einzusetzen, die ganz erheblich zum Erfolg von LiKo beigetragen haben.

II. Eingehende Darstellung

1. Soll-Ist-Vergleich der geplanten und erzielten Ergebnisse sowie der eingesetzten Mittel

Im Projekt LiKo wurden die gesteckten wissenschaftlichen und technischen Ziele:

- Anforderungsanalyse und Lastenhefterstellung für das Batteriesystem
- Konzeptphase zur Erstellung und Bewertung verschiedener Konzepte zur Parallelschaltung von Lithium-Ionen-Zellen und Kondensatoren
- Bewertung der Eignung von Lithiumkondensatoren, Benchmark mit Doppelschicht- und Elektrolytkondensatoren, Auswahl der optimalen Kondensator-Technologie
- Technologiebenchmark der auf dem Markt zur Verfügung stehenden Lithium-Ionen-Zellen und Kondensatoren und Auswahl für diese Anwendung optimal geeigneter Zell- und Kondensatortypen
- Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für diesen Batterietyp
- Aufbau eines flexiblen Erprobungsträgers mit dem unterschiedliche Batterie- und Kondensatortypen getestet werden können
- Erprobung des flexiblen Erprobungsträgers im Labor und Entwicklung von Testverfahren für Labortests
- Test des flexiblen Erprobungsträgers im Fahrzeug und Entwicklung von Testverfahren für Fahrzeugtests

- Aufbau eines Demonstrators anhand dessen die Leistungsfähigkeit des besten Konzepts im Fahrzeug gezeigt werden kann
- Gestaltung des Demonstrators mit der Zielsetzung Serienentwicklung unter Kosten- und Produktionsgesichtspunkten
- Erprobung des Demonstrators im Labor
- Test des Demonstrators im Fahrzeug
- Impedanz basierte Batteriemodelle zur Batteriezustandsbestimmung
- Entwicklung einer kostengünstigen Batteriemangement-, Balancing- und Überwachungselektronik (BMS) speziell für diese Anwendung
- Entwicklung von Algorithmen für die Batteriezustandserkennung für einen Verbund aus Lithium-Ionen-Zellen und (Lithium-)Kondensatoren
- Benchmark mit Bleibatterien (Kosten, Lebensdauer, Gewicht und Bauraum)

alle wie geplant erreicht. Ebenso konnten die gesteckten Ziele im Bereich der Promotion in Kooperation mit der TU Chemnitz wie auch zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses an der THI erreicht, bzw. sogar übertroffen werden.

Auch bei der Etablierung der Forschung im Bereich der Energiespeicher konnten die Ziele des Projekts LiKo mehr als übertroffen werden. Unter anderem dank dieses Projekts konnte an der THI die Arbeitsgruppe „Sichere Energiespeicher“ etabliert werden. Unter der Leitung von Prof. Dr. Hans-Georg Schweiger forschen dort inzwischen ein PostDoc, 5 Doktoranden, 2 Forschungsmaster und 2 Labor- bzw. Versuchingenieure an verschiedenen Themen im Bereich der Energiespeicher. Dank dieses Projekts konnte auch die bestehende Zusammenarbeit zwischen Prof. Dr. Olafa Kanoun von der TUC und Prof. Dr. H.-G. Schweiger fortgesetzt werden.

Auch konnten die geplanten Workshops wie auch die weitere Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wie geplant durchgeführt werden.

Die Mittel wurden zum großen Teil wie geplant eingesetzt. Im Bereich der Beschaffung von Bauteilenteilen für den flexiblen Erprobungsträger, wie auch für den Demonstrator hat es sich im Laufe des Projekts als für den Projektverlauf vorteilhafter erwiesen, die Teile im Haus zu fertigen anstelle diese durch Dienstleister anfertigen zu lassen. In diesem Zusammenhang waren folgende Anpassungen im Finanzierungsplan notwendig: Entsperrung der 32.920 Euro in der Position „0835 Vergabe von Aufträgen“; Umwidmung von 6.822,57 Euro von „0835 Vergabe von Aufträgen“ nach „0812 Beschäftigte E12-E15“; Umwidmung von 23.161,83 Euro von „0835 Vergabe von Aufträgen“ nach „0843 Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben“; Umwidmung von 5.000 Euro von „0812 Beschäftigte E12-E15“ nach „0822 Beschäftigungsentgelte“; Umwidmung von 3.500 Euro von „0843 Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben“ nach „0822 Beschäftigungsentgelte“. Dieses Vorgehen wurde mit dem Projektträger abgestimmt, und durch diesen genehmigt.

Darüber hinaus wurden die insgesamt budgetierten 22.400 Euro für den Freikauf nicht in voller Höhe benötigt. Es wurden lediglich 9.400 Euro auf dieser Position entsperrt und 8.289,40 Euro verausgabt. Hauptgrund dafür war, dass die ursprünglich kalkulierten Kosten für Lehrvertretungen zu hoch angesetzt waren.

2. Erläuterung der wichtigsten Positionen im zahlenmäßigen Nachweis

0812 Beschäftigte E12-E15 / BAT IIa bis I:

Das Projekt wurde von den beiden wissenschaftlichen Mitarbeitern Herrn Machuca-Garcia (28 Vollzeitäquivalente) und Herrn Vlasov (8,5 Vollzeitäquivalente) mit insgesamt 36,5 Vollzeitäquivalenten bearbeitet.

0822 Beschäftigungsentgelte:

Während des Projektzeitraums war der Einsatz von mehreren Studentischen Hilfskräften mit insgesamt ca. 1.900 Stunden erforderlich. Die Lehrentlastung der Projektleitung erfolgte für 6 Semester mit insgesamt 23 SWS. Dies entspricht durchschnittlich 3,8 SWS pro Semester.

0843 Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben:

Unter dieser Position wurden für Bauteile für den flexiblen Erprobungsträger und Demonstrator 38.110,05 Euro verausgabt (siehe auch Kapitel II.1)

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Forschungsprojekt LiKo zeige sehr gute Wirkung in der Schärfung des Forschungsprofils der Technischen Hochschule Ingolstadt. Wodurch sich die Technische Hochschule Ingolstadt ihren Spitzenplatz in der angewandten Forschung weiter ausbauen konnte. Gleichzeitig wird die Kompetenz in der praxisorientierten Lehre vertieft, und neuer, wissenschaftlicher Nachwuchs aufgebaut und so die wissenschaftliche Arbeitsweise an der Hochschule und dem ZAF gefestigt. Durch die Zusammenarbeit mit der Professur für Mess- und Sensortechnik der TU Chemnitz wird die wissenschaftliche Arbeitsweise weiter gefördert und eine kooperative Promotion ermöglicht.

Ebenso zeigte das Projekt sehr positive Auswirkung auf das beteiligte Großunternehmen Audi AG ebenso auf das KMU EVA Fahrzeugtechnik GmbH. Parallel zur direkten wirtschaftlichen Verwertung entstehen Innovationen im Bereich der Forschung innerhalb der Unternehmen, die den technologischen Vorsprung gegenüber den internationalen Mitbewerbern sichern und zu einer Portfolio-Erweiterung der Unternehmen führen

Notwendig war die Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zur Unterstützung der angewandten Forschung auf diesem innovativem Gebiet und zur Unterstützung von KMU, damit diese neben den Großfirmen von diesem neuen Markt ebenfalls profitieren können, sowie zur Unterstützung der kooperativen Promotion des/der Doktoranden/in.

Die beantragte Zuwendung von 259.688,00 € (exkl. Projektpauschale) wurde zur Finanzierung des Nachwuchsteams verwendet. Hierunter fallen die Personalkosten für einen wissenschaftlichen Mitarbeiter, studentische Hilfskräfte und die Verringerung des Lehrdeputats des Projektleiters. Ein weiterer Posten sind Dienstreisen, die zum einen zur Abstimmung mit den Projektpartnern notwendig waren. Zum anderen dienen die Dienstreisen sowohl der Förderung der wissenschaftlichen Arbeitsweise beim Nachwuchsteam als auch der Erhöhung wissenschaftlicher Reputation durch Veröffentlichung auf einschlägigen Konferenzen. Als Sachmittel wurden aus den beantragten Zuwendungen im Wesentlichen nur Ausgaben für die Komponenten und Bauteile veranschlagt, die für den Aufbau der Prototypenspeicher notwendig waren. Somit wurde die beantragte Zuwendung vollständig für die wissenschaftliche Fortbildung des Nachwuchsteams verwendet.

4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses (Fortschreibung des Verwertungsplanes)

Die im Projekt LiKo erzielten Ergebnisse bieten eine sehr gute Basis für eine Verwertung der Ergebnisse.

Auf wissenschaftlicher Ebene ergab sich durch LiKo eine Vielzahl an weiteren Folgeprojekten. Durch die im Projekt LiKo gemachten Erfahrungen im Bereich der Messungen an Batterien mit sehr hohen Strömen, konnte die THI die nötige wissenschaftliche und experimentelle Basis für die Bearbeitung des ZIM Projekts LIBERA „Entwicklung physikalischer Modelle von Lithium-Ionen-Batterien zur genaueren Simulation von elektrochemischen Effekten und Temperatureinflüssen außerhalb des Arbeitspunktes“ (FKZ: KF2122315DF4) zusammen mit dem KMU CADFEM geschaffen werden. Ohne die in LiKo geschafften Vorarbeiten, hätte auch nicht eine Zusammenarbeit mit der Firma Continental im Bereich des Testens von PKW Bordnetz-Batterien (12 V und 48 V) gestartet und erfolgreich bearbeitet werden können.

Eine weitere direkte Folge des Projekts LiKo ist eine Anfrage der AUDI AG an die THI, weitere Tests im Bereich der 12-V-Starterbatterien durchzuführen. Die THI hat gerade ein Angebot für Abuseversuche an Lithium-Ionen-Zellen für den Einsatz in 12-V-Starterbatterien an AUDI abgeben. Die Zusammenarbeit im Bereich der 12-V-Ionen-Starterbatterien mit der AUDI AG soll im geplanten Forschungskolleg RIVAC, das durch AUDI finanziert wird, weiter vertieft werden. Eine weitere Zusammenarbeit im Bereich der 12-V-Starterbatterien ist ebenso mit VW do Brasil in Planung.

Auch mit der EVA Fahrzeugtechnik GmbH sind weitere Forschungskooperationen geplant. Aktuell befindet sich ein Projektantrag für die Entwicklung von stationären Energiespeichern zur Netzstabilisierung in Elektro-Tankstellen in Vorbereitung. An diesem beteiligen sich neben der THI auch die FH-SWF Soest und eine Reihe weitere KMU. Zusammen mit den brasilianischen Startup Unternehmen Mobilis und Podshare wie auch der brasilianischen Universität UFSC und dem brasilianischen Forschungsinstitut LACTEC bereitet die THI gerade einen bi-nationalen Projektantrag in der Förderlinie „ZIM Internationale FuE-Kooperationen (Deutschland - Brasilien)“ zur Entwicklung eines Batteriemagementsystems für ein für den brasilianischen Markt optimiertes Elektrofahrzeug vor. Es ist geplant in dieses Projekt auch die EVA Fahrzeugtechnik einzubinden. Eine weitere enge Kooperation zwischen der EVA und der THI im Bereich der Durchführung von Batteriemessungen im Rahmen von Industrieaufträgen besteht bereits. In 2015 hat die THI zwei Angebote zu Batteriemessungen für die EVA abgeben. Diese Aufträge konnten aber noch nicht bearbeitet werden, da die Kunden der EVA die zu vermessenden Zellen noch nicht erhalten haben.

Dank den in LiKo erzielten Ergebnissen konnte sich die EVA als Batteriesystementwickler weiterentwickeln und auf dem Markt positionieren. Hier sind besonders die Projekte Rinnspeed Σ tos¹ und die Entwicklung und Bau von Stationären Energiespeichern² zu nennen, wodurch sich für dieses KMU neue Geschäftsfelder erschlossen haben, wie auch die bereits bestehenden Geschäftsfelder im Bereich des Testens von automobilen Batteriesystemen gestärkt wurden.

¹ <http://www.evafahrzeugtechnik.de/unternehmen/zukunftsprojekte.html>

² <http://www.evafahrzeugtechnik.de/unternehmen/zukunftsprojekte/stationaere-energiespeicher.html>

Auch bei der AUDI AG findet die 12 V Lithium-Ionen-Bordnetzbatterie als zusätzliche 12-V-Bordnetzbatterie Einzug ins Fahrzeug³. Da die Lithium-Ionen-Bordnetzbatterie aktuell nur als Ergänzung zur Bleibatterie dient, diese liefert immer noch die Leistung für den Kaltstart, liegt der nächste logische Schritt darin, die in LiKo gewonnenen Ergebnisse dazu zu nutzen, auch Lithium-Ionen-Technologie, ggf. mit Unterstützung von Kondensatoren zur Bereitstellung von Kaltstartleistung zu ertüchtigen.

5. Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen während der Durchführung

Die Forschung zum Ersatz von Bleibatterien durch neue Batterietechnologien zur Steigerung der Lebensdauer und Kaltstartleistung von PKW Batterien ist im Moment durch eine Vielzahl unterschiedlicher Ansätze geprägt.

Auch im Bereich der Bleibatterien werden verschiedene Ansätze verfolgt. Zum einen wird versucht, Bleibatterien weiter für den Einsatz im Fahrzeug zu optimieren. Ein Ansatz besteht darin, durch Zusatz von Kohlenstoff zu den Elektroden von Bleibatterien, die Zyklenlebensdauer dieses Batterietyps zu steigern^{4,5,6}. Zum anderen gibt es verschiedene Ansätze, bei denen Bleibatterien mit weiteren Energiespeichern kombiniert werden. Hier sind insbesondere die Parallelschaltung mit NiMH Batterien⁷ oder Doppelschichtkondensatoren^{8,9,10} zu nennen. Um die Kosten für die Kondensatoren zu reduzieren, werden auch Ansätze zur Reihenschaltung von 12 V Bleibatterien und Kondensatoren verfolgt¹¹. Ein weiterer Alternativer Ansatz besteht darin, direkt alternative Batterietypen anstelle von Bleibatterien als Starterbatterien einzusetzen^{12, 13, 14, 15}. Hier ist der Einsatz von NiMH und Lithium-Ionen-Batterien als Alternative geplant bzw. angekündigt.

Diese möglichen Alternativen und ihre Bedeutung auf das Projekt LiKo wurden zusammen mit den Industriepartnern diskutiert. Es wird angenommen, dass die Ansätze zur Kombination von Bleibatterien mit weiteren Zellen, wie auch die Optimierung von Bleibatterien ein möglicher Weg zur Verbesserung der Lebensdauer der Batterien sind. Da aber wiederhin Blei in diesen Batterien eingesetzt wird, wird dies hinsichtlich eines gänzlichen

³ https://audi-illustrated.com/de/future-performance-2015/12_und_48_Volt

⁴ J. Sudhakar, M. Fernández, "Advanced graphite additive for enhanced cycle-life of lead-acid batteries", U.S. Patent 2012/0171564 A1, July 5, 2012.

⁵ J. Xiang, P. Ding, H. Zhang, X. Wu, J. Chen, Y. Yang, "Beneficial effects of activated carbon additives on the performance of negative lead-acid battery electrode for high-rate partial-state-of-charge operation", J. Power Sources, vol. 241, pp. 150-158, Nov. 2013.

⁶ E. Ebner, D. Burow, A. Börger, M. Wark, P. Atanassova, J. Valenciano, "Carbon blacks for the extension of the cycle life in flooded lead acid batteries for micro-hybrid applications", J. Power Sources, vol. 239, pp. 483-489, Oct. 2013.

⁷ Panasonic Corporation, "Panasonic develops 12 V energy recovery systems with Ni-MH battery for automobiles", Panasonic, Osaka, Japan, Feb. 8, 2013.

⁸ A. Gazwi, "Application of Supercapacitors to Automotive Applications", Int. J. Computer Science and Electronics Engineering (IJCSEE), vol. 1, Issue 2, 2013.

⁹ IOXUS, "Analysis of Battery Capacitor Combination Preliminary Considerations", IOXUS.

¹⁰ N. Omar, M. Daowd, O. Hegazy, P. Van den Bossche, T. Coosemans, J. Van Mierlo, "Electrical Double-Layer Capacitors in Hybrid Topologies - Assessment and Evaluation of Their Performance", Energies, vol. 5, pp. 4533-4568, Nov. 2012.

¹¹ Josef Winkler, Michael Wansner, "Batterieanordnung", DE Patent 10 2012 014 347 A1, January 23, 2014.

¹² M. Ceraolo, T. Huria, G. Pede, F. Vellucci, "Lithium-ion Starting-Lighting-Ignition Batteries: Examining the feasibility", presented at IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Chicago, Sept. 2011.

¹³ C. Mochel, "Li-ion Batteries as Replacement for Standard Lead-acid Batteries in the 12V Automotive Powernet", Atmel, 2011.

¹⁴ "A123 Systems supplying Li-ion batteries for new BMW ActiveHybrid 3 and ActiveHybrid 5 models", Internet: <http://www.greencarcongress.com/2012/01/a123bmw-20120106.html>, [June 13, 2014].

¹⁵ "BMW ActiveHybrid 3 Details Released", Internet: <http://www.hybridcars.com/bmw-activehybrid-3-details-released-47992/>, [June 13, 2014].

Verbots von Blei im Automobilbau, nicht als zukunftssichere Möglichkeit angesehen. NiMH Batterien wären davon nicht betroffen, werden aber aufgrund des Einsatzes von seltenen Erden (Verfügbarkeits- und Kostenproblematik) und ihres höheren Innenwiderstands von den Industriepartnern nicht als langfristig tragbare Lösung angesehen. Als erfolgversprechende Alternative, zu dem im Projekt LiKo verfolgten Ansatz, wird die Optimierung der Kaltstartleistung von Lithium-Ionen Batterien in Kombination mit einer starken Kostenreduktion von Leistungszellen angesehen. Um dies zu untersuchen, wurde zusammen mit den Projektpartnern beschlossen, den im Projekt gewählten Ansatz weiterzuverfolgen, wobei zu den ursprünglich gewählten Zellen auch Lithiumtitanatzellen, aufgrund ihrer hohen Leistungsfähigkeit, für den zweiten Prototypen eingesetzt und untersucht wurden.

6. Geplante und erfolgte Veröffentlichungen im Rahmen des Vorhabens

Im Rahmen des Vorhabens sind bereits folgende Veröffentlichungen erfolgt, bzw. Vorträge auf wissenschaftlichen Konferenzen gehalten worden.

- S. Vlasov, H.-G. Schweiger, *Modeling and Simulation of 12V Li-Ion Starter Batteries and Validation of the Results by Experiments*, 2015, Applied Research Conference 2015, Nürnberg (Germany)
- E. Machuca, H.-G. Schweiger, *12 Volt starter battery with lithium cells and capacitors for cold cranking*. Congress Batteries 2015, 7th to 9th October, Nice (France)
- E. Machuca, H.-G. Schweiger, *12 Volt starter battery with lithium cells and capacitors for cold cranking". 8th International Conference on Advanced Lithium Batteries for Automobile Applications* 2015, Bilbao (Spain)
- H.-G. Schweiger, E. Machuca, S. Vlasov, F. Steger, *12 V lithium-ion starter batteries, eMobility Workshop in PRASA-RobMech 2015, Port Elizabeth (South Africa)*

Eingereicht wurde folgender Beitrag, Veröffentlichung erfolgt demnächst:

- E. Machuca-Garcia, J. Löchel, und H.-G. Schweiger, *12 V lithium ion starter batteries, PCIM Europe 2016, Nürnberg 2016*, Vortrag und Tagungsband

Folgende Veröffentlichungen befinden sich in Vorbereitung, Einreichung in 2016 geplant

- J. Löchel, H.-G. Schweiger, *Algorithm for cold cranking prediction of lithium-ion-starter batteries*, z. B. Journal of Power Sources
- E. Machuca, H.-G. Schweiger, *Battery management systems for lithium-ion-starter batteries*, z. B. Journal of Power Sources
- J. Löchel, E. Machuca, H.-G. Schweiger, *combination of lithium-ion-batteries and capacitors for 12 V SLI batteries*, z. B. Journal of Power Sources

III. Erfolgskontrollbericht

Siehe Anlage.

IV. Kurzfassung/Berichtsblatt

Siehe Anlage.