

# Intelligente und effiziente Batteriesysteme für die E-Mobilität von morgen

## IntelliBat

**Projekt:** Intelligente und effiziente Batteriesysteme für die E-Mobilität von morgen (IntelliBat)

**Laufzeit:** 01.05.2013 bis 31.01.2017

**Gesamtkosten:** 854.685,60 €

**Fördersumme:** 854.685,60 €

Mit der Hightech-Strategie „2020“ strebt die Bundesregierung unter anderem das Ziel an, Deutschland als Leitmarkt für Elektromobilität zu etablieren und bis zum Jahre 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutsche Straßen zu bringen. Die Industrie soll dabei ein wettbewerbsfähiger, im Weltmarkt führender Anbieter für elektrisch betriebene Fahrzeuge und deren Komponenten werden. Eine wesentliche Schlüsselkomponente dieser umwelt- und industriepolitischen Zielsetzung sind die Batteriesysteme. Energieinhalt, Leistungsdichte und Regelungstechnik bestimmen dabei Gewicht, Zuverlässigkeit und Kosten von Elektrofahrzeugen. Ohne alltagstaugliche und erschwingliche Batteriesysteme bleiben Elektroautomobile jedoch eine Nischenanwendung – Gesellschaft und Industrie würden weiter auf herkömmliche Antriebe und damit auf die Nutzung endlicher Ressourcen angewiesen sein.

Das Forschungsprojekt IntelliBat hat dazu ein modulares und skalierbares Batterielade- und Balancingsystem entwickelt, welches erstmals die Steuerung der Lade- und Entladefunktionen auf Einzelzellenbasis regelt. Mit intelligenter Vernetzung bietet IntelliBat ein leistungsfähiges und gleichzeitig kostensparendes System.

## Ziele

Ziel des Forschungsvorhabens war es, ein neuartiges Konzept zu entwickeln, welches einen wesentlichen Beitrag für einen effizienteren Betrieb aller Verbraucher, Komponenten und Systeme von elektrischen Antrieben leisten kann. Dabei sollte durch eine innovative, integrierte Lade- und Balancingtechnik und unter Einsatz integrierter Schaltungen eine Ladeleistung von über 10 kW sowie ein Wirkungsgrad von mehr als 93% realisiert werden. Zudem wurden im Forschungsprojekt IntelliBat weitere Nutzen für die E-Mobilität von morgen angestrebt:

- deutliche Erhöhung der Batteriesicherheit und damit eine verbesserte Zuverlässigkeit bei Elektrofahrzeugen in unterschiedlichen zukunftsweisenden Anwendungsbereichen und Marktsegmenten
- Umsetzung der Interoperabilität mit dem Versorgungsnetz, um damit eine deutliche Verbesserung zu den aktuell am Markt verfügbaren Konzepten zu bieten
- Nutzung des Elektrofahrzeugs als Energiespeicher für das Versorgungsnetz durch Einbindung in ein Smart-Grid-System

## Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing Norbert Graß

Institut ELSYS

Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

## Projektverlauf

Zu Beginn des Projekts wurde eine grundlegende Systemstruktur des Lade- und Balancingsystems für die intelligente Batterie-Einzelzellentechnologie erarbeitet. Balancingsysteme bzw. Ausgleichsregler gewährleisten eine gleichmäßige elektrische Ladungsverteilung aller ähnlich aufgebauten, aber durch Fertigungstoleranzen und Alterung leicht unterschiedlichen, galvanischen Zellen innerhalb eines zusammengeschalteten Paketes mehrerer Akkumulatorzellen (Akkupack). Für die Umsetzung wurden dabei entscheidende Komponenten festgelegt. Das Gesamtsystem wurde aufgebaut mit einem Batteriesystem mit Batteriemangement, einem Ladesystem mit Leistungselektronik und Systemsteuerung, einem Reinigungsfahrzeug mit hybridem Antriebssystem und einem Energieversorger mit einer Datenschnittstelle zum Ladesystem. Anschließend wurden die

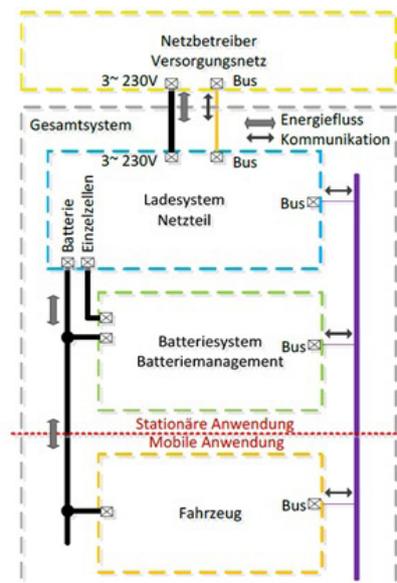


Abb 1: Gesamtsystem IntelliBat - Schnittstellen

Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten und Systemen bestimmt. Entscheidend war bei diesem Konzept die durchgängige Kommunikationsstruktur zwischen Energieversorger, Ladesystem, Batteriesystem und Fahrzeug. So können Anforderungen und Informationen von allen Teilnehmern im System ausgewertet werden. Um das Energiesystem zudem wirtschaftlich zu optimieren, lag der Fokus der Umsetzung auf der internen Kommunikation im Batteriesystem bis hin zu den

Einzelzellen. Die interne Kommunikation ist unter anderem dafür verantwortlich, dass jegliche Informationen für das Gesamtsystem zur Verfügung stehen, die die Bewertung von Zustand und Wiederverkaufswert der Zellen zulassen. Diverse Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten sorgen für hohe Sicherheitsstandards durch ideale Überwachung aller Akkuzellenzustände und aktive Symmetrierung der Einzelzellen unter Einbeziehung ihrer Zellparameter. Für Anforderungen aus dem Netz des Energieversorgers eine Kommunikationsschnittstelle zwischen Ladegerät und Netzbetreiber zur Verfügung. Diese war im Forschungsprojekt notwendig, um die Netzstabilität mit Hilfe dezentraler Energiespeicher zu erhöhen. Der Energieversorger erhält so die Möglichkeit, seine Anforderungen an die dezentralen Speicher weiterzugeben und das Netz dadurch stabilisieren zu können.

Im weiteren Projektverlauf wurden die Hauptkomponenten des Gesamtsystems, Ladesystem und Batteriesystem genauer spezifiziert. Das Ladesystem besteht im Wesentlichen aus zwei Teilkomponenten: dem Netzgerät mit Leistungselektronik und die Netzsteuerung mit den Kommunikationsschnittstellen zu den benachbarten Systemen. Neben der hierfür entwickelten Hardware sind die komplexen Regel- und Ansteuerverfahren, die die gewünschte Funktion der nötigen Kommunikationsschnittstellen und das korrekte Zusammenspiel der Einzelkomponenten ermöglichen, die bedeutendsten wissenschaftlichen und technischen Erfolge im Projekt. Die Regelalgorithmen wurden in einem leistungsfähigen digitalen Signalprozessor (DSP) umgesetzt und programmiert. Um die Leistung bidirektional (Laden/Entladen) übertragen zu können, ist ein netzseitig angebundener AC/DC-Gleichrichter im Netzgerät des Ladesystems verbaut. Ein integriertes Analog-Front-End (AFE) stellt eine sinusförmige Netzbelastung sicher. Die gleichgerichtete Spannung wird daraufhin von einem DC/DC-Umrichter auf die Batteriespannung gewandelt. Durch die aktive Regelung von Strom und Spannung kann dieser den Batteriestrang mit bis zu 10 kW sowohl be- als auch entladen. Im Batteriesystem stellt die Batteriesteuerung mit Steuerung und Überwachung des Speichers das zentrale Element im Batterieaufbau dar. Zum Austausch von Mess- und Grenzwerten, Informationen und Schaltbefehlen dient der im Gesamtsystem integrierte Batterietrennschalter. Der Schalter garantiert die sichere Trennung von Last und Ladegerät. Eine Ausgleichbusversorgung erlaubt die Einzelzellenladung durch das Ladegerät. Diese führt zusätzlich zum Ladestrom des Hauptstranges Energie zu den Makrozellen, die damit ihre Zellen auf gleichem Spannungsniveau halten können. Die Verteilung der Energie zum Ausgleichsladen (Battery Balancing) zwischen den Einzelzellen kann dabei auch ohne das Ladegerät erfolgen. Um eine größere Flexibilität im Spannungsbereich zu erzielen, wurde jede Einzelzellenladeschaltung als zweistufige Topologie ausgeführt, bestehend aus Vollbrückenwandler und Zweiquadranten Steller. Die zweistufige Topologie ermöglicht das Laden und Entladen der Einzelzellen über die Ausgangsbussversorgung sowie einen Energieaustausch zwischen starken und schwachen Zellen.

## Ergebnisse

Nach Erforschen und Entwickeln der Ladeschaltung wurde ein Prototyp realisiert, welcher aus einer Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET) Vollbrücke und einem Eingangsfilterkondensator bestand. Der Testbetrieb erwies folgende Ergebnisse: Für die Schaltung der MOSFET Vollbrücke wurden Kenndaten mit einer Nennleistung von 1 kW und einer Eingangsnennspannung von 48 V festgelegt. Die 3,3 V Ausgleichsbussversorgung des Mikrocontrollers wurde über die

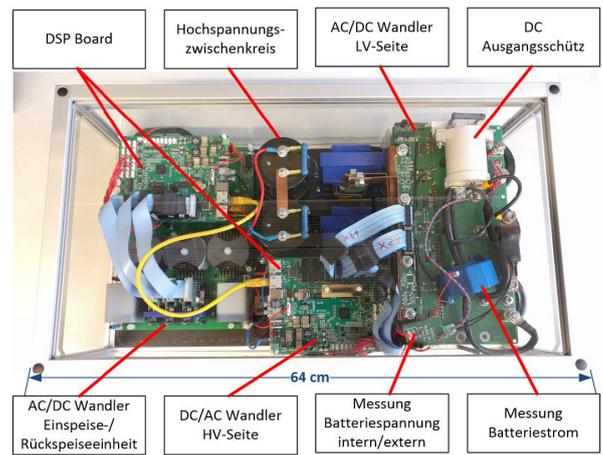


Abb 2: Prototyp Ladesystem

Kommunikationsschnittstelle geführt. Somit ist keine zusätzliche energieverbrauchende Spannungswandlung notwendig und das System spart Energie ein. Durch die Verwendung von Halbleitern als Transistoren an Stelle von mechanischen Relais konnten Kurzschlussströme minimiert und zudem schnellere Wechselgeschwindigkeiten realisiert werden. Die logische Vergleichsschaltung im Controller überwacht mit Hilfe von Logikgattern die Stromgrenzwerte in der Hardware. Dadurch ist sichergestellt, dass das Trennsystem im Fehlerfall die elektrische Verbindung zwischen Batterie und Last oder Ladegerät auch auftrennen kann, sollte sich der Mikrocontroller in einem Fehlerzustand befinden. Hier ist eine zweistufige Sicherheitsabschaltung entstanden, die zusätzlich vor ungewollten Wiedereinschalten geschützt ist. Fehlerverarbeitung und Grenzwertüberschreitungen werden dem Batteriemangement gemeldet und das gesamte Batteriesystem wird so in einen sicheren Zustand gebracht. Zudem wurden bedarfsorientierte Ladefunktionen erweitert. So kann nach Vorgaben des Netzbetreibers durch Auswertung von Abweichungen der Netzfrequenz von 50 Hz die primäre Regelleistung selbstständig aktiviert werden – eine Reaktion auf den Netzzustand ist somit in Echtzeit möglich. Die Primärregelung der Netzleistung ist als proportionale Verstärkung in den Netznormen spezifiziert. Über die Datenverbindung kann der Netzbetreiber einen Proportionalfaktor einstellen, der die Höhe der Leistung festlegt. Weiterhin kann ein Hystereseband der Netzfrequenz eingestellt werden, innerhalb dessen der Speicher nicht reagiert. Dadurch werden übermäßige Lade- bzw. Entladezyklen des Energiespeichers verhindert und im Folgeschluss die Lebensdauer des Speichers erhöht. Zusätzlich kann über die Datenverbindung auch Lade- oder Entladeleistung für die Netzstabilisierung angefordert werden. Der Verlauf der Ladeleistung als Reaktion auf die Netzfrequenz wurde in weiteren Tests simuliert, wobei zusätzlich Leistungsdaten einer PV-Anlage verarbeitet wurden, da der verwendete Energiespeicher auch in Kombination mit Systemem der dezentralen und regenerativen Energieerzeugung verwendet werden kann. Die Tests bestätigten, dass die in diesem Beispiel dargestellte Hauptanforderung der Speicherung der PV-Energie durch die Primärregelungsfunktion nur geringfügig beeinflusst wird. Der innovative Kern des Forschungsprojekts IntelliBat lag vor allem darin, das Lade- und Balancingsystem erstmals auf jede einzelne Zelle herunter zu brechen und dabei, anders als zum Stand der Technik, Lade- und Balancing-Funktionen miteinander zu integrieren. Das Konzept schafft somit höhere Energieeffizienzen (aktives Zellenbalancing durch selektives Laden und Entladen), einen höheren Sicherheitsstandard (Einzelzellenüberwachung) und damit eine höhere Systemzuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Die Komplexität des Systems erforderte neue Schaltungskonzepte für eine größere Zahl von bidirektionalen

Umrichtern, Kommunikations- und Regelungstechnik (Algorithmen, Embedded Systems). Die zuverlässige Integration der Funktionen in kleine Bauräume stellte höchste Anforderungen an Sensorik und Aufbau und Verbindungstechnik, insbesondere auch im Hinblick auf thermisches Management, elektromagnetische Störfestigkeit (HF Taktung) und das Sicherheitskonzept (Thermal Runaway). Um konkurrenzfähige Herstellkosten erreichen zu können, waren Hochintegrationen erforderlich. Das geschaffene modulare und skalierbare Gesamtsystem konnte dank integrierter Schaltungen über Power-ASICs erfolgreich realisiert werden. Diese innovative, integrierte Lösung bietet erstmals das Potential, zu konkurrenzfähigen Preisen gegenüber Systemen der fossilen Verbrennungstechnik und insbesondere gegenüber ausländischen Anbietern von Elektrofahrzeugen am Markt aufzutreten. Das Forschungsprojekt IntelliBat kann damit einen wesentlichen Beitrag leisten, Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln.

## Fördergeber



## Projektpartner aus der Wissenschaft



---

Projektleiter  
Prof. Dr. Norbert Graß  
Telefon: 0911/ 5880-51096  
E-Mail: [norbert.grass@th-nuernberg.de](mailto:norbert.grass@th-nuernberg.de)

Institut ELSYS  
Technische Hochschule Nürnberg  
Georg Simon Ohm

[www.th-nuernberg.de](http://www.th-nuernberg.de)

## Projektpartner aus der Industrie

BMZ Batterien-Montage-Zentrum GmbH  
N-ERGIE AG  
Neutron Mikroelektronik GmbH  
TWIKE Fine Mobile GmbH  
Alfred Kärcher Vertriebs-GmbH  
Torqeedo GmbH