

Whitepaper

**Querschnittsthemen und Empfehlungen  
aus der F&E Roadmap des eNOVA Strategiekreises Elektromobilität**

Version 1.5

5. August 2013

## 1. Einleitung

Für die Elektromobilität erfinden wir das Automobil neu. An diese Aufgabe knüpfen sich hohe Erwartungen und zugleich eine große Begeisterung. Wenn sich Industrie, Wissenschaft und Politik nicht sorgfältig abstimmen, drohen Reibungsverluste und Verzögerungen - die wir uns angesichts der rasch wachsenden internationalen Konkurrenz nicht leisten können.

Industrie, Wissenschaft und Politik müssen sich daher auf klare Ziele verständigen, insbesondere bei der Förderung von Forschung, Entwicklung und Erprobung der Elektromobilität; aber auch bei Anreizen auf der Produktions- und Nachfrageseite sowie bei dem begleitenden ordnungsrechtlichen Rahmen.

Der eNOVA Strategiekreis Elektromobilität hat zu diesem Zweck eine F&E-Roadmap aufgestellt und entwickelt diese stetig weiter. Im vorliegenden Papier werden daraus Querschnittsthemen abgeleitet und als Schwerpunkte künftiger Fördermittelausschreibungen empfohlen.

## 2. F&E-Roadmap des eNOVA Strategiekreises

Die F&E Roadmap des eNOVA Strategiekreises geht von der Frage aus, was das Alleinstellungsmerkmal des Elektrofahrzeugs aus Deutschland sein kann. Die Partner des eNOVA Strategiekreises Elektromobilität sind sich sicher, dass es dieselben Attribute sind, die schon heute weltweit an Autos deutscher Hersteller geschätzt werden: Leistung, Effizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit.

Beim Elektrofahrzeug erfordert dies eine grundlegende Neukonzeption aller Komponenten für Energiespeicherung, Antrieb und Netzanbindung, die vom Leichtbau bis zur informationstechnischen Steuerung reicht. Sie muss ergänzt werden um ein optimiertes Zusammenspiel im Gesamtsystem sowie höchst effektive Schnittstellen zum Stromnetz.

Die nach Auffassung der Mitglieder des eNOVA Strategiekreises Elektromobilität zu erbringenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten oder Innovationsaufgaben liegen im Wesentlichen in zehn technischen Themenfeldern:

- **Antriebstechnologie**
- **Produktionstechnologie**
- **Fahrzeugtechnik & Verbrauchsoptimierung**
- **Leichtbau**
- **E/E-Architektur**
- **Sicherheit, Betriebsfestigkeit und Zuverlässigkeit**
- **Energiespeicher**
- **Werkstoffe und Recycling**
- **Infrastrukturanbindung**
- **Fahrerassistenz**

Der eNOVA Strategiekreis Elektromobilität beschreibt in seiner Roadmap die Zwischenziele auf dem Weg von der Entwicklung des Gesamtsystems Elektrofahrzeug über die Etablierung Deutschlands als Leitanbieter bis zur möglichen Verstetigung der Technologieführerschaft anhand von drei Meilensteinen für die Jahre 2015, 2020 und 2025:

**„2015“: Serientaugliche und nutzerfreundliche Konzepte für Elektrofahrzeuge**

**„2020“: Effiziente, robuste und zuverlässige Elektrofahrzeuge für den Massenmarkt**

**„2025“: Innovative Technologien für das Gesamtsystem Elektromobilität**

### **3. Querschnittsthemen**

In den vergangenen Jahren wurden viele der Themen der eNOVA Roadmap in kohärenter und komplementärer Form in F&E-Projekten umgesetzt. In allen Themenbereichen wurden dabei wichtige Ergebnisse erzielt. Die Erreichung der Meilensteine „2015“, „2020“ und „2025“ erfordert jedoch die Kombination und Integration von F&E-Ergebnissen aus verschiedenen Technologiefeldern in Anwendungen. Die aufeinander abgestimmten, eigenständigen Themenbereiche der F&E-Roadmap müssen daher weiterentwickelt werden. Der eNOVA-Strategiekreis Elektromobilität hat dazu Querschnittsthemen definiert, die die einzelnen Technologieentwicklungen in anwendungsspezifischen oder übergeordneten Zusammenhängen erfassen. Dies sind:

- **Noise Vibration Harshness / Robustheit**
- **Elektromagnetische Verträglichkeit / Funktionale Sicherheit**
- **Modularisierung**
- **Energieeffizienz / Wirkungsgrad**
- **Systemintegration (intern/extern)**

Diese aus der F&E-Roadmap abgeleiteten Querschnittsthemen stellen die fokussierten und aktuellen Forschungsprioritäten aus Sicht des eNOVA Strategiekreises Elektromobilität dar. Es wird daher empfohlen, diese Themen als Schwerpunkte von Fördermittelausschreibungen zu wählen. Im Folgenden werden die Querschnittsthemen in der F&E-Roadmap verortet (Abbildung 1) und jeweils in verschiedenen Handlungsfeldern weiter ausgeführt.

Querschnittsthemen											
NVH / Robustheit	●				●	●				●	
EMV / Funktionale Sicherheit	●			●	●	●	●	●	●	●	●
Modularisierung	●	●	●	●	●	●	●	●		●	
Energieeffizienz/Wirkungsgrad	●		●	●	●	●	●	●	●		
Systemintegration (int./ext.)	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●
eNOVA Roadmap Themen	Antriebs- technologie	Produktions- technologie	Fahrzeugtechnik Verbrauchsoptim.	E/E Architektur	Energie- speicher	Leichtbau	Werkstoffe und Recycling	Fahrerassistenz spez. E-Mobility	Sicherheit, Betriebs- festigkeit, Zuverl.	Anbindung an Infrastruktur	

Abb. 1: Zusammenhang der Querschnittsthemen mit der eNOVA-Roadmap

### Noise Vibration Harshness (NVH) / Robustheit

Vibrationen im Fahrzeug können zu Belastungen von Strukturbauteilen führen, Geräusche ziehen oft Einschränkungen im Fahrkomfort nach sich. Das Querschnittsthema „Noise Vibration Harshness“ adressiert das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten des Elektrofahrzeugs sowie die kumulativen Eigenschaften des Gesamtsystems und betrachtet schwingungsbedingte Abhängigkeiten (z. B. Leistungselektronik – E-Maschine – mechanische Kraftübertragung). Ein Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung von Vibrationseffekten.

#### Handlungsfeld: Fahrzeug- und Gesamtsystemebene

- Aktive Strukturösungen zur Verbesserung der schwingungstechnischen Eigenschaften und zur Steigerung von Komfort und Minderung von Strukturlasten
  - Smarte (schaltbare, semi-aktive/adaptive), schwingungsoptimierte Lagerungen von Motoren und Aggregaten in elektrisch und hybrid angetriebenen Fahrzeugen
  - Geregelte Systeme zur (semi-)aktiven Dämpfung erhöhter, ungefederter Massen (Radnabenantriebe)
- Aktive Strukturösungen zur Verbesserung akustischer Eigenschaften
  - Akustisch aktivierte elastische Strukturbauteile und Oberflächen (Bsp. akustisch aktive Dachhimmel mittels elektroaktiver Elastomere – Dachhimmel als Lautsprecher)
  - Aktive Formadaption zur Tilgung störender akustischer Innenraummoden und Verbesserung der aeroakustischen Eigenschaften allgemein

#### Handlungsfeld: Bauteil- und Materialentwicklung

- Bestimmung hochfrequenter Material- und Bauteileigenschaften (1–6 kHz)
- Elektroaktive Elastomere
- Smarte adaptive Helmholtzresonatoren (>1500 Hz)

### Handlungsfeld: Methoden und Tools

- Methodenentwicklung hochfrequente Transferpfadanalyse
- Methodenentwicklung Quantifizierung von Schallquellen
- Stromformung an Elektroantrieben
- Wirkmechanismus zur Geräuschenstehung in E-Motoren
- Störgeräuschfreies Design von Elektromotoren
- Sound Quality Design

### **Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) / Funktionale Sicherheit**

Im Antriebsstrang von Elektrofahrzeugen treten hohe Ströme und Spannungen auf, die bei fehlender Abschirmung Nutzer gefährden und Bordelektronik stören können. Das Querschnittsthema „Elektromagnetische Verträglichkeit und Funktionale Sicherheit“ adressiert das Zusammenspiel dieser verschiedenen Teilsysteme und zielt auf eine Minimierung von Störungen und Störanfälligkeiten im Fahrzeug. Eine besondere Rolle bei der funktionalen Sicherheit spielt die Batterie, die auch bei Beschädigungen und Unfällen nicht zu einer Gefährdung der Nutzer führen darf. Zudem stellen die zusätzlichen Betriebsstunden beim Laden und Vorkonditionieren des Fahrzeugs erhöhte Anforderungen an das Design, die Auswahl und die Qualifikation der E/E-Komponenten und Leistungsmodule, um eine sichere und zuverlässige Funktion während der gesamten Lebensdauer zu gewährleisten. Die Anforderungen an die funktionale Sicherheit von Elektrofahrzeugen erstrecken sich darüber hinaus auch auf das thermische Verhalten, die Mechanik und die Hard- und Software.

### Handlungsfeld: Fahrzeug- und Gesamtsystemebene

- Sicherer Einsatz elektrischer Antriebe auf KFZ-Achsen und dazu passendes kostengünstiges und standardisierbares Betriebskonzept auf Antriebs- und Systemebene
- Designregeln für die Entkopplung von Hochvoltsystem und konventionellem Bordnetz und Vorbereitung 48 Volt-Bordnetz / HV-Bordnetz
- Umsetzung eines ganzheitlichen Modellansatzes unter Nutzung von Multi-Physik-Ansätzen
- Adaption von funktionaler Sicherheit von Elektrofahrzeugen im gewerblichen Bereich und bei Zweirädern bzw. Sonderfahrzeugen
- Adaption von funktionaler Sicherheit für Gebrauchssicherheit (Ausschluss von Risiken bei korrekter technischer Funktion)
- Berücksichtigung anderer technischer Risiken, z.B. Überspannung, thermische, chemische und mechanische Einflüsse.
- Funktionale Sicherheit bei der Fahrzeug-Haus-Interaktion (Smart Grid)

### Handlungsfeld: Bauteil- und Materialentwicklung

- Anforderungen an die Teilmodelle am Beispiel Antriebsmotor / Konverter
  - Elektro-Thermische Modellierung
  - Mechanisches Verhalten (Trägheit etc.)
  - Betriebsstrategien
  - Abbildung der Feldabstrahlung
  - Abbilden des Verhaltens bei Feldeinkopplung durch andere Komponenten und deren Wechselwirkung
  - Funktionale Sicherheit auf Ebene der Hard- und Software

- Leichtbau-Materialien und Konzepte für die elektromagnetische Schirmung
- störungsarme Leistungselektronik und Leistungsmodule
- störfeste Mikrocontroller, Kommunikationselektronik und Sensoren
- sichere Batteriekonzepte (mechanische Stabilität gegen Unfalleinwirkungen, Kühlung, neue Elektrolyte zur Verhinderung von Kurzschlüssen)
- Flammenschutz

#### Handlungsfeld: Methoden und Tools

- Optimierung der Prüfanforderungen zur Lebensdauerabsicherung von E/E-Komponenten für den Einsatz in Fahrzeugen mit alternativen Antrieben.
- Qualifikation und Lebensdauerabsicherung von Leistungsmodulen für den Einsatz im Elektrofahrzeug.
- Optimierung und Standardisierung von Systementwicklungskompetenzen als Grundlage von Funktionaler Sicherheit
  - Methodenentwicklung
  - Modellbasierte Entwicklung und Implementierung der Methoden
  - Optimierung von Werkzeugen und Schnittstellen in den Entwicklungsprozessen zum Ausschluss systematischer Fehler und zur Sicherung von Verlässlichkeit
- Entwicklung von Simulations- und Modellierungstools zur Analyse, Prognose und Bewertung von Fehlerursachen (elektromagnetische Interferenzen, kritische chemische Effekte in der Batterie, Ausfall von Komponenten)
- Strukturierte Analyse der Gebrauchssicherheit „neuer“ Funktionen

#### Handlungsfeld: Normung und Standardisierung

- spezifische EMV-Anforderungen für Elektrofahrzeuge (Messverfahren und Grenzwerte)

### **Modularisierung**

In der Elektromobilität bietet intelligente Modularisierung die Chance, verschiedene Nutzeranforderungen zu erfüllen und skalierbare technische Lösungen zu entwickeln. Modulare Antriebsstränge können als Plattformen für viele unterschiedliche Fahrzeugklassen dienen. Die installierte Leistung ist skalierbar, sodass durch Ersetzen oder Hinzufügen von E-Maschinen im elektrischen Antriebsstrang die Erfordernisse passgenau erfüllt werden. Durch Modularisierung der Energiespeicher kann auch die Reichweite leicht angepasst werden. Antriebskonzepte mit mehreren E-Maschinen bieten zudem neue Möglichkeiten in Bezug auf Fahrkomfort und Dynamik, beispielsweise durch Steuern des Drehmoments der einzelnen Motoren. Auch elektronische Differentialgetriebe und fahrdynamische Eigenschaften wie Torque Vectoring lassen sich so realisieren. Die Modularisierung stellt Fahrzeughersteller und Zulieferer allerdings auch vor neue technische Herausforderungen, die nur durch verstärkte Forschung und Entwicklung sowie Standardisierung zu lösen sind.

#### Handlungsfeld: Fahrzeug- und Gesamtsystemebene

- neue Fahrzeugstrukturen zur Unterstützung der Modularisierung
- skalierbare Konzepte für den Antriebsstrang
- modulare Getriebe für Verbrenner bis Hybrid
- Gesamtarchitektur und Schnittstellen für Elektrik, Elektronik, Kühlung und Daten

#### Handlungsfeld: Bauteil- und Materialentwicklung

- Integration von Leistungselektronik in andere Komponenten (DC/DC-Wandler in Akku-Modul, Wechselrichter in Motor)
- Integration von Entwärmung

#### Handlungsfeld: Methoden und Tools

- Neue und kostenoptimierte Fertigungs- und Montageverfahren
- Simulationsmethoden zur Bewertung der Lebensdauer von modularisierten Systemen

#### Handlungsfeld: Normung und Standardisierung

- Definition von Standards für einzelne Komponenten mit dem Ziel maximaler Kompatibilität (Abmessungen, elektrische Spezifikation, mechanische Anbindung, Schnittstellen)

### **Energieeffizienz / Wirkungsgrad**

Ein Schlüsselthema der Elektromobilität ist die Erhöhung der Reichweite von Elektrofahrzeugen. Die Reduzierung der Verluste in den Komponenten des Antriebsstrangs (E-Maschine, Getriebe, Leistungselektronik) und im gesamten System leistet einen wesentlichen Beitrag dazu, die relativ begrenzte Reichweite, aber auch die Funktionalität zu verbessern.

#### Handlungsfeld: Fahrzeug- und Gesamtsystemebene

- Verbrauchsoptimiertes Gesamtkonzept der E/E-Architektur (Bordnetz, Steuergeräte, Funktionsverteilung)
- Rückgewinnung kinetischer und elektrischer Energie
- Erschließen der Potentiale zur Nutzung von Verlustwärme
- Optimierte Zwischenspeicherung der thermischen Energie
- Zeitliche Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch (neuartige Zwischenspeicher)
- Neue Konzepte für Wärmenutzung
- Modularisierung

#### Handlungsfeld: Bauteil- und Materialentwicklung

- integrierte energieeffiziente Komponenten und (wiederverwendbare) Module
- Materialkonzepte für integrierte Komponenten
- Verbesserte Wärmeabführung durch optimierte Kühlkonzepte
- Wärmerückgewinnung unter Beachtung der verschiedenen Temperaturniveaus und Leistungen
- Neue Leichtbaukonzepte

### **Systemintegration (intern / extern)**

Intelligente Systemintegration bietet die Möglichkeit, die Leistung, die Effizienz, die Sicherheit und den Komfort von Elektrofahrzeugen zu verbessern. Grundlage sind Konzepte zur Kombination von Energiespeichern, elektrischen Antrieben und Bremsen sowie elektronischen Steuerungen, die radikale Einschnitte bei Gewicht, Energieverbrauch und Kosten ermöglichen. Abgestimmte Verbindungswege für Energie und Informationen vom Elektrofahrzeug zur externen Infrastruktur sind notwendig, um die Leistungsfähigkeit und Bedarfe von Batterie und Elektronik, auf der anderen Seite aber auch die aktuelle Netzauslastung zu berücksichtigen.

#### Handlungsfeld: Fahrzeug- und Gesamtsystemebene

- Neue Netzwerktopologien in Hinblick auf Geschwindigkeit, Echtzeitverhalten, Zuverlässigkeit, Adressierbarkeit einzelner Module
- Dynamische Integration neuer Komponenten und Applikationen im Fahrzeug („Plug & Play“)
- Mechatronische Integration smarter Sensoren und Aktoren, kompakter Leistungselektronik und Motoren
- Flexible Integration neuer Sensoren zur Umweltwahrnehmung sowie entsprechende Plattformen
- Energierückgewinnung (z.B. Bremsen, Federung, Dämpfung)
- Temperaturmanagement der Fahrgastzelle
- Flüssigkeitsfreies Fahrzeug
- Verbrauch von Nebenaggregaten
- Reduktion der Entwicklungs- und Integrationszeiten
- Steigerung der Variantenvielfalt der Endprodukte und Systemoptimierung an erforderlichen Funktionsumfang und Anwendungsfall
- Gesamtarchitektur und Schnittstellen für Elektrik und Elektronik (zukunftsweisende E/E-Architekturen): an Commodity-Ansätzen orientierte Steuergeräte und Datenbusse, Ausfall- und Zugriffssicherheit, Effizienz, EMV, Leistungsfähigkeit, dynamische Änderbarkeit und dynamische Anpassung

#### Handlungsfeld: Bauteil- und Materialentwicklung

- Beherrschen zunehmender Komplexität durch Hochintegration von Komponenten
- Middleware, leistungsfähige Steuergeräte z.B. auf Multicore-Basis
- Modulare DC/DC-Wandler zur Verbindung der verschiedenen Spannungsebenen

#### Handlungsfeld: Methoden und Tools

- Neue Tools für Engineering, Verifikation und Validation im Hinblick auf effektivere und schnellere Fahrzeugintegration

#### Handlungsfeld: Normung und Standardisierung

- Reduktion der Anzahl unterschiedlicher Schnittstellen und ihre Standardisierung

#### Handlungsfeld: Infrastruktur

- Optimale Anbindung an Infrastruktur (z.B. schnelles, komfortables Laden (DC, induktiv), Microgrid, V2H)
- Integration von Fahrzeugen mit übergeordneten IKT-Systemen in Hinblick auf Navigation, Kollision, Smart Grid, Smart Traffic, Cloud, etc.

### **4. Wege der Umsetzung**

Die Mitglieder des eNOVA Strategiekreises Elektromobilität empfehlen, die Schwerpunkte der Förderung von F&E zur Elektromobilität an den Themen und Themenfeldern der an Meilensteinen orientierten und multidisziplinären Roadmap auszurichten. Insbesondere die notwendige Verknüpfung und Abstimmung der bereits erzielten F&E-Ergebnisse in den Bereichen der einzelnen F&E-Themenblöcke sollte im Hinblick auf die fortschreitende Marktein-

führung in den Fokus der Aktivitäten gerückt werden. Ein Schwerpunkt der künftigen Förderung von F&E zur Elektromobilität muss daher auf technologieübergreifenden Querschnittsthemen liegen. Die in diesem Papier definierten Querschnittsthemen stellen aus Sicht des eNOVA Strategiekreises Elektromobilität eine geeignete Basis dar.

Vorwettbewerbliche Forschung sollte dabei immer im Vordergrund stehen, denn nur mit einer ausgeprägten vorwettbewerblichen Forschung lässt sich der Vorsprung der deutschen Industrie durch Know-how langfristig absichern. Themen der industriellen Umsetzung, Erprobung und Marktvorbereitung sollten durchaus in Projekte oder Programme integriert werden. Es ist aber besonders darauf zu achten, dass sich der Zuschnitt von F&E-Budgets und Projekten am industriellen Bedarf und an Kriterien von Effizienz orientiert. Förderinstrumente wie die herkömmliche Verbundforschung haben sich in dieser Hinsicht in vielen Innovationsfeldern bewährt und sind daher auch bei der Elektromobilität das Mittel der Wahl. In Leuchtturmprojekten und Schaufenstern zur Elektromobilität können sie die Forschungsarbeit im Einzelnen strukturieren, während die aus der Roadmap entnommenen Ziele und Meilensteine einen gemeinsamen Rahmen bilden.

## **5. eNOVA**

Der eNOVA Strategiekreis Elektromobilität ist eine Allianz relevanter Industrieunternehmen aus den Schlüsselbranchen Automobil, Batterien, Halbleiterkomponenten, Elektrotechnik und Materialien für den Leichtbau. Er erarbeitet Empfehlungen für Programme der Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation im Bereich Elektromobilität und stimmt diese mit der Wissenschaft und einem erweiterten Kreis von Unternehmen ab. Er konzentriert sich dabei auf das Gesamtsystem Elektrofahrzeug und die Schnittstelle zur Netzinfrastruktur.

Dem eNOVA Strategiekreis Elektromobilität gehören die Unternehmen BMW, Daimler, Audi, Porsche, Bosch, Continental, Siemens, Hella, ZF, Infineon, NXP, Elmos, BASF und JohnsonControls als Partner an. Zum Kreis der assoziierten Partner zählen die Unternehmen Lennox und Heraeus.

### **Kontakt:**

Geschäftsstelle eNOVA Strategiekreis Elektromobilität bei der  
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH  
Steinplatz 1  
10623 Berlin

Dr. Gereon Meyer

[gereon.meyer@vdivde-it.de](mailto:gereon.meyer@vdivde-it.de)

Tel. 030/310078134

[www.strategiekreis-elektromobilitaet.de](http://www.strategiekreis-elektromobilitaet.de)