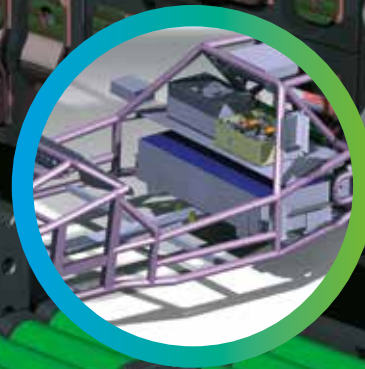
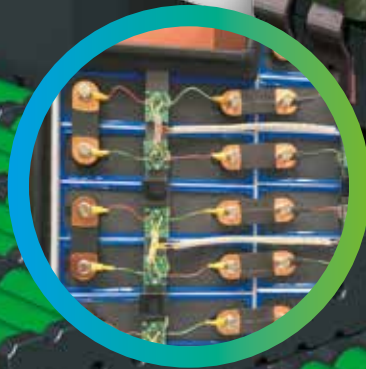


www. **editha**  .eu

# Forschung für Elektromobilität

Herausforderungen und  
Realisierungen für die Mobilität der Zukunft



**WAVE Trophy  
Österreich  
2018**



**WAVE Trophy  
Deutschland  
2019**



Alltagstauglichkeit von elektromobilen Prototypen

## **Forschungs- und Transferschwerpunkt Automotive**

Der Forschungs- und Transferschwerpunkt Automotive bündelt als Schnittschnelle der ingenieur-technischen Fakultäten der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg die Aktivitäten der Beteiligten im Bereich der Mobilität.

Seit seiner Gründung im Jahr 2007 durchlief der Schwerpunkt eine Wandlung hin zur Forschung rings um den elektromobilen Antriebsstrang, insbesondere die Umsetzung vollständig neuer Antriebskonzepte und die Erforschung der damit verbunden weitreichenden Auswirkungen auf die Fahrzeuginfrastruktur.

Kooperationen zwischen Forschergruppen der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und beteiligten außeruniversitären Forschungseinrichtungen bilden die Grundlagen für Forschungsverbünde im Bereich Automotive. Dies gewährleistet eine starke Kompetenzplattform und vielfältige Transferschnittstellen, um die regionale Zulieferindustrie zu stärken und internationale Kooperationen mit den führenden Automobilherstellern, Zulieferern und Forschungseinrichtungen auszugestalten.

Im Rahmen des Leitprojektes „Kompetenzzentrum eMobility“, gefördert durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung, ist ein eigenständiges Kompetenzzentrum entstanden, das den Technologietransfer zwischen angewandter Forschung und Industrie im Bereich der Elektromobilität durch Grundlagenforschung sowie gemeinsame Projekte und Produktentwicklungen mit Industriepartnern vorantreibt und damit den anstehenden Strukturwandel wirkungsvoll unterstützt.



SACHSEN-ANHALT



EUROPÄISCHE UNION  
**EFRE**  
Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung

Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner  
Prof. Dr.-Ing. Roland Kasper  
Dipl.-Ing. Gerd Wagenhaus

## **Forscherguppe Elektromobilität EDITHA**

Die Aktivitäten des Forschungsbereiches Gesamtfahrzeug innerhalb des „Kompetenzzentrums eMobility“ werden durch die Forschergruppe EDITHA vorangetrieben. EDITHA ist eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe innerhalb der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Namensgeberin der Forschergruppe ist die erste Gemahlin Kaiser Otto des Großen – Königin EDITHA. Nach ihr wurden auch die elektromobilen Fahrzeugentwicklungen benannt. Im Fokus der Arbeiten der Forschergruppe stehen die Entwicklung energieeffizienter Antriebs- und Speichersysteme sowie die systemische Integration elektrischer Antriebe in nutzerspezifische Lösungen.

### **Beteiligte Lehrstühle:**

#### **Gründungsmitglieder 2011**

Lehrstuhl für Produktionssysteme und -automatisierung (bis 2019 Lehrstuhl für Fabrikbetrieb und Produktionssysteme)

Lehrstuhl Technische Dynamik

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik

Lehrstuhl Mechatronik

#### **ab 2016**

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik

#### **ab 2019**

Lehrstuhl für Anlagentechnik und Anlagensicherheit

Lehrstuhl für Leistungselektronik

Lehrstuhl Elektromagnetische Verträglichkeit

Lehrstuhl Fügetechnik

# editha+

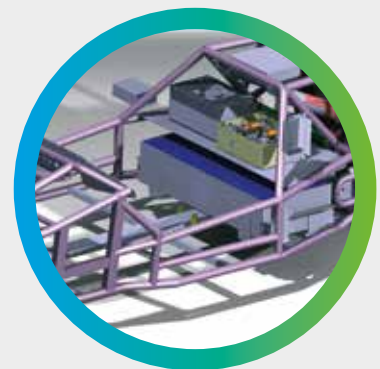
## Inhalt

Forschung für Elektromobilität .....

Partner für Elektromobilitätsprojekte .....

WAVE Trophy 2018 und 2019 .....

Elektromobile Fahrzeugentwicklungen .....



## Forschung für Elektromobilität

Herausforderungen und

Realisierungen für die Mobilität der Zukunft



# Vierte Revolution im Automobilbau – der elektromobile Antriebsstrang

Zeitgleich zur 2008 ausgelösten Krise im Automobilbau erschien eines der ersten rein elektrisch betriebenen Serienfahrzeuge auf dem europäischen Markt und sorgte für erhebliches Aufsehen. Getrieben durch automobiler Anwendungen rund um den elektrischen Antriebsstrang ergaben sich eine Vielzahl an neuen Forschungsaufgaben. Maschinenbauer, Logistiker und Elektroniker wendeten sich anspruchsvollen Themen, wie Elektromotorenbau, anwendungsorientierten Einsatzszenarien, EMV gerechter Systemauslegung und der Erforschung von Batteriemodulen bis hin zur Batteriezelle, zu.

Schnell war erkennbar, dass die Veränderung des Antriebskonzeptes weitreichende Auswirkungen auf den Fahrzeugbau und die Nutzungsszenarien haben wird. Nicht zuletzt hat der elektromobile Antriebsstrang auch wesentliche Auswirkungen auf die zukünftigen Produktionssysteme und damit auf die industrielle Wertschöpfung einer Kernbranche in Deutschland. Neben einer signifikanten Verringerung der Fertigungstiefe wird die Modulbauweise für den Fahrzeugbau massiv vorangetrieben. Das hat zur Folge, dass zukünftige Produktionen erheblichen Flexibilitätsbedarf generieren und gleichzeitig mit einer Reihe vollständig geänderter Anforderungen umgehen müssen.

Aufgrund dieser veränderten technischen Anforderungen orientierte sich der Schwerpunkt Automotive an der Otto-von-Guericke-Universität im Kern auf die Elektromobilitätsforschung.

So gelang nach konzeptionellen Vorarbeiten im Jahre 2011 der Startschuss zum Bau des ersten eigenständig verantworteten Prototypen, welcher im Frühjahr 2012 seinen Rollout über 120 km erfolgreich absolvierte. Getragen durch die ersten zügigen Erfolge wurde der Elektromobilitätsbau in den Forschungsschwerpunkt Automotive integriert. In den Folgejahren verbesserte sich nicht nur die Verfügbarkeit von elektromobilen Komponenten sondern es konnten erste Forschungsergebnisse rund um den Elektromobilbau in die eigene Fahrzeugentwicklung einfließen. Es gelang den beteiligten Akteuren, wesentliche Entwicklungsschritte eigenständig auszubauen, so dass derzeit als Resultat eine effiziente Erprobungs- und Entwicklungsumgebung vorliegt.

Anspruchsvolle Folgeprojekte mit zunehmend hoher Attraktivität für die Studentenschaft war ebenso Ergebnis der Arbeiten wie eine verbesserte Außenwirksamkeit der Forschungsaktivitäten.

Herausforderungen für die nächsten Jahren sind die weitere interdisziplinäre Erforschung und Optimierung kritischer Komponenten, wie Batterie, Leistungselektronik und Motorentechnik.

Dipl.-Ing. Gerd Wagenhaus  
Prof. Dr. oec. Julia C. Arlinghaus  
Lehrstuhl für Produktionssysteme und -automatisierung

**2012  
Straßenzulassung  
Elektrosmart  
Editha 1.0**

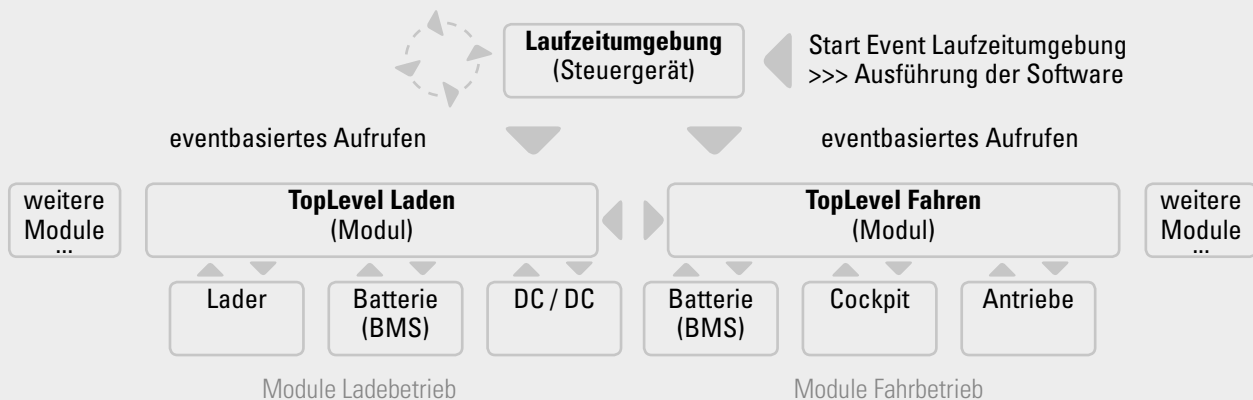
**Dezentrales und  
energieeffizientes  
Antriebssystem  
mit zwei radnahen  
Motoren**

**Zwei Batterie-  
module mit einer  
Gesamtkapazität  
von 15,6 kWh**

**März 2012  
Erfolgreiche  
Testfahrt über  
120 km**



# Dezentrale skalierbare Systemarchitekturen



Um zügig und effizient unterschiedliche Antriebstopologien und Leistungsparameter in Elektrofahrzeugen umsetzen zu können, wurde das Konzept einer eigenständigen dezentralen Softwarearchitektur aufgesetzt. Im Fokus stand hierbei die Modularisierung der jeweiligen Baugruppen des elektrischen Antriebsstrangs und die Möglichkeit der freien Skalierbarkeit der Baugruppen, um die an die konkrete Fahrzeugentwicklung gestellten Anforderungen erfüllen zu können.

## Steuerung von Modulbaugruppen

Neben dem originären 12 Volt Fahrzeugkabelbaum ergeben sich besonders in dezentralen Antriebsarchitekturen typologisierte Hochvolt- und Datennetze, welche eine Plug & Play Anbindung der Baugruppen ermöglichen müssen. Besonderer Fokus wurde auf die Erarbeitung der Systemarchitektur und damit der Schnittstellenkonzeption und -standardisierung gelegt. Nur so können die Vorteile des elektrischen Antriebsstrangs hinsichtlich der flexiblen dezentralen Antriebsarchitektur konstruktiv und produktionstechnisch optimal genutzt und entwickelt werden.

Für jede energiespeichernde und energiewandelnde Baugruppe wurde eine separate standardisierte State-machine auf Softwareebene entwickelt, d. h. ein spezifisches Programmmodul, welches das Modulbaugruppenverhalten auf Basis der zur Verfügung stehenden Modulschnittstellen steuert und charakterisiert.

## Schnelle Inbetriebnahme von Elektrofahrzeugen

Aufgrund der konsequenten und stetigen Erstellung von Programmmodulen steht derzeit eine umfangreiche Bibliothek von Programmmodulen für spezifische Komponenten in E-Drive Systemen zur Verfügung. Die standardisierten Schnittstellen innerhalb der Systemsteuerung ermöglichen es, eine quasi dynamisch adaptierbare Softwareplattform für Elektrofahrzeugprojekte mit Plug & Play Komponenten zu entwickeln. Gezieltes Implementieren von Programmmodulen der verwendeten Modulbaugruppen sichert die zügige Umsetzung und Inbetriebnahme von Elektrofahrzeugprojekten.

Dipl.-Ing. Gerd Wagenhaus  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Lüdecke  
B. Sc. Kai Seidensticker  
Lehrstuhl für Produktionssysteme und -automatisierung

TopLevel Laden  
(Modul)

Batterie  
(BMS)

Lader

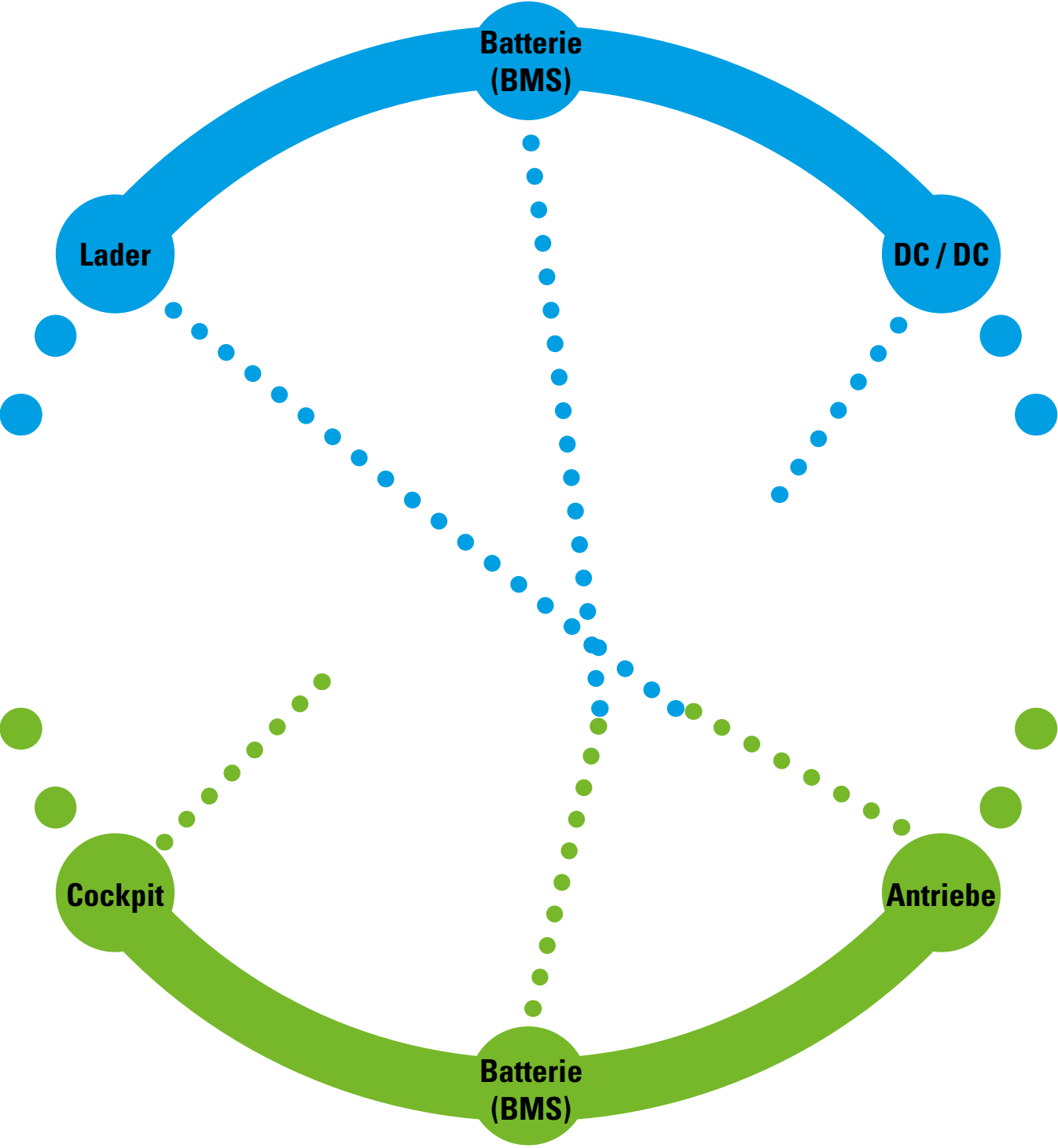
DC / DC

Cockpit

Antriebe

Batterie  
(BMS)

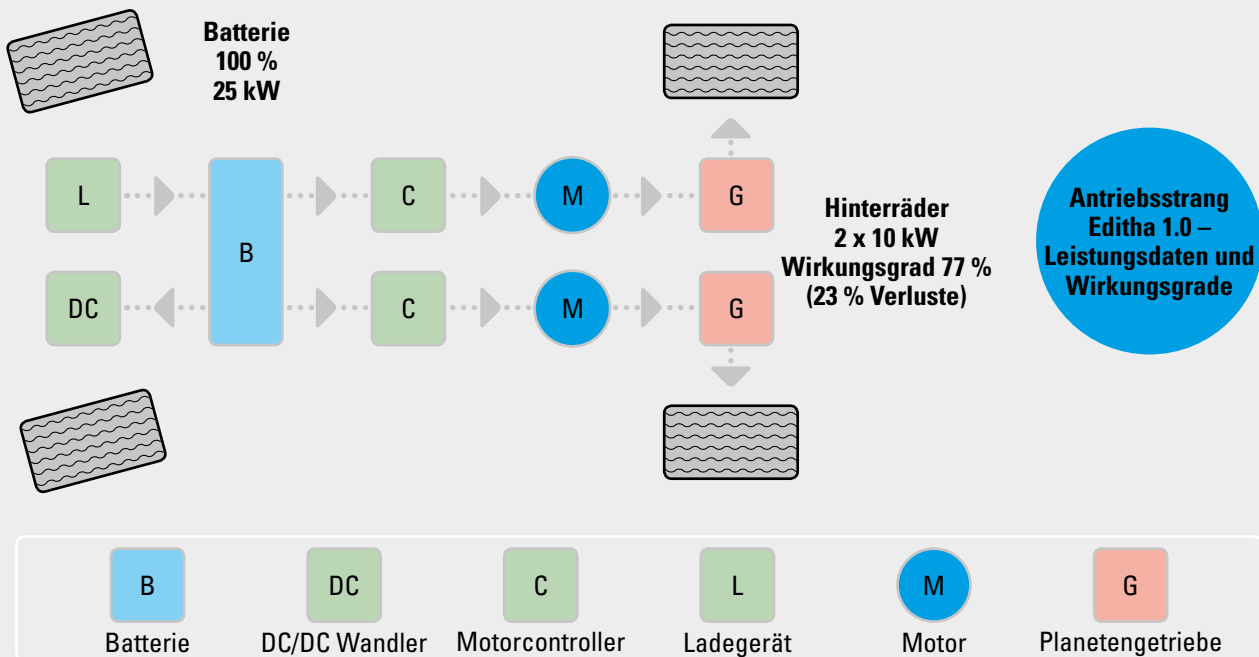
TopLevel Fahren  
(Modul)







# Ein dezentraler Elektroantrieb für Editha 1.0



Als die Idee zur Umrüstung eines Fahrzeuges auf Elektroantrieb an der Fakultät für Maschinenbau entstand, waren für den Smart fortwo der 1. Generation bereits straßenzugelassene Umrüstsätze kommerziell verfügbar. Die meisten dieser Umrüstungen setzten auf die Wiederverwendung des Getriebes aus dem verbrennungsmotorischen Antrieb mit einem fest eingelegten Gang, was sich allerdings negativ auf die Wirkungsgradbilanz und das Beschleunigungsverhalten auswirkt. Zudem waren auf Grund der eingesetzten kostenintensiven Akkutechnologien die Kapazitäten sehr gering und boten hierdurch nur geringe Reichweiten unter 100 km.

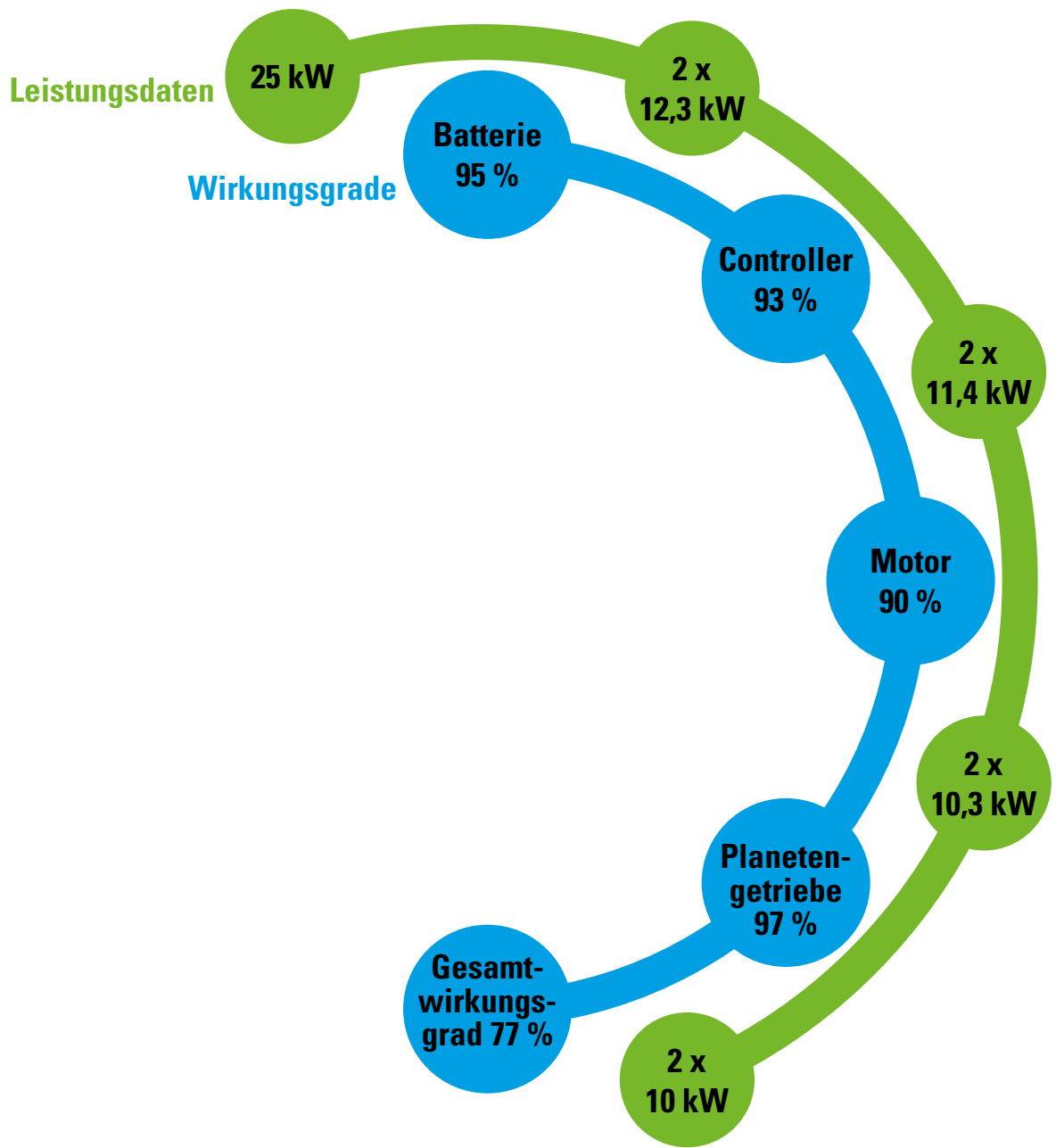
Um diese Fahrleistungen zu überbieten war es der Wunsch, ein straßenzugelassenes Elektrofahrzeug mit mindestens 150 km Reichweite und einer Höchstgeschwindigkeit von über 100 km/h zu entwickeln. Dabei sollte die ursprüngliche Funktionalität des Fahrzeuges hinsichtlich des Fahrkomforts, der Bedienung und des Raumangebots nicht geschmälert werden. Schnell stellte

sich die Batterie als kritische Komponente hinsichtlich des verfügbaren Bauraums, der Kosten und des Gewichts heraus. Mit steigendem Gesamtgewicht des Fahrzeuges erhöhen sich auch die erforderlichen Fahrleistungen bzw. die benötigte elektrische Dauerleistung, wofür im Umkehrschluss eine höhere Batteriekapazität notwendig wird. Durch die Verwendung eines dezentralen Antriebsstrangs mit radnah verbauten Motor-Getriebe-Kombinationen konnte nicht nur weiterer Bauraum für Batterien im Heck des Fahrzeuges erschlossen, sondern gleichzeitig der Wirkungsgrad erheblich gesteigert werden.

Im Ergebnis entstand das straßenzugelassene Elektrofahrzeug Editha 1.0 mit einer Höchstgeschwindigkeit von 96 km/h und einer zuverlässigen Reichweite von 130 km. Mit einer angegebenen maximalen Antriebsleistung von 20 kW wird auf Grund seines dezentralen Antriebsstrangs ein hervorragender Gesamtwirkungsgrad von 77 % erreicht und ein realer Verbrauch von 12 kWh/100 km ermöglicht.

Dr.-Ing. Martin Schünemann  
Prof. Dr.-Ing. Roland Kasper  
Lehrstuhl Mechatronik

Dr.-Ing. Kevin Kuhlmann  
Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote  
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik





# Fahrdynamik am Elektroauto



**Mehrkörpermodell für Simulation von Bewegungsvorgängen**

Die Auslegung des Elektrofahrzeugs Editha 1.0 mit einem radnahen Antriebskonzept führt zu einer völlig anderen Belastung der Achskonstruktion. Um diese Auswirkungen wissenschaftlich zu untersuchen, hat sich das Projektteam mit der Berechnung und Messung von Fahrwerkslasten beschäftigt.

## **Simulation mittels Mehrkörpermodell**

Das aufgebaute Mehrkörpermodell beinhaltet alle beweglichen Fahrwerkskomponenten, die zur Abbildung des dynamischen Fahrverhaltens notwendig sind. Es erlaubt eine Simulation der Bewegungsvorgänge während verschiedene Fahrmanöver wie z. B. Anfahren, Spurwechsel oder Bordsteinüberfahrten, um die Kinematik und die wirkenden Kräfte zwischen den Bauteilen zu bestimmen. Beim Aufbau des Simulationsmodells müssen verschiedene Parameter ins Modell eingepflegt werden.

Die wichtigsten Größen in der Mehrkörpersimulation sind die Masseneigenschaften, welche bei komplexen Bauteilen entweder experimentell oder unter Verwendung von 3D-CAD-Modellen bestimmt werden. Für das Gesamtfahrzeug bzw. Karosserie wurde ein Schwingprüfstand aufgebaut um das Trägheitsmoment um die einzelnen Achsen aus dem Frequenzgang zu bestimmen.

## **Messungen**

Für die Bestimmung real auftretender Radlasten wurde ein 6-Komponentenmessrad der Firma CAEMAX Technologie GmbH verwendet. Dieses besteht aus einer zweiteiligen Felge – innerer Teil zur Befestigung an der Radnabe; äußerer Teil zur Aufnahme des Reifens. Dazwischen wird der Kraftfluss über einen Messadapter geleitet, der alle 6 Komponenten (3 x Kraft und 3 x Drehmoment) über integrierte Dehnungsmessstreifen erfassen kann.

Dr.-Ing. Christian Daniel  
Dipl.-Ing. Sebastian Koch  
Lehrstuhl Technische Dynamik

Jun.-Prof. Elmar Woschke  
Junior Professur für Fluid-Strukturkopplung in Mehrkörpersystemen

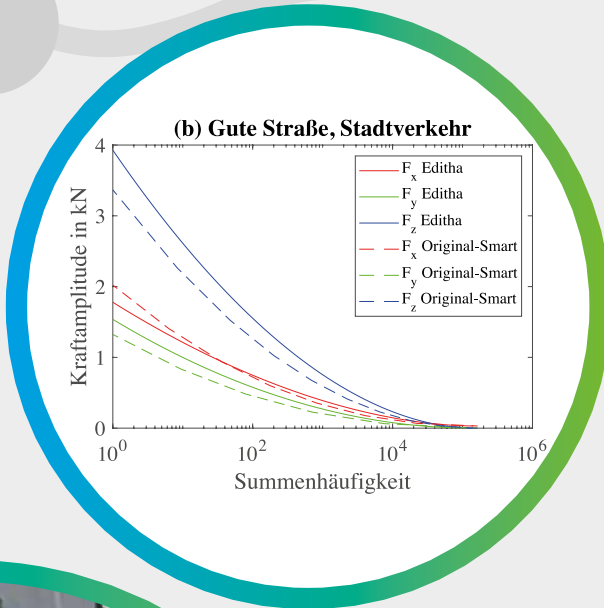
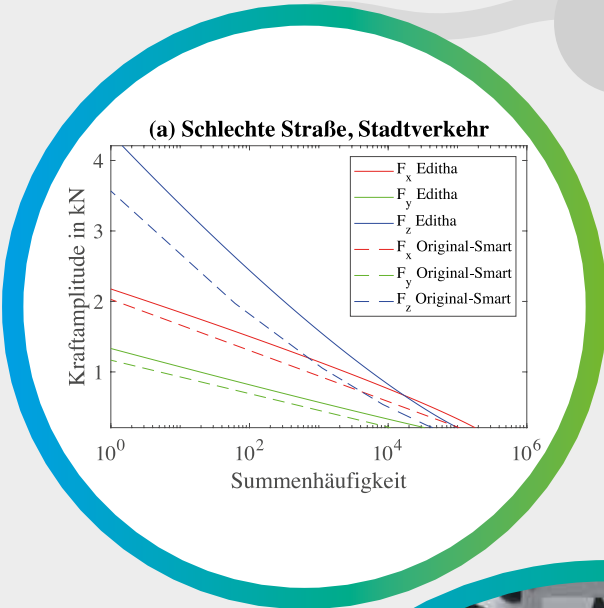
**Kopf-  
stein-  
pflaster**

**Asphalt-  
straße**

# FAHRDYNAMIK & STRECKENPROFIL

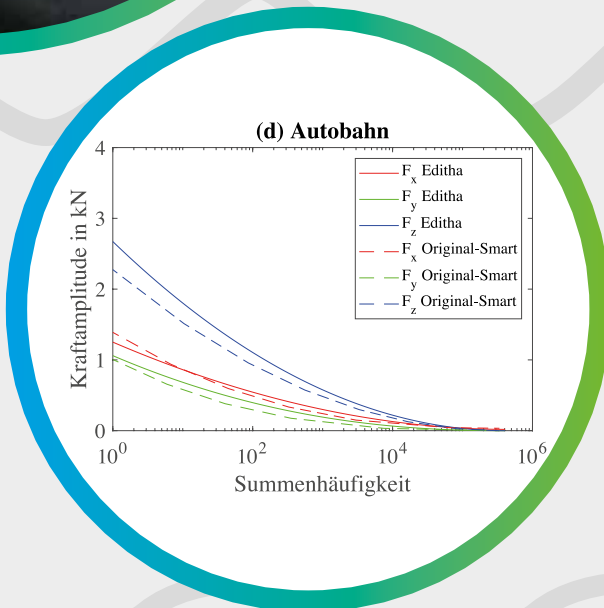
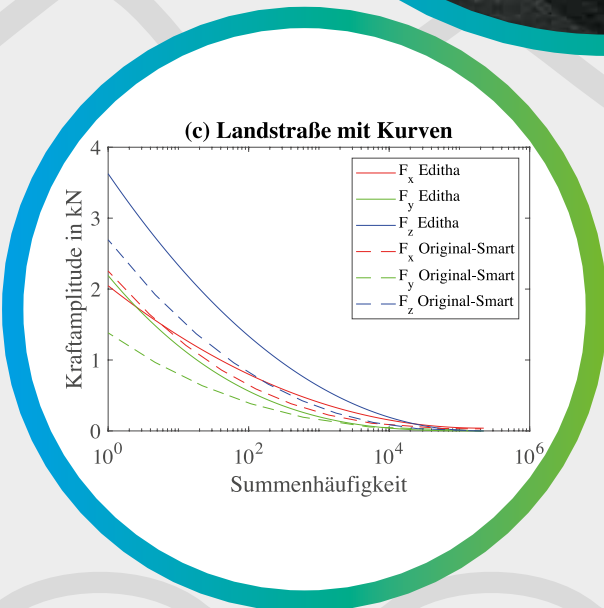
**Landstraße  
mit Kurven**

**Autobahn**



**Messung der Radkraft über integrierte Dehnmessstreifen**

**6-Komponenten-Messrad**



# Hochvoltspeicher – von der Komponenten- auswahl bis zur Konstruktion



**E-Drive-Modul  
der Universität  
Magdeburg für  
einen Kranken-  
transport-  
wagen**

Bei der Konzeption von Elektroautos kommt der Entwicklung der Hochvolt-Energiespeicher eine bedeutende Rolle zu. Der vorhandene Bauraum muss maximal ausgenutzt werden, um damit die Reichweitenpotentiale der Funktionsmuster optimal auszuschöpfen. Dabei müssen Kriterien wie die Zellauswahl und die Anordnung der Zellen berücksichtigt werden. Je nach Art der Zelle – zylindrisch, prismatisch, Beutelzelle – ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten der Zellanordnung. Um die Randbedingungen erfüllen zu können, wurden zunächst die Funktionsmuster mittels eindeutig definierten Maßen aus der Fahrzeugauslegung sowie Konstruktionsdaten erfasst. Mit diesem Wissen wurde ein Digital Mock-Up (DMU) aufgebaut, was zur Definition von potentiellen Bauräumen für den Hochvoltspeicher innerhalb der Funktionsmuster diente.

Mit der Festlegung auf ausgewählte Bauräume konnten im Anschluss CAD-gestützte Überlegungen zur Zellauswahl und -anordnung gemacht werden. Die unterschiedlichen Vor- und Nachteile der Zelltypen basierend auf

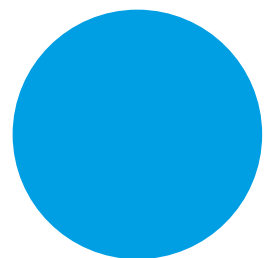
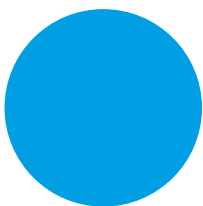
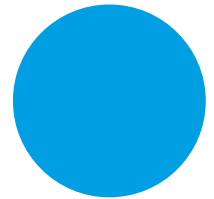
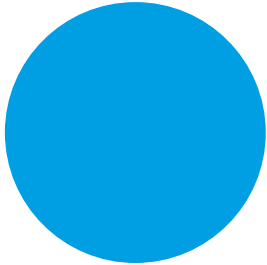
ihren Eigenschaften (Abmessungen, Handling, gravimetrische und volumetrische Energiedichte, Kontaktierung etc.) wurden im Zellauswahlprozess berücksichtigt. Bei der Zellanordnung innerhalb der Bauräume wurde neben der klassischen Auslegung von Hand auch ein Verfahren für einen automatisch ablaufenden Optimierungsprozess entwickelt, das in kurzer Zeit mehrere potentielle Varianten der Zell- und Modulanordnung aufzeigen soll. Dieses Verfahren wird aktuell noch erprobt und auf die Belastbarkeit der Ergebnisse hin untersucht.

Diese Maßnahmen und Überlegungen mündeten in der bestmöglichen Bauraumausnutzung unter Berücksichtigung der maximal möglichen Energiedichte des Hochvoltspeichers.

Neben der Zellanordnung spielt auch die Konstruktion der Batteriewanne eine entscheidende Rolle beim Aufbau des Hochvoltspeicher. Diese muss neben der sicheren Positionierung und Fixierung der Zellen auch die Abtrennung der Zellen gegenüber Umgebungseinflüssen (Spritzwasser, Schmutz, Feuchtigkeit, Temperaturen etc.) gewährleisten.

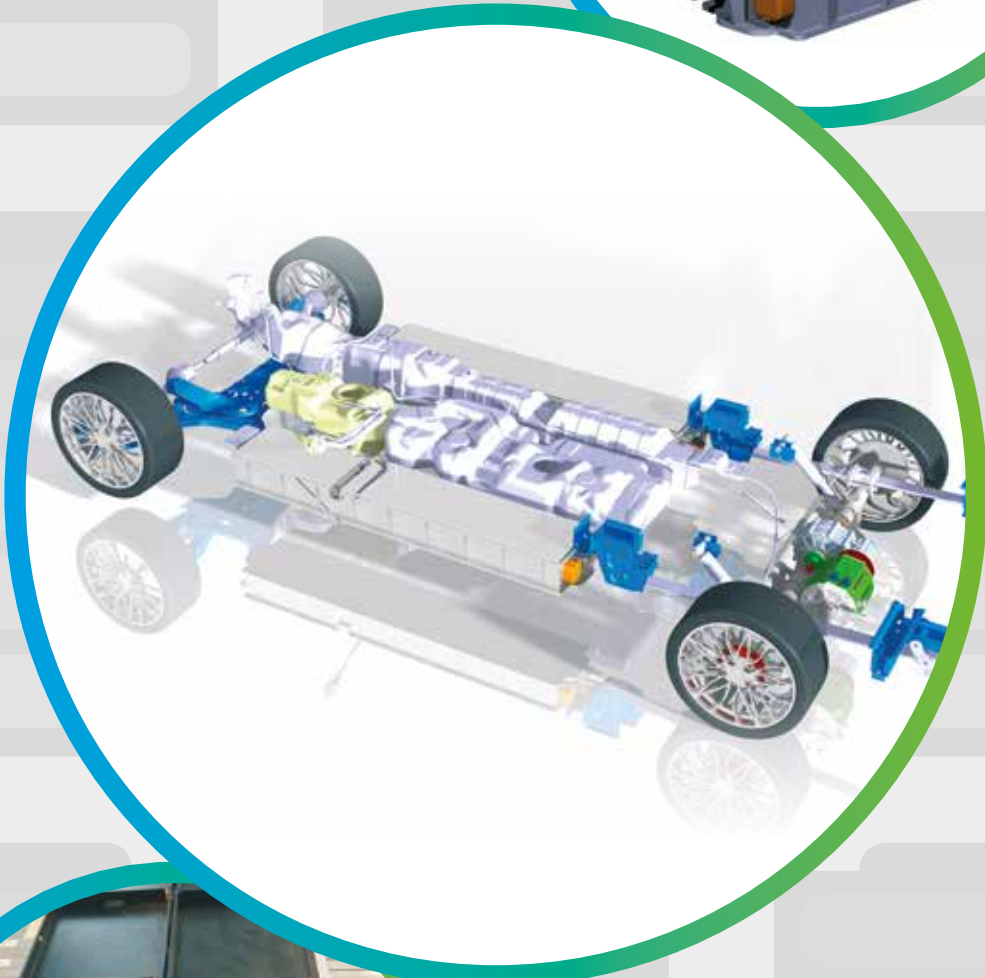
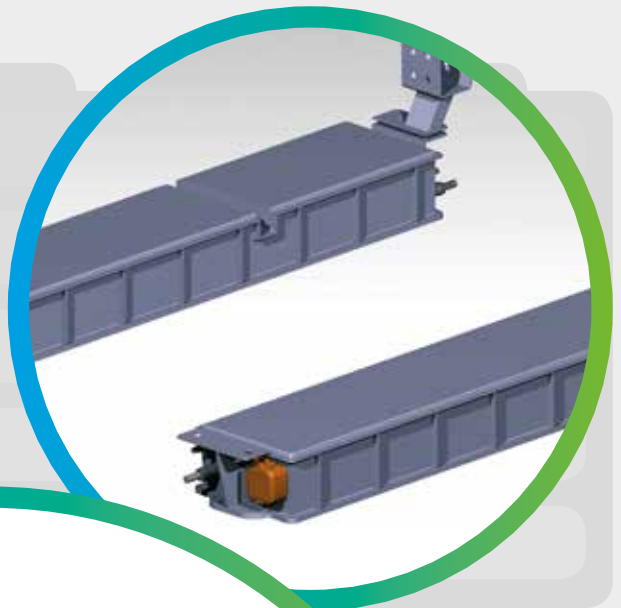
M. Sc. Robert Kretschmann  
M. Sc. Tobias Stefaniak  
Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote  
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik





**DMU  
(Digital Mock Up)  
Plattform mit  
Bauteilen des  
E-Antriebsstranges**

**CAD  
Modell  
Batterie-  
wanne**



**Wartungs-  
freundliche und  
austauschbare  
Batterie-  
wanne**



## Partner für Elektromobilitätsprojekte



Bild oben: Entwicklerteam der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und Ambulanz Mobile GmbH & Co. KG, RETTmobil 2018: Erster Hybrid-KTW wird vorgestellt / Bild unten: E-Drive-Modul der Universität Magdeburg für Krankentransportwagen

## Einblicke in den Aufbauhersteller

*„Unser Ziel ist es, die sichersten Fahrzeuge und nachhaltige Innovationen zu entwickeln.“*

Hans-Jürgen Schwarz, CEO

Notärzte und Rettungssanitäter brauchen Fahrzeuge, mit denen sie schnell Hilfe leisten können. Am Standort Schönebeck werden jährlich über 1700 Fahrzeuge für Ambulanzen und Feuerwehren umgebaut – geliefert wird weltweit.

In Zusammenarbeit mit der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg wurde 2018 erstmalig ein konventionell angetriebener Krankenwagen zusätzlich mit einem an der Universität Magdeburg entwickelten E-Drive-Modul ausgestattet.

Durch den 24 kWh großen Energiespeicher ist es für große Kliniken möglich, lokal bis 70 km emissionsfrei zu fahren – ein Zugewinn für den Patienten, das Personal und die Umwelt.

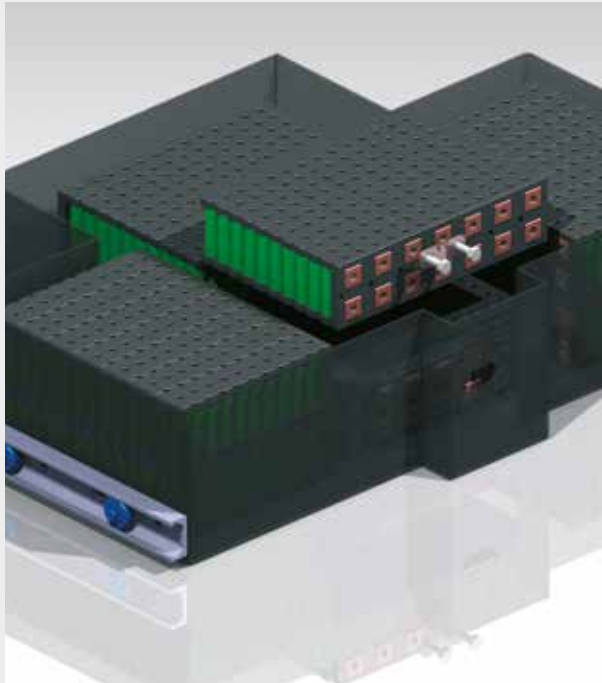


Bild links: CAD Entwurf Batteriewanne

Bild rechts: Einbaubereite Batteriewanne bestückt mit Zellen

## Fertigung von Batteriewannen

Seit 2013 vereint das Unternehmen Burckhardt Blechtechnik GmbH unterschiedliche Leistungen und Kompetenzen der Blechverarbeitung. Auf 1200 m<sup>2</sup> wird mit modernstem Equipment und innovativen Technologien in den Bereichen Laser-, Stanz-, Biege und Schleiftechnik produziert. Die Burckhardt Blechtechnik GmbH bildet seine Fachleute größtenteils selbst aus und schafft so die Basis für eine termingerechte und kundenorientierte Ausführung aller Aufträge.

Durch präzise und rationelle Planung und Umsetzung verbunden mit hohem Qualitätsbewusstsein und Entwicklung von kostenoptimierten Lösungen konnte sich das Unternehmen zu einem leistungsstarken, mittelständischen Anbieter entwickeln.

Die Burckhardt Blechtechnik GmbH unterstützt die Universität Magdeburg mit ihrem Know-How bei der Konstruktion und Fertigung von zum Teil dünnwandigen Batteriewannen für unterschiedliche elektromobile Fahrzeugentwicklungen.

Neben dem Zuschnitt der einzelnen Bauteile mittels Laserstrahlschneiden und dem anschließenden Verschweißen zu kompletten Baugruppen ermöglicht eine Pulverbeschichtung die schnelle, komplikationsfreie und sichere Montage der Zellen sowie den zuverlässigen Betrieb der fertigen Batteriewannen in den jeweiligen Fahrzeugprojekten.

## Partner für Elektromobilitätsprojekte



Bild links: Einbau eines MRS Steuergerätes M2600 in eine prototypische E-Fahrzeugplattform  
Bild rechts: Programmierbares Steuergerät M2600 ECO CAN

## Intelligente Elektronik

Seit der Gründung im Jahre 1999 entwickelte sich MRS Electronic vom einfachen Leiterplattenbestücker zum kompetenten Partner und Experten in der Automotive und Fahrzeugelektronik. Fortschrittliche Entwicklungen und die hausinterne Bestückung und Fertigung bietet Kunden bei individuellen Projekten den spürbaren Mehrwert. Mit einem leistungsstarken Team erschaffen die Mitarbeiter Tag für Tag neue Ideen für fortschrittliche Produkte made in Rottweil.

Als wachsender mittelständischer Partner für die Automotive- und Fahrzeugindustrie entwickelt und produziert MRS Electronic intelligente Elektronikprodukte und kundenspezifische Lösungen. MRS bietet zudem individuelle Testsysteme für Leistungshalbleiter an. Das Produktportfolio besteht aus kompakten Steuerungen, Motorsteuerungen, Gateways, elektronischen und elektromechanischen Relais und HMI-Systemen. Die Dienstleistungen und Produkte werden in verschiedenen Branchen, wie Agrartechnik, Automotive, Nutzfahrzeuge, Baumaschinen, Sonderfahrzeuge (z. B. Feuerwehrfahrzeuge) oder in der Automatisierung, angeboten. Mit einem professionellen Projektmanagement und dem hohen Quali-

tätsanspruch in allen Bereichen entstehen erstklassige Produkte. Was MRS auszeichnet, ist der Arbeitsstil. „Wir gehen immer offen und fair mit Kunden, Lieferanten und Mitarbeitern um. Das unterscheidet uns vielleicht von anderen Unternehmen.“, so die Geschäftsleitung von MRS Electronic. Der Kunde profitiert bei MRS von einem klaren Mehrwert – alles aus einer Hand. Teamarbeit, Vertrauen und die Leidenschaft zur Elektronik bilden die Basis für den gemeinsamen Erfolg.

Das Editha Team verwendet seit 2016 für die Realisierung der Elektrofahrzeugprojekte die programmierbaren Steuerungen von MRS Electronic. Als eine kostengünstige Variante für das Rapid Control Prototyping der Fahrzeugsystemsteuerung hat das Editha Team eine auf der Programmiersprache „C“ basierende Software Architektur entwickelt, um eine zügige Inbetriebnahme der Funktionsprototypen zu ermöglichen. Durch den engen Kontakt und den ständigen Austausch mit MRS Electronic ist es für das Editha Team möglich, frühzeitig neu entwickelte Produkte in die Fahrzeugprojekte zu integrieren und wertvolles Feedback für eine stetige Optimierung beizutragen.



MRS Electronic GmbH & Co. KG • Klaus-Gutsch-Straße 7 • 78628 Rottweil  
Telefon: +49 741 2807-0 • E-Mail: [info@mrs-electronic.de](mailto:info@mrs-electronic.de)  
Internet: [www.mrs-electronic.de](http://www.mrs-electronic.de)



Bild links: Reaktionsgasfreisetzung aus Gefahrgutbehältern bei Batterie-Tests

Bild rechts: FTIR-Spektroskopie der Universität Magdeburg

## Sicherer Transport von defekten und kritischen Lithium-Ionen-Batterien

Die Genius Entwicklungs GmbH entwickelt in der Genius Group sichere Transportsysteme für den Transport von kritischen Lithium-Ionen-Batterien auf allen Verkehrswegen, um die Anforderungen des Gefahrgutrechts sicherzustellen.

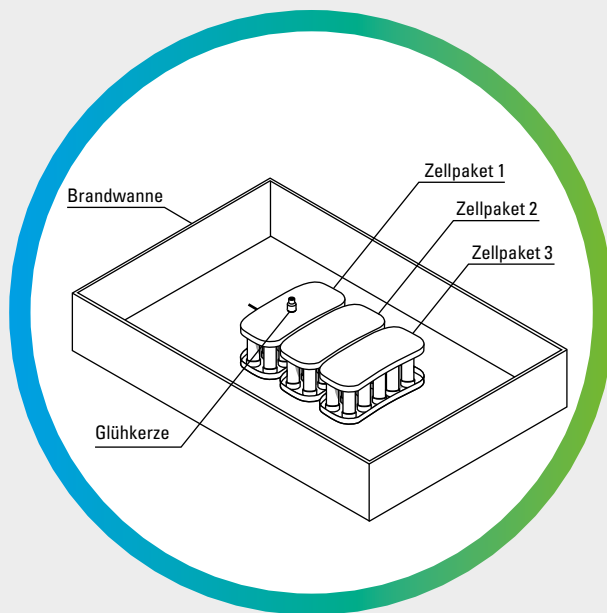
Die Genius Entwicklungsgesellschaft mbH hat zusammen mit der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg zahlreiche Realbrandtests durchgeführt, um die Eignung von Gefahrgutbehältern für den Transport dieser kritischen Batterien und Zellen zu prüfen. Denn sollen kritische Lithium-Ionen-Batterien transportiert werden, so muss der Gefahrgutbehälter hohe Schutzzeleanforderungen erfüllen. In den Realbrandversuchen wurden Batterien mit unterschiedlichen Leistungen beprobt. Dazu wurden die Batterien in die Gefahrgutbehälter eingebracht und mit dem patentierten Brandschutzmittel PyroBubbles® umhüllt. Die Temperaturen der Oberflächen wurden mittels Mantel-Thermoelementen gemessen und die austretenden Reaktionsgase durch eine Gasanalyse (Fourier-Transform-Infrarotspektrometer) ermittelt.

Die Brandversuche zeigen, dass durch das Brandschutzmittel PyroBubbles® die Behälteroberflächen effektiv vor unzulässiger Erwärmung geschützt werden und Batterieoberflächentemperaturen von bis zu 1.000 °C isoliert werden. Die Reaktionsgase werden durch die große relative Oberfläche der PyroBubbles® deutlich abgekühlt, so dass sich die brennbaren Gase (überwiegend CO und CH<sub>4</sub>) im Freien nicht entzünden. Ferner reagieren die PyroBubbles® mit dem entstehenden Fluorwasserstoff (HF), so dass außerhalb des Transportbehälters keine gefährlichen HF-Konzentrationen gemessen werden konnten.

Durch die Auswertung der Versuche durch die Universität Magdeburg und der Nachweisführung der Einhaltung der Schutzzele konnten bereits zahlreiche Transportfestlegungen durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ausgestellt werden und defekte sowie kritische Lithium-Ionen-Batterien sicher im Gefahrgutverkehr transportiert werden.



# Inhärent sichere Batterien für die Elektromobilität



**Testaufbau  
zur Untersuchung  
von Brandsicherheit und Aus-  
wirkungen**

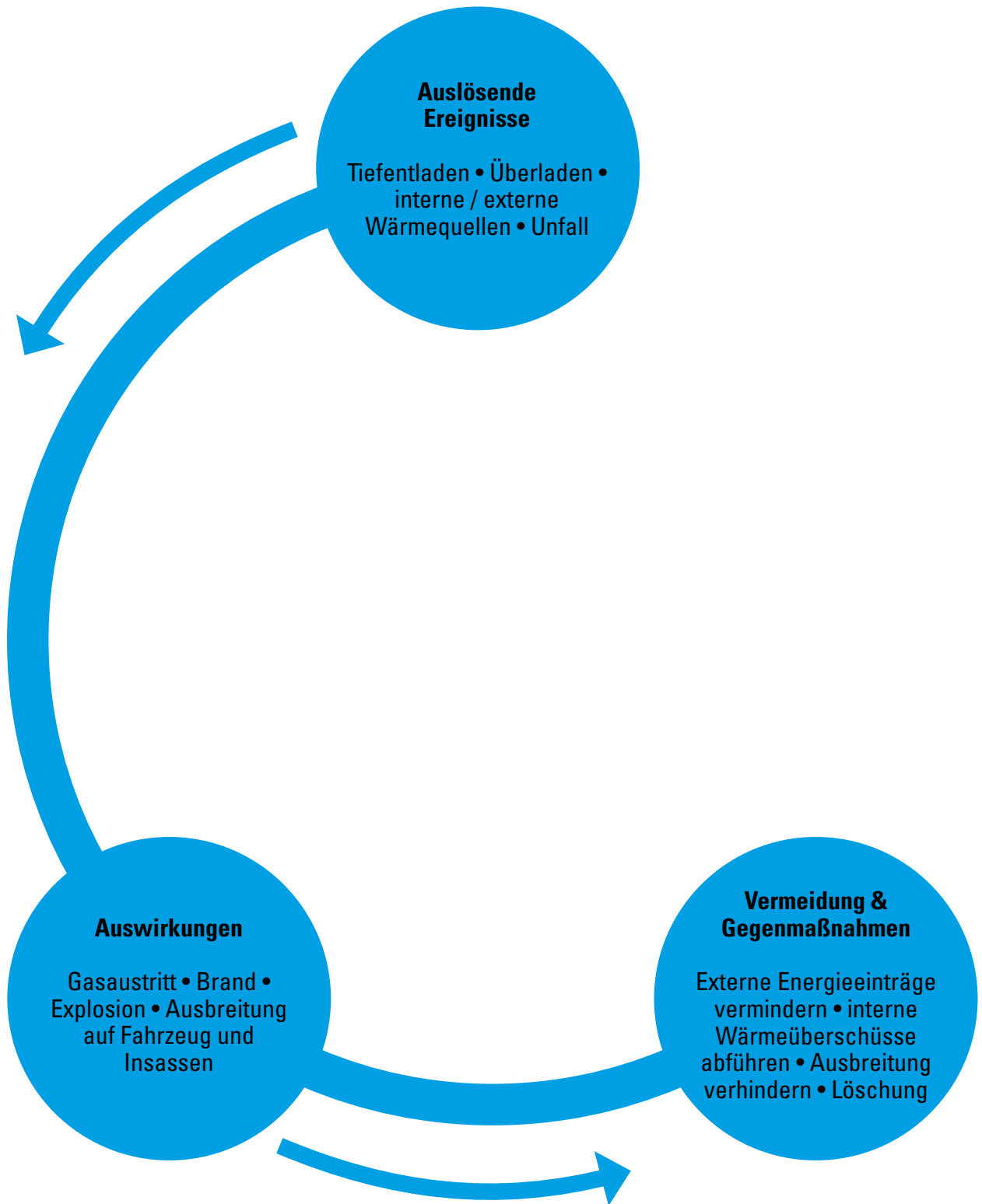
Im Bereich „Inhärent sichere Batterien für die Elektromobilität“ wird die Beherrschung der Gefahren, die von den neuen Speichermedien ausgehen können, thematisiert. Hier ist insbesondere das thermische Durchgehen (Thermal Runaway – TR), das zur Bildung von Fluorwasserstoff (HF) und zu Explosionen führen kann, zu nennen. Entsprechend der Ursache, dem Zeitpunkt und dem Ort dieses Ereignisses variieren die Risiken mit den betroffenen Personengruppen. Kommt es beispielsweise im Rahmen der Herstellung oder Wartung zu potentiellen Vorstufen eines solchen Ereignisses (z. B. Elektrolytaustritt), kann geschultes Personal Gegenmaßnahmen einleiten. Im Betrieb des Fahrzeugs werden Vorstufen, wie erhöhte Temperaturen einzelner Zellen, in der Regel durch das Batteriemanagementsystem erkannt. Dies greift jedoch nicht bei abgestellten Fahrzeugen. Als weiteres kritisches Ereignis sind Verkehrsunfälle zu nennen. Dies gilt insbesondere, wenn verunfallte Personen im Fahrzeug eingeklemmt sind und durch zu alarmierende Einsatzkräfte befreit werden müssen. Neben den Fahrzeuginsassen und eventuellen Ersthelfern besteht schließlich eine Gefahr für die Einsatzkräfte, die neben der Personenrettung die Brandbekämpfung vornehmen.

Um die Risiken zu quantifizieren, wurden zunächst kleinskalige Versuche mit unterschiedlichen Zelltypen von Lithium-Ionen Batterien durchgeführt. Anhand von Zellpaketen aus zylindrischen Zellen wurde untersucht, wie die Lage der Zellpakete zueinander das thermische Durchgehen und den Löscherfolg mit Wasser beeinflusst. Des Weiteren erfolgten Versuche mit Rund- und Pouch-Zellen. Hier wurde untersucht, welche Gase in Abhängigkeit der Zellchemie beim thermischen Durchgehen der Zellen freigesetzt werden. Es wurde ein Versuchsreaktor entwickelt und die entstehenden Gaskonzentrationen mittels Fourier-Transformations-Infrarot (FTIR) Spektroskopie gemessen.

Im Bereich „Inhärent sichere Batterien für die Elektromobilität“ werden die Mechanismen der Reaktionsentwicklung weitergehend untersucht. Ziel ist, geeignete in-situ-Detektionstechniken zur Erkennung früher Phasen der Reaktionsentwicklung zu identifizieren und neuartige Verfahren zur Reaktionshemmung bzw. -unterbindung abzuleiten.

Dr.-Ing. Sarah Hahn

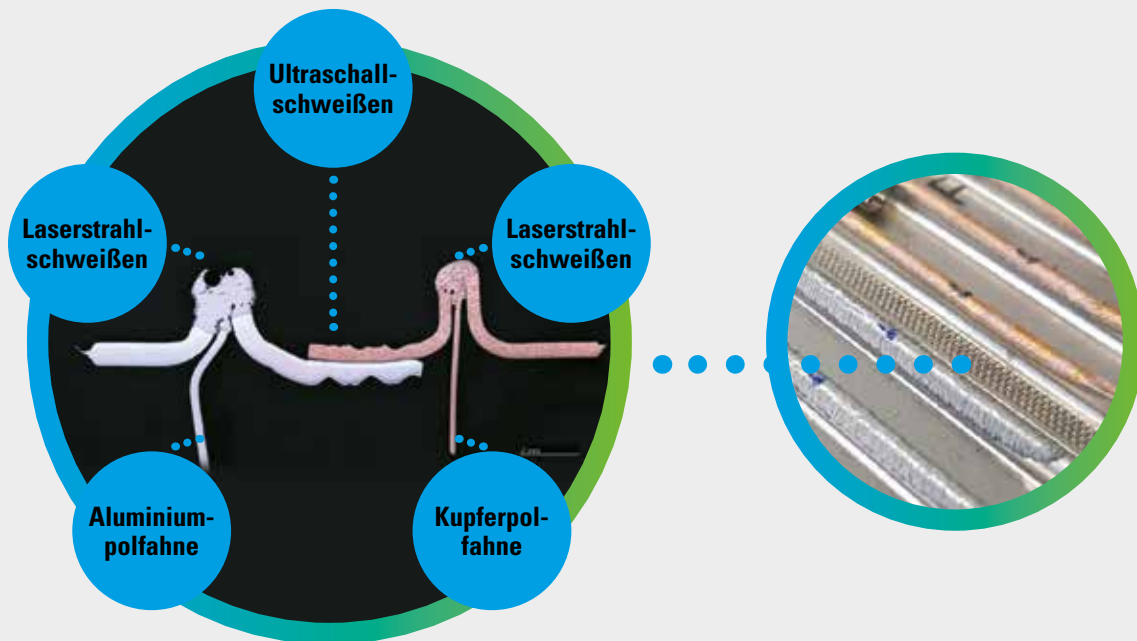
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Krause  
Lehrstuhl für Anlagentechnik und Anlagensicherheit  
Prof. Dr.-Ing. Frank Beyrau  
Lehrstuhl für Technische Thermodynamik







# Fügetechnische Verfahren zur modularen Fertigung von Batteriesystemen



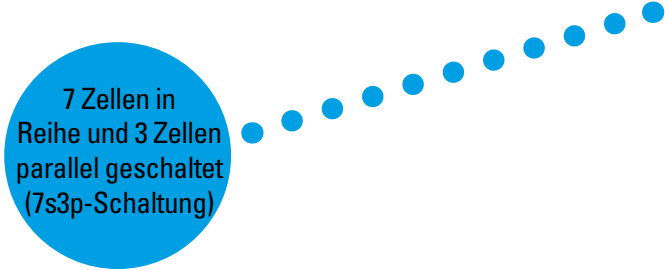
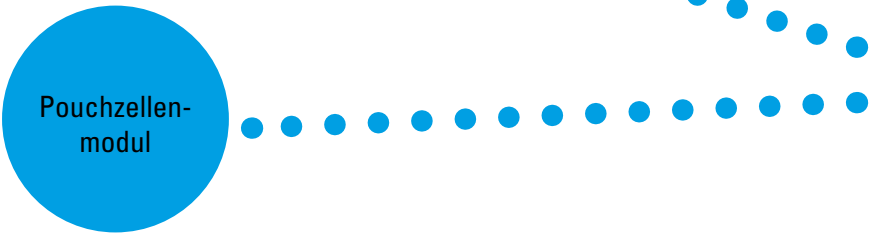
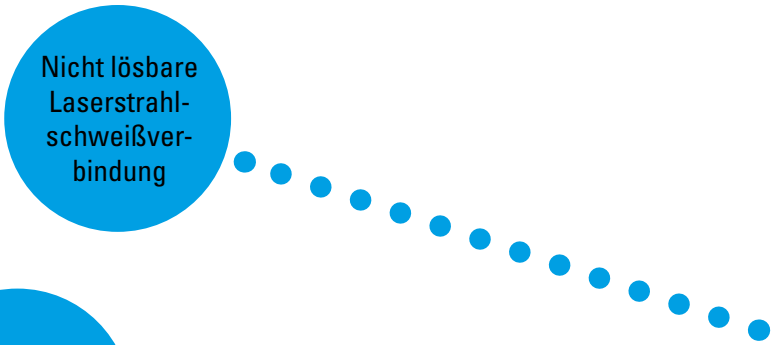
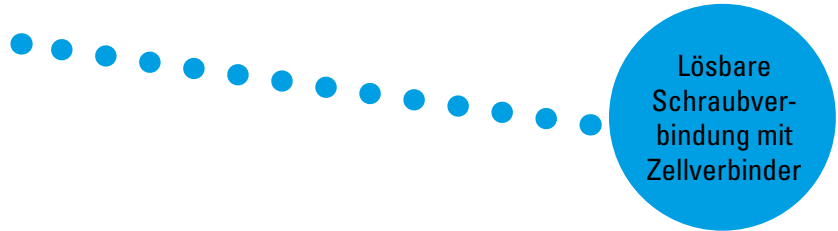
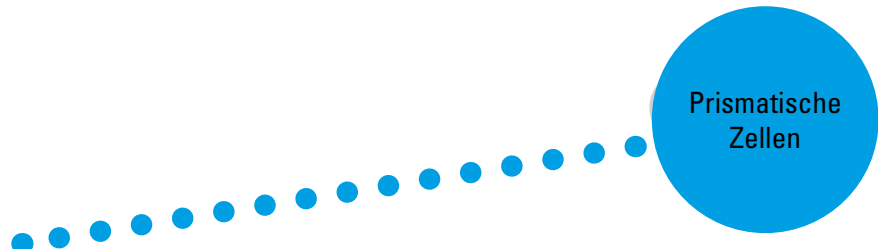
Aufgrund der zunehmenden Elektrifizierung von Fahrzeugen gewinnt die Batteriezellenforschung und -produktion an Bedeutung und der Bedarf an leistungsfähigen Energiespeichersystemen steigt. Für die Konzeption und den Aufbau von Batteriesystemen und -modulen werden derzeit Zelltypen verschiedener Bauarten eingesetzt. Im Vordergrund stehen hierbei prismatische Zellen, Rundzellen und sogenannte Pouch-Zellen.

In Abhängigkeit des Anwendungsfalls, des Zelltyps und dessen Spezifikation und des zur Verfügung stehenden Bauraums ergeben sich unterschiedliche Herausforderungen bei der Konzeption und dem Aufbau von Batteriesystemen.

Eine der Herausforderungen stellt hierbei die Fügetechnik auf verschiedenen Aufbauebene dar. Angefangen auf der Zellebene werden beim Verschalten der Zellen, unabhängig vom Zelltyp, hohe Anforderungen an die Fügetechnologie hinsichtlich Prozessstabilität und Zuverlässigkeit der Fügeverbindung gestellt. Hierbei haben neben den elektrischen Eigenschaften der Verbindung auch die mechanischen und thermischen Eigenschaften einen hohen Stellenwert.

Auf modularer Ebene, d. h. beim Fügen der Zellen zu einem Modul, spielt die Fügetechnik unter Berücksichtigung der Aspekte wie sichere Aufnahme der Zellen, die Anordnung dieser und die geometrische Flexibilität eine tragende Rolle. Auf Gesamsystemebene werden die zu Modulen zusammengefassten Zellen anschließend in ein Gehäuse gefügt und somit zu einem Energiespeichersystem zusammengeführt. Aus diesem Grund ist die Fügetechnik über dem gesamten Verlauf der Batterieherstellung, angefangen bei der Konzeption bis hin zur Fertigstellung, von hoher Bedeutung und die Auswahl der optimalen bzw. der geeigneten fügetechnischen Verfahren von einer Vielzahl von Faktoren abhängig.

Im Rahmen des Vorhabens „Kompetenzzentrum eMobility“ konzentrieren sich die Aufgaben des Lehrstuhls für Fügetechnik auf den Vergleich fügetechnischer Verfahren zur modularen Fertigung von Batterien. Ziel der Untersuchungen ist ein analysierender Vergleich unterschiedlicher Fügeverfahren, die Identifizierung der optimalen Fügetechnik für die jeweiligen Aufbaustufen und die prototypische Umsetzung eines Energiespeichersystems. Die Auswahl der Verfahren erfolgt dabei unter dem Aspekt der erhöhten Instandsetzungsfähigkeit und Wartungsfreundlichkeit für den Fall des Kapazitätsverlustes oder gar dem Ausfall einer oder mehrerer Zellen.





# Thermo- und Energiemanagement in Elektrofahrzeugen

Eine Herausforderung bei der Konzeption von Elektrofahrzeugen ist die Beheizung und Kühlung der wesentlichen Komponenten in Elektrofahrzeugen sowie die Implementierung dieser Komponenten in ein energetisch zu optimierendes Gesamtkonzept. Hierbei zu nennen sind die Batterie, die Leistungselektronik, die Motoren und der Fahrgastraum. Eine Zielgröße dieser Optimierung liegt in der Gewährleistung einer Reichweitesicherheit unter winterlichen Bedingungen.

Als maßgebliche Komponente kann hierbei die Traktionsbatterie gelten, da für diese, abhängig von der Zellchemie, zum Teil sehr begrenzte Temperaturbereiche für den Betrieb, d. h. das Laden und Entladen sowie die Lagerung, nutzbar sind. Sowohl sind die absoluten Temperaturen nach oben und unten limitiert als auch die Temperaturgradienten innerhalb einer Zelle. Zur Erzielung einer möglichst homogenen Temperaturverteilung wurden für die drei grundlegenden Zelltypen: Prisma, Zylinder und Beutel (Pouch), Konditionierkonzepte erarbeitet und mittels Finiter-Elemente-Modellierung ausgelegt und getestet. Für ein auf Beutelzellen aufbauendes Batteriemodul wurde ein Konditionierkonzept entwickelt, welches auf der guten Wärmeleitfähigkeit von Metallen beruht. Die korrekte Dimensionierung von leitfähigen Platten zur Isolierung zur Zelle trägt im Wesentlichen zur homogenen Temperaturverteilung in der Tiefe des Batteriemoduls bei. Im Ergebnis konnte der experimentelle Nachweis der Funktionalität des Konditionierkonzeptes erbracht werden.

Für zylindrische Zellen wurde eine direkte Fluidkühlung untersucht und im Ergebnis Modelle zur gekoppelten Simulation des Wärme- und Stofftransportes entwickelt und damit das Verhalten unterschiedlicher Modulkonfigurationen modelliert.

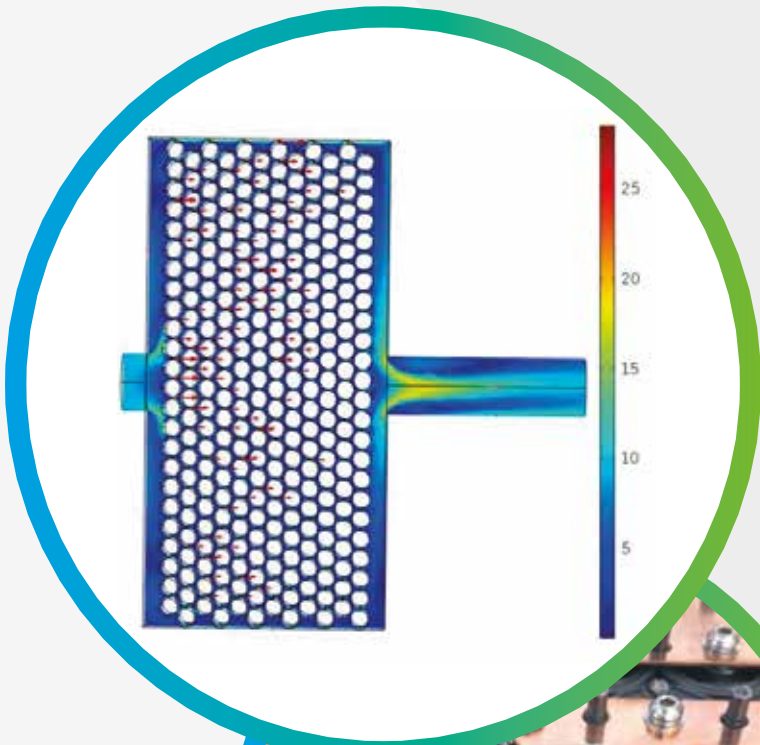
Weiterhin beschäftigte sich der Arbeitsbereich mit der Auslegung der notwendigen Heiz- und Kühlleistungen und den dafür zugrundeliegenden Lasten. Als Werkzeug hierfür kommt die Software Matlab-Simulink-Simscape zum Einsatz, da sich hier in einer nulldimensionalen Umgebung die thermischen Modelle der einzelnen Fahrzeugkomponenten gut verknüpfen und das resultierende Gesamtverhalten des Systems bei variierenden Randbedingungen gut berechnen lassen.

Als Modellfahrzeug konnte hierbei ein vom Editha Team entwickelter E-Hybrid Krankentransporter genutzt werden, da zum einen der Fahrzeugaufbau bekannt ist und zudem die Randbedingungen des Betriebes reguliert sind. Mittels des thermischen Gesamtmodells wurden die notwendigen Heiz- und Kühlsysteme ausgelegt und zudem die Auswirkung von Dämmmaßnahmen und Rekuperationssystemen auf den Energieverbrauch zur thermischen Konditionierung untersucht.

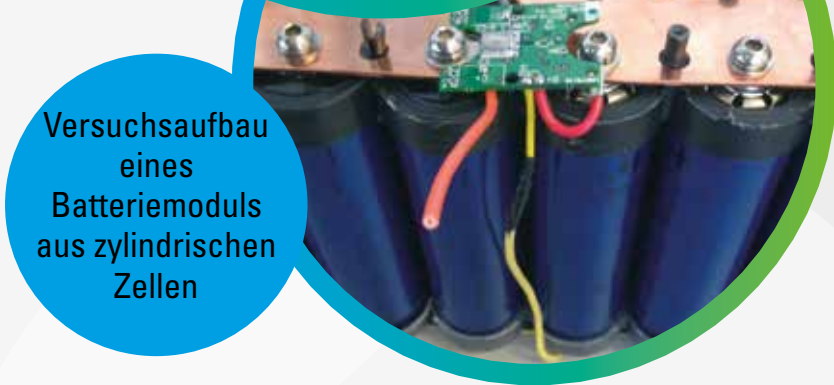
Dr.-Ing. Jörg Sauerhering  
Prof. Dr.-Ing. Frank Beyrau  
Lehrstuhl für Technische Thermodynamik

Modell eines  
fluidgekühlten  
Batteriemoduls aus  
zylindrischen  
Zellen

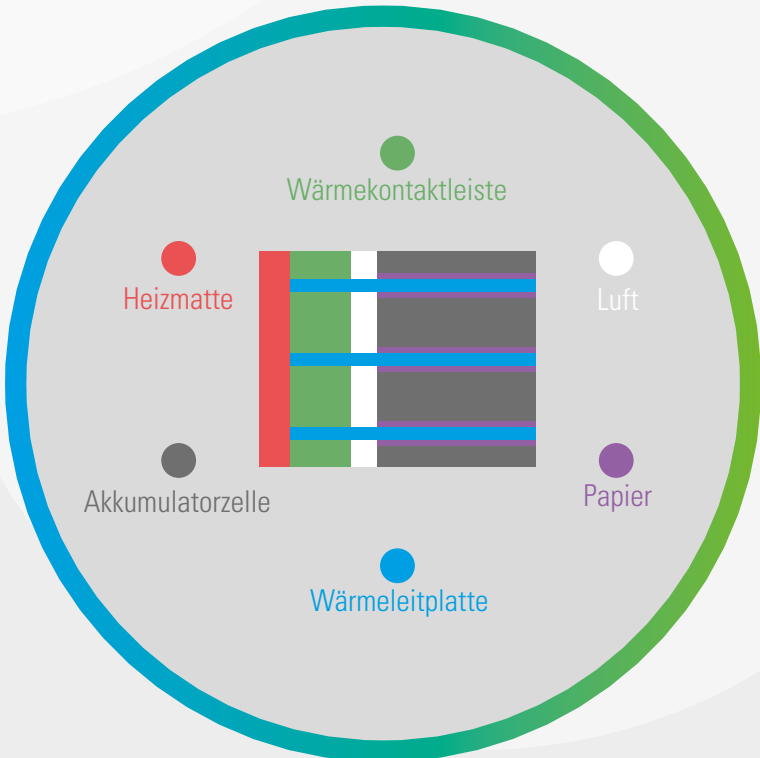
Schematischer  
Aufbau eines Batterie-  
moduls aus Pouchzellen  
mit implementierter  
volumetrischer  
Heiz- und  
Kühlmöglichkeit



Versuchsaufbau eines Batteriemoduls aus Pouchzellen (Ansicht von oben und unten)



Versuchsaufbau eines Batteriemoduls aus zylindrischen Zellen



## Partner für Elektromobilitätsprojekte



Bild oben: Team DEKRA Leipzig, car systems Scheil GmbH & Co. KG und Universität Magdeburg sowie DEKRA Schulungsteilnehmer

Bild unten: Einzelradantrieb mit zwei achsnah verbauten Motoren

## Sicherheit für Elektrofahrzeuge

Der Elektromobilität gehört die Zukunft. Die Gründe dafür sind zahlreich, im Mittelpunkt für die DEKRA steht das Schonen von Umweltressourcen sowie Sauberkeit und Nachhaltigkeit. Längst hat Elektromobilität auf dem Markt Einzug gehalten und immer mehr Menschen steigen auf den umweltfreundlichen Fahrzeugantrieb um.

Die DEKRA ist der richtige Ansprechpartner rund um das Thema Elektromobilität. In umfangreichen Untersuchungen mit Crash-Tests prüfen wir die Fahrzeuge mit Elektro- oder Hybridantrieb auf Sicherheit. Dabei können unsere DEKRA Experten auf modernste Labore sowie Prüf- und Messstrecken zurückgreifen. Unsere umfangreiche Erfahrung von jährlich 20 Mio. Fahrzeugprüfungen in Europa und 12 Mio. in Deutschland zeichnen uns aus.

Die Kooperation zwischen der DEKRA Niederlassung Leipzig und der Magdeburger Universität startete bereits 2011 mit dem ersten elektromobilen Projekt, der Umrüstung eines Smarts zum Elektrosmart Editha. Alle universitären Entwicklungen wurden in Zusammenarbeit von der DEKRA Leipzig begleitet und begutachtet.

Die Abnahme der Fahrzeuge erfolgte in einer begleitenden Prüfung in bestimmten Stufen von der Konzeption bis zur Fertigstellung. Im Gegenzug stellte die Universität ihre elektromobilen Forschungsfahrzeuge der DEKRA für ihre Schulungsmaßnahmen in der Sachverständigenweiterbildung zur Verfügung. Die Fahrzeuge haben für den Einsatz zu Schulungszwecken den großen Vorteil, dass die verbaute Technik gut zugänglich und sichtbar ist.



DEKRA Automobil GmbH • Niederlassung Leipzig • Torgauer Straße 23  
04347 Leipzig • Telefon: +49 (0) 341 25939-0 • Internet: [www.dekra.de](http://www.dekra.de)



# Alltagstauglichkeit von elektromobilen Prototypen – Teilnahme an der WAVE Trophy 2018 und 2019



Der ideale Test für die technische Entwicklungsarbeit von Elektromobilen ist ein realer Einsatz unter extremen Bedingungen. Daher nahm das Editha-Team 2018 und 2019 an der WAVE Trophy – World Advanced Vehicle Expedition, der weltweit größten rollenden Elektromobilitätsveranstaltung, teil.

2018 führte die Route quer durch Österreich. Es wurden 40 Etappenorte angefahren und über 1.800 km zurückgelegt. Die Route 2019 ging über 1.600 km durch Deutschland von Dortmund nach Erlangen.

Im Mittelpunkt beider Teilnahmen stand die Erprobung der Alltagstauglichkeit des Prototypen eZTR – ein dreirädriges Leichtkraftfahrzeug, 2018 straßenzugelassen. Im Teilnehmerfeld der WAVE war der eZTR eines der wenigen prototypischen Fahrzeuge und ermöglichte daher eine breite mediale Wirkung.

Als zweites Fahrzeug kam ein eGolf zum Einsatz, der vor allem für die Bekanntmachung des interdisziplinären Studiengangs Elektromobilität an der Otto-von-Guericke-Universität startete.

Auf der WAVE 2018 war insbesondere die Streckenführung durch Österreich sehr anspruchsvoll und fordernd für das E-Drive-System:

- Belastung durch Anstieg und Gefälle von bis zu 20 %
- Batterieverhalten bei schnellem Wechsel zwischen Fahr- und Ladezyklus bei Etappen bis zu 350 km
- Fahreigenschaften bei unterschiedlichen Witterungs- und Fahrbahnbedingungen
- Erprobung von 1- bis 3-phasigem Ladebetrieb.

Nach der erfolgreichen WAVE Teilnahme 2018 wurde der Prototyp eZTR für die Erprobungstour 2019 erheblich technisch aufgerüstet und erfolgreich getestet:

- Verdopplung der Reichweite durch neue Zelltechnologie und neues Packaging
- Reduzierung der Ladezeit auf ein Drittel
- Steigerung der Systemrechenleistung zur Erweiterung und Einbindung von Fahrfunktionen und Assistenzsystemen
- Integration von Datenmonitoring und -logging.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Eigenfahrzeugentwicklung eZTR den gestellten Anforderungen gewachsen war. Die auf der WAVE Trophy gewonnenen Erfahrungen werden in die zukünftige Elektromobilitätsforschung sowie in geplante Fahrzeugentwicklungen einfließen.



# WAVE Trophy Österreich 2018



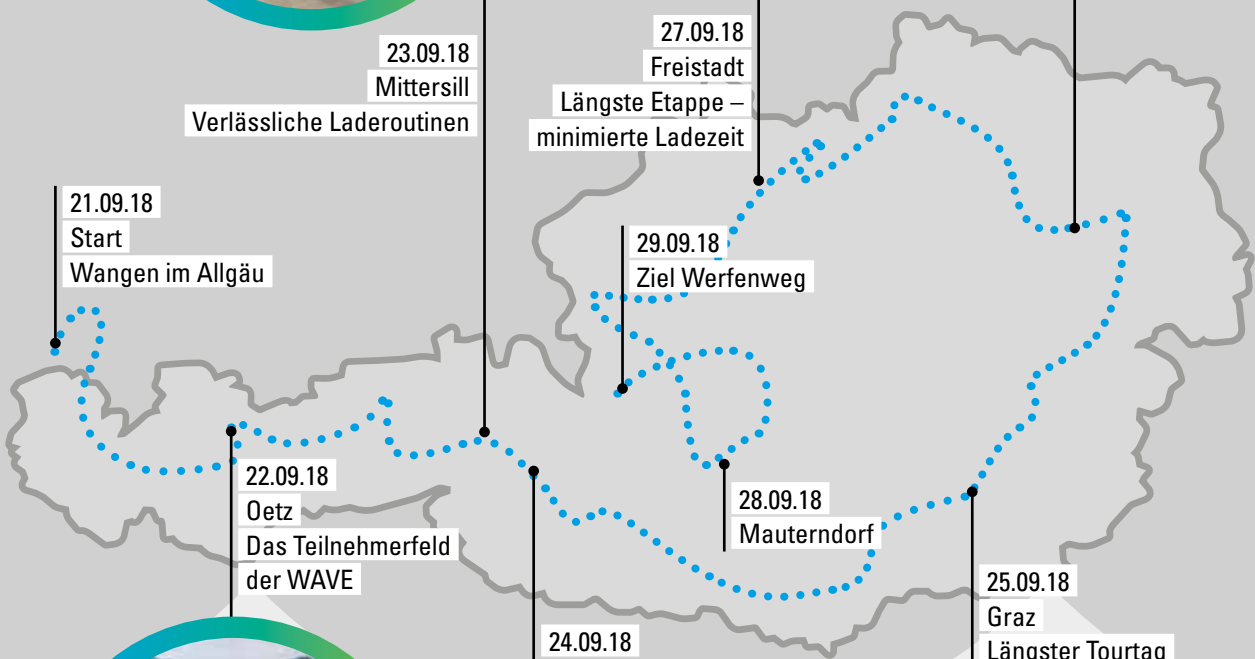
23.09.18  
Mittersill  
Verlässliche Laderoutinen



27.09.18  
Freistadt  
Längste Etappe –  
minimierte Ladezeit



26.09.18  
Wien  
Der eZTR im  
Rampenlicht



# WAVE Trophy Deutschland 2019



14.09.19  
Sinzig  
Moselweinregion



19.09.19  
Ulm, Isny  
Tourhighlight  
Deutsche  
Alpenstraße

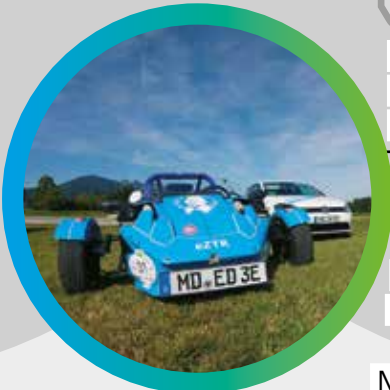
13.09.19  
Start Dortmund

21.09.19  
Ziel Erlangen

15.09.19  
Mannheim  
Route durch die Vulkaneifel



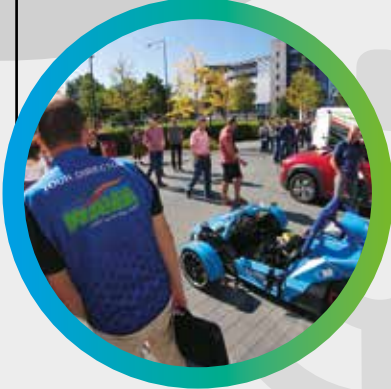
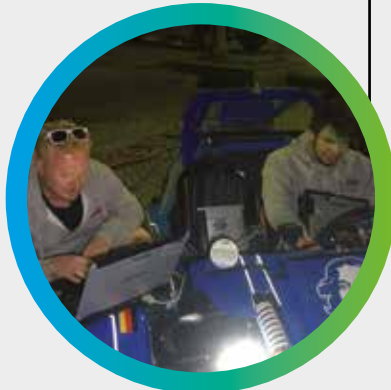
20.09.19  
Ammersee  
Augsburg längste Etappe



16.09.19  
Kirchzarten Start  
in den Alpenanstieg

18.09.19  
Heilbronn/Stuttgart  
Netzwerken bei Automobilzulieferern

17.09.19  
Friedrichshafen  
Auswertung der  
technischen  
Neuerungen 2019



## Elektromobile Entwicklungen



eZTR Elektro-Roadster  
Basisfahrzeug: Dreirädriges Leichtkraftfahrzeug Klasse L5  
(Straßenzulassung 2018)

Höchst-  
geschwindigkeit  
ca. 110 km/h

Reichweite  
ca. 180 km

Energieverbrauch  
ca. 6,5 kWh/100 km

Antriebsleistung  
17 kW

Batteriekapazität:  
13,5 kWh  
1120 NCM Batterien  
Systemspannung:  
103 V



## Elektromobile Entwicklungen



E-Drive-Modul  
achsverzweigter Hybridantrieb  
Basisfahrzeug: Ford Transit –  
Ausbau: Krankentransportwagen  
(Entwicklung 2018)

Höchstgeschwindigkeit  
elektrisch: 90 km/h  
Hybrid: nach  
Kundenwunsch/  
Einsatzzweck  
konfigurierbar

Elektrische  
Reichweite  
ca. 70 km

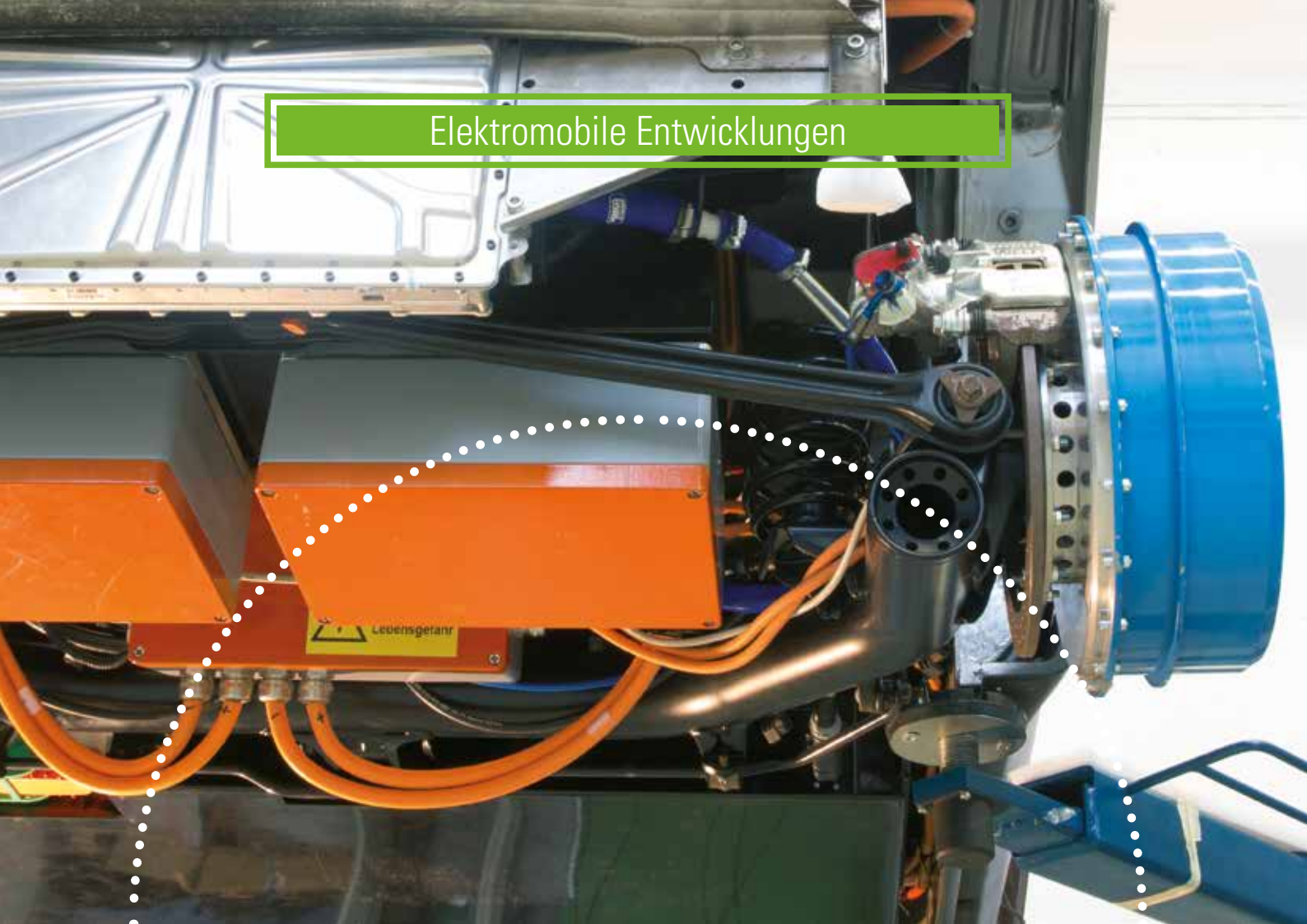
Energieverbrauch  
ca. 32 kWh/100 km

Elektrische  
Antriebsleistung  
60 kW

Batteriekapazität:  
26,6 kWh  
96 NCM Batterien  
Systemspannung:  
355 V



## Elektromobile Entwicklungen



Editha 3.0  
Radnabenmotoren an der Hinterachse  
Basisfahrzeug: Smart Fortwo zweite Generation  
(Entwicklung 2017)

Höchst-  
geschwindigkeit  
ca. 100 km/h

Reichweite  
ca. 160 km

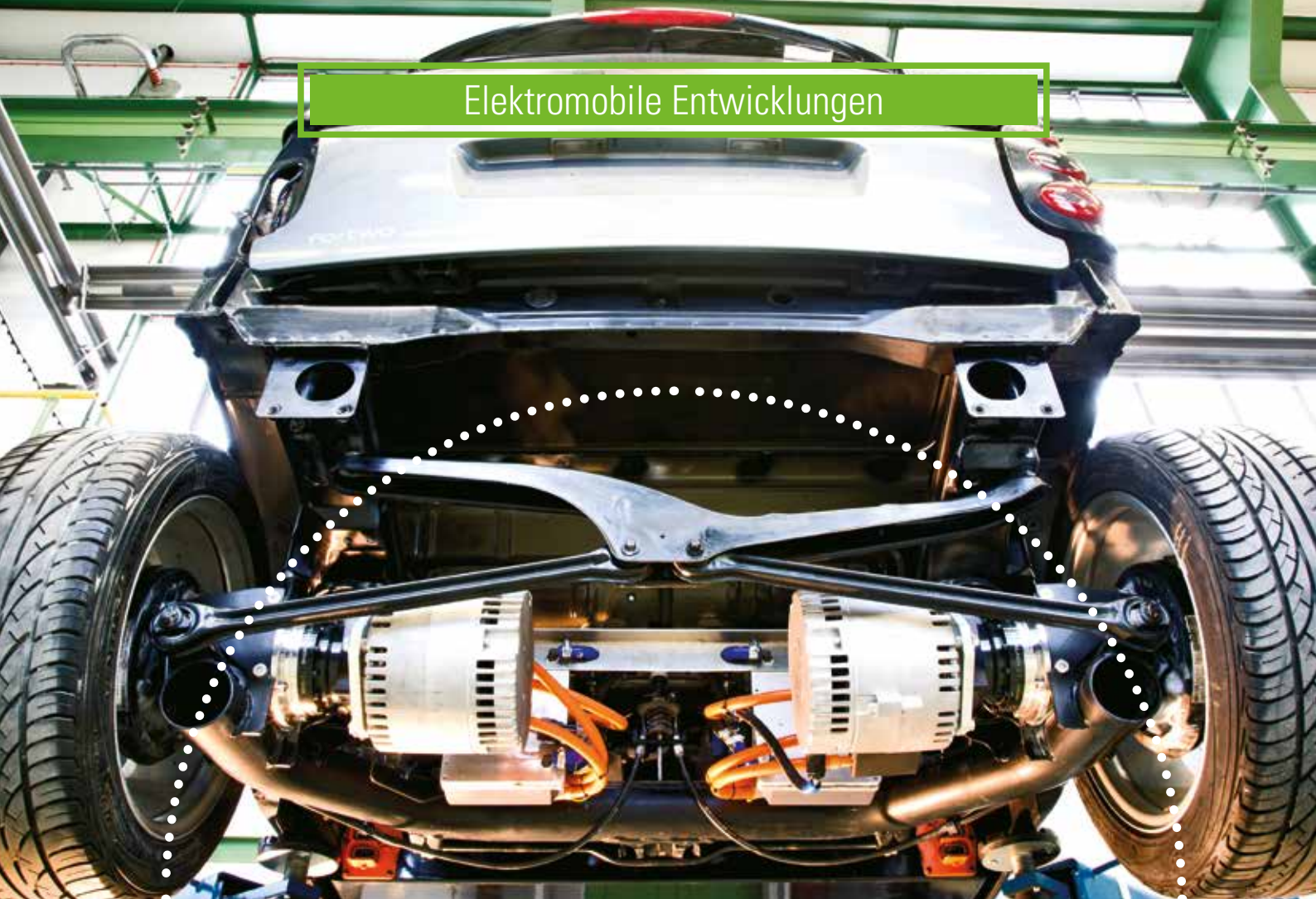
Energieverbrauch  
ca. 12 kWh/100 km

Antriebsleistung  
40 kW

Batteriekapazität:  
19,6 kWh  
512 LiFePo Batterien  
Systemspannung:  
409 V



## Elektromobile Entwicklungen



Editha 2.0  
radnahe Antriebe an der Hinterachse  
Basisfahrzeug: Smart Fortwo zweite Generation  
(Entwicklung 2014)

Höchst-  
geschwindigkeit  
ca. 110 km/h

Reichweite  
ca. 80 km

Energieverbrauch  
ca. 12 kWh/100 km

Antriebsleistung  
24 kW

Batteriekapazität:  
10,7 kWh  
28 LiFePo Batterien  
Systemspannung:  
90 V



## Elektromobile Entwicklungen



EcoCarrier Modulträger  
On Board Range Extender  
Basisfahrzeug: EcoCarrier  
(Straßenzulassung 2013)

Höchst-  
geschwindigkeit  
ca. 90 km/h

Elektrische  
Reichweite  
ca. 100 km

Energieverbrauch  
ca. 22 kWh/100 km

Antriebsleistung  
15 kW

Batteriekapazität:  
24 kWh  
27 LiFePo Batterien  
Systemspannung:  
86 V





# Elektromobile Entwicklungen



## Funktionsprototyp Nachlauf Range Extender (Entwicklung 2013)

2 Zylinder  
luftgekühlter  
Verbrennungs-  
motor

Systemgewicht  
130 kg

SoC gesteuert  
mit Freigabe vom  
Fahrer

Eingebunden  
in den Fahrzeug  
CAN-Bus

Elektrische  
Leistung 10 kW  
in die Batterie



## Elektromobile Entwicklungen



### Editha 1.0

Eigenständiges Antriebssystem mit  
zwei radnah verbauten Motoren  
Basisfahrzeug: Smart erste Generation  
(Straßenzulassung 2012)

Höchst-  
geschwindigkeit  
ca. 100 km/h

Reichweite  
ca. 130 km

Energieverbrauch  
ca. 12 kWh/100 km

Antriebsleistung  
20 kW

Batteriekapazität:  
15,6 kWh  
54 LiFePo Batterien  
Systemspannung:  
86 V



## Die Arbeiten erfolgten innerhalb der Elektromobilitätsprojekte:

### Kompetenzzentrum eMobility (KeM)

(Projektlaufzeit: 2019–2021)

Forschungsbereich „Gesamtfahrzeug“



EUROPÄISCHE UNION  
**EFRE**  
Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung

### COmpetence in MObility (COMO III)

(Projektlaufzeit: 2016–2018)

Teilprojekt „Gesamtfahrzeug und spezifische Anwendungsfälle“



EUROPÄISCHE UNION  
**EFRE**  
Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung

### Modulare Leichtbaukomponenten für Emobilitätslösungen (ELISA)

(Projektlaufzeit: 2012–2015)

Arbeitspaket 4 „Versuchsplattform für Betriebsstrategien zum Betreiben von Range Extendern / EMobility“



EUROPÄISCHE UNION  
**EFRE**  
Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung

### Umbau eines konventionellen Smarts zum straßen zugelassenen Elektrofahrzeug Editha 1.0

(Projektlaufzeit: 2011–2012)

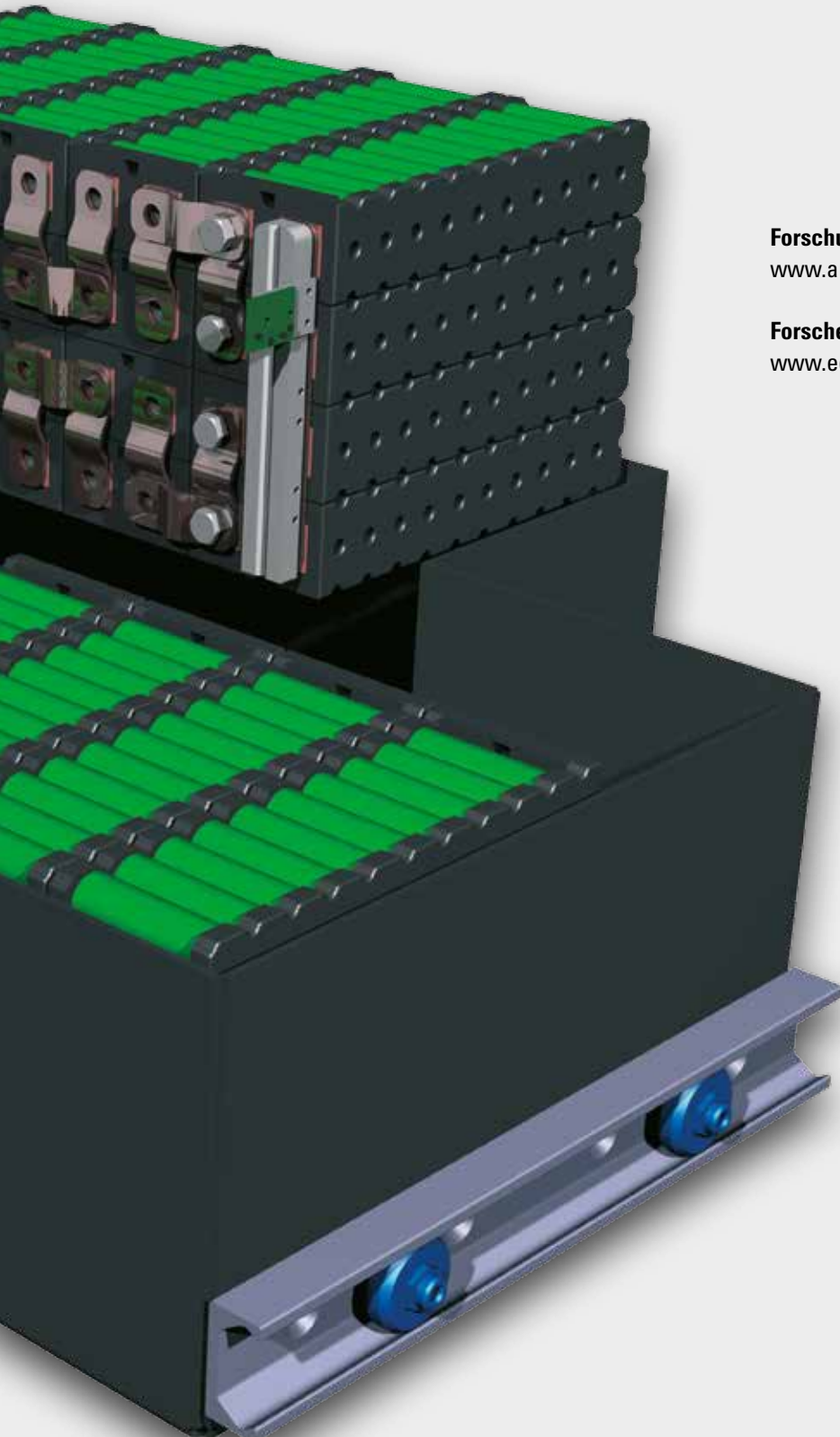
Projekt: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

#### Impressum

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Forschungs- und Transferschwerpunkt Automotive  
[www.automotive.ovgu.de](http://www.automotive.ovgu.de)  
Forschergruppe Elektromobilität „Editha“  
[www.editha.eu](http://www.editha.eu)  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg

#### Bildquellen

Ambulanz Mobile GmbH & Co. KG  
DEKRA Automobil GmbH  
GENIUS Entwicklungs GmbH  
MRS Electronic GmbH & Co. KG  
Niklas Rehsöft, Masterarbeit OvG-Universität Magdeburg  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg



**Forschungs- und Transferschwerpunkt Automotive**  
[www.automotive.ovgu.de](http://www.automotive.ovgu.de)

**Forscherguppe Elektromobilität EDITHA**  
[www.editha.eu](http://www.editha.eu)