

# „e performance“

# N

Neben der kontinuierlichen Verbesserung der konventionellen Antriebe, können Hybrid- und Elektrofahrzeuge langfristig wesentlich dazu beitragen, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr deutlich zu verringern. Als Motivation für die Einführung neuer Technologien hat die Bundesregierung das Ziel festgelegt, Deutschland zu einem Leitmarkt für Elektromobilität zu machen und dabei bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf die Straßen zu bringen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert aus diesem Grunde das Verbundprojekt „e performance“ über drei Jahre mit 22 Millionen Euro. Unter Führung der Audi AG wollen Partner aus Industrie, Universitäten und Forschungseinrichtungen ein innovatives Systemkonzept für ein leistungsfähiges Elektroauto entwickeln. Zentrale Forschungspartner sind die Audi AG, die Audi Electronics Venture GmbH und die Robert Bosch GmbH sowie die RWTH-Institute für Kraftfahrzeuge (ika), für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) und für Elektrische Maschinen (IEM). Darüber hinaus ist eine enge Zusammenarbeit mit mittelständischen Unternehmen und weiteren Forschungseinrichtungen geplant. Hierzu gehört auch die Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka). Ziel ist es, Lösungsvorschläge in Form von realisierten Komponenten in einen Gesamtversuchsträger zu integrieren, um die Technologie Elektrofahrzeug ganzheitlich darstellen und die theoretisch gewonnenen Erkenntnisse in der Fahrpraxis verifizieren zu können.

Die Partner des Verbundprojektes streben die ganzheitliche Entwicklung eines Elektrofahrzeuges an. Dabei ist es das Ziel, nicht nur neue Technologien in bestehende Konzepte zu integrieren, sondern neue Konzepte auf Basis der neuen Technologien zu entwickeln. Die Partner sind sich einig, dass ein Konzept im internationalen Wettbewerb nur dann konkurrenzfähig ist, wenn alle technischen Domänen gleichermaßen betrachtet und

möglicherweise angepasst beziehungsweise grundlegend neu ausgearbeitet werden. Ziel ist auch die konsequente Weiterentwicklung der Elektrifizierung des Antriebsstrangs und die Analyse der Implikationen für das Gesamtfahrzeug. Zudem müssen Lösungen im Hinblick auf die grundsätzlichen Herausforderungen eines Elektrofahrzeugs wie Reichweite, Kosten und Nutzerakzeptanz erarbeitet werden. Alle Neuentwicklungen und Lösungsansätze zielen auf die Umsetzung in einem Demonstratorfahrzeug ab, um daraus valide Aussagen für einen möglichen Einsatz in Serienprodukten ableiten zu können.

Im Rahmen der Entwicklung eines zukunftsfähigen Produkts sind technische Herausforderungen zu meistern, bei denen die Batterie als Energiespeicher eine Kernkomponente darstellt. Daher werden der praktische Aufbau eines geeigneten Batteriepakets, die Hochvoltsicherheit im Betriebs- und Crashfall, die thermischen Auslegung und die Einbindung des Speichers in das Fahrzeugthermomanagement untersucht. Weitere Fragestellungen ergeben sich bezüglich des elektrischen Antriebs. Diese betreffen die automobilgerechte Auslegung von Leistungselektronik und Maschinen, sowie die Optimierung der Komponenten, um die Potenziale der Technologien auszuschöpfen. Dabei steht stets der Systemgedanke im Vordergrund. Untersuchungen zur Längs- und Querdynamikregelung werden interdisziplinär durchgeführt. Auch die Fahrzeugsysteme Bordnetz, Karosserie und Fahrwerk des Elektrofahrzeugs werden analysiert und für den Einsatz im Elektrofahrzeug überarbeitet. Es gilt fahrzeugübergreifend zu entwickeln, die unterschiedlichen Ansätze durch gezielte Forschung zu vertiefen und am Versuchsträger zu verifizieren, um für eine zukünftige Serienentwicklung eine belastbare Basis zu schaffen.

In den Mittelpunkt der Forschung rücken folgende Themengebiete:

- Leichtbau und neue Karosseriestrukturen
- Batterietechnologien auf Systemebene
- Leistungselektronik und Regelungstechnik
- Elektromotoren und Antriebsauslegungen
- Fahrdynamik und Fahrwerkskonzepte
- Thermo- und Klimamanagement
- Vernetzungstechnologien und Sicherheitskonzepte
- Bedienungskonzepte und Alltagstauglichkeit
- Betriebsstrategie und Testkonzept

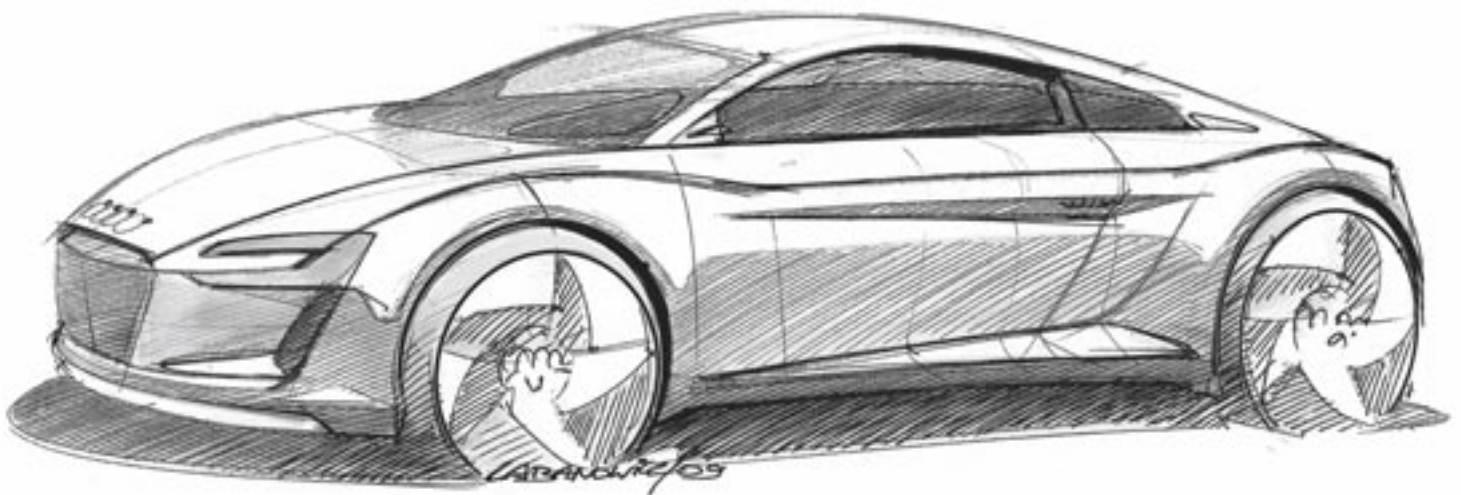
Als Ausgangspunkt für die Entwicklung neuer Fahrzeugkonzepte werden verschiedene Antriebsstrangtopologien auf Funktionalität, Leistungsfähigkeit, Kosten und ihre Eignung für unterschiedliche Fahrzeugklassen untersucht. Insbesondere die Traktionsbatterie stellt eine Herausforderung an Fahrzeugaufbau, Sicherheit und Kosten dar. Beim Aufbau des Batteriepacks nimmt die Entwicklung von Sicherheits- und Kühlkonzepten eine wichtige Rolle ein. Zur Vorhersage der Lebensdauer und zur Implementierung des Batteriemanagementsystems werden neue Batteriemodelle entwickelt. Umfangreiche Zelltests über die gesamte Projektlaufzeit werden belastbare Daten liefern. Entscheidend für ein erfolgreiches Batteriesystem ist neben der Zellchemie, der Funktionsfähigkeit der Zellen im Verbund und der Integration ins Fahrzeug auch die Sicherheit der Batterie im Falle eines Crashes und bei der Bergung des Fahrzeuges nach einem Unfall.

Auch im Bereich der Leistungselektronik entstehen durch den Einsatz im Elektrofahrzeug neue Herausforderungen an Gewicht, Kosten und Zuverlässigkeit. Besonders hervorzuheben sind der Einfluss von Vibrationen und Temperaturzyklen. Heutige Halbleiterpackages sind derartigen Anforderungen hinsichtlich

ihrer Lebensdauer nur bedingt gewachsen. Daher werden in diesem Projekt insbesondere neue Packagingkonzepte für Halbleiterbauelemente untersucht. Eine intelligente Systemregelung wird entwickelt, um das effiziente Zusammenspiel der elektrischen Komponenten im Fahr- und auch im Ladebetrieb zu ermöglichen. Bei der Entwicklung der Maschinenregelung werden die Optimierung des Wirkungsgrads, die Erhöhung der thermischen Ausnutzung der Maschine, das nichtlineare Betriebsverhalten, der Betrieb an der Spannungsgrenze sowie gegebenenfalls die Einhaltung einer maximalen Magnettemperatur und Entmagnetisierung berücksichtigt. Darüber hinaus werden lagegeberlose und akustisch optimierte Regelungsverfahren in diesem Projekt untersucht.

Bei der Entwicklung der Motoren für Elektrofahrzeuge ergibt sich eine Reihe unterschiedlicher und teilweise gegenläufiger Anforderungen. Wesentlich sind dabei der Leichtbau des Antriebs und ein hoher Wirkungsgrad über einen großen Bereich der im Fahrbetrieb zu erwartenden Betriebspunkte. Dadurch lässt sich ein Gesamtverbrauch des Fahrzeugs deutlich reduzieren und somit die Reichweite erhöhen. Desweiteren sind die Kosten des Antriebs möglichst gering zu halten. Durch den Wegfall eines Verbrennungsmotors im reinen Elektrofahrzeug, gilt es ein besonderes Augenmerk auf die akustischen Merkmale des Antriebs zu legen. Während das akustische Spektrum eines Verbrennungsmotors eher einem breitbandigen Rauschen entspricht, erzeugen elektrische Antriebe in einzelnen Frequenzbereichen besonders ausgeprägte Töne, welche von den Fahrzeuginsassen als unangenehm empfunden werden können. Ziel ist es die Ausprägung dieser Töne durch das Design und die Betriebsstrategie des Antriebs zu verringern oder ganz zu unterbinden. Desweiteren werden innerhalb des Projektes Methoden zur ressourcenschonenden und an den Lebenszyklus eines Fahrzeugs angepassten Auslegung elektrischer Maschinen ent-

# Ganzheitliche Entwicklung eines Elektrofahrzeuges



wickelt. Darüber hinaus wird am Aufbau einer Online-Überwachung des Antriebs geforscht, um die Betriebsstrategie adaptiv an den Zustand des Antriebs und an die Bedürfnisse des Fahrers anpassen zu können.

Durch neue Antriebskonzepte ergeben sich auch fahrzeugseitig Herausforderungen und Potenziale im Hinblick auf die Auslegung der Karosserie und die Gestaltung des Innenraums. Die konsequente Umsetzung des Karosserie-Leichtbaus ist insbesondere für Elektrofahrzeuge

notwendig, um die Zusatzmasse des elektrischen Antriebs zu kompensieren zu und den Energieverbrauch zu minimieren. Diese Leichtbaumaßnahmen müssen somit fahrzeugübergreifend ansetzen. Zudem werden neue Packagekonzepte erarbeitet, um den Erfordernissen des elektrischen Antriebs gerecht zu werden.

Teil der Gesamtentwicklung sind auch die Auswirkungen auf die Akustik und die Klimatisierung des Fahrzeuges, die bedingt durch den Wegfall des

konventionellen Antriebs deutlichen Veränderungen unterliegen. Im Falle der Fahrzeugakustik resultiert aus dem elektrischen Antrieb einerseits für den Nutzer ein verändertes Geräuschbild, welches vermehrt durch Reifen- und Windgeräusche geprägt sein wird, andererseits eine veränderte Wahrnehmung durch die übrigen Verkehrsteilnehmer. Insbesondere die Wahrnehmung des Fahrzeuges durch Fußgänger im Stadtverkehr stellt ein potenzielles Sicherheitsrisiko und somit eine Entwicklungsauf-

*Bild 1: Konzeptskizze des Demonstrators.*

gabe dar. Die Fahrzeugklimatisierung beziehungsweise Heizung unterliegt durch den Wegfall des Verbrennungsmotors und dessen Abwärme ebenfalls deutlichen Veränderungen, die im Rahmen des Projektvorhabens untersucht werden. Das Thermomanagement, also das Heizen und Kühlen von Komponenten und Fahrgastraum, wird außerdem durch thermisch sensiblere Komponenten erschwert. Durch einen sehr effizienten elektrischen Antrieb und die damit einhergehende Reduktion an Wärmeverlusten sind zur Erfüllung von Komfortansprüchen des Kunden im Winter beispielsweise zusätzliche elektrische Heizelemente erforderlich. Da aber auch die Batterietechnik hier noch eingeschränkt ist, muss neben dem Innenraum gegebenenfalls auch die Batterie aufgeheizt werden, um einsatzbereit zu sein. Das Analoge gilt bei hohen Außentemperaturen im Sommer, bei denen der Fahrzeuginnenraum aber auch die Batterie gekühlt werden müssen, um den gewünschten Kundenkomfort aufrecht zu erhalten und den Bauteilschutz der Batterie sicherzustellen.

Das Fahrverhalten von Elektrofahrzeugen bietet gegenüber konventionellen Fahrzeugen

Chancen, bringt aber auch Herausforderungen bezüglich Sicherheit und Energieverbrauch. So müssen die bekannten Auslegungskonflikte von Fahrverhalten und Energieverbrauch in Hinblick auf die begrenzte Energiemenge neu bewertet werden und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Der Einsatz von Brake-by-Wire-Systemen in zukünftigen Elektrofahrzeugen ermöglicht eine verbesserte Rückgewinnung der Bremsenergie und somit eine weitere Reduktion des Energieverbrauchs. Gleichzeitig ermöglicht die mechanische Entkopplung der Betätigung von der Radbremse völlig neue Gestaltungsmöglichkeiten der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Weiterhin werden neue Fahrwerkskonzepte entwickelt, die durch das Hochvolt-Bordnetz erst realisiert werden können und die Potenzial zur Energierückgewinnung liefern. Durch die zahlreichen neuen Komponenten und deren Betriebsweise in Kombination mit den daraus ableitbaren Fahrzeugeigenschaften ergeben sich neue funktionale Zusammenhänge, die es in einer Fahrzeugtopologie abzubilden gilt. Dies erfordert jedoch eine Umstellung heute gängiger Architekturen hin zu solchen, die

sowohl konventionelle Fahrzeuge als auch Hybrid- und Elektrofahrzeuge abdecken können.

Bei der gesamten Fahrzeugentwicklung werden im Projektverlauf intensiv Simulationstools in den verschiedenen Bereichen eingesetzt, um den Entwicklungsablauf effizient zu gestalten und den Aufwand gering zu halten. Die Kopplung dieser verschiedenen Simulationsmodelle und -tools zu einem Gesamtfahrzeugmodell ist Teil dieses Vorhabens. Die Entwicklung eines fahrzeugübergreifenden Energiemanagements wird mit Hilfe dieses Gesamtsimulationstools erfolgen. Eine verbrauchsorientierte Betriebsstrategie, der Ladezustand der Batterie sowie der thermische Zustand der Komponenten beeinflussen die verfügbare Antriebsleistung und damit die möglichen Sollmomente des Reglers und werden bei der Umsetzung des Energiemanagements berücksichtigt.

Neben der Grundlagenforschung an den Komponenten und dem Fahrzeug ist auch der Aufbau von Versuchsträgern der Bestandteil des Vorhabens, um die zuvor beschriebenen, theoretisch gewonnenen Entwicklungsergebnisse verifizieren und in der Praxis demonstrieren zu können.

Autoren:

Dipl.-Ing. Matthias Felden ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Elektrische Maschinen.

Dipl.-Ing. Bastian Hartmann ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kraftfahrzeuge.

Dipl.-Ing. Christoph Schäper und Dipl.-Ing. Daniel van Treek sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe.