

Abschlussbericht zum Vorhaben

## **Erforschung und Erprobung neuer Fahrzeugkonzepte zur Elektromobilität**

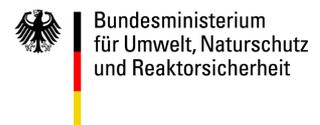
im Rahmen des FuE-Programms  
**"Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität"**

München, Oktober 2011

Kurztitel: BMW ActiveE

Gefördert durch das:

Projektpartner: Bayerische Motoren Werke AG, München



Projektlaufzeit: 01.09.2009 – 30.09.2011



**Schlussbericht gem. Nr. 8.2 NKBF 98**

der

**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft**

über das Förderprojekt

**Erforschung und Erprobung  
neuer Fahrzeugkonzepte zur  
Elektromobilität - BMW E**

im Rahmen des

**FuE-Programms "Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).**

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

**Autor:**

Jan-Frederik Knorre

**Datum:**

08.10.2011

**gefördert durch:**

Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Förderkennzeichen: 16EM0037

Laufzeit: 01.09.2009 – 30.09.2011

# Abschlussbericht

## Inhaltsverzeichnis

<b>PRÄAMBEL .....</b>	<b>1</b>
<b>I. KURZDARSTELLUNG .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Aufgabenstellung .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....</b>	<b>3</b>
Gesamtziel .....	3
Projektziel.....	3
Zusammenfassung der Vorhabensziele.....	6
Ausgangssituation und Rahmenbedingungen.....	7
Beispiel.....	10
<b>3 Planung und Ablauf des Vorhabens .....</b>	<b>12</b>
Arbeitspakete .....	12
Terminplan .....	15
<b>4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde .....</b>	<b>17</b>
Allgemeiner Überblick.....	17
Status Quo Elektromobilität .....	19
Status Quo Prozesse und Fertigung .....	23
<b>5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....</b>	<b>24</b>
<b>II. EINGEHENDE DARSTELLUNG.....</b>	<b>25</b>
Der BMW E .....	26
Durchführung des Vorhabens .....	29
FPE111: Analyse der Anforderungen .....	30
FPE112: Untersuchung genereller Konzepte für E-Automobile.....	32
FPE121: Entwicklung zur Betriebsstrategie von E-Fahrzeug .....	39
FPE122: Entwicklung zum intelligenten Energiemanagement .....	42
FPE123: Entwicklung eines Ladekonzeptes .....	45
FPE130: Darstellung zur elektrischen Sicherheit (Fzg .und Komponenten) .....	48
FPE140: Untersuchung zur Karosserie (Fertigungskonvergenz).....	50
FPE150: Entwicklung zum Klima- / Kühlkonzept.....	52

# Abschlussbericht

BMW E

08.10.2011

Inhaltsübersicht

---

FPE160: Entwicklung zum Heizkonzept.....	57
FPE170: Entwicklung zum elektrofahrzeugspezifische Anzeige-Bedien-Konzept .....	59
FPE180: Untersuchungen zur Fahrdynamik im Gesamtfahrzeug.....	64
FPE210: Entwicklung zu E-fzg.spezifische Produktionsverfahren.....	68
FPE221: Verifizieren der Konzepte Pulk 1 (5 Stück).....	71
FPE222: Verifizieren der Konzepte Pulk 2 (17 Stück).....	75
FPE223: Verifizieren der Konzepte Pulk 3 (28 Stück).....	77
FPE310: Untersuchung zur E-fzgspezifische Qualitätssicherung.....	79
FPE320: Untersuchung zu E-fzgspezifischen Erprobungsmethoden .....	81
FPE330: Auswertung der Messergebnisse .....	84
<b>6 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse .....</b>	<b>86</b>
Wirtschaftliche Erfolgsaussichten .....	86
Wissenschaftliche Erfolgsaussichten.....	87
Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit.....	88
<b>7 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen.....</b>	<b>90</b>
<b>8 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse .....</b>	<b>91</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>92</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>92</b>

## PRÄAMBEL

Das nachfolgend beschriebene Projekt:

### „Erforschung und Erprobung neuer Fahrzeugkonzepte zur Elektromobilität - BMW E“

wurde als Vorhaben der Bayerischen Motoren Werke AG, München zur Förderung beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit beantragt und über den Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH eingereicht.

Die BMW AG hat im Juni 2009 beschlossen in den Themenfeldern Li+- Hochvolt-speicher, E-Antriebssystem und E-Gesamtfahrzeug ein Cluster von mehreren Themenprojekten durchzuführen – Ziel war der beschleunigte Aufbau von Know-how, Beschäftigung und Wertschöpfung für das Elektrofahrzeuge „BMW E“ (siehe Abbildung 1) am Standort Deutschland.



Abbildung 1: Erprobungsflotte von BMW E's

## I. KURZDARSTELLUNG

### 1. Aufgabenstellung

Das Hauptziel des Förderprojektes „Erforschung und Erprobung neuer Fahrzeugkonzepte zur Elektromobilität - BMW E“ war die erfolgreiche Entwicklung, der Bau und Produktionsgesichtspunkten und die Erprobung sowie die funktionale Absicherung für ein rein elektrisch betriebenes Automobil.

Der Fokus der Arbeiten lag dabei auf der nachhaltigen Absicherung der Machbarkeit von Funktionen und Produktionsaspekten eines Automobils unter Verwendung aktuell verfügb- und anwendbarer Komponenten mit besonderer Berücksichtigung von energetischer Effizienz, Qualität, Kosten, Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Potenzial auf Großserientauglichkeit.

Die Komponenten des Antriebsstrangs sind sowohl bei BMW intern selbst entwickelt als auch zugekaufte Komponenten welche im Auftrag gemeinsam mit geeigneten Zulieferern entwickelt wurden. Sie wurden anschließend entweder BMW intern hergestellt (z. B. Batteriegehäuse, Elektromotor, Getriebe, Hinterachse) oder von diesen Zulieferern zugekauft (z. B. Elektronik für Antriebs-Regelung). Anschließend von BMW gefügt und zu einem System zusammengebaut. Anschließend wurde mit Hilfe von BMW intern erstellten Algorithmen und Datenstrukturen diese zur sicheren Funktion gebracht. Final erfolgte der Aufbau von Fahrzeugen zur Bestätigung. Hierdurch entstanden einerseits ein tiefgehendes eigenes Verständnis zur Elektromobilität mit daraus resultierenden Potenzialen zur Erlangung eines nachhaltigen Alleinstellungsmerkmals für den Standort Deutschland auch in diesem Marktsegment sowie ein intensiver Aufbau der Kalkulations- und Spezifikationsfähigkeit vom Einzelteil über die Fahrzeug-Systeme bis hin zum Gesamtfahrzeug.

Dieses Förderprojekt diente also einer starken Beschleunigung der praktischen Nutzbarkeit aktueller Funktionsmuster als serienentwicklungs- und industrialisierungsfähige Komponenten für Elektro-Fahrzeuge im Premiumsegment der Automobi-

le. Die dabei zu erreichenden Qualitätswerte bedürfen der im Anschluss noch zu entwickelnden skalierbaren und großserienfähigen Produktionsprozesse.

In der Vorhabenslaufzeit wurde mit den entwickelten Prozessen der erstmalige Aufbau eines komplett neuartigen Antriebs und der dazugehörigen Nebenaggregate in einem Gesamtfahrzeug erprobt und die grundsätzliche Machbarkeit der Herstellung bestätigt. Durch die innerhalb der Projektlaufzeit umsetzbaren Anpassungen von Werkstoffen, Verarbeitung und Design wurde die Funktionsfähigkeit bestmöglich erschlossen.

## 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

**Gesamtziel** des Vorhabens war die erfolgreiche Erforschung und Erprobung von Fahrzeugkonzepten zur E-Mobilität unter Berücksichtigung der erforderlichen systemangepassten Fahrzeugkomponenten und Steuergeräte. Ein wesentlicher Teil stellte der Nachweis der Prozesstauglichkeit des zu entwickelnden Fahrzeugkonzeptes und dessen alltagstaugliche Erprobung und Validierung dar.

**Projektziel** war es erweiterte nutzbare Erkenntnisse für den Betrieb / Einsatz und die Auslegung von E-Fahrzeugen zu erhalten, daher war es unter anderem erforderlich das Fahrzeugkonzepte hinsichtlich aller Systemkomponenten inkl. Betriebsstrategie als homogenes System zu betrachten. Der Elektroantrieb sollte nicht nur für Laborversuche erstellt werden, sondern in das komplexe System „Automobil“ integriert werden. Dabei wurde auch auf die nachhaltige Absicherung der Herstellungsprozesse für Elektrofahrzeuge geachtet.

Viele bisherige E-Mobil-Fahrzeugkonzepte wurden auf Grund der noch kaum verfügbaren E-Mobiltauglichen Komponenten mit vorhandenen Serienfahrzeugen aufgebaut. In diesem Vorhaben wollte BMW erstmals ein für den E-Mobil-Einsatz taugliches Fahrzeugkonzept erforschen. Dabei sollten in enger Zusammenarbeit mit mög-

# Abschlussbericht

lichen Lieferanten und Dienstleistern neue E-mobilitäugliche Fahrzeugkomponenten zum Einsatz kommen.

Besondere Herausforderungen stellte die Erforschung des Fahrzeugkonzeptes dar. Wesentlicher Schwerpunkt dabei war die Passfähigkeit und Flexibilität der Fahrzeugkonzeption zur Aufnahme neuer e-mobilitäuglicher Komponenten. Dabei mussten bei der Konzeption hinsichtlich des e-mobilitäuglichen Bordnetzes und der erforderlichen Betriebsstrategie wesentliche Teile der zum sicheren und komfortablen Betrieb des Fahrzeugs notwendigen Software berücksichtigt werden.

Um das entstehende E-Fahrzeug in einer hohen Qualität einerseits und unter den Randbedingungen einer hohen Reproduzierbarkeit darstellen zu können, war zudem die Erforschung angepasster Verfahren zur Herstellung notwendig. Auf Grund dessen sind 50 Versuchsträger (BMW E) entstanden. Im Rahmen eines feldtestnahen Versuches wurde und wird weiterhin eine Vielzahl möglicher Einsatzfälle unter nutzerspezifischen Randbedingungen erfasst und untersucht.

Diese Versuchsträger wurden in BMW Eigenregie unter Verwendung aktuell verfügbarer und anwendbarer Komponenten mit besonderer Berücksichtigung von energetischer Effizienz, Qualität, Kosten, Zuverlässigkeit und Potenzial auf zukünftige Großserientauglichkeit aufgebaut. Die Entwicklung der Komponenten war nicht Umfang dieses Förderprojektes sondern wurde entweder von Zulieferern oder hausintern je nach Reifestand und Verfügbarkeit durchgeführt.

Es galt die neben den Hauptkomponenten Hochvolt Speicher so wie Leistungselektronik und E-Motor und Getriebe auch alle Nebenaggregate wie Heiz-/Klimaanlage, Anzeigen, Hochvoltsicherheitseinrichtungen, etc. in ein Gesamtsystem zu verbauen. Nur in einem Gesamtfahrzeug ist es möglich die Wechselwirkungen mit weiteren Systemen in einem Automobil zu erforschen, daher bedurfte es einer Reihe von Versuchsträgern, welche sowohl unter Alltagsbedingungen als auch in extremen Verwendungen die Tauglichkeit des elektrischen Fahrzeuges unter Beweis stellten.

Dazu war es nötig die neuen Elektrik-Komponenten unter funktionalen, geometrischen und montagerelevanten Gesichtspunkten in ein Fahrzeug zu verbauen. Als erstes wurden die Anforderungen an den Antriebsstrang samt Hochvolt Speicher fest-

# Abschlussbericht

gelegt. Im Anschluss bedurfte es genauer Untersuchung der möglichen Bauräume zum Einbau dieser Komponenten. Trotz des Charakters von Versuchsträgern sollten die Fahrzeuge auch eine gewisse Kofferraumgröße, Anzahl Sitze, etc. aufweisen. Im konkreten Fall wurde ein Einbau des E-Motors im Heck vorgesehen. Der Kraftstofftank ist entfallen. Dieser Bauraum wurde z.B. für die neuen E-Komponenten verwendet. Zwangsläufig führte dieses zur Anpassung des kompletten Unterbaus des Fahrzeuges und auch des Fahrwerks.

Da ein Teil der Batterie im Vorwagen verbaut wurde, musste auch hier der Vorderachsträger inkl. Lenkung angepasst werden und ebenfalls als neues Teil ausgelegt und beschafft werden. Weiter wurde auf Grund der neuen Gewichtsverteilung und der Rekuperation an der Hinterachse eine Änderung der Feder-/Dämpfer-Abstimmung nötig.

Bei dem Hochvolt-Speicher handelte es sich um mehrere kleine Speichermodule, welche sowohl im Kofferraum, im Tunnel und im Vorderwagen verbaut wurden. Dazu waren Konstruktionen für die Aufnahmen unter Berücksichtigung von Festigkeit, Crash- und HV-Sicherheit zu entwickeln.

Ebenfalls eine große Herausforderung war das Zusammenführen der Niedrigvoltseite (12 Volt für Komponenten wie Beleuchtung, Airbag, ABS, Radio, etc.) und der Hochvoltseite (400 Volt für Komponenten E-Motor, etc.). Weitere Belange welche untersucht wurden sind Fertigungs-, Service-, Akustik- und EMV Konzepte.

Diese Belange wurden BMW intern oder im BMW Auftrag gemeinsam mit geeigneten Zulieferern entwickelt. Die Versuchsträger wurden anschließend bei BMW intern in Leipzig und München aufgebaut. Durch den massiven Aufbau der internen Kompetenzen entstand ein tiefgehendes eigenes Verständnis zu Elektrofahrzeugen mit daraus resultierenden Potenzialen zur Erlangung einer nachhaltigen Unique Position.

Begleitend wurden Erprobungsmethoden erforscht, die in der Lage sind alle Funktionen und mögliche Fehlerfälle zu erfassen und um die Entwicklung anzupassen. Desweiteren wurden und werden die E-Fahrzeuge einem Funktionstest unter Alltagsbedingungen unterzogen.

# Abschlussbericht

Das beantragte Beihilfe-Projekt diente also zu einer starken Beschleunigung des, Praxistests als Grundlage für zukünftige Elektrofahrzeuge im Premiumsegment der Automobile. Die dabei zu erreichenden Qualitätswerte gelangen nur mit den skalierbaren Produktionsprozessen. In der Vorhabenslaufzeit wurde mit Hilfe von systematisierten Prozessen das Produktionskonzept optimiert.

## Zusammenfassung der Vorhabensziele:

- Entwicklung von Konzepten zum Aufbau von Elektrofahrzeugen mit neuen Komponenten in zukünftige BEV Konzepte.
- Aufbau von Versuchsträgern zur Validierung des Gesamtsystems „Elektrofahrzeug“ bei der BMW AG in Deutschland.
- Durchführung von verschiedenen Produktionsverfahren sowie fahraktive Erprobung und Validierung.

## Ausgangssituation und Rahmenbedingungen

Batterieelektrische Automobile gab es zum Zeitpunkt des Vorhabenbeginns nur als Einzelstücke oder Kleinstserienfahrzeuge (z. B. THINK!, Tesla, ..., MINI E) - insbesondere solche mit Li+-Hochvoltspeicher, der wichtigsten Hauptkomponente eines Elektrofahrzeuges.

Das lag am Stand der Technik im Bereich der Hochvolt-Speicher. Die Technologien der Natrium/Schwefel- und Nickel/Metallhydrid-Batterien konnten sich unter den Alltagsbedingungen des automobilen Einsatzes nicht nachhaltig durchsetzen. Erstere wurde bereits im F&E-Stadium aufgegeben, letztere konnte auch in Hybridanwendungen zu keinem Zeitpunkt die an sie gestellten Erwartungen der Kunden vollständig erfüllen. Aus diesem Grund waren und sind Elektroautos auch heute noch Nischenprodukte für Konsumpioniere.

Die ursprünglich für die Consumer-Elektronik (Mobiltelefone, MP3-Player, Notebooks, etc.) industrialisierte Li+-Technologie wird seit einigen Jahren von den diesbezüglichen Experten der Batterie- und der Automobilindustrie als Speicher für die Elektrotraktion als bester Kompromiss angesehen, sofern die Anpassung der Funktionseigenschaften und Herstellkosten an automobiler Randbedingungen überzeugend gelingt.

Die funktionalen Grenzen der Anwendbarkeit von elektrischen Antriebssystemen lagen derzeit insbesondere in den Bereichen Temperatur ( $10^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$ ), Gewicht und Volumen, Lebensdauer, Kosten, etc. Die Materialien bedurften einer starken Verbesserung ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften. Besonders die Herstellkosten der Zellen und des Batteriesystems mussten in Bezug auf eine Massenmarktfähigkeit um mehr als 50 % reduziert werden. Neben den Material- ging es hier im Wesentlichen um die Prozesskosten.

Im Themenfeld der Komponenten für Elektromobile mangelte es aus dem Blickwinkel Markteintrittsbarrieren insbesondere auch an standardisierten, preisgünstigen und

# Abschlussbericht

automobilgerechten (qualitativ hochwertigen) Subkomponenten wie Stecker, Gehäuse, Regelungs- und Steuerelektroniken, etc..

Trotz der jahrelangen Erfahrung mit Elektromobilität konnten sich die erforschten Konzepte noch nie vollends durchsetzen. Zwar hat die BMW AG immer wieder mit Elektrofahrzeuge experimentiert, aber neben den technischen Problemen, insbesondere der Batterie, gab und gibt es auch Probleme mit der Infrastruktur. Erst mit dem Beginn des MINI E hat die BMW AG gezeigt, dass ein Automobilist in kurzer Zeit ein zukunftsweisendes sehr interessantes neues Fahrzeug aufbauen kann, wobei die drei Hauptkomponenten (HV-Speicher, Leistungselektronik und Elektromotor) allerdings eine Entwicklungszeit in den USA und Asien von rund 10 Jahren hatten und hier das erste Mal in eine Versuchsträger-Fahrzeugflotte von rund 620 Fahrzeugen integriert wurden.

Es hat aber auch gezeigt, dass die verfügbaren Technologien und Komponenten auch unter Produktions- und Sicherheitsaspekten noch bei weitem nicht den technischen Stand hatten, wie es für eine innovative und zukunftsweisende Technologie notwendig gewesen wäre.

Für eine mögliche Serienproduktion, welches in der Automobilbranche typischerweise eine Stückzahl von mehr als 50.000 Fahrzeugen pro Modell und Jahr bedeutet und einer normalen Autolebensdauer von zehn bis zwölf Jahren entspricht, waren die zur Verfügung stehende Technik und Verfahren bei weiten noch nicht tauglich. Selbst bei Nischen-Derivaten wie Cabrios liegt die tägliche Stückzahl bei rund 200 Fahrzeugen, sprich 55.000 Fahrzeugen pro Jahr.

Dies bedeutet, dass nicht mal für eine Kleinserie von 4.000 bis 5.000 Fzg. pro Jahr, sprich 15 bis 20 Fahrzeugen pro Tag, auf eine bestehende Entwicklung zurück gegriffen werden konnte. Die Entwicklung des MINI E hat nicht nur der BMW AG, sondern auch unseren Partnern in der Zulieferindustrie deutlich gemacht, dass es zu den obengenannten Komponenten noch 2-3 Fahrzeuggenerationen (etwa 10 bis 14 Jahre) bedarf, bis eine wirtschaftliche Produktion möglich ist.

# Abschlussbericht

In einem Gesamtfahrzeug ist zwar Antriebsstrang und insbesondere den Hochvolt-speicher die Schlüsselkomponente, allerdings erst in einem Verbund mit den weiteren Komponenten wie Heiz-/Klima, Fahrwerk, Lenkung, Sicherheitseinrichtungen wie ABS, ESP, Airbags, etc. wird die Komplexität des Elektrofahrzeugs deutlich. Um die E- Mobilität zukunftsweisend, innovativ und kundennah nutzbar zu machen, ergaben sich folgende technologische Herausforderungen für die Fahrzeugkonzepte:

- Aufbau von einem vollfunktionstüchtigen Fahrzeug
- Sicherheit im Fahrzeug (aber auch bei Transport, Handling und Herstellung)
- Kompaktheit
- Gewicht
- Leistungserhöhung
- Lebensdauer
- Energieinhalt
- Thermomanagement

## Beispiel

Der Hochvoltspeicher des MINI E besteht aus circa 5.000 Li+-Zellen, die der Consumer Industrie (Laptop) entstammen. Die Zellen sind auf automobiler Anforderungen dementsprechend keineswegs zugeschnitten, was sich insbesondere in einer signifikanten Leistungseinschränkung bei niedrigen und hohen Temperaturen bemerkbar macht.

Hauptziel der MINI E Aktivitäten war die Demonstration individueller Elektromobilität unter Alltagsbedingungen mit daraus resultierendem praxisbasiertem Know-how-Aufbau. Ein wichtiges Ergebnis der Nutzerbefragung in Berlin war dabei, das Thema Reichweite. Die Auswertung der Befragung hat ergeben, dass die Praxisreichweite des MINI E mit ca. 150 km als ausreichend bewertet wurde. In der folgenden Abbildung sind die Untersuchungsdetails dargestellt (siehe Abbildung 2):

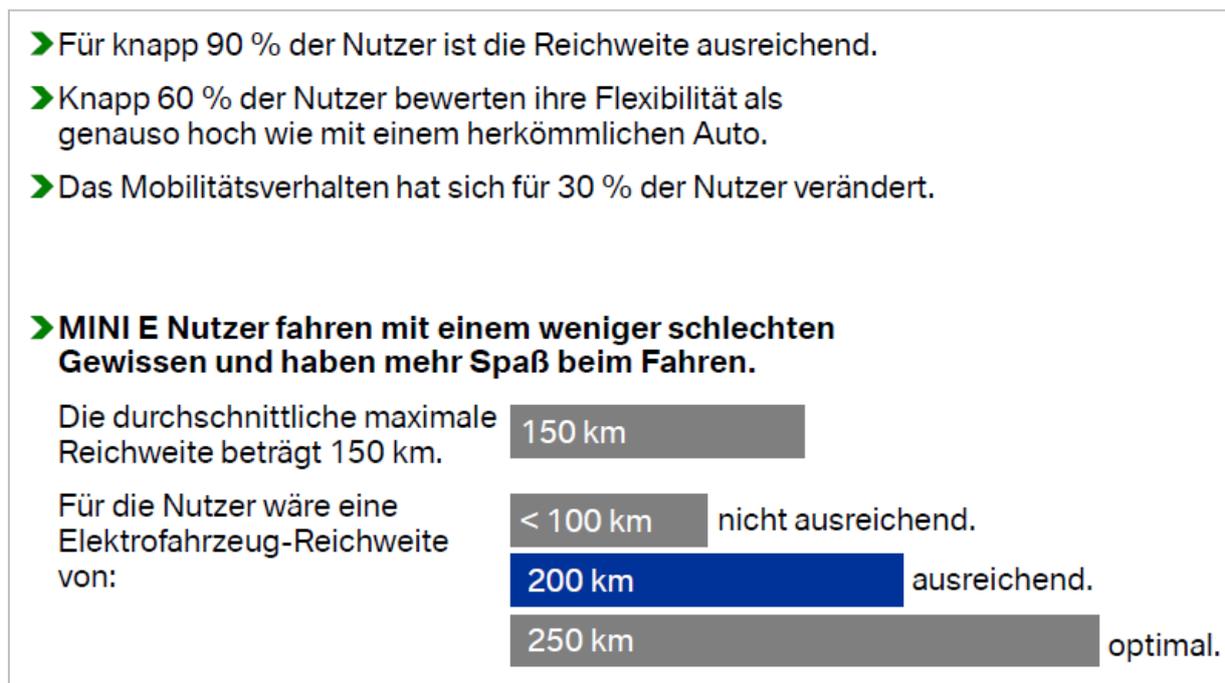


Abbildung 2: Ergebnis der MINI E Nutzerbefragung in Berlin bzgl. Reichweite.

# Abschlussbericht

Die Kritikpunkte welche das Fahren betraf, z.B. wenn die Fahrten nicht stattfinden konnten, lagen in erster Linie an dem limitierten Stau- bzw. Passagierraum (Zwei-Sitzigkeit) und nicht an der Funktionalität des Antriebsstrangs. Die Auswertung der Befragung bezüglich Probleme ist der Abbildung 3 zu entnehmen.

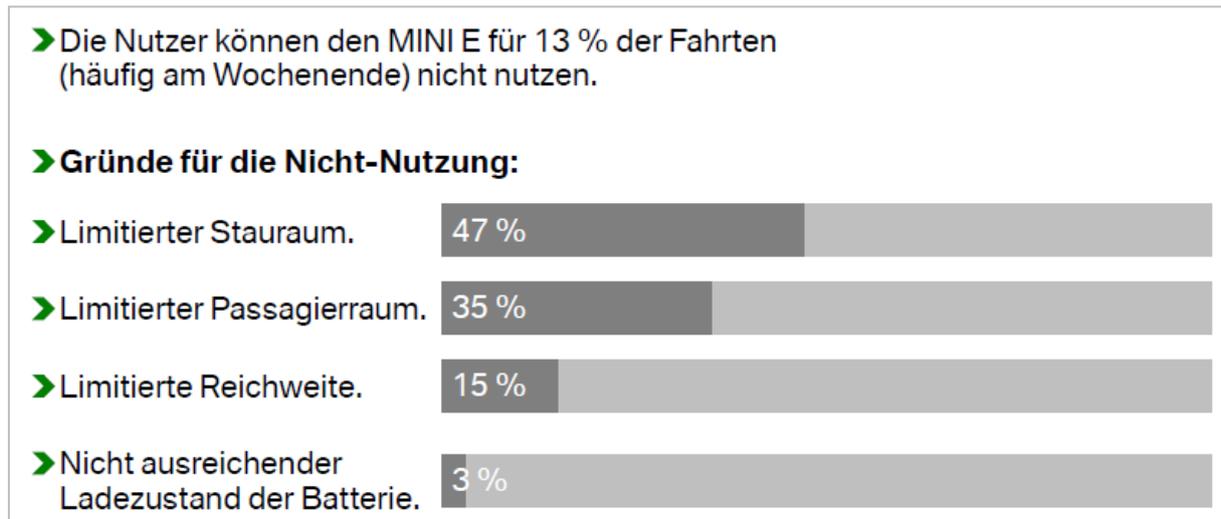


Abbildung 3: MINI E Nutzerbefragung in Berlin bzgl. der Gründe für Nicht-Nutzung.

Alle diese Aspekte und Erfahrungen, und damit der daraus resultierende praxisbasierte Know-how-Aufbau, sind direkt in die Arbeiten dieses Förderprojektes eingeflossen. Es galt, ein Fahrzeugkonzept zu entwickeln, dass ausreichend Energieinhalt für eine Kundenreichweite von 150 km bereitstellt und andererseits die geforderten Komfort-Eigenschaften sicherstellt. Denn jede Funktion von Licht, Radio, Navigation allerdings auch Fahrwerksregelsysteme und Sicherheitssysteme stellen einen elektrischen Verbraucher dar, welcher die Reichweite reduziert.

Weitere Anforderungen bestanden darin, alle Haupt- und NebenkompONENTEN so geometrisch in ein Fahrzeug zu verbauen, dass ein kundenwerter nutzbarer Passagier- und Stauraum zur Verfügung steht (wobei die Definition von „kundenwert“ natürlich von dem jeweiligen Fahrzeugtyp abhängig ist).

# Abschlussbericht

## 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

### Arbeitspakete

Das Förderprojekt „Elektromobilität“ (FPE) wurde von den beteiligten Fachstellen der BMW AG unter enger Einbindung der jeweiligen Entwicklungspartner und Zulieferern erledigt. Die Arbeiten wurden zeitlich parallel in Teilprojekte und Arbeitspakete aufgeteilt. Diese gliedern sich in das Arbeitspakete „Erforschung Fahrzeugkonzept“ (FPE100), das Arbeitspaket „Darstellung der Prozesstauglichkeit“ (FPE200) sowie das Arbeitspaket „Entwicklung von Erprobungsmethoden und Validierung“ (FPE300) mit iterativem Ablauf. Die folgende Tabelle 1 stellt den Überblick zu den einzelnen Arbeitspaketen dar:

Arbeitspakete	Inhalte FP Elektromobilität
<b>FPE100</b> <b>Erforschung</b> <b>Fahrzeugkon-</b> <b>zept</b>	<b>E11x Entwicklung neuer Fahrzeugkonzepte</b>  E111 Analyse der Anforderungen - Anforderungen Gesetze (z.B. HV-Sicherheit) - Anforderungen an ein E-Fzg. durch den HV-Speicher - Anforderungen an ein E-Fzg. durch den E-Motor - Anforderungen an ein E-Fzg. durch die Leistungselektronik - Anforderungen aus der Infrastruktur (z.B. gesteuertes Laden) - Erfahrungsrückfluss aus dem MINI E (V 1.0)  E112 Untersuchung genereller Konzepte für E-Automobile - Besonderheiten bei einem Conversion Fzg. - Besonderheiten bei der Herstellung von E-Automobilen - Besonderheiten beim Service / Wartung von E-Automobilen  E113 Untersuchung der Wechselwirkungen in E-Fahrzeugen - Einfluss der heutigen Komponenten auf die HV-Komponenten - Einfluss der HV-Komponenten auf die Niedervolt-Komponenten - Neue E-Fahrzeugspezifische Funktionen - Besonderheiten der EMV - Besonderheiten bei der Integration von E-Funktionen  <b>E12x Systemintegration</b>  E121 Entwicklung der Betriebsstrategie von E-Fahrzeugen - Festlegung der Anforderungen bzgl.: => Systemfunktionen => Powermanagement (Hochvolt und 12V-Bordnetz) => Datenerhebung und Diagnose => Zustandsmanagement - Auswahl von möglichen Konzepten - Analyse und Optimierung der Betriebsstrategie - Absicherung der Betriebsstrategie an einem „Labcar“ und im Fzg. E122 Entwicklung zum intelligente Energiemanagement

# Abschlussbericht

Arbeitspakete	Inhalte FP Elektromobilität
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Anforderungen bzgl.:               <ul style="list-style-type: none"> <li>=&gt; Systemfunktionen</li> <li>=&gt; intelligentes Energiemanagement</li> <li>=&gt; Zustandsmanagement</li> </ul> </li> <li>- Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>- Analyse und Optimierung des Energiemanagements</li> <li>- Absicherung des Powermanagement</li>   <li>E123 Entwicklung eines Ladekonzeptes               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Anforderungen bzgl.:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>=&gt; Systemfunktionen</li> <li>=&gt; intelligentes Laden</li> </ul> </li> <li>- Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>- Analyse und Optimierung des Ladekonzeptes</li> <li>- Absicherung</li> </ul> </li>   <li>E130 Darstellung der elektrischen Sicherheit               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Anforderungen                   <ul style="list-style-type: none"> <li>=&gt; HV-Sicherheit (Gesamtsystem)</li> <li>=&gt; HV-Sicherheit (Komponenten)</li> <li>=&gt; elektrofahrzeugspezifische Airbagsteuerung (Crash-Fall)</li> </ul> </li> <li>- Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>- Risiko-Analyse</li> <li>- Absicherung der Konzepte im „Labcar“ und im Fahrzeug</li> </ul> </li>   <li>E140 Untersuchung von Fertigungskonzepten zur Karosserie               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Anforderungen</li> <li>- Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>- Analyse der Prozessierbarkeit</li> </ul> </li>   <li>E150 Entwicklung des Klima- / Kühlkonzeptes               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Anforderungen (besonders des HV-Speicher)</li> <li>- Auswahl von möglichen Konzepten (Abhängig von FPE12x)</li> <li>- Auswahl und Optimierung eines elektrischen Kältemittelverdichters</li> <li>- Analyse und Festlegung einer optimalen Kühlstrategie</li> <li>- Geometrische Integration eines Hochvolt- Kältemittelverdichters (insbesondere die schwingungsdämpfende Lagerung)</li> <li>- Physische Integration in das Bord-Netz</li> <li>- Absicherung des Klimasystem im Fahrzeug</li> </ul> </li>   <li>E160 Entwicklung des Heizkonzeptes               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Anforderungen</li> <li>- Auswahl von möglichen Konzepten (Abhängig von FPE12x &amp; FPE150)</li> <li>- Untersuchung der Varianten eines elekt. Heizers für Fahrgastraum</li> <li>- Erforschung der Nutzung von Abwärme</li> <li>- Analyse und Festlegung einer optimalen Heizstrategie</li> <li>- Geometrische Integration eines Hochvolt- Heizers.</li> <li>- Physische Integration in das HV-Netz</li> <li>- Absicherung des Heizsystem im Fahrzeug</li> </ul> </li>   <li>E170 Entwicklung des elektrofahrzeugspezifischen Anzeige-Bedien-Konzeptes</li> </ul>

# Abschlussbericht

Arbeitspakete	Inhalte FP Elektromobilität
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Anforderungen (besonders des Ladezustandes)</li> <li>- Einfluss durch innovative Darstellungskonzepte und Onlinedienste</li> <li>- Erforschung und Analyse eines optimalen Anzeige-Bedienkonzeptes</li> <li>- Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>- Funktionale Integration der Instrumentierung</li> <li>- Physische Integration in das Bord-Netz</li> <li>- Absicherung des Konzeptes im Fahrzeug</li> </ul> <p>E180 Untersuchungen zur Fahrdynamik im Gesamtfahrzeug</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse und Festlegung der Anforderungen an Brems- und Fahrdynamikregelsysteme</li> <li>- Definition und Bewertung möglicher Konzepte und Lösungsansätze</li> <li>- Festlegung eines Konzeptes und der funktionalen Integration (Brems- / Fahrdynamikregel.)</li> <li>- Absicherung der E-Fahrzeugspezifischen Lösungen</li> </ul>
<p><b>FPE200</b>  <b>Darstellung der</b>  <b>Prozesstaug-</b>  <b>lichkeit</b></p>	<p>E210 Entwicklung elektrofahrzeugspezifische Produktionsverfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Anforderungen (besonders HV-Sicherheit)</li> <li>- Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>- Untersuchung der Auswirkungen auf die Karosserie (Gewicht, Schwingungen, etc.)</li> <li>- Untersuchung der Auswirkungen auf die Montage (Montierbarkeit, Ergonomie, Betriebsmittel, etc.)</li> <li>- Untersuchung der Auswirkungen auf die Inbetriebnahme</li> </ul> <p><b>E22x Verifizieren der Konzepte aus FPE1xx und FPE210</b></p> <p>E221 Verifizieren der Konzepte Pulk 1 (5 Stück)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorbereitung des Aufbaues von Elektrofahrzeugen</li> <li>- Erster pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Herstellbarkeit unter „Prototyen- Bedingungen“ im Karosseriebau, Montage und Inbetriebnahme</li> <li>- Analyse der statistischen Erhebungen während des Aufbaus</li> <li>- Iterative Optimierung während des Aufbaus</li> </ul> <p>E222 Verifizieren der Konzepte Pulk 2 (17 Stück)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Überarbeitung des Aufbaues von Elektrofahrzeugen</li> <li>- Pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Herstellbarkeit unter „Kleinserien-Bedingungen“ für den Karosseriebau, die Vormontage, der Montage und Inbetriebnahme</li> <li>- Analyse der statistischen Erhebungen während des Aufbaus</li> <li>- Iterative Optimierung während des Aufbaus</li> </ul> <p>E223 Verifizieren der Konzepte Pulk 3 (28 Stück)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Überarbeitung des Aufbaues von Elektrofahrzeugen</li> <li>- Pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Herstellbarkeit unter serienähnlichen Bedingungen für den Karosseriebau, die Vormontage, der Montage und Inbetriebnahme</li> <li>- Analyse der statistischen Erhebungen während des Aufbaus</li> <li>- Rückfluss der Ergebnisse in die Entwicklung</li> </ul>
<p><b>FPE300</b>  <b>Entwicklung von</b></p>	<p>E310 Untersuchung zur elektrofahrzeugspezifische Qualitätssicherung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Anforderungen</li> <li>- Auswahl von möglichen Testmethoden</li> <li>- Validieren der Methoden während und nach dem Aufbau (FPE220)</li> </ul>

# Abschlussbericht

Arbeitspakete	Inhalte FP Elektromobilität
<b>Erprobungsme- thoden und Va- lidierung</b>	<p>E320 Untersuchung zu elektrofahrzeugspezifischen Erprobungsmethoden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Anforderungen</li> <li>- Auswahl von möglichen Messverfahren</li> <li>- Validieren der Messverfahren nach dem Aufbau (FPE220)</li> </ul> <p>E330 Auswertung der Messergebnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswertung der Ergebnisse</li> <li>- Ableitung von möglicher Optimierung</li> <li>- Rückfluss in die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen</li> </ul>

Tabelle 1: Inhalte der Arbeitspakete von Themenprojekt „BMW E“

## Terminplan

Basierend auf dem generischen BMW Terminplan (s. Abbildung. 4: Standard Terminplan) zur Entwicklung eines neuen BMW Fahrzeugs, welches in der Regel bis zu 5 Jahren dauert, wurde für das Fördervorhaben nur die ersten drei Phasen der Fahrzeugentwicklung in einem verkürzten Ablauf durchgeführt. Eine Serienentwicklung sowie die Serienproduktion sind nicht Inhalt des Fördervorhabens und sind zum heutigen Zeitpunkt auch nicht vorgesehen.

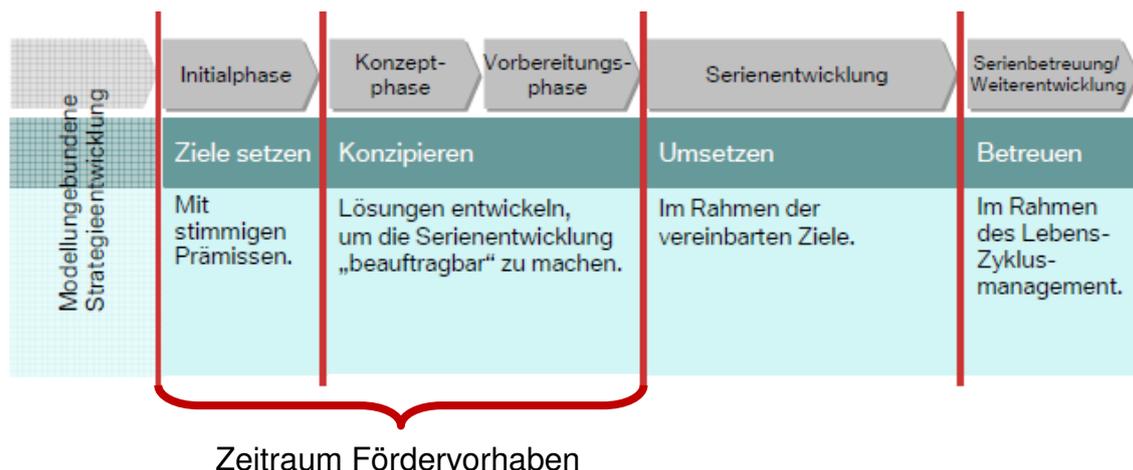


Abbildung 4: Standard Terminplan

Nach Beendigung des Vorhabens ist die Übertragung der erforschten und entwickelten Ergebnisse in zukünftige E-Mobile-Fahrzeugkonzepte der BMW AG vorgesehen.

# Abschlussbericht

Für das Themenprojekt „BMW E“ wurde folgender der Arbeits- und Terminplan erstellt (Abbildung 5):

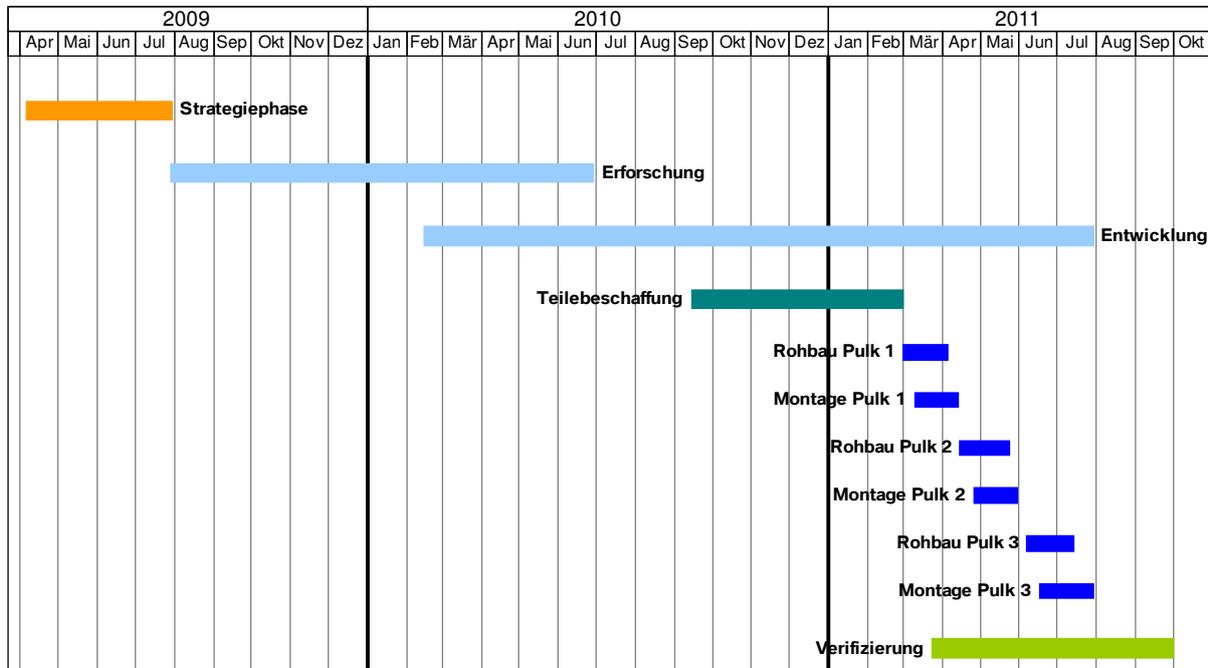


Abbildung 5: Terminplanauszug „BMW E“ mit Pulk-Montag

Die zur Projektbeginn festgelegt, wurden in den letzten 24 Monaten verschiedene Phasen durchlaufen um ein aussagekräftiges Ergebnis am Ende der Forschung und Entwicklung zu haben. Wie geplant wurden die Arbeitsschritte in die Phasen Erforschung, Entwicklung und Verifizierung unterteilt, welche sich von der Reife der Konzepte, Qualität und Kosten unterscheiden. Die endgültige Funktionsbestätigung der Konzepte erfolgte in der Verifizierungs- Phase.

# Abschlussbericht

## 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

### Allgemeiner Überblick

Mit dem Förderprojekt wurde direkt an die vorhergehenden Arbeiten der BMW Group zur Elektromobilität angeknüpft, die im Folgenden (Abbildung 6) dargestellt sind:

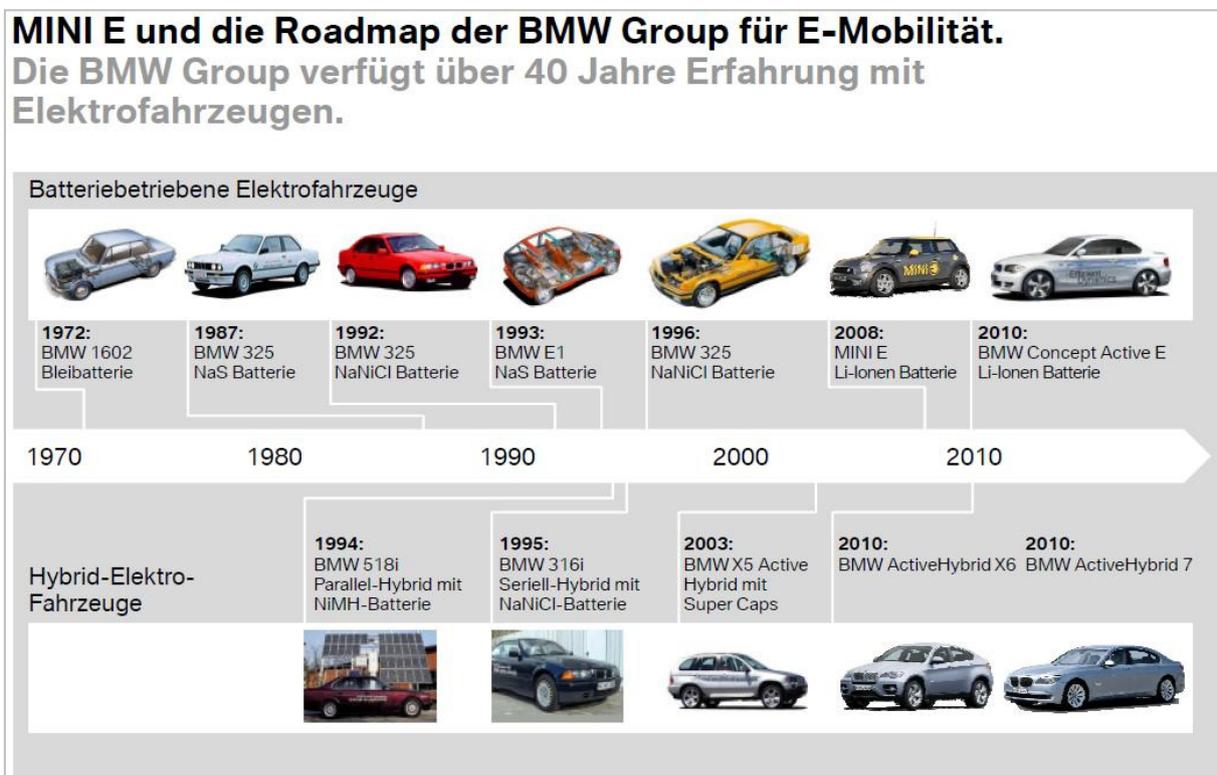


Abbildung 6: Erfahrungen der BMW AG mit Elektrofahrzeugen.

Bereits 1972 wurden zwei Elektroversuchsfahrzeuge auf Basis des BMW 1602 als Begleit- und Kamerawagen für den Marathonlauf und die Geherwettbewerbe bei den Olympischen Spielen in München eingesetzt.

Insbesondere wurde in dem Projekt „Erforschung und Erprobung neuer Fahrzeugkonzepte zur Elektromobilität - BMW E“ natürlich an die Erfahrungen mit dem MINI E angeknüpft, der als Elektrofahrzeug zu Projektbeginn technisch den letzten Stand darstellte, aber wie schon erwähnt, noch eine Reihe von Herausforderungen offen ließ. Eine davon war der erhöhte Energieverbrauch im Winter durch Nebenaggregate,

insbesondere der elektrischen Heizung (siehe Abbildung 7). Dies führte unmittelbar zu einer Reichweitenverminderung, die die Kunden aus konventionellen Fahrzeugen nicht kennen, da bei diesen die Abwärme des Verbrennungsmotors zum Heizen genutzt wird.

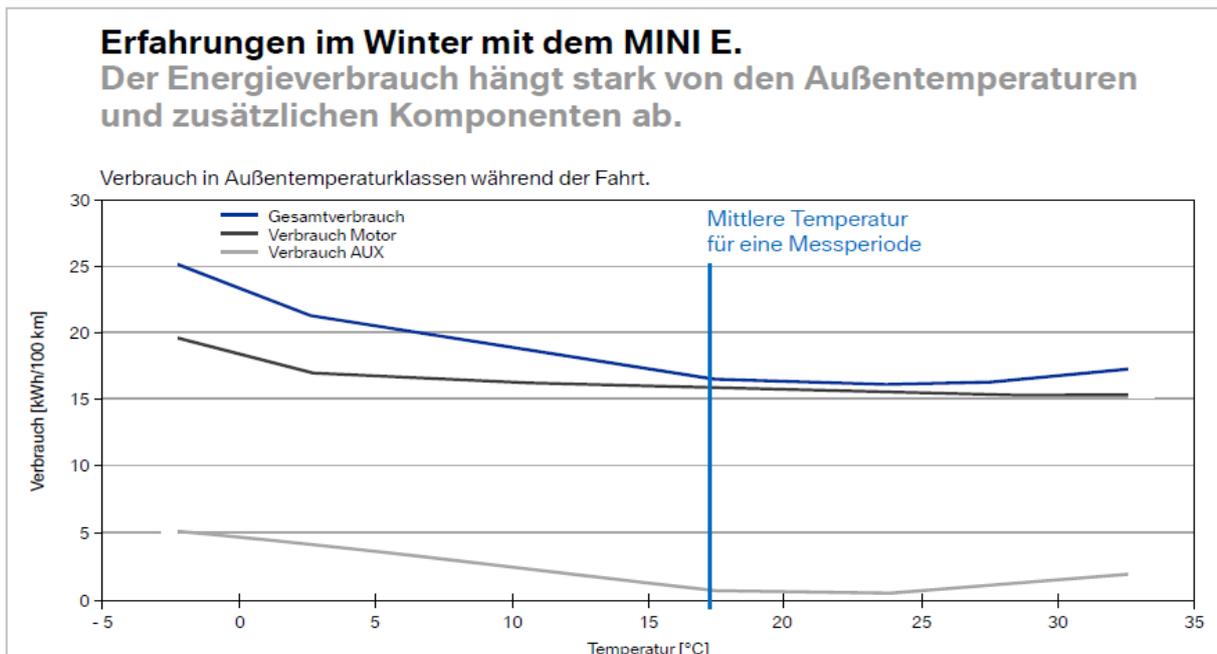


Abbildung 7: Energieverbrauch des MINI E in Abhängigkeit der Außentemperatur.

Um den Energieverbrauch bei kalten Temperaturen nicht unnötig weiter zu steigern, ist es essentiell, den Wirkungsgrad des HochvoltSpeichers aber auch des Elektromotors inkl. der Antriebselektronik unter diesen Randbedingungen zu optimieren, zum einen durch eine automotivetaugliche Hochvoltbatterie und zum anderen durch intelligentes Thermomanagement (Kühlung/Heizung des HV-Speichers).

Aber nicht nur für die Batterie sondern auch die weiteren erforderlichen Komponenten des Elektroantriebes inkl. der Nebenaggregate mit den geforderten Eigenschaften sind nicht am Markt verfügbar. Ebenfalls konnte sich auch noch keine Zulieferindustrie für die „sekundären“ Komponenten entwickeln. Sämtlich benötigte Nebenaggregate und zugehörige Steuerungen mussten bzw. müssen immer noch auf den Automobilmarkt mit seinen hohen Anforderungen angepasst werden. Als plakatives Beispiel ist das Heiz-Klima-System zu nennen. Durch den zusätzlichen Bedarf an Kühlung de HochvoltSpeichers kommt es zu einer Überschneidung mit dem Bedarf an Kühlung des Fahrgastraumes.

# Abschlussbericht

Die Herstellkosten der Kern- als auch der Nebenkomponten sind in Bezug auf eine Massenmarktfähigkeit immer noch um das Doppelte bis Dreifache zu hoch. Neben den Material- geht es hier im Wesentlichen um die Prozesskosten.

Im Themenfeld der Kleinteile mangelt es aus dem Blickwinkel Markteintrittsbarrieren insbesondere an standardisierten, preisgünstigen und automobilgerechten (qualitativ hochwertigen) Baukastenteilen für Stecker, Gehäuse, Energie-/Regelungs- und Steuerelektroniken, Lagerungen.

## Status Quo Elektromobilität

### **Elektromobilität bedeutet auch weiterhin Paradigmenwechsel so wie Forschung statt Entwicklung**

Zwar gibt es inzwischen ernsthafte erste Ansätze der Elektromobilität, allerdings hat sich diese Technik bis dato wegen der nach wie vor unzureichenden Komponenten nicht durchsetzen können. Direkte Folge hieraus ist, dass die heute vorhandenen elektrischen Komponenten keine oder nur rudimentär vorhandene Tauglichkeit für den automobilen Fahrprozess und die Anforderungen über eine Nutzungsdauer von im Schnitt bis zu fünfzehn Jahren haben. In diesem Zusammenhang darf man von einem Paradigmenwechsel sprechen, da grundlegende technische Lösungskonzepte für die Komponenten selbst und ihr Zusammenwirken im Gesamtfahrzeug nur rudimentär vorhanden sind. Es konnten also nicht wie bei einer herkömmlichen Neuentwicklung mit einem Verbrennerpackage auf Bekanntem aufgesetzt werden, sondern es mussten elektrische Lösungskonzepte erst auf Bestehendem fortentwickelt und an den bekannten Kundenanforderungen validiert werden. Die Arbeiten dieses Forschungsprojektes tragen damit die Züge industrieller Forschung.

Nachstehend werden beispielhaft die Forschungsbedarfe aufgelistet welche schwerpunktmäßig im Rahmen diese Projektes untersucht wurden bzw. zum Ende hin die Themen welche einen direkten Einfluss hatten und auch in Zukunft noch weiter erforscht und entwickelt werden müssen:

# Abschlussbericht

1. **Energiemanagement** bezüglich der elektrischen Verbraucher, die teilweise nur zeitweise benötigt werden, stellen eine weitere zusätzliche Belastung dar. Es sind diese z.B.: Scheinwerfer, Bremsleuchten, alle Anzeigen, Navigation, Audiosysteme, Scheibenwischer, Airbagsteuerung, Crashesensorik, Funkschließsysteme, Regen- und Fahrtlichtsensor. Von den aufgelisteten Verbrauchern sind die Sensorikfunktionen zur Verbrauchsreduzierung nicht abstellbar, da diese ihrer Natur nach immer aktiv sein müssen. Es ist offensichtlich, dass für den Betrieb aller dieser Funktionen ein völlig neues, hierarchisch gegliedertes Verbrauchersmanagementsystem zu erforschen und zu validieren ist.
2. **Elektrifizierung von Nebenaggregaten** für den Fahrbetrieb ist bereits beim Verbrennerpackage ein wichtiges Thema zur Verbrauchsreduzierung. Die für den Betrieb der Nebenaggregate notwendige elektrische Energie wird dabei vom Generator zur Verfügung gestellt. Im Batterieelektrischen Fahrzeug belasten jedoch alle diese Nebenaggregate zusätzlich die Hochvoltbatterie.
3. **Laden** wird als Vorgang einen anderen Stellenwert haben als der heutige vergleichsweise triviale Tankvorgang. Dies fängt bereits bei der Handhabung von schweren Ladekabeln an, die gerade in der kalten Jahreszeit unhandlich und dazu noch schmutzig sind. Selbst bei heute absehbaren Schnellladevorgängen sind Zeitfenster im Spiel, die ein Vielfaches der Zeit des Tankvorganges darstellen.
4. **Fahrverhaltensweisen** elektrischer Fahrzeuge werden sich deutlich unterscheiden. Beispielsweise muss zur bestmöglichen Rekuperation die elektrische Maschine zum Bremsen eingesetzt werden, wobei das Fahrzeug keine Information hat, ob der Nutzer nur Rollen oder Bremsen will.
5. **Anzeigekonzepte** müssen völlig neu konzipiert und am Kundenanspruch validiert werden, da die Nutzungsrestriktionen völlig unterschiedlich sind und damit der Informationsbedarf des Nutzers anders ist als bei herkömmlichen Fahrzeugen.

# Abschlussbericht

6. **Sicherheitsthemen** müssen identifiziert und überwunden werden, da sonst keine Akzeptanz entsteht. Diese Forderungen reichen von der Produktion über den sicheren Transport von HV-Speichern bis zur täglichen Nutzung, die alle Sonderfälle einschließlich Unfall- Rettungs- und Missbrauchssituationen einschließen muss.

Folgende Themen hatten während den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten einen direkten Einfluss auf das Förderprojekt:

7. **Karosserien** haben wichtige Eigenschaften, die selbst bei einem substantiell verändertem Package nicht aufgegeben werden können. Es sind dies vor allem die Crashesicherheit, das Gewicht und die Steifigkeit. Erstere diente bisher primär dem Schutz der Passagiere bei einem Unfall. Bei einem elektrifizierten Package müssen zusätzlich die Batterie vor Deformationsschäden und die Passagiere vor der Batterie geschützt werden. Da heutige Batteriesysteme hinsichtlich des Gewichtes die Möglichkeiten der Einsparung bei Tank, Motor und Getriebe deutlich überkompensieren, müssen in einem elektrifizierten Package neue Wege der Gewichtsreduktion besprochen werden.
8. **Fahrwerk u. Bremsen** müssen völlig neu konzipiert werden. Federung und Dämpfung sind hinsichtlich der anderen Antriebs u. Bremsmomenten-Charakteristik anders auszulegen. Weiterhin sind an diese neue Charakteristik alle auf das Fahrwerk wirkenden elektronischen Regelsysteme anzupassen, so dass ein völlig neues Gesamtkonzept zu kreieren ist.
9. **Elektrische Antriebe** sind in anderen Bereichen lange Zeit Stand der Technik. Gleichwohl gibt es deutlich sichtbare Unterschiede. Zum einen handelt es sich bei der bekannten Technik überwiegend um stationäre Funktionen wie z.B. die ganze Fördertechnik (Krane, Hängebahnen, Flurförderfahrzeuge, Aufzüge), die i.d.R. auch eine stationäre Energieversorgung haben. Zum anderen sind die Lastprofile dieser Anwendungen sehr unterschiedlich zum automobilen Einsatz. Sie verfügen über definierte Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen, die eine stetige Bewegungsphase einschließen. Weiterhin haben Bauraum, Gewicht, Kühlmöglichkeiten und Zugänglichkeit für die Wartung andere Stellenwerte als im automobilen

Bereich. Die stetigen Bewegungsmuster und die letztgenannten Kriterien gelten in hohem Masse auch für die Schienentraktion, deren Lösungen nicht einfach anders skaliert auf den Automobilssektor übertragen werden können.

10. **Elektrische Speicher** sind heute überwiegend aus dem Bereich der Konsumenten Elektronik bekannt. Die Lade- und Entladezyklen sind in der Elektronik eher stetig im Vergleich zu den automobilen Entladespitzen beim Beschleunigen und den Ladespitzen bei Rekuperation. Deswegen spielt das Thema Degradation des Speichers im Automobil eine große Rolle wie auch die Zellengrößen und –formen, sowie erzielbare und bezahlbare leistungsspezifische Speicherpreise. Weiterhin stellen thermische Einflüsse durch die komponentenspezifischen Temperaturoptima (Motor, Leistungselektronik und Speicher) ein größeres Problem dar. Im Gegensatz zu stationären Anwendungen, sind das Gewicht, Zugänglichkeit für die Wartung und vor allem der Bauraum hoch wichtige Auslegungskriterien. Gerade der Bauraum steht in Konkurrenz zu den Anforderungen nach Crashesicherheit.
  
11. **Leistungselektronik** ist im Bereich Automobil ein neues Thema, wobei auf Lösungen aus anderen Anwendungsbereichen aufgesetzt werden kann. Gebraucht werden hier eine Gleichrichterfunktion (AC/DC) für die Rekuperation, sowie eine Spannungswandlungsfunktion zur Bedienung des herkömmlichen 12V Netzes und des HV Netzes mit 300 bis 400V. Wie bei anderen Komponenten spielen die Zugänglichkeit, Kühlmöglichkeiten, das Gewicht und der Bauraum eine im Vergleich zu stationären Anwendungen herausragende Rolle.

## Status Quo Prozesse und Fertigung

Neben den Herausforderungen auf der Komponentenebene bedurfte es auch bei den Prozessen und der Fertigung neue Lösungen. Bei den Fertigungstechniken und Prozessen wurde auf eine kompakte und modulare Bauweise der einzelnen Bauteile bzw. Bauteilgruppen geachtet. Daher hat das Thema „Montagegerechte Produktgestaltung“ einen großen Einfluss auf die Konstruktion der einzelnen Bauteile. Dies bedeutet, dass nicht nur die großen Bauteile wie Batterie, E-Motor betrachtet wurden, sondern besonders die ganzen Verbindungselemente, die Verkabelung und die Verschlauchungen und besonders die Kabelbäume für Hochvolt.

Lösungen welche für den Aufbau von Prototypen akzeptiert werden, sind mittel- und langfristig nicht zielführend. Bei den ersten Elektrofahrzeugen handelte es sich um Versuchsträger, bei welchen einerseits die prozessgerechte Montagereihenfolge eine untergeordnete Rolle spielt und andererseits die Taktzeit einer Großserie nicht berücksichtigt werden muss, dieses soll sich durch dieses Projekt ändern.

Für die Fertigung ist das Produktionskonzept als auch die Komponenten so zu gestalten, dass keine Risiken von dem HV-System ausgehen und auch nicht ausgebildeten Elektrofachkräfte beim Einbau beteiligt sein können. Bei der erstmaligen Inbetriebnahme der Fahrzeuge am Ende der Montage musste eine Lösung gefunden werden, welche auch normalem Fertigungspersonal die Möglichkeit gibt den Wagen zu starten. Allerdings sind noch weitere Anstrengungen nötig, so dass das System selbstschützend ist und ein erstmaliges Starten für „jedermann“ ermöglicht.

Auf Grund der oben aufgeführten Tatsachen war es nötig, dass nach Lösungen gesucht wurde, welche zukünftig auch für eine Kleinserie oder gar Großserie und der anschließende Betrieb und Service genutzt werden können. Durch die frühe Berücksichtigung aller Randbedingungen kann eine Beschleunigung einer Nutzung von Elektrofahrzeugen erzeugt werden.

Teilweise stehen die Anforderungen allerdings im Gegensatz, so dass es zu Abwägung der Vor- und Nachteile kommen musste.

## 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Die Projektarbeit wurde von den beteiligten Fachstellen der BMW AG unter enger Einbindung der folgenden Entwicklungsdienstleister durchgeführt:

### **ESG Elektroniksystem und Logistik GmbH:**

Unterstützung bei der Konzeption, Entwicklung und Integration eines Energiebordnetzes für den Einsatz in einem Elektrofahrzeug. Zu den Aufgaben gehören im Detail:

- Dimensionierung Energiehaushalt.
- Sicherstellen der Bordnetzstabilität
- Absicherung des Powermanagement sowie Ladefunktion
- Durchführung von Versuchen an Prüfständen und Gesamtfahrzeugen
- Unterstützung bei der Inbetriebnahme der Versuchsträger
- Fehlerdokumentation und Auswertung

### **Continental AG:**

Unterstützung bei der konzeptionellen Umsetzung der Heizungs- und Kühlungsfunktionen inklusiver der dazugehörigen Software zur Steuerung der verschiedenen Klimabedarfe. Zu den Aufgaben gehören im Detail:

- Konzepterarbeitung
- Abstimmung mit den Schnittstellen
- Umsetzung der funktionellen Anforderungen.
- Umsetzung der fertigungstechnischen Anforderungen

## II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

In diesem zweiten Teil des Abschlussberichts werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete vorgestellt. Als Versuchsträger für im Rahmen dieses Förderprojekts gestellten Anforderungen und Schwerpunkte wurde das BMW 1er Coupé ausgewählt. Wie in Teil I dargestellt, haben die Erfahrungen mit dem MINI E gezeigt, dass eine Kundenreichweite von 150 km ausreichend ist, hingegen der Passagier- und Stauraum deutlich zu klein waren. Somit wurde das Ziel gesetzt, bei der Integration des Antriebsstrangs inklusive des Hochvoltspeichers in das 1er Coupé dessen Viersitzigkeit zu erhalten und den Kofferraum nur minimal einzuschränken. Damit war der Bauraum für die Komponenten stark eingeschränkt, und die größte Herausforderung war, darin den Hochvoltspeicher mit ca. 28 kWh nutzbaren Energieinhalt zu verbauen, um die geforderte Kundenreichweite von 150 km darzustellen. In Abbildung 8 ist das finale Ergebnis dargestellt (vgl. auch Abbildung 1).

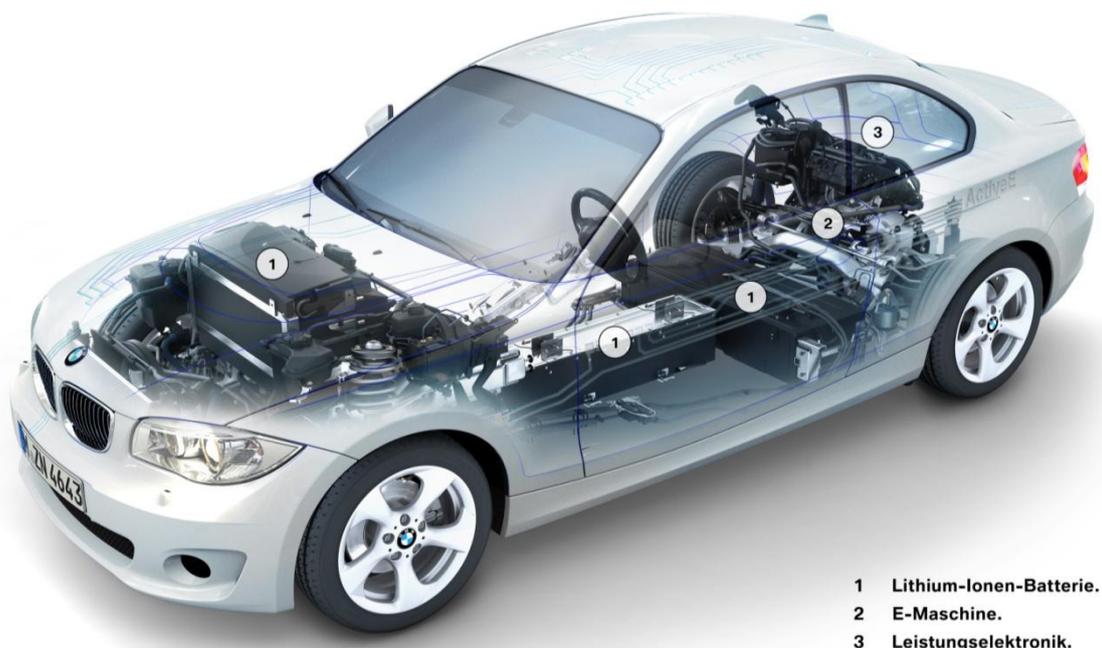


Abbildung 8: Übersicht der Haupt-Antriebskomponenten in dem Fahrzeug

## Der BMW E

Neben den Umfängen einer Elektroautomobil-Entwicklung in diesem Förderprojekt waren noch zahlreiche andere Umfänge nötig, so dass ein zukunftsweisendes Fahrzeug entstehen konnte. Den mit dem BMW E geht die BMW Group den nächsten konsequenten Schritt Richtung Elektromobilität. Mit dem BMW E übergibt die BMW Group den ersten selbst entwickelten elektrischen Antriebsstrang in eine Versuchsflotte. Der BMW E soll beweisen, dass Dank leistungsstarker E-Maschine und Heckantrieb, dass emissionsfreier E-Antrieb und das BMW typische Freude am Fahren Hand in Hand gehen können.

Das Gesamtfahrzeug „BMW E“ mit seinen über 1200 neuen Bauteilen wird als Erprobungsträger gefertigt und ab Anfang 2012 im Rahmen eines breit angelegten Flottenversuchs unter „Kundenbedingungen“ getestet. Es konnte erreicht werden, dass der BMW E bei den Fahrleistungen und der Reichweite im Zyklus auf dem Niveau von 200 km liegt. Die reale Reichweite im Kundenbereich liegt nach den ersten internen Tests bei rund 160 Kilometern (inkl. Klimaanlage, Licht, Sitzheizung, etc.).

Gleichzeitig wurde erreicht, dass der BMW E Elektromobilität mit einem kundenwerten Package ohne größere Einschränkungen – nutzbarer Kofferraum und Viersitzigkeit kombiniert ist. Zudem wurden für dieses Fahrzeug die innovative BMW Connected-Drive Features weiterentwickelt– z.B. die intelligente Vorkonditionierung zur optimalen Temperierung sowohl des Energiespeichers als auch des Innenraums.

Bei Elektrofahrzeugen ist die Rekuperation ein sehr wichtiger Bestandteil des Energiemanagement und damit zur Reichweitensteigerung. Die Rekuperation erfolgt dadurch, dass der Fahrer den Fuß vom Gaspedal nimmt und so wird der Elektromotor zum Generator, dieser gibt den aus der Bewegungsenergie gewonnen Strom an die Batterie zurück. Gleichzeitig entsteht ein Bremsmoment, das zu einer wirksamen Verzögerung des Fahrzeugs führt. Im Stadtverkehr können so etwa 75% aller Verzögerungsvorgänge ohne aktives Bremsen durchgeführt werden. Das Rekuperationsniveau des BMW E ist der optimale Kompromiss zwischen Fahrzeugstabilität und Reichweitenerhöhung durch Rekuperation, Die Reichweite des BMW E wird durch intensive Nutzung der Rekuperation um etwa 20% erhöht.

# Abschlussbericht

Außerdem rekuperiert der BMW E bei einer bestimmten „Zwischenstellung“ des Gaspedals im Gegensatz zum MINI E nicht sofort, sondern „kuppelt“ über die Nullmomentenregelung der E-Maschine aus und nutzt die eigene Bewegungsenergie für den Vortrieb – er gleitet ohne Energieverbrauch dahin.

Es wurde viel Aufwand investiert, die Karosserie des 1er Coupé den Bedürfnissen des BMW E anzupassen. Unsichtbar für den Betrachter wurden an der Karosserie des BMW E knapp 350 Teile im Vergleich zum konventionellen BMW 1er Coupé verändert, damit das Fahrzeug die gleichen Anforderungen an Crashesicherheit, Bauraum und Komfort erfüllt. Sämtliche neue Bauteile sind funktions- und gewichtsoptimiert, um dieses Conversion Car bestmöglich an die Bedürfnisse eines Elektrofahrzeugs anzupassen.

Der BMW E ist der zweite Erprobungsträger der BMW Group nach dem MINI E. Sämtliche elektronische Antriebskomponenten wie Energiespeicher, E-Maschine und Leistungselektronik wurden von BMW selbst entwickelt und gebaut und in eine Fahrzeugkarosserie integriert, die ursprünglich nicht dafür gedacht war. Im BMW E sind Vorserienversionen von Antrieb und Energiespeicher verbaut, um diese Komponenten ersten Fahrerprobungen zu unterziehen. BMW wird erst mit einem vollständig neu und selbst entwickelten Fahrzeug auf den Markt kommen, wenn alle Komponenten durch Testfahrten (siehe Abbildung 9) ausreichend erprobt sind.



Abbildung 9: BMW E vor dem Flughafen München.

Eine Zusammenfassung der Eigenschaften ist in der folgenden Tabelle 2 zu finden:

# Abschlussbericht

## Technische Daten

### Motor

• Bauart	Elektromotor
• Maschinentyp	Hybridsynchronmotor
• Leistung kW (PS)	125 (170)
• Drehmoment Nm	250
• Max. Drehzahl	12 000

### Elektrik

• Batteriekapazität	32 kWh (brutto)
• Batterieladedauer in h	Bei 230 V/12 A (2,6 kW) 8 bis 10 Std., bei 230 V/32 A (7,7 kW) 4 bis 5 Std.
• Batterieaufbau	192 Zellen à 40 Ah in 25 Modulen in drei Einzelspeichern
• Batteriekühlung	Flüssigkeitskühlung
• Batterie-Einbauort	Tank, Tunnel, Stirnwand
• Max. Stromtragfähigkeit	400 A

### Fahrwerk

• Fahrstabilitätssysteme	ABS inkl. Bremsassistent Cornering Brake Control (CBC) Dynamic Stability Control (DSC) mit Zusatzfunktionen
• Achslastverteilung v/h	882/933 kg
• Reifen	205/55R16 mit Notlaufeigenschaften

### Fahrleistungen

• Leistungsgewicht nach DIN	9,86 kg/kW
• Beschleunigung 0–60 km/h	4,5 s
• Beschleunigung 0–100 km/h	9,0 s
• Höchstgeschwindigkeit <sup>1</sup>	145 km/h
• Reichweite nach NEDC <sup>2</sup>	204 km
• Reichweite im Kundenbetrieb	160 km

### Verbrauch

• Insgesamt	0,12 kWh/km
• CO <sub>2</sub>	0 g/km

Tabelle 2: Übersicht der technischen Daten des BMW E

## Durchführung des Vorhabens

Wie bereits erwähnt gliedert sich das Förderprojekt „Elektromobilität“ (FPE) in das Arbeitspakete „Erforschung Fahrzeugkonzept“ (FPE100), das Arbeitspaket „Darstellung der Prozesstauglichkeit“ (FPE200) sowie dem Arbeitspaket „Entwicklung von Erprobungsmethoden und Validierung“ (FPE300).

**FPE100:** Hierbei sollten neue E-Fahrzeugkonzepte entwickelt und anschließend erforscht werden, die sich aufbauend auf bereits bestehenden Komponenten (HV-Speicher, E-Motor inkl. Getriebe und Leistungselektronik), unter dem Aspekt der Kleinserienfertigung in hoher Qualität fertigen lassen. Im Zuge dieser Entwicklungen sollten u.a. Wechselwirkungen hinsichtlich Instrumentierung, Klima, Sicherheitseinrichtungen, Fahrerassistenz, MMI und ggf. Energiemanagement untersucht werden.

**FPE200:** Hierbei sollten Verfahren entwickelt werden, die sich mit der Art und Weise befassen wie z.B. das Fahrzeug als Träger der Komponenten und Systeme sinnvoll reproduzierbar gefertigt werden kann und wie danach die Komponenten eingebaut werden. Die Verfahren müssen Sicherheit, Qualität und zeitliche Aspekte (Einbauzeit, Kosten, Ergonomie, Sicherheit ....) mit berücksichtigen. Der Aufbau von Versuchsträgern ist zur Verifizierung der gefundenen Lösungen nötig. Prinzipiell kann hier nur eine für die spätere Evaluierung erforderliche kleine Anzahl von Versuchsträgern entstehen. Trotzdem dienen die Erkenntnisse der Überleitung in eine Kleinserie.

**FPE300:** Hauptaugenmerk sollte hierbei auf der Entwicklung geeigneter Erprobungsmethoden liegen, um einerseits gefundene Fertigungsverfahren und andererseits das Fahrzeugkonzept insgesamt zu validieren. Es ist zu erwarten, dass im Rahmen der Auswertung der Ergebnisse sich über die Abhängigkeiten der FPE100, FPE200 und FPE300 Wechselwirkungen ergeben, die einen iterativen Prozess zwischen den Teilpaketen erforderlich machen.

Im Folgenden werden zu den einzelnen Arbeitspaketen die erzielten Ergebnisse aufgezeigt. Zur Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele dient jeweils als Einleitung die jeweilige Arbeitspaket-Beschreibung aus der Vorhabensbeschreibung bei der Antragseinreichung.

# Abschlussbericht

## FPE111: Analyse der Anforderungen

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift <b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum <b>Von: 01.09.2009</b> <b>Bis: 30.04.2010</b></p>	<p>(6) aktuelles Bearbeitungsdatum <b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b>          Unter der Betrachtung von neuen Anforderungen, welche sich aus verschiedenen Aspekten ergeben (z.B. Gesetze), sind die Eigenschaften an das Gesamtfahrzeug zu ermitteln. Dazu muss besonders das Antriebskonzept als Gesamtverbund betrachtet werden. Die Anforderungen sind zu erforschen und als nötige Inputgröße in die folgende Arbeitspakete einzusteuern.          Diese Anforderungen müssen zudem mit den bekannten Erfahrungen des MINI E (V 1.0) abgeglichen werden, um so die überarbeitet Anforderungen zu ermitteln.          Die Ergebnisse werden auch für zukünftige Projekte in der E-Mobilität benötigt.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anforderungen Gesetze (z.B. HV-Sicherheit)</li> <li>• Anforderungen an ein E-Fzg. durch den HV-Speicher</li> <li>• Anforderungen an ein E-Fzg. durch den E-Motor</li> <li>• Anforderungen an ein E-Fzg. durch die Leistungselektronik</li> <li>• Anforderungen aus der Infrastruktur (z.B. gesteuertes Laden)</li> <li>• Erfahrungsrückfluss aus dem MINI E (V 1.0)</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p>	<p><b>PM 22,5</b></p>
<p>(8) Unteraufträge</p>	<p>(9) Schnittstellen BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Analyse der Anforderungen

(12) benötigter Personalaufwand: PM 22,5

## **Verwendungsnachweis / Ergebnis:**

Bei den Gesetzesanforderungen bestehen zusätzliche zu den bestehenden Richtlinien für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor noch neue weitere Richtlinien bzw. bestehende entfallen, speziell für Abgase und Verbrauch.

Die wesentlich neuen Richtlinien sind:

- EG/ECE Richtlinie Funkentstörung/ elektromagnetische Verträglichkeit
- ECE Richtlinie Sicherheit Batterieelektrischer Fahrzeuge (ECE R 100)
- EG/ECE Richtlinien zu Stromverbrauch und Reichweite

Diese werden in die Anforderungen für die Konstruktion und Fertigung ein gepflegt.

Neben den Gesetzesanforderungen ergeben sich aus dem neuen Konzept für E-Motor inkl. Leistungselektronik und HV-Speicher neuartige Anforderungen an die Konstruktion und Fertigung.

Zusammenfassend haben die Analysen ergeben, dass die Reichweite das wichtigste Kriterium darstellt und dass alle technischen Lösungen dieses zum Ziel haben müssen. Auch die Sicherheit steht im Vordergrund, dies bedeutet, dass erstens alle Sicherheitssysteme wie ABS, EPS, Airbags ebenfalls vorhanden sein müssen. Aber besonders von dem Hochvolt-system darf im Crashfall keine Gefahr ausgehen. Besonders bei diesem sensiblen Punkt kann ein Fehlschlag die Akzeptanz von E-Fahrzeugen um Jahre zurücksetzen.

Diese erforschten Erkenntnisse sind die Grundlage für die Auslegung bzw. Auswahl der technischen Lösungen und sind in die einzelnen Fachbereiche als Planungsprämisse und Rahmenvereinbarungen weitergeleitet wurden.

Die Analyse wurde im Januar 2010 erfolgreich abgeschlossen.

# Abschlussbericht

## FPE112: Untersuchung genereller Konzepte für E-Automobile

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</p> <p><b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum</p> <p><b>Von: 01.09.2009</b></p> <p><b>Bis: 30.05.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</p> <p><b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Je nach Anforderungen aus Umwelt, Technik und Kunden, gibt es verschiedene Konzepte ein E- Automobil zu realisieren. Heutzutage stehen noch keine speziell für Elektrofahrzeuge entwickelten Karosserien zur Verfügung. Daher ist es notwendig, auf bauend auf heutigen Karosseriestrukturen, die Besonderheiten eines „Conversion Fzgs“ zu erforschen. Dieses ist besonders wichtig in Hinblick auf zukünftige Fahrzeuge, bei denen eine Karosseriestruktur neben dem Elektromotor auch einen Verbrennungsmotor oder einen Ranch-Extender enthalten muss.</p> <p>Das gleiche gilt für die Herstellungsprozesse. Auch hier sind die Besonderheiten (z.B. Verlegung des HV-Kabelbaums, Einbau des E-Motors, Kühlungsleitungen des HV-Speichers, etc.) noch nicht erforscht. Dieses hat wesentlichen Einfluss auf spätere Großserienprozesse.</p> <p>Zuletzt muss auch das Thema Service und Wartung berücksichtigt werden. Hier gilt es die Anforderungen aus den Werkstättenbereichen zu ermitteln.</p> <p>Die Ergebnisse werden auch für zukünftige Projekte in der E-Mobilität benötigt.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Besonderheiten bei einem Conversion Fzg.</li> <li>• Besonderheiten bei der Herstellung von E-Automobilen</li> <li>• Besonderheiten bei dem Service / Wartung von E-Automobilen</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p>	<p><b>PM 47,5</b></p>
<p>(8) Unteraufträge</p> <p>---</p>	<p>(9) Schnittstellen</p> <p>BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Untersuchung genereller Konzepte für E-Automobile

(12) benötigter Personalaufwand: PM 47,5

Die Untersuchung unterteilt sich in die folgenden drei Arbeitspakete:

1. Die Kunden- und Umwelt-Anforderungen bei Conversion Fzg. zeigen, dass die gleichen Kriterien wie Heizung und Klima, Fahrzeug-Federung bestehen wie bei konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Es bestehen keine zusätzlichen Anforderungen. allerdings sind die Erwartungen auch nicht weniger, sprich das derzeitige Niveau muss erhalten bleiben. Aus den ermittelten Kunden- und Umwelt-Anforderungen in 2009 bei Conversion Fahrzeugen bezüglich Heizung und Klima, Akustik, Federung, etc. wurden verschiedene Konzepte ausgesucht und in den nachfolgenden Arbeitspaketen genauer untersucht. Bis Mitte dieses Jahres 2010 wurde die jeweilige beste Konzeptlösung ausgewählt und die Ausplanungs- und Realisierungsphase wurde in den entsprechenden Arbeitspaketen gestartet.

2. Die Anforderungen an die Herstellung, besonders über den Prototypen-Charakter hinaus Richtung eines Serienprozess, wirken sich besonders auf die Karosseriestruktur aus. Die ersten Untersuchungen zur Anpassung zeigen, dass besondere Maßnahmen benötigt werden um das hohe Gewicht aber auch die Lage der Komponenten im Fahrzeug aufzunehmen. Ein weiter wichtiger Punkt zeigt sich im Montageprozess. Alle Hochvolt-Komponenten müssen „eigensicher“ sein, so dass auch nicht Elektrofachkräfte diese händeln und verbauen dürfen. Beim MINI E und auch anderen Kleinserien-E-Fzge ist dieses nicht gegeben. Nur speziell ausgebildetes Fachpersonal darf diese Fahrzeuge zusammenbauen. Diese Anforderungen an die Herstellung, besonders unter dem Aspekt eines zukünftigen Serienprozesses, wirken sich auf eine Vielzahl von Komponenten des Fahrzeuges aus.

Nach Festlegung der Konzeptlösung der einzelnen Komponenten und Ermittlung der verschiedenen Parameter, z.B. Gewicht, Größe, konnte mit der Untersuchung von Fertigungsmöglichkeiten begonnen werden. Dabei hat sich gezeigt, dass die Herausforderungen nicht 1:1 mit den vorhandenen Systematiken und Simulationen beurteilt werden können. Es wurden neue Möglichkeiten entwickelt, welche durch einen Probeaufbau mit Musterbauteilen im Juni 2010 bestätigt wurden (siehe FTP221).

Auch Themen wie Hochvolt-Sicherheit wurden bereits in der Montage und nicht nur bei dem Benutzer des fertigen Versuchsträgers betrachten. Ziel war es eigensichere Fahrzeuge zu erstellen. Besonders der Verbau des HV-Speichers und die anschließende Verkabelung musste hier besonders beachtet werden. Dazu bedurfte es eigens entwickelte Stecker welche einen Funkenschlag verhindern. Ebenso musste die Inbetriebnahme (Reihenfolge der

# Abschlussbericht

Zuschaltung von Komponenten und Steuergeräten) sowie die Bestromung untersucht werden und ein Konzept zu den Arbeitsfolgen erarbeitet werden. Dieses wurde in den folgenden Arbeitspaketen (FPE1xx) im 1. Halbjahr 2010 erstellt, umgesetzt und zur Verifizierung gebracht. Die Probeaufbauten mit Musterbauteilen hatten das grundsätzliche Konzept bestätigt.

Gleichzeitig sind aber auch Schwachstellen (z.B. Kühlkreislauf) aufgedeckt wurden. Auch bei der Inbetriebnahme, besonders bei der HV-Zuschaltung kam es anfänglich immer wieder zu Problemen. Als Ursache wurde eine fehlerhafte Schaltung innerhalb der Antriebselektronik ermittelt. Zur nächsten Bauphase gab es eine Bauteiländerung, so dass kein Kurzschluss mehr entsteht. Im Anschluss wurde die weitere Optimierung von Fertigungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der verschiedenen Parameter fortgesetzt.

Mit den entwickelten Konzepten besteht die Möglichkeit ein eigensicheres Fahrzeug aufzubauen, dass dieses Arbeitspaket bis Ende 2010 durch weitere Musterbauten bestätigt werden konnte.

3. Die Untersuchung zeigt, dass auch im Service / Wartungs-Bereich sich neue Anforderungen ergeben. Ebenfalls muss ein eigensicheres System entwickelt werden (in enger Abstimmung mit der Fertigung). Weiter galt es die Anforderungen bzgl. der Wartungsintervalle festzulegen. Diese hängen maßgeblich vom gewählten Konzept und der Reife der Bauteile ab. Um speziell ausgebildete Elektrofachkräfte in jedem Servicebetrieb zu vermeiden und den Schulungsaufwand für KFZ-Mechaniker gering zu halten, wurden eine Reihe von Anforderungen an die Technik besonders an die Abschaltung des Hochvoltsystems durch normal ausgebildete Mechaniker gestellt. Es musste gewährleistet werden, dass an einem spannungsfreien System Wartungsarbeiten durchgeführt werden können. Diese Anforderungen wurden an die Entwicklungsabteilungen weitergeleitet. Diese Anforderungen decken sich auch mit den Anforderungen aus der Produktion, da hier ebenfalls ein System gefordert wird, welches einen Zusammenbau der Komponenten ohne Ausbildung zur Elektrofachkraft ermöglicht.

Die aktuelle Lösung garantiert, dass Wartungsarbeiten an einem spannungsfreien System durchgeführt werden können. Nur bei dem Hochvoltpeicher wird lediglich der Ausbau bzw. Einbau der drei Batteriekisten erlaubt. Ein Öffnen und Reparieren wird nur durch die interne Fachabteilung erfolgen können, da das benötigte Spezialwerkzeug nur hier vorhanden ist. Mit dem erzielten Lösungsstand können die Anforderungen abgedeckt werden.

Das Arbeitspaket wurde erfolgreich im Mai 2011 abgeschlossen.

# Abschlussbericht

## FPE113: Untersuchung der Wechselwirkungen in E-Fahrzeugen

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift <b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum <b>Von: 01.09.2009</b> <b>Bis: 30.04.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum <b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b>          Der neue Antriebstrang inkl. HV-Speicher wird in ein bestehendes Fahrzeugkonzept integriert. Die bestehenden elektrischen als auch mechanischen Komponenten (Heiz / Klima, Multimedia, elektr. Fensterheber, etc.) haben direkten Einfluss auf die neu hinzu gekommenen Teile. Andererseits besteht auch eine Wechselwirkung mit diesen.          Genau diese Wechselwirkungen sind zu erforschen, da die Ergebnisse wichtige Inputgrößen für die Detailerforschung in den FPE121 und folgende ist.          Die neue Antriebstechnik bietet auch Chancen für neue Funktionen, welche bis jetzt noch nicht darstellbar waren. Wie weit diese sinnvoll sind und auch unter welchen Bedingungen (z.B. Kosten) realisierbar sind ist ebenfalls zu erforschen.          Die entstehenden Ströme / Spannungen haben ebenfalls Auswirkung auf die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Diese Auswirkungen sind ebenfalls zu erforschen.          Die Ergebnisse werden auch für zukünftige Projekte in der E-Mobilität benötigt.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfluss der heutigen Komponenten auf die HV-Komponenten</li> <li>• Einfluss der HV-Komponenten auf die Niedervolt-Komponenten</li> <li>• Neue E-Fahrzeugspezifische Funktionen</li> <li>• Besonderheiten bei der Integration von E-Funktionen</li> <li>• Besonderheiten der EMV</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p>	<p><b>PM 30,5</b></p>
<p>(8) Unteraufträge</p>	<p>(9) Schnittstellen BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) *Arbeitspakettitel*

Untersuchung der Wechselwirkungen in E-Fahrzeugen

(12) *benötigter Personalaufwand: PM 30,5*

## **Verwendungsnachweis / Ergebnis:**

Im ersten Schritt wurde ermittelt welche Komponenten betroffen sind. Die vorhandenen Komponenten (z.B. Heiz / Klima, Multimedia, elektr. Fensterheber) wurden hinsichtlich der physischen Eigenschaften wie Stromstärke, Spannung, Kapazität, etc. erfasst und deren Einfluss auf das Gesamtsystem untersucht. Die Ergebnisse aus der Anforderungsanalyse sind wichtige Eingangsparameter für die folgenden technischen Lösungen. Die Einflüsse auf das Gesamtsystem wurden simuliert und konnten auf Komponenten-Ebene direkt gemessen werden. Eine Untersuchung am Gesamtfahrzeug wurde in der zweiten Jahreshälfte 2010 an den ersten Prototypen durch geführt. Es hat sich bereits jetzt bei den ersten Hardwaretests gezeigt, dass miteinander verbundene Komponenten ein anderes Verhalten als auf Einzelteil-Ebene vorweisen als in der Simulation.

Desweiteren sind die Anforderungen aus Sicht der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) zu untersuchen. Dieses wurde im ersten Schritt für den europäischen Raum durchgeführt. Da sich die Elektromobilität als globaler Trend abzeichnet sind auch die internationalen Anforderungen in einem nächsten Schritt noch zu ermitteln. Die Voruntersuchungen und die gesetzlichen Regelungen der verschiedenen Länder zeigen aktuell, dass besonders bei Elektromobilen von einem hohen Einfluss durch magnetische Strahlung ausgegangen.

Die EMV-Simulation unterstützt bei der Konzeption von elektrischen und elektronischen Systemen. Der Ansatz liegt vor allem in der frühen Phase, in der noch keine Hardware (Steuergeräte, Kabelbaum, Karosserie) zur Verfügung steht. Aufgabengebiete sind die Bewertung unterschiedlicher Kabelbaumverlegungen im Hinblick auf ihr Störpotenzial an den Fahrzeugantennen und das Übersprechen innerhalb des Kabelbaums. Als Eingangsparameter dienen CAD-Daten der Karosserie, Antennenstruktur und der Mittelpolygonzugslinien des Kabelbaums. Ein weiteres Gebiet ist die Bewertung von Bauräumen und Kabelbaumverlegungen hinsichtlich der Störfestigkeitsanforderungen gegenüber externen elektromagnetischen Feldern. Es liegen für die EMV-Simulation zwar Erfahrungen von konventionellen Fahrzeugen vor, allerdings war am Anfang nicht klar, ob die jetzigen Verfahren auch für den Elektroantrieb übertragbar sind.

Die ersten Simulationen haben leichte Überschreitungen der Grenzwerte gezeigt.

# Abschlussbericht

In der BMW eigene EMV-Halle wurden mit den ersten Gesamtfahrzeugen verschiedene Tests durchgeführt. Die Schirmung der EMV-Halle (Abbildung 10) hindert elektromagnetische Felder daran, die Halle zu verlassen und gleichzeitig hält sie externe Felder davon ab nach innen zu gelangen. Die Absorber unterdrücken ungewollte, stehende Wellen, die durch Reflektion an den leitenden Wänden entstehen. Durch diese Maßnahmen wird sichergestellt, dass Messungen am Prüfling weder durch externe Störungen noch durch interne Reflektionen verfälscht werden.

Störaussendungsmessungen gewährleisten einen störungsfreien Empfang sämtlicher Funkdienste im Fahrzeug (Rundfunk, TV, DAB, GSM, GPS, usw.). Störfestigkeitsprüfungen gewährleisten die ordnungsgemäße Funktion aller E/E-Systeme in der elektromagnetischen Umwelt. Die Prüfungen finden im Frequenzbereich von 100 kHz – 3 GHz (18GHz) mit Sendeleistungen bis zu 10.000 W statt. Die Absorberhallen sind auch Entwicklungswerkzeuge, mit denen auf Fahrzeugebene Abhilfemaßnahmen zur Erreichung der EMV-Anforderungen evaluiert und verifiziert werden.



Abbildung 10: EMV-Halle

# Abschlussbericht

Die ersten Messungen hatten gezeigt, dass besonders die Antriebselektronik (AE) noch Probleme bereitet. Bei der ersten Komponentenmessung (gestrahlt vertikal) im EMV-Labor kam es noch zu zahlreichen Abweichungen. Das Ergebnis ist in Abbildung 11 dargestellt.

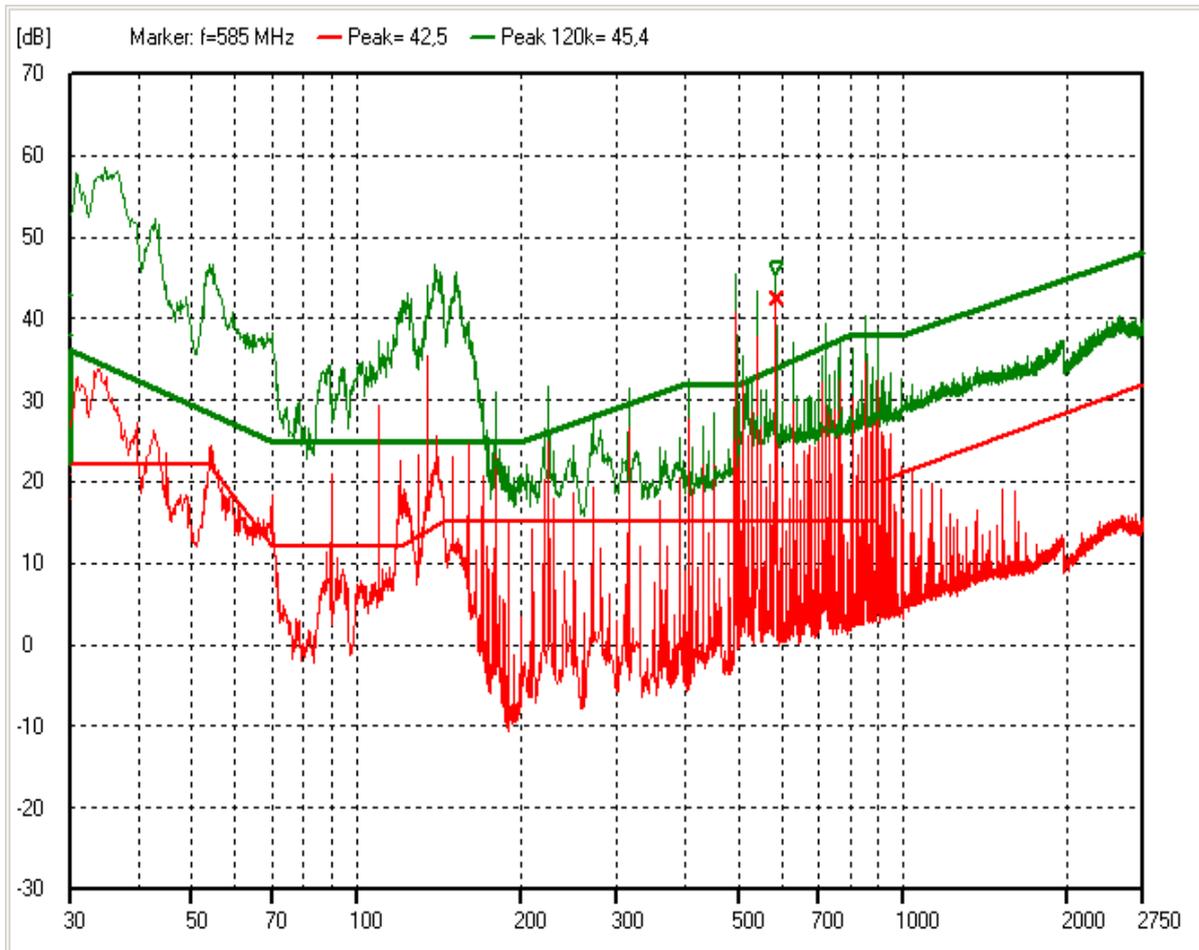


Abbildung 11: AE - Komponentenmessung

Die genauen Rahmenbedingungen waren: Motorbetrieb mit 60A Phasenstrom 2500Umdr. 8KW Eingangsstrom (von der HV-Quelle 350V): 23A; ohne DC/DC-Wandler.

Die Grenzwertempfehlungen der ICNIRP für die Emission-Magnetfelder (Personenbelastung) wurden von Anfang an erfüllt. Die Auswirkungen der Überschreitungen haben sich besonders in den AM-Empfangsbändern durch Empfangsstörungen bemerkbar gemacht.

Durch Überarbeitung einzelner Bauteile in der Antriebselektronik als auch einer besseren Abschirmung durch das Gehäuse, konnte zum Ende des Projektes im September 2011 die Grenzwerte eingehalten werden.

# Abschlussbericht

## FPE121: Entwicklung zur Betriebsstrategie von E-Fahrzeug

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</p> <p><b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum</p> <p><b>Von: 01.09.2009</b></p> <p><b>Bis: 30.06.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</p> <p><b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Ziel ist es mit dem begrenzten Energievorrat (Kapazität des HV-Speichers) eine möglichst hohe Reichweite mit entsprechenden Fahrleistungen erreichen. Zusätzlich müssen die Komfortfunktionen wie z.B. Heizung / Klima, Multimedia für den Kunden ausreichend zur Verfügung stehen. Die Funktion „Elektrisches Laden“ muss neu in das Fahrzeug integriert werden und damit eine neue und optimale Betriebsstrategie erforscht werden.</p> <p>Nachdem Erforschen der vielfältigen Anforderungen erfolgt die applikative Umsetzung in den Fahrzeugfunktionen. Die Applikation erfolgt durch Fahrzeugtest und den dazugehörigen Analysen der Ergebnisse. Dieser iterative Prozess spiegelt sich in den Systemfunktionen, dem Powermanagement und dem Fahrzeugzustandsmanagement wieder.</p> <p>Eine endgültige Verifizierung findet in während des Aufbaus von Fahrzeugen (FPE22x) und der anschließenden Erprobung (FPE320) statt.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung der Anforderungen</li> <li>• Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>• Analyse und Optimierung einer optimalen Betriebsstrategie</li> <li>• Absicherung der Betriebsstrategie</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand <b>PM 8,0</b></p>	
<p>(8) Unteraufträge</p> <p>Für bestimmte Untersuchungen und Entwicklung sind derzeit mehrere Ingenieurbüros angefragt, da aus Kapazitäts-Gründen eine BMW interne Bearbeitung nicht erfolgen kann.</p> <p>Der Vergabeumfang beträgt ca. 220.000,00 €.</p>	<p>(9) Schnittstellen</p> <p>BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Entwicklung zur Betriebsstrategie von E-Fahrzeug

(12) benötigter Personalaufwand: PM 8,0

## Verwendungsnachweis / Ergebnis:

Die Anforderungen inkl. der verschiedenen beeinflussenden Parameter wurden ermittelt. Zudem wurde damit begonnen die verschiedenen Strategien zu bewerten und die jeweiligen Vor- und Nachteile mit einander zu vergleichen. Zur Entwicklung der Betriebsstrategie war ein mehrstufiger Prozess vorgesehen (siehe Abbildung 12), welcher sich in mehrere Reifenstufen aufteilt. Zuerst wurden nur die Grundfunktionen zusammengefügt. Die erste Inbetriebnahme erfolgte z.B. noch ohne den Hochvoltspeicher. Der benötigte Strom wurde direkt aus einem externen Ladegerät entnommen und dem Versuchsfahrzeug zugeführt. Da die Integration des HV-Speichers mit sämtlichen Steuerleitungen und Schutzabschaltungsleitungen eine große Komplexität darstellt, konnte dieses erst in einer folgenden Reifestufe durchgeführt werden. Zudem wurden am Anfang noch keine Fahrerassistenzsysteme wie z.B. ABS, DSC, Navigation implementiert.

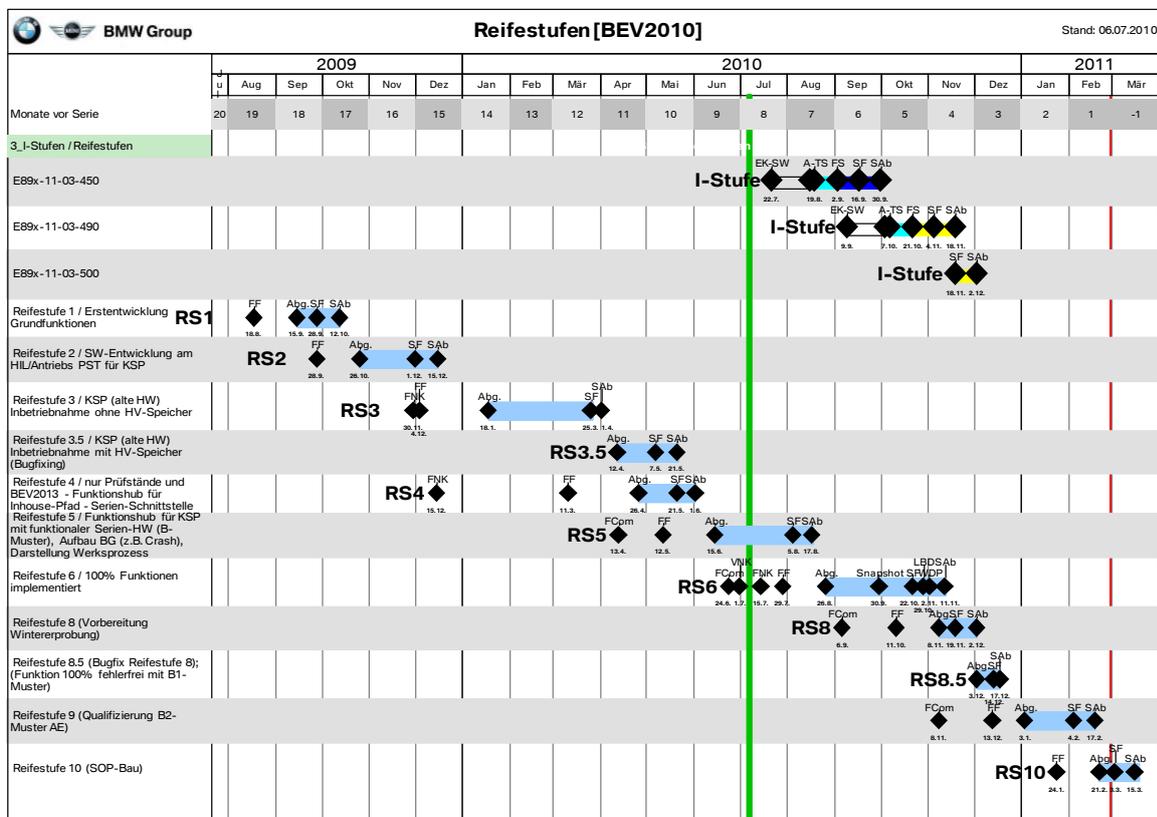


Abbildung.12: Reifestufen-Planung

Zuerst erfolgte Untersuchungen am „statischen Lab-Car“ (Labor-Fahrzeug) mit den Grund-

# Abschlussbericht

funktionen. Nach erfolgreicher Umsetzung wurde die Integration in Versuchsfahrzeuge ausgeplant (dynamisches Lab-Car). Die Funktionsimplementierung erfolgte dann seit September 2010 im Gesamtfahrzeug. Die Grundfunktionen können im Fahrzeug abgebildet werden. Allerdings gab es am Anfang mit den Fahrzeugen im Versuchsbetrieb immer wieder Probleme (z.B. Leistungsmangel, Aussetzer, Selbstentladung, etc.).

Dieses wurde mit der Reifestufe 5 erarbeitet, welche für den Betrieb der ersten Versuchsfahrzeuge benötigt wurde. Im zweiten Halbjahr 2010 wurde dann erstmals die Umsetzung aller Funktionen inkl. Fahrerassistenzsysteme durchgeführt. Dieses musste noch vor Dezember erfolgen, damit die Versuchsträger im Januar zur Wintererprobung nach Schweden versandt werden konnten.

Die Betriebsstrategie, von der Festlegung der Anforderungen bis zur Absicherung war bis zum Ende des Projektes stark iterativer Prozess. Wie sich jedoch gezeigt hatte, reichten die ursprünglich 10 Schritte nicht aus und es kam zu einer Verlängerung durch 4 weitere Reifestufen bis zum 30.09.2011. Es hat sich in der Erforschung und Entwicklung gezeigt, dass die Beherrschung aller Funktionen in so einem komplexen System „Gesamtfahrzeug“ mit neuartigen Funktionen ausführlicher betrachtet und bearbeitet werden musste. Grundsätzlich besteht die Absicherung einer Reifestufe aus mehreren Arbeitsschritten (siehe Abbildung 13):

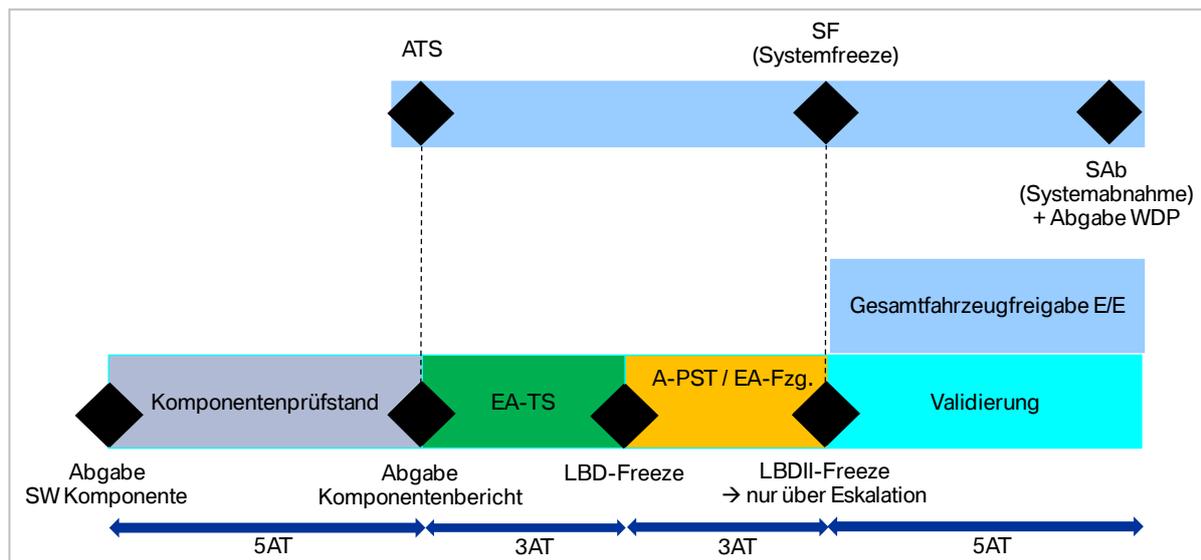


Abbildung 13: Generika zur Absicherung der einzelnen Reifestufe.

Das Ziel wurde erreicht, es wird über die Laufzeit des Förderprojektes heraus bei den bestehenden Versuchsträgern noch zu Software-Updates kommen, da diese zu weiteren Forschungszwecken bei der BMW AG genutzt werden sollen.

# Abschlussbericht

## FPE122: Entwicklung zum intelligenten Energiemanagement

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift <b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum <b>Von: 01.09.2009</b> <b>Bis: 31.05.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum <b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b>          Die Betriebsstrategie (FPE121) fließt unmittelbar in das intelligente Energiemanagement ein. Durch die Vielzahl an elektrischen Verbrauchern (Hochvolt und Niedervolt) bedarf es einer intelligenten Steuerung der Energieflüsse, um eine maximale Verfügbarkeit der Funktionen und Reichweite für den Kunden zur Verfügung zu stellen.          Diese vielfältigen Anforderungen sind zu erforschen. Dazu bedarf es einer genauen Analyse der Verbrauchs- und Erzeugerströme, abhängig vom Fahrzeugzustand.          Die Umsetzung erfolgt in einer Applikation, die durch Fahrzeugtests und Erforschung der Ergebnisse entwickelt wird.          Die Ergebnisse werden auch für zukünftige Projekte in der E-Mobilität benötigt.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermittlung der Anforderungen an den E-Motor aus den Eigenschaften Gesamtfahrzeug</li> <li>• Erforschung der Wechselwirkungen auf das System „Gesamtfahrzeug“</li> <li>• Auswahl von möglichen neuen Innovativen Konzepten und Entwickeln von neuen innovativen Lösungen zum E- Motor</li> <li>• Konstruktion bzw. Beschaffen von Bauteilen zur Verifizierung bzw. Absicherung in den jeweiligen Bauphasen</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p>	<p><b>PM 6,0</b></p>
<p>(8) Unteraufträge          Für bestimmte Untersuchungen und Entwicklung sind derzeit mehrere Ingenieurbüros angefragt, da aus Kapazitäts- bzw. Know-How-Gründen eine BMW interne Bearbeitung nicht erfolgen kann.          Der Vergabeumfang beträgt ca. 490.000,00 €.</p>	<p>(9) Schnittstellen          BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Entwicklung zum intelligenten Energiemanagement

(12) benötigter Personalaufwand: PM 6,0

## **Verwendungsnachweis / Ergebnis:**

Die Anforderungen an die intelligente Steuerung der Energieflüsse wurden ermittelt. Zudem wurde die verschiedenen Steuerungsmöglichkeiten bewertet und die jeweiligen Vor- und Nachteile mit einander verglichen. Anschließend erfolgte die Funktions-Entwicklung.

Die verschiedenen Wege wo und wie Energie verbraucht wird aber auch gewonnen wurde konnte sehr schnell ermittelt werden. Die Besonderheit liegt in der Kontrolle und der Steuerung diese. Erst als alle Zustände ermittelt wurden, konnten die Wechselwirkungen bzw. die Abhängigkeiten beurteilt werden. Das ganze folgte immer dem Prinzip „ Aktion gleich Reaktion“. Um keine unerwünschten Reaktionen zu erhalten, war es zwingend erforderlich möglichst alle Zustände zu definieren und die Auswirkungen zu steuern.

Diese konnte natürlich nur im zeitlichen Kontext mit dem Arbeitspakt FPE121: Entwicklung zur Betriebsstrategie erfolgen. Mit zunehmenden Funktionen wurden auch die Auswirkungen auf das Energiemanagement immer ausgeprägter. Die Themen sind sehr vielfältig und betreffen das ganze Bord- und Busnetz.

Ein paar Themen sind im folgenden beispielhaft aufgelistet:

- o Aktivierung der Batterieüberwachung bei Bus-Ruhe
- o Abschalten von Standverbrauchern (Master-Anteil des Advanced Electric Power Management in der digitalen Motorelektronik)
- o Verbraucherreduzierung bei Erkennung einer Unterspannung
- o Verbraucherreduzierung zur Entlastung / Belastung des DCDC-Wandlers
- o Verbraucherreduzierung bei Zuschaltung des ECO-Comforts
- o Anforderung der optimalen Ladespannung in Abhängigkeit von der Batterietemperatur
- o Ermittlung der Minimal Spannung zur Sicherstellung einer ausreichenden Ladung der Batterie
- o Ermittlung der Minimal Spannung zur Regeneration der Batterie
- o Ermittlung der Maximal Spannung zum Schutz der Batterie vor Überspannung, Überladung und Gasung (Schutz der Batterie vor dauerhaft zu hoher Spannung (Gasung/Überladung))

- o Ladeleitungskompensation

Neben den funktionalen Themen muss auch ein Hinweis bezüglich Fehlfunktion an den Fahrer erfolgen, dazu sind verschiedene Warnhinweise im Check-Control-Display zu entwickeln. Folgende Hinweis wurden als nötig entschieden.;

- o CC-Meldung "Batterie stark entladen!"
- o CC-Meldung "Erhöhte Batterieentladung!"
- o CC-Meldung "Generator gestört"

In Summe mussten über 550 Themen bearbeitet werden. Auch eine Priorisierung der einzelnen Funktionen und Energieflüsse musste erfolgen. Bei der Optimierung wurde z.B. darauf geachtet, dass sicherheitsrelevante Systeme immer mit Energie versorgt werden und so eine Grundstabilität im System besteht. Anschließend musste auch bei den Komfort-Funktionen noch eine Reihenfolge festgelegt werden.

Die verschiedenen Funktionen wurden zuerst an einem Simulator programmiert und wurden gleich in die ersten Versuchsträgers implementiert. Auch hierbei handelte es sich um einen iterativen Prozess, der teilweise nur durch praktische Tests bestätigt werden konnte. Auf Grund der Erfahrungen bei den einzelnen Tests wurden teilweise noch Anpassungen im Energiemanagement durch geführt.

Um die Reichweite noch zu steigern wurde zusätzlich ein „Effizienz- Programm“ mit dem Namen „EcoPro“ erstellt Bei Betätigung eines Schalters wird bei bestimmten Funktionen wie z.B. Reduzierung der Klimaanlage-Leistung, Reduzierung der Beschleunigung. Dieses führt zu einer 15 -20% Steigerung der Reichweite bei nur leichten Einbußen.

Das Arbeitspaket konnte mit großem Erfolg (inkl. EcoPro) abgeschlossen werden.

# Abschlussbericht

## FPE123: Entwicklung eines Ladekonzeptes

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift <b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum <b>Von: 01.09.2009</b> <b>Bis: 30.09.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum <b>11.12.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Zur Erstellung eines Ladekonzeptes bedarf es einer genauen Analyse der vorhandenen externen Infrastruktur (Energieversorger) sowie der zur Verfügung stehenden Hardware (z.B. Stecker). Zudem müssen die Anforderungen bezüglich Ladezeit, HV-Sicherheit, Kundenkomfort, etc. abhängig vom Fahrzeugzustand berücksichtigt werden.</p> <p>Weitere technische Anforderungen aus der Stromtragfähigkeit der Kabelverbindung so wie internationalen Standards müssen in den Untersuchungen und Konzepten einfließen.</p> <p>Nach Erforschung möglicher Konzepte kann eine Entwicklung der Ladefunktion und des Ladegerätes im Gesamtfahrzeug erfolgen. Dazu bedarf es einer Anpassung der Fahrzeuginfrastruktur zum Laden sowohl beim HV-Bordnetz als auch beim 12 Volt-Bordnetz.</p> <p>Kundenrelevante Funktionen wie „Intelligentes Laden“ und verschiedene Modi (z.B. Fast-charge, Classic) werden ebenfalls berücksichtigt und zusammen mit den Anforderungen an das Anzeige-Bedien-Konzept (Arbeitspaket E170) entwickelt.</p> <p>Die Umsetzung erfolgt in einer Applikation (Ladefunktion zur Steuerung des Ladevorgangs), die durch Fahrzeugtests und Erforschung der Ergebnisse bestätigt werden.</p> <p>Die Ergebnisse werden auch für zukünftige Projekte in der E-Mobilität benötigt.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• - Festlegung der Anforderungen bzgl.: =&gt; Systemfunktionen =&gt; intelligentes Laden</li> <li>• Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>• Analyse und Optimierung des Ladekonzeptes</li> <li>• Absicherung</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p>	<p><b>PM 16,0</b></p>
<p>(8) Unteraufträge</p>	<p>(9) Schnittstellen BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Entwicklung eines Ladekonzeptes

(12) benötigter Personalaufwand: PM 16,0

## Verwendungsnachweis / Ergebnis:

Die Anforderungen bezüglich des Ladens wurden ermittelt. Es zeigte sich, dass es eine Vielzahl von ganz unterschiedlichen Anforderungen gibt welche die unterschiedlichen Interessensgruppen wie z.B. Kunde, Industrie, Energieversorger, Automobil-Hersteller haben. Daher war der erste Schritt sich auf bestimmte Interessensgruppen zu beschränken, da nicht alle Anforderungen mit bestehenden technischen Lösungen abzudecken sind. Die verbleibenden Anforderungen wurden bewertet und die jeweiligen Vor- und Nachteile mit einander verglichen.

Auf Grund der sich entwickelnden Infrastruktur mit öffentlichen Ladesäulen zeigt der Trend zu einem 32Ah Laden. Diese Entwicklung führt dazu, dass auch der BMW E für ein maximales Laden mit 32Ah entwickelt wurde. Nach Festlegung dieser Prämisse wurden alle Komponenten ausgelegt. Zudem deutet sich an, dass in der Zukunft für Schnellladen die Gleichstrom-Technik (DC-Laden) verwendet wird. Da DC-Laden aber in den nächsten Jahren noch nicht flächendeckend vorhanden sein wird, ist für den BMW E die Möglichkeit von DC-Laden nicht vorgesehen.

Im nächsten Schritt wurde auch die Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladestation untersucht. Auf dem Weltmarkt gibt es nur sehr wenig zertifizierte Steckerlösungen, welche neben der reinen Übertragung des Stroms auch noch eine Steuerleitung enthalten um eine Kommunikation zwischen Ladesäule und Fahrzeug zu ermöglichen. Erste Tests wurden noch Ende 2009 mit den verfügbaren Steckern durchgeführt. Dabei wurden zum Beispiel der Kraftaufwand beim Stecken und Entnehmen und die damit verbundene Alltagstauglichkeit überprüft. Ein anderer Test hat die Auswirkung von Kälte und Schnee bzw. Regen untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass es bei einigen Steckern zum Einfrieren zwischen Buchse und Stecker kommt. Bedingt durch diesen Zustand war ein Lösen nur mit erheblichem Kraftaufwand möglich war. Bei einem Stecker ist es sogar zum Bruch der Schutzkappe gekommen.

Weiter gehört zum Thema Ladekonzept das Erkennen von einer Überspannung oder einer Unterspannung, ebenfalls musste eine Tiefentladung vermieden werden. Diese verschiedenen Zustände mussten erkannt werden und die Steuerungssoftware des Fahrzeugens musste dementsprechend Gegenmaßnahmen selbstständig durchführen.

# Abschlussbericht

Die Anforderungen und Zwischenergebnisse flossen immer wieder in iterativen Schleifen in die regelmäßigen stattfindenden Entwicklungsrunden der verschiedenen Fachabteilungen ein.

Nach Abwägung aller Vor- und Nachteile wurde entschieden für den BMW E auf der Fahrzeugseite (siehe Abbildung 14) den SAE J1772 Stecker zu verwenden. Dieser ist für Einphasenstrom mit 240 V und 70 A ausgelegt und hat wie der IEC 62196-2 Typ 2 Stecker zwei Signalleitungen für die Kommunikation mit dem Fahrzeug. Es wird je nach Ladesäule und Standard-Haus-Stromanschluss mit verschiedenen Adapterlösungen geladen.



Abbildung 14: Anschluss für SAE J1772 Stecker

Bei den verschiedenen Tests bzgl. Kraftaufwand beim Stecken und Entnehmen, Alltagstauglichkeit und Auswirkung von Kälte und Schnee bzw. Regen hat sich der SAE J1772 Stecker bewährt.

Das Arbeitspaket konnte zeitgerecht beendet werden.

# Abschlussbericht

## FPE130: Darstellung zur elektrischen Sicherheit (Fzg .und Komponenten)

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</p> <p><b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum</p> <p><b>Von: 01.09.2009</b></p> <p><b>Bis: 30.06.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</p> <p><b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Die Integration von HV-Komponenten im Automobil ist derzeit noch nicht im Detail erforscht und realisiert. Die ersten Versuche haben gezeigt, dass die HV-Sicherheit ein wesentliches Element bei der E-Mobilität ist.</p> <p>Die Anforderung bzgl. der HV-Sicherheit kommen aus:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesetzgebung (national als auch international)</li> <li>- Risikoanalyse des Gesamtfahrzeugs</li> <li>- Normen und Standards für Komponenten</li> <li>- bestehenden Sicherheitssystemen (z.B. Airbagsteuerung)</li> </ul> <p>Ziel ist es diese im Gesamtfahrzeug in Funktionen und Hardware zu Erforschen und Lösungen zu entwickeln und umzusetzen.</p> <p>Die Bestätigung erfolgt im Aufbau von Fahrzeugen und anschließenden Test und Analysen.</p> <p>Die Ergebnisse werden auch für zukünftige Projekte in der E-Mobilität benötigt.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung der Anforderungen <ul style="list-style-type: none"> <li>=&gt; HV-Sicherheit (Gesamtsystem und Komponenten)</li> <li>=&gt; elektrofahrzeugspezifische Airbagsteuerung (Crash-Fall)</li> </ul> </li> <li>• Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>• Risiko-Analyse</li> <li>• Absicherung der Konzepte im „Labcar“ und im Fahrzeug</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p> <p><b>PM 24,0</b></p>	
<p>(8) Unteraufträge</p> <p>Für bestimmte Untersuchungen und Entwicklung sind derzeit mehrere Ingenieurbüros angefragt, da aus Kapazitäts- bzw. Know-How-Gründen eine BMW interne Bearbeitung nicht erfolgen kann.</p> <p>Der Vergabeumfang beträgt ca. 490.000,00 €.</p>	<p>(9) Schnittstellen</p> <p>BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Darstellung zur elektrischen Sicherheit (Fzg .und Komponenten)

(12) benötigter Personal-  
aufwand: PM 24,0

## **Verwendungsnachweis / Ergebnis:**

Die allgemeinen Anforderungen aus dem FPE 111 haben bereits gezeigt, dass das Thema Sicherheit sowohl im HV-Bereich als auch die allgemeine Fahrzeugsicherheit (Airbag, ASB, ESP, etc.) eine wichtige Rolle einnimmt damit die entscheidende Akzeptanz von Elektrofahrzeugen entsteht. Aufgrund der hohen Ströme bis zu 400 Volt kann es bereits bei dem Zusammenstecken der Kabel in den Steckern zu Lichtbogen kommen, da die HV-Speicher bereits vorgeladen sind. Besonders aber im Betrieb und erst Recht im Crash-Fall muss ein Maximum an HV-Sicherheit gewährleistet sein.

Daher wurde hierbei viel Wert auf eine genaue Risikoanalyse gelegt. Diese Anforderungen wurden ermittelt und an die Konstruktion weitergereicht. Es handelt es sich um einen iterativen Prozess, da aus Sicht der Konstruktion verschieden Konzepte zur Erfüllung der Anforderungen zur Verfügung stehen. Die verschiedenen Konzepte wurden bewertet und die jeweiligen Vor- und Nachteile mit einander zu vergleichen.

So hat sich in den Untersuchungen gezeigt, dass es besonders abgeschirmte HV-Kabel geben muss, welche um die stromführenden Litzen noch eine Ummantelung mit Drahtgeflecht aufweisen und ganz außen dann eine Kunststoff-Ummantelung besitzen. Das Drahtgeflecht ist an ein so genanntes „Interlock“-Steuergerät angeschlossen, welches bei einer Veränderung des elektrischen Widerstandes im Drahtgeflecht sofort die Abschaltung des HV-Systems veranlasst. So kann bei einem Eindringen von Gegenständen in die HV-Kabel eine größtmögliche Sicherheit gewährleistet werden. Die Untersuchungen betrachteten auch den Fall von Maderbissen, welche das gesamte System zum Erliegen bringen könnten.

Die passive Sicherheitskomponenten (Airbag, ABS, etc.) waren zum größten Teil Übernahmen aus vorhandenen Fahrzeugen. Allerdings war die Steuerung zu untersuchen und neu abzustimmen. Die passiven Sicherheitskomponenten arbeiten im 12 Volt-Bereich, daher musste sichergestellt werden, dass bei einem Abschalten des HV-Systems diese Systeme weiter funktionieren. Diese Wechselwirkungen werden auch im FPE113 mit betrachtet.

Die durchgeführten Tests haben im Juni 2011 gezeigt, dass die Funktionalität in allen Situationen gegeben ist, so dass das Arbeitspaket erfolgreich abgeschlossen wurde.

# Abschlussbericht

## FPE140: Untersuchung zur Karosserie (Fertigungskonvergenz)

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</p> <p><b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum</p> <p><b>Von: 01.09.2009</b></p> <p><b>Bis: 30.06.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</p> <p><b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Neben den Anforderungen an die Konstruktion aus Crashesicherheit, geometrischer Integration, etc. gibt es auch noch Anforderung aus der Fertigungskonvergenz. Anders als bei einzelnen Prototypenaufbauten („Bastellösung“) müssen für ein Kleinserie bzw. langfristig Großserie auch die Belange aus Sicht der Produktion sichergestellt werden.</p> <p>Nur unter Berücksichtigung der Themen wie Verbaubarkeit, Ergonomie, Kosten, etc. ist eine Nachhaltige Entwicklung sinnvoll. Da bis jetzt noch keine Erfahrungen dazu vorliegen, gilt es genau diese Anforderungen und möglichen Konzepte zu erforschen und später in einem Aufbau von Fahrzeugen nachzuweisen (FPE22x).</p> <p>Die Ergebnisse werden auch für zukünftige Projekte in der E-Mobilität benötigt.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung der Anforderungen</li> <li>• Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>• Analyse der Prozessierbarkeit (=&gt; FPE221)</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand <b>PM 14,0</b></p>	
<p>(8) Unteraufträge</p> <p>Für bestimmte Untersuchungen und Entwicklung sind derzeit mehrere Ingenieurbüros angefragt, da aus Kapazitäts-Gründen eine BMW interne Bearbeitung nicht erfolgen kann.</p> <p>Der Vergabeumfang beträgt ca. 350.000,00 €.</p>	<p>(9) Schnittstellen</p> <p>BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Untersuchung zur Karosserie (Fertigungskonvergenz)

(12) benötigter Personalaufwand: PM 14,0

## Verwendungsnachweis / Ergebnis:

Bei diesem Arbeitspaket bestand eine große Abhängigkeit von den anderen Arbeitspaketen, denn die untersuchten und entwickelten Lösungen mussten in das Fahrzeug integriert werden, Dabei mussten neben den rein geometrischen Anforderungen auch noch die Fertigungskonvergenz, sprich die Anforderungen an Montierbarkeit, Ergonomie, Kosten, etc. berücksichtigt werden. Um dieses sicherzustellen wurde bereits bei der Erarbeitung von Lösungen für z. B. Verbau Klimatisierung, Hochvolt-Leitungen, Fahrwerk direkter Einfluss durch die Fachingenieure für Karosseriebau genommen.

In diesem Arbeitspaket mussten für alle neuen Komponenten (bis hin zu den neuen Haltern für die Kühlmittleitungen) eine Festlegung und Untersuchung durchgeführt werden.

Es konnte für alle Bauteile verschiedene Bauräume gefunden werden, welche die Funktionalität sicherstellte. Die ersten Testaufbauten hatten gezeigt, dass bei der Fertigungskonvergenz, besonders die Anforderungen an Montierbarkeit teilweise Kompromisse gewählt werden mussten. Dieses war bei dem Aufbau einer Versuchsflotte noch akzeptabel.

Es wurden dennoch einzelne Optimierungen vorgenommen. Dieses sind im Pulk 2 (siehe FPE222) eingeflossen und wurden im Pulk 3 (siehe FPE223) endgültig Verifiziert.

# Abschlussbericht

## FPE150: Entwicklung zum Klima- / Kühlkonzept

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift <b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum <b>Von: 01.09.2009</b> <b>Bis: 31.08.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum <b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b>          Auf Grund der neuen Randbedingungen wie z.B. kein Riementrieb des Verbrennungsmotors zum Antreiben des Klimakompressors sind neue Lösungen zu erforschen. Zudem ändert sich auch der Bedarf an Kühlungsleistung, da der HV-Speicher eine zusätzlich exotherme Quelle darstellt, welche einen hohen Kühlungsbedarf aufweist.          Zuerst müssen die neuen Anforderungen auf systemtechnischer als auch mechanischer Seite erforscht werden. Bereits hier zeigen sich Wechselwirkungen mit der Betriebsstrategie und dem Energiemanagement. Aufbauend auf dem entschiedenen Konzept werden konkrete Lösungen entwickelt. Neben dem neuen Hochvolt- Kältemittel-Verdichter inkl. Kabelbaum sind auch Klimaleitungen hinsichtlich der Thermodynamik und der anschließenden Strömungssimulation zu erforschen und dem entsprechend auszulegen.          Die Ergebnisse fließen direkt in zukünftige Projekte in der Elektromobilität ein.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung der Anforderungen (besonders des HV-Speicher)</li> <li>• Auswahl von möglichen Konzepten (Abhängig von FPE12x &amp; FPE 160)</li> <li>• Auswahl und Optimierung eines elektrischen Kältemittelverdichters</li> <li>• Analyse und Festlegung einer optimalen Kühlstrategie</li> <li>• Geometrische Integration eines Hochvolt- KV (insb. die schwingungsdämpfe. Lagerung)</li> <li>• Physische Integration in das Bord-Netz</li> <li>• Absicherung des Klimasystem im Fahrzeug</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand <b>PM 9,5</b></p>	
<p>(8) Unteraufträge          Für bestimmte Untersuchungen und Entwicklung sind derzeit mehrere Ingenieurbüros angefragt, da aus Kapazitäts-Gründen eine BMW interne Bearbeitung nicht erfolgen kann.          Der Vergabeumfang beträgt ca. 490.000,00 €.</p>	<p>(9) Schnittstellen          BMW intern</p>

(11) Arbeitspaketitel

Entwicklung zum Klima- / Kühlkonzept

(12) benötigter Personalaufwand: PM 36,5

### Verwendungsnachweis / Ergebnis:

Die Arbeitspakete Entwicklung zum Klima- / Kühlkonzept (FPE150) & die Entwicklung zum Heizkonzept (FPE160) konnten wie geplant begonnen werden. Es hat sich gezeigt, dass eine eindeutige Trennung dieser beiden Themen nicht möglich war und eine gemeinsame Betrachtung zielführender war. Daher wurden diese beiden Themen zusammengelegt.

Als erster Schritt wurden auch hier die Anforderungen der Verbraucher als auch die Umweltbedingung ermittelt und bei der Auswahl möglicher Konzepte berücksichtigt. Bevor es zur Auswahl der einzelnen Komponenten kommen konnte, bedurfte es wieder einem iterativen Prozess, hierbei wurden besonders die Schnittstelle und Wechselwirkungen zu der Betriebsstrategie von E-Fahrzeugen (FPE121) und dem intelligenten Energiemanagement (FPE122) berücksichtigt. Parallel dazu wurde mit der Konzeptarbeit begonnen um die einzelnen Komponenten wie Klimakompressor, Wärmetauscher, Pumpen zu untersuchen und die möglichen Konzepte miteinander zu vergleichen. Zeitgleich wurde auch eine mögliche Einbaulage im Fahrzeug untersucht. Dieses hatte wiederum Wechselwirkungen mit den Untersuchungen zur Karosserie (FPE140) und den damit verbundenen Montageprozessen.

Das entwickelte Heiz -/ Kühlungskonzept stellt Abbildung 15 dar.

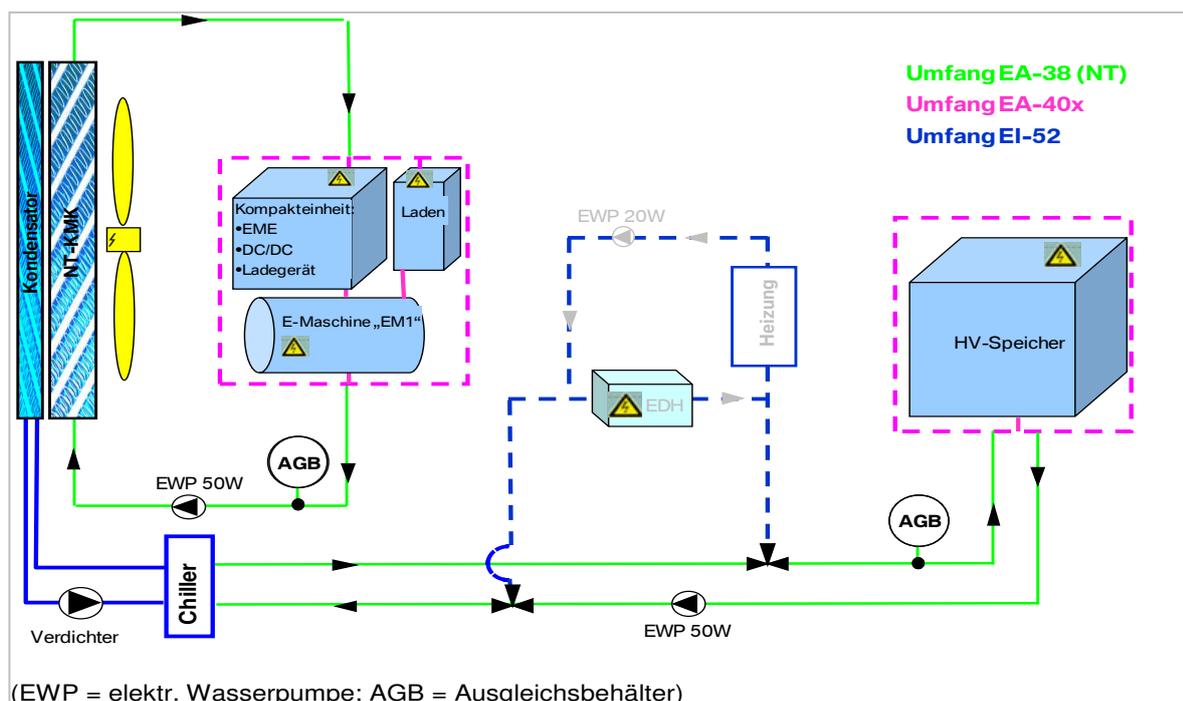


Abbildung 15. Schematische Darstellung Heiz -/ Kühlungskonzept.

# Abschlussbericht

Neben den technisch bedingten Heiz- und Kühlfunktionen im klassischen Sinne bot das neue System mit einem autarken Klimakompressor bzw. Durchlauferhitzer auch neue Möglichkeiten. So konnte z.B. eine Vorkonditionierung stattfinden. Dieses bedeutet, dass der Hochvolt-Speicher schon kurz vor Fahrtantritt auf die optimale Betriebstemperatur gebracht wurde. Speziell im Winter konnte so ein Auskühlen des Hochvolt-Speichers vermieden werden. Diese führte zudem zu einer verbesserten Lebensdauer des HV-Speichers. Das gleiche galt auch für den Passagierraum, dieser konnte vor der Fahrt bereits gekühlt werden.

Allerdings mussten für die Funktion „Vorkonditionierung“ eine Vielzahl von Schnittstellen betrachtet werden (siehe Abbildung 16). Besonders die Steuerung war sehr aufwendig, da das Ein- und Ausschalten auch von extern aus der Entfernung erfolgen musste.

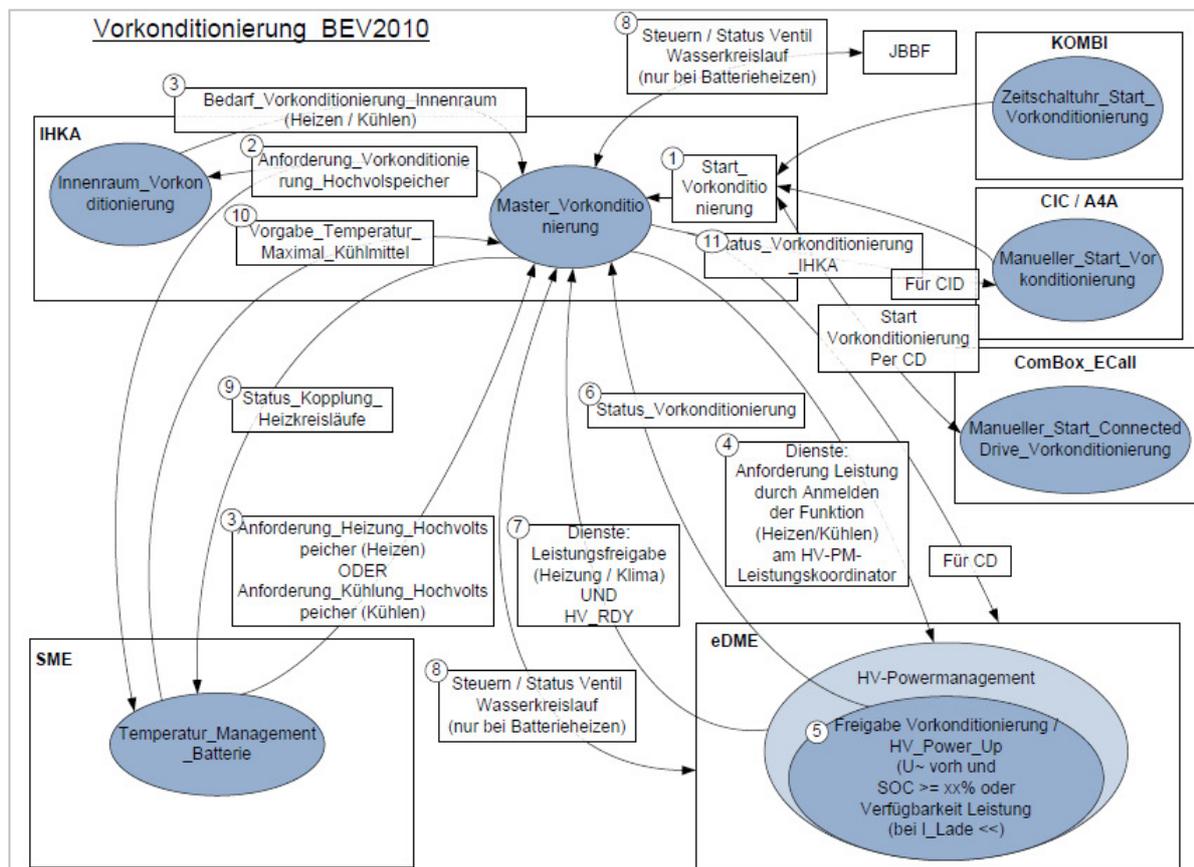


Abbildung 16. Schematische Darstellung Vorkonditionierung.

Nach der Festlegung des Konzeptes wurde die Realisierungsphase gestartet. Als erster Schritt wurde mit der Konstruktion gestartet. Das 2-Kreislauf-System sieht eine Niedrigtemperatur und Hochtemperatur-Kreislauf vor. Besonders der Hochvolt-Speicher braucht eine konstante Temperatur um die 35°C um die optimale Leistung abzugeben bzw. wieder durch Rekuperation zu laden. Gerade beim Laden entsteht Abwärme welche zu reduzieren ist.

# Abschlussbericht

Im Hochtemperaturkreislauf sind der Elektromotor, die Antriebselektronik und der Fahrgastraum eingebunden. Hierbei werden Temperaturen von 70 °C – 80 °C erreicht.

Bereits bei der Konstruktion dieser Bauteile und besonders bei der Verschlauchung waren die zuständigen Ingenieure aus dem Arbeitspaket FPE140: Untersuchung zur Karosserie (Fertigungskonvergenz) von Anfang an mit eingebunden.

Nach der Festlegung der Positionen im Fahrzeug muss auch die Verschlauchung und Verkabelung erfolgen. Aufgrund der Größe der neuen Elektro-Komponenten sind diese über das gesamte Fahrzeug verteilt. Die kompakte Anordnung aus einem Verbrennungsmotor-Fahrzeug konnte nicht übernommen werden. So hatten z.B. die ersten Untersuchungen gezeigt, dass aufgrund der größeren Schlauch-Längen (bis zu 4 Meter) zusätzliche Wasserpumpen in den Kreisläufe nötig sind um den geforderten Flüssigkeitsdurchsatz und damit den geforderten Abtransport von Wärme zu erzielen. Die Abbildung 17 zeigt einen Auszug aus dem komplexen System der zwei Klimakreisläufe und des Kältemittel-Kreislaufs. Gut zu erkennen sind in Blau die zwei Ausgleichsbehälter der beiden Kreisläufe.

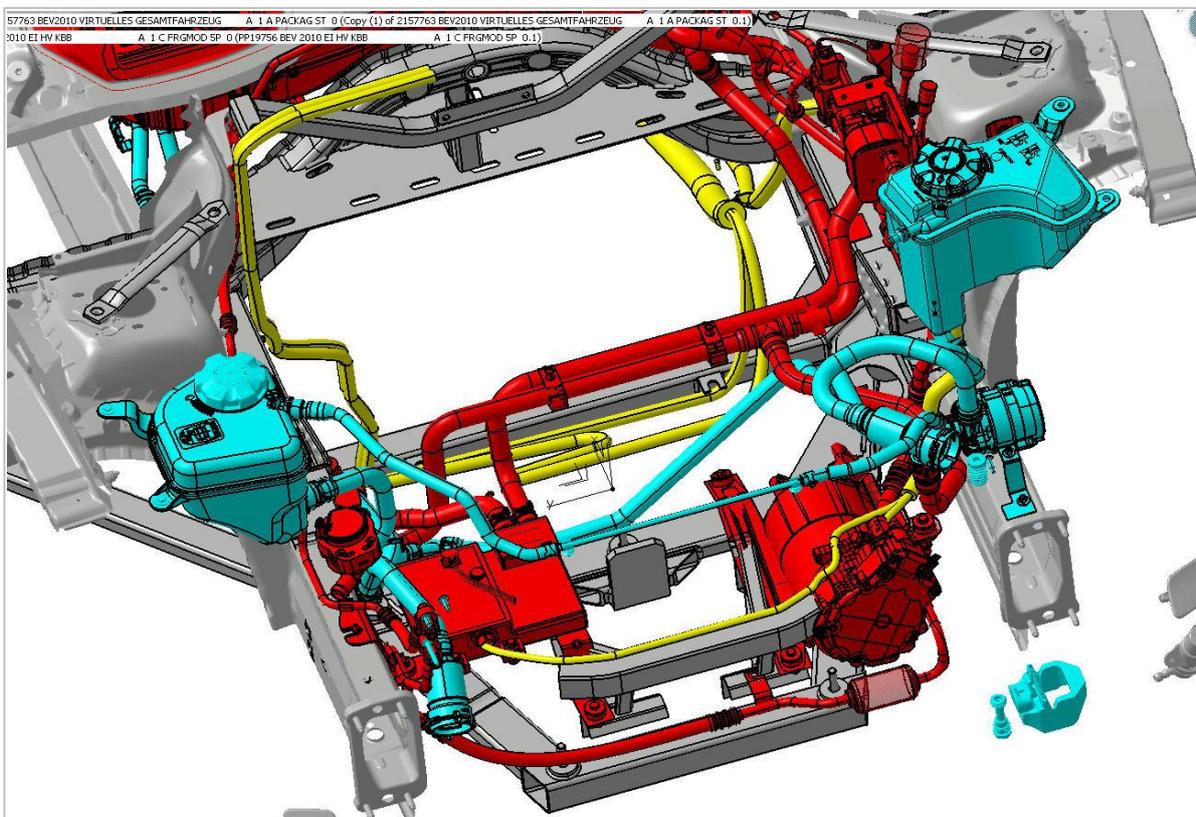


Abbildung 17. Darstellung Kühl und Heizsystem inkl. Verschlauchung im Motorraum.

# Abschlussbericht

Wie beschrieben sind besonders die Hochvoltspeicher in das Heiz- & Kühlsystem zu integrieren. In Abbildung 18 ist daher der Verlauf der Klimaleitung am großen Tunnel-Hochvoltspeicher in Blau dargestellt. Die gelben Leitungen führen zum Elektromotor und sind Teil des Hochtemperaturkreislaufes.

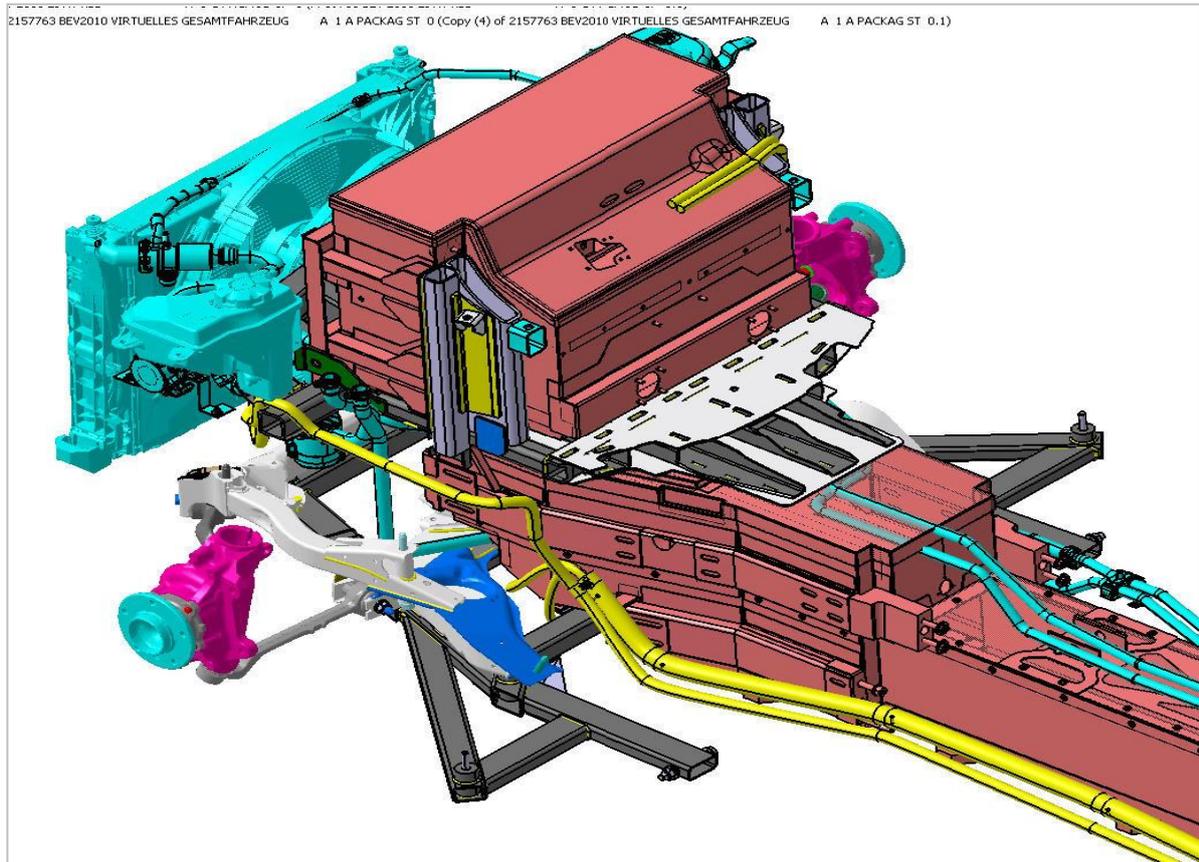


Abbildung 18. Darstellung Kühl und Heizsystem inkl. Verschlauchung beim HV-Speicher.

Durch den Aufbau der Versuchsträger konnte das System in Hinsicht auf die Fertigungskonvergenz und der technischen Funktionalität bestätigt werden. Es wurden sowohl in Klimakammern als auch in warmen und kalten ändern diverse Tests durchgeführt. Besonders im Winter sind nicht nur Funktionen die den Betrieb des Elektroantriebs sicherzustellen, auch Funktionen wie „Abtauen der Windschutzscheibe“ sind wichtige Nebenbedingungen, welche in einem Fahrzeugbetrieb garantiert werden müssen.

Bei Projektbeginn wurde eine Übernahme mit leichten Modifikationen aus einem Verbrennungsfahrzeug geplant. Im Laufe des Projektes hat die Komplexität zu genommen, so dass es zu einer Ausweitung der benötigten Personalbedarfs gekommen ist. Durch diesen Mehraufwand konnte auch dieses Arbeitspaket erfolgreich abgeschlossen werden.

# Abschlussbericht

## FPE160: Entwicklung zum Heizkonzept

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift <b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum <b>Von: 01.09.2009</b> <b>Bis: 31.08.2011</b></p>	<p>(6) aktuelles Bearbeitungsdatum <b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b>          Durch den Entfall des Verbrennungsmotors entfällt die Wärmequelle welche für die Heizung des Fahrgastraums aktuell genutzt wird, dieses muss durch eine Möglichkeit der Zuheizung ersetzt werden.           Dazu sind die Anforderungen und die verschiedenen Konzepte wie z.B. Erhitzen des Wasserkreislaufes mit Hilfe eines Durchlauferhitzers (HV oder Niedervolt) oder auch einer PTC-Lösung (Prinzip Heizung-Lüfters) zu erforschen. Es bestehen wesentliche Wechselwirkungen mit Abwärme des E-Motors und Leistungselektronik sowie der Betriebsstrategie und dem Energiemanagement. Zudem muss die heutige Wärme / Kälte -Logik angepasst werden.           Die Bestätigung des Konzeptes erfolgt durch diverse Tests am Gesamtfahrzeug (FPE22x) und den anschließenden Fahrversuchen.           Ergebnisse werden auch für zukünftige Projekte in der E-Mobilität benötigt.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung der Anforderungen</li> <li>• Auswahl von möglichen Konzepten (Abhängig von FPE12x &amp; FPE150)</li> <li>• Untersuchung der Varianten eines elektrischen Heizers für Fahrgastraum</li> <li>• Erforschung der Nutzung von Abwärme</li> <li>• Analyse und Festlegung einer optimalen Heizstrategie</li> <li>• Physische und Geometrische Integration eines Zuheizers.</li> <li>• Absicherung des Heizsystem im Fahrzeug</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand <b>PM 7,5</b></p>	
<p>(8) Unteraufträge          Für bestimmte Untersuchungen und Entwicklung sind derzeit mehrere Ingenieurbüros angefragt, da aus Kapazitäts-Gründen eine BMW interne Bearbeitung nicht erfolgen kann.           Der Vergabeumfang beträgt ca. 420.000,00 €.</p>	<p>(9) Schnittstellen          BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Entwicklung zum Heizkonzept

(12) benötigter Personalaufwand: PM 7,5

## Verwendungsnachweis / Ergebnis:

Wie bereits beschrieben hatte sich gezeigt, dass eine eindeutige Trennung der Arbeitspakete Entwicklung zum Klima- / Kühlkonzept (FPE150) & die Entwicklung zum Heizkonzept (FPE160) nicht möglich war und eine gemeinsame Betrachtung zielführender war. Daher wurden diese beiden Themen zusammen gelegt.

Die Beschreibung und Ergebnisse zu den Arbeitsinhalte:

- Festlegung der Anforderungen
- Auswahl von möglichen Konzepten (Abhängig von FPE12x & FPE150)
- Untersuchung der Varianten eines elektrischen Heizers für Fahrgastraum
- Erforschung der Nutzung von Abwärme
- Analyse und Festlegung einer optimalen Heizstrategie
- Physische und Geometrische Integration eines Zuheizers.
- Absicherung des Heizsystem im Fahrzeug

sind dem Arbeitspaket FPE150 zu entnehmen.

# Abschlussbericht

## FPE170: Entwicklung zum elektrofahrzeugspezifische Anzeige-Bedien-Konzept

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift <b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum <b>Von: 01.09.2009</b> <b>Bis: 30.09.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum <b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Der Elektroantrieb stellt auf Grund seines nicht hörbaren Motors neue Anforderungen an den Fahrer und seine Umwelt dar, beginnend mit dem Signalisieren der Fahrbereitschaft, anschließend Informationen bezüglich des aktuellen Fahrzustandes bis hin zu neuen Informationen welche die Reichweite, das Rekuperieren, etc. betreffen.</p> <p>Nach dem Erforschen der Anforderungen z.B. Gleichgewicht zwischen Informationen und intuitiver Bedienung, ist das Ziel ein Anzeige-Bedienkonzept zu entwickeln, welches einerseits den Fahrer entlastet, als auch andererseits zusätzliche Navigationslösungen, innovative Darstellungskonzepte und Onlinedienste bietet. Für die Software-Lösungen bedarf es ausgiebiger Untersuchung um die Informationen aus den einzelnen Steuergeräten intelligent miteinander zu Verknüpfen um so die nötigen bzw. möglichen Informationen bereitzustellen. Das ABK hat auch Einfluss auf die Hardware-Lösungen, so sind z.B. für die Ladezustandsanzeige (Angabe in Prozent oder Kilometer?) mehrere Lösungen denkbar. Auch Zusatzdienste, welche über Smartphone (iphone), Internet, etc. betreiben werden könnten, sind zu erforschen und Lösungen zu entwickeln. Diese Grundlage ist wesentlich für die E-Mobilität.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung der Anforderungen (besonders des Ladezustandes)</li> <li>• Einfluss durch innovative Darstellungskonzepte und Onlinedienste</li> <li>• Erforschung und Analyse eines optimalen Anzeige-Bedienkonzeptes</li> <li>• Auswahl von möglichen Konzepten</li> <li>• Funktionale und physische Integration der Instrumentierung bzw. in das Bord-Netz</li> <li>• Absicherung des Konzeptes im Fahrzeug</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand <b>PM 11,5</b></p>	
<p>(8) Unteraufträge Aus Kapazitäts- bzw. Know-How-Gründen kann eine BMW interne Bearbeitung nicht erfolgen. Auf Grund des großen Umfanges werden drei Vergabeumfang erteilt, diese betragen ca. 160.000,00 €; 320.000,00 € und 640.000,00 €.</p>	<p>(9) Schnittstellen BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspaketitel

Entwicklung zum elektrofahrzeugspezifische Anzeige-Bedien-Konzept

(12) benötigter Personalaufwand: PM 11,5

## Verwendungsnachweis / Ergebnis:

Hierbei hat sich bereits am Anfang gezeigt, dass ein iterativer Prozess nötig ist. Einerseits gibt es Anforderungen aus der Umwelt und dem Kunde, aber auch von Gesetzeseite, Online-Diensten und Automobilherstellern. Andererseits ist es technisch möglich eine Vielzahl an Informationen zur Verfügung zu stellen. Daher bedarf es einen ständigen Abgleich zwischen den unterschiedlichen Interessensgruppen um ein Konzept zu beschließen.

Um die diversen Möglichkeiten beurteilen zu können wurden verschieden Anzeige und Bedienung-Konzepte dargestellt und deren Nutzung simuliert. Nachdem sich gezeigt hat, welche Informationen einem Fahrer zur Verfügung gestellt werden muss, konnten erste Anzeigen kreiert werden. Diese verschiedenen Möglichkeiten wurden sowohl Fachleuten wie auch externen Probanden vorgeführt um so eine erste repräsentative Aussage zu erzielen. Die Anforderungen bezüglich dem Informationsüberfluss und Informationsunterdeckung galt es zu erforschen.

Als erstes wurden die möglichen Formen der Anzeige im Fahrzeug selber erarbeitet und anschließend die Anzeigen für die externe Steuerung des Fahrzeugs durch ein Smartphone. Aus der Vielzahl von Anzeigen sind in exemplarisch folgende Grafiken (Abbildung 19 - 20) dargestellt. So kann z.B. in Abbildung 19 der Fahrer gleich erkennen ob nur die Hochvoltbatterien geladen werden oder ob eine Vorkonditionierung des Fahrgastraums mit kalter Luft beziehungsweise eine Vorkonditionierung mit warmer Luft erfolgt.

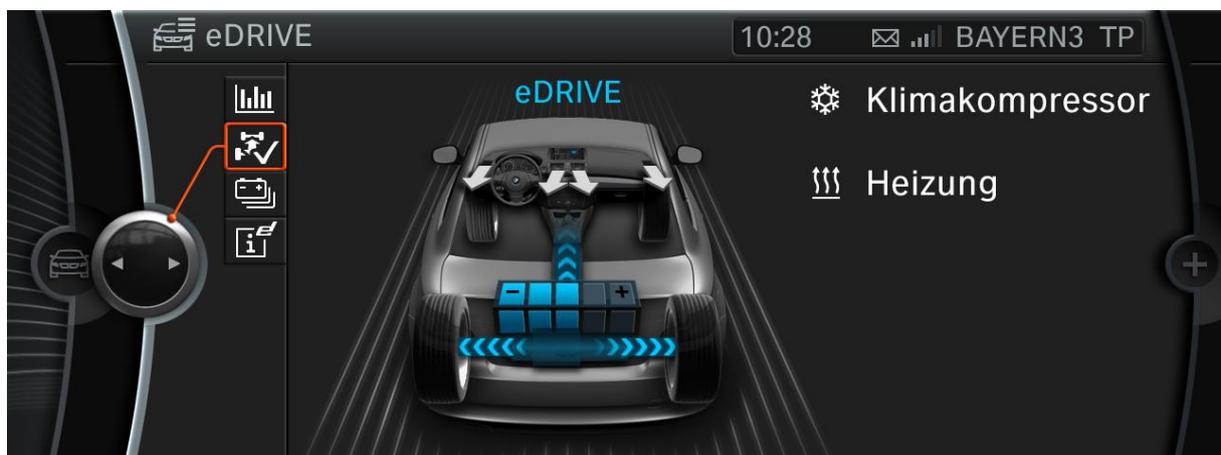


Abbildung 19. Energieflussanzeige im zentralen Information-Display

# Abschlussbericht

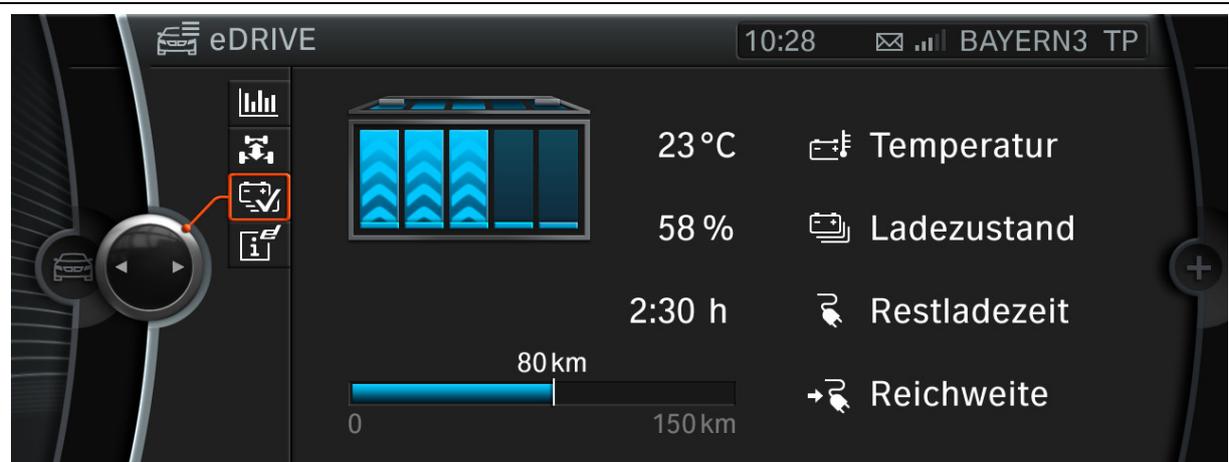


Abbildung 20. Batterieinfo im zentralen Information-Display

Neben den reinen Zustandsbeschreibungen wurde auch darauf geachtet, dass der Fahrer zu einem Verbrauchsreduzierten Fahren animiert wird. Dazu wurden je nach Zustand des Fahrzeuges diverse Fahrטיפps entwickelt, welche ebenfalls auf dem zentralen Information-Display dargestellt werden (siehe Abbildung 21).



Abbildung 21. Fahrטיפps zur Verbrauchsreduzierung im zentralen Information-Display

Diese Abbildungen wurden für das zentrale Information-Display (CID) aufbereitet und in den BMW E implementiert. Mit den ersten Versuchsfahrzeugen werden im zweiten Halbjahr 2010 die ersten Tests durchgeführt um die Akzeptanz, Lesbarkeit, etc. während der Fahrt zu ermitteln.

Die Erfahrungen aus den ersten Tests wurden dann für die zweite Phase aufbereitet und diverse Änderungen in die jeweilige Grafik eingeführt. Zudem gab es am Anfang ungenaue Informationen wie „Ladezustand“ der Batterien. Erst durch eine enge Zusammenarbeit mit dem FPE122: Entwicklung zum intelligenten Energiemanagement brachte die Lösung.

# Abschlussbericht

Zusammenfassend wurde für das Informationssystem im zentrale Information-Display eine Struktur mit drei Hauptebnen und den jeweiligen Untermenüs als zielführend erarbeitet (siehe Abbildung 22)

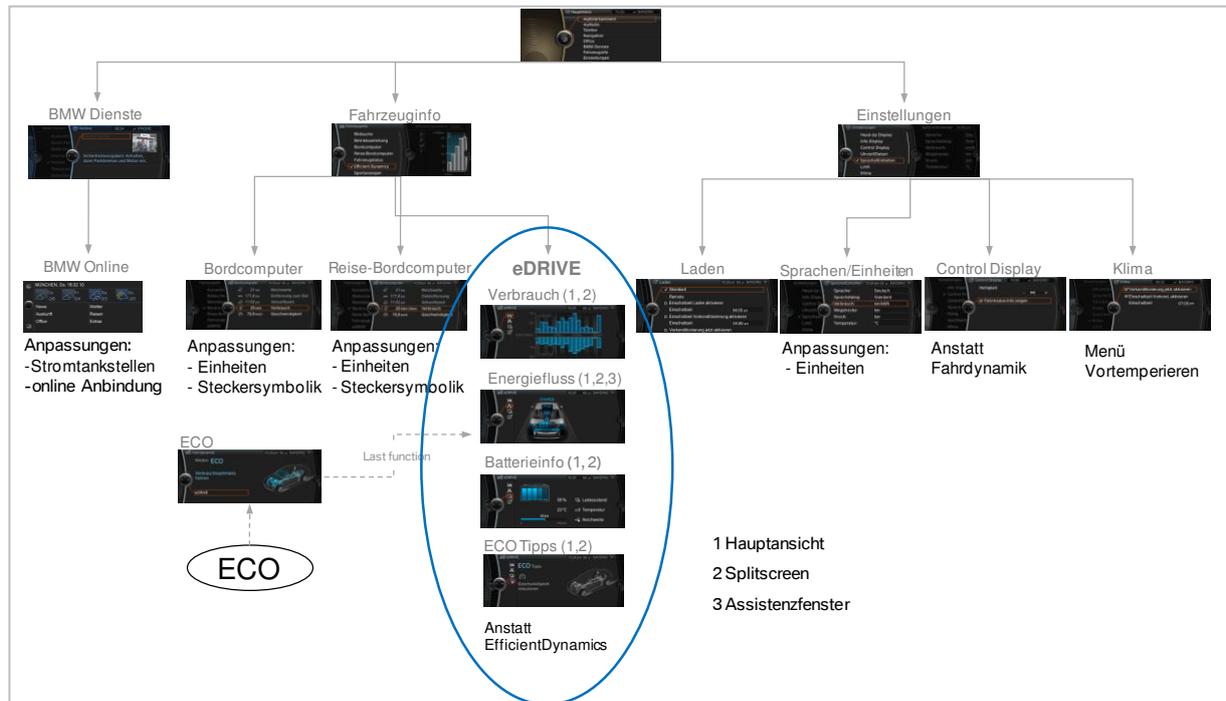


Abbildung 22. Übersicht der Grafiken im zentralen Information-Display

Neben dem Information-Display welches durch z.B. Navigationsgrafiken wegblendbar ist, musste allerdings auch eine permanente Anzeige entwickelt werden. Zudem können im Kombiinstrument auch noch Warnmeldungen (z.B. Probleme mit dem Laden, Keine Funktion vom DC7DC-Wandler) sofort gut sichtbar angezeigt werden (siehe Abbildung 23).



Abbildung 23. Aufteilung der Analoganzeigen und Erweiterung der Anzeige um Ladezustand

# Abschlussbericht

Besonders bei Elektrofahrzeugen mit der relativ lang andauernden Ladezeiten ist es sehr wichtig, dass der Fahrer auch ohne im Fahrzeug zu sitzen eine Information zum Ladezustand erhält um entscheiden zu können, ob die z.B. aktuelle 70% Ladung (was ca. 100 km Reichweite entspricht) für die anstehende Fahrt ausreicht oder ob noch weiter geladen werden muss und der Fahrer also noch nicht zum Fahrzeug gehen braucht.

Dazu wurde eine Möglichkeit geschaffen über ein Smartphone (z.B. iPhone) den Zustand abzurufen und auch z.B. die Vorkonditionierung für den Fahrgastraum anzuschalten. All diese Funktionssteuerung, der Verbindungsaufbau zwischen Fahrzeug und Smartphone, auch die Anzeigen (siehe Abbildung 24 / 25) und App. mussten ganz neu entwickelt werden. Dazu wurden spezielle Zulieferfirmen beauftragt, welche durch Simultan Engineering direkt durch die tägliche Arbeit mit den BMW Fachstellen eingebunden waren.



Abbildung 24 / 25. Smartphone Anzeige und Funktionssteuerung.

Die drei verschiedenen Anzeigen wurden bis zum Projektende erfolgreich entwickelt und in den Fahrzeugen sowie dem iPhone umgesetzt. Die letzten Tests mit externen Probanden haben gezeigt, dass das gewählte Anzeige- und Bedien-Konzept sehr intuitiv zu benutzen ist.

Damit konnte das Arbeitspaket erfolgreich beendet werden.

# Abschlussbericht

## FPE180: Untersuchungen zur Fahrdynamik im Gesamtfahrzeug

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift <b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum <b>Von: 01.09.2009</b> <b>Bis: 30.09.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum <b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Auf Grund des andersartigen Antriebskonzeptes und den neuartigen Gesamtfahrzeugrandbedingungen ergeben sich neuartige Anforderungen an Bremssystem, Fahrdynamikregelsysteme und sonstige Fahrwerks subsysteme (Federung, Achsen, Lenkung). Speziell hinsichtlich Antriebschnittstelle und Regelung des generatorischen Bremsbetriebs sind heutige Lösungen nicht verwendbar. Analog zum heutigen Systemverbund Antrieb – Fahrwerksregelung ist auch in Verbindung mit einem Elektroantrieb Schnittstellen für Funktionalitäten wie Fahrzeug-Stabilisierung, Traktionsregelung, Anfahrtsassistent, Fahrgeschwindigkeitsregelung etc. zu entwickeln und im Fahrwerksregelsystem zu applizieren. Aus den Anforderungen müssen entsprechende neuartige Konzepte zur maximalen Nutzung von E-Fahrzeug-spezifischen Randbedingungen (z.B. Rekuperation) erarbeitet und über Simulation bzw. Komponenten-Hardwaretest, speziell unter den spezifischen Randbedingungen eines E-Fahrzeug (z.B. Achslastverteilung), bewertet werden. Die Absicherung des ausgewählten Konzeptes erfolgt über Teilaufbauten, Prüfstandtests und Fahrzeugversuche.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erforschen der Anforderungen an Brems- und Fahrdynamikregelsysteme unter Berücksichtigung der spezifischen Architektur und Ausprägung von Fahrzeugen mit E-Antrieb</li> <li>• Definition und Bewertung möglicher Konzepte und Lösungsansätze. Durchführung der Bewertung auf Basis von Simulation und Prüfstands- und Fahrzeugversuchen.</li> <li>• Erforschen der funktionalen Integration von Brems- und Fahrdynamikregel-System im Fahrzeug. Umsetzung einer Lösung für Brems- und Fahrdynamikregelsystem mit der Prämisse einer optimalen Nutzung von Bremsanteilen zur Energie-Rückgewinnung. Erforschung und Definition der Schnittstelle Fahrdynamik- / Bremsregelung zum E-Antrieb.</li> <li>• Absicherung der E-Fahrzeugspezifischen Lösungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Gesamt-Fahrdynamikeigenschaften und den Gesamt-Systemverbund.</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p>	<p><b>PM 119,0</b></p>
<p>(8) Unteraufträge Aus Kapazitätsgründen kann bei BMW eine interne Bearbeitung nicht erfolgen kann. Die Vergabeumfänge betragen ca. 410.000,00 € und 155.000,00 €</p>	<p>(9) Schnittstellen BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Untersuchungen zur Fahrdynamik im Gesamtfahrzeug

(12) benötigter Personalaufwand: PM 128,0

## **Verwendungsnachweis / Ergebnis:**

Die allgemeinen Anforderungen an Brems- und Fahrdynamikregelsysteme mussten um die Elektrofahrzeugspezifischen Anforderungen erweitert werden. Dabei musste unbedingt berücksichtigt werden, dass die Architektur spezifisch bei Fahrzeugen mit E-Antrieb ist. Auch hier handelte es sich um einen iterativen Prozess, da die verschiedenen Konzepte zum Antrieb und auch der Lagerung der Aggregate entscheiden waren. Neben den Themen Federung, Achsen, Lenkung sind auch die Reifen entscheidend für eine optimale Reichweite. Gleichzeitig musste hierbei die Rekuperation als auch das Bremsverhalten berücksichtigt werden. Die verschiedenen Konzepte wurden bewertet.

Das Fahrzeugkonzept sah eine Integration des Elektromotors inkl. Leistungselektronik in die Hinterachse vor. Dieses führte zu einer komplett anderen Hinterachsen-Geometrie und Gewichtsverteilung. Der Systemverbund „Antrieb-Fahrwerksregelung“ wurde genauer untersucht und erste Simulationen wurden zur Fahrzeug-Stabilisierung, Traktionsregelung, Anfahrtsassistent, Fahrgeschwindigkeitsregelung etc. durchgeführt.

Neben der Computersimulation wurden auch Verbrennungsfahrzeuge modifiziert um an diesen erste reale Erfahrungen sammeln zu können. Die finale Entwicklung und Applikation der Fahrwerksregelsysteme konnte erst mit dem Aufbau von Versuchsträgern und Tests im Hoch- als auch im Niederreibwert-Bereich erfolgen.

Neben den bekannten Funktionen wie ABS, DSC, etc. wurden auch die neuartigen Konzepte zur maximalen Nutzung von E-Fahrzeug-spezifischen Randbedingungen (z.B. Rekuperation) erarbeitet und über Simulation bzw. erste Komponenten-Hardwaretest auf Prüfständen bewertet. Besonders bei der Ermittlung des Rekuperationniveaus zeigen sich einige Schwierigkeiten. Bei den Voruntersuchungen zur maximalen generatorischen Bremsung und der erforderlichen Fahrzeugstabilität kam es zu Interessenkonflikten. Bei Bremsung auf trockener Fahrbahn ist eine hohe Rekuperation möglich, so dass dieses sich positiv auf die Reichweite des Fahrzeuges auswirkt. Bei schlechten Straßenverhältnissen wie Herbstlaub, Schnee, Eis ist eine Fahrzeugauslegung mit maximaler Fahrzeugstabilität nötig (kein Ausbrechen des Wagens). Dadurch wird die Möglichkeit der Rekuperation reduziert, was wiederum nachteilig für die Reichweite ist.

Zur Erfüllung der neuartigen Anforderungen an das Bremssystem, die Fahrdynamikregelsysteme und auch an die sonstigen Fahrwerks subsysteme wie Federung, Achsen, Lenkung wur-

# Abschlussbericht

den eine Vielzahl an Modifikationen und Neuentwicklungen getätigt. Diese Bauteile wurden im Oktober 2010 in die ersten Versuchsfahrzeuge der B1-Phase eingebaut. Der Entwicklungs- und Implentierungsplan inkl. der verschiedenen Tests zur Absicherung welche durchgeführt wurden ist in Abbildung 26 zu entnehmen.

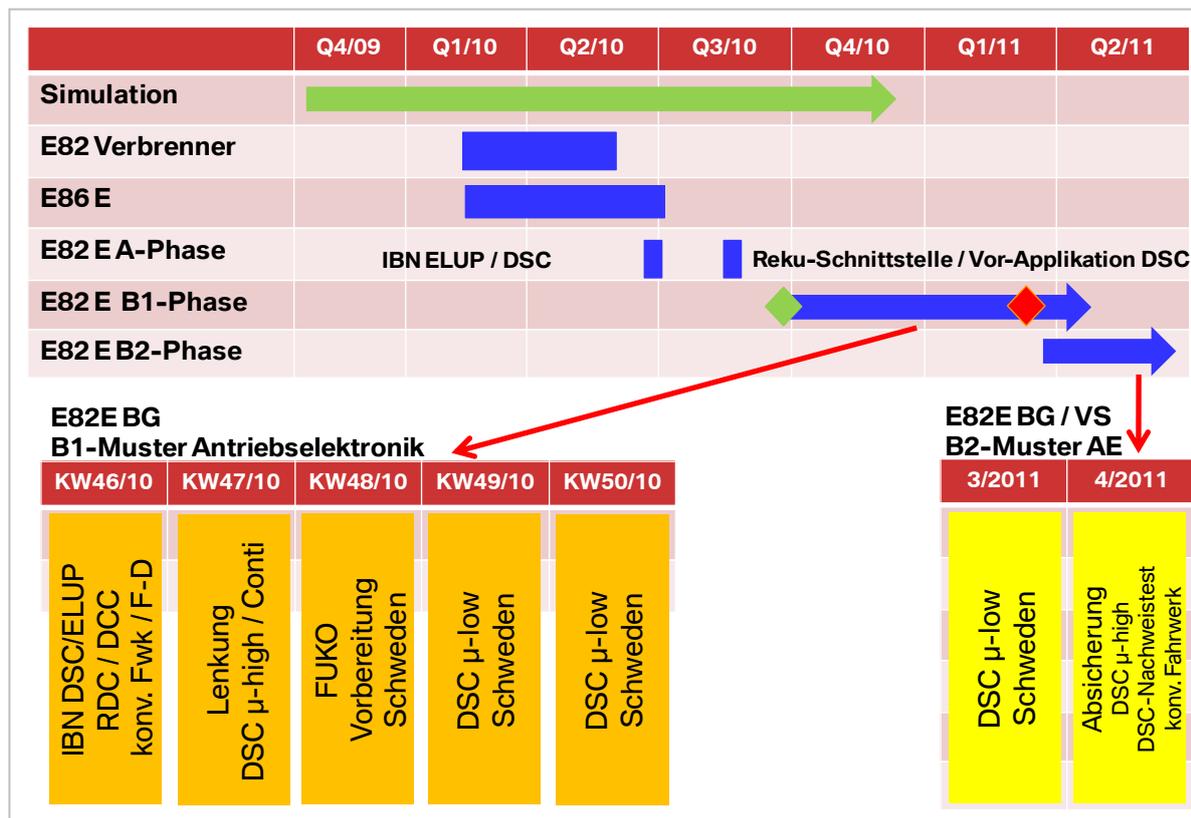


Abbildung 26: Durchgeführte Tätigkeiten zur Fahrdynamikregelsysteme-Entwicklung.

Eine genaue Auslegung der Rekuperation konnte erst in der Wintererprobung auf schneebedeckten Straßen im Januar und Februar 2011 erfolgen. Bis dahin wurde über Simulation und Prüfstände die Grundauslegungen festgelegt und als Basis für die realen Test verwendet. Besonders der Elektroantrieb mit einem sofort verfügbaren maximalen Drehmoment und der Regelung des generatorischen Bremsbetriebs (Rekuperation) galt es in der Wintererprobung zu testen und abzustimmen. Der Erprobungszeitraum war von Dezember 2010 bis März 2011 im BMW eigenen Testzentrum in Schweden. Die Ermittlung des Rekuperationniveaus war sehr aufwendig, da jede Fahrsituation wie Beschleunigen, Verzögern, Geradeaus- und besonders Kurvenfahrten und dieses in Kombination mit verschiedenen Geschwindigkeiten getestet werden musste. Weitere Schwerpunkte der Erprobung waren die Sicherstellung der Fahrzeug-Stabilisierung, der Traktionsregelung, der Anfahrtsassistent und der Fahrgeschwindigkeitsregelung.

Bedingt durch die Besonderheit „Rekuperation“ wurde ein neues Fahrpedal-Konzept entwickelt, welches in drei unterschiedlichen Arten zu bedienen ist (siehe Abbildung 27).

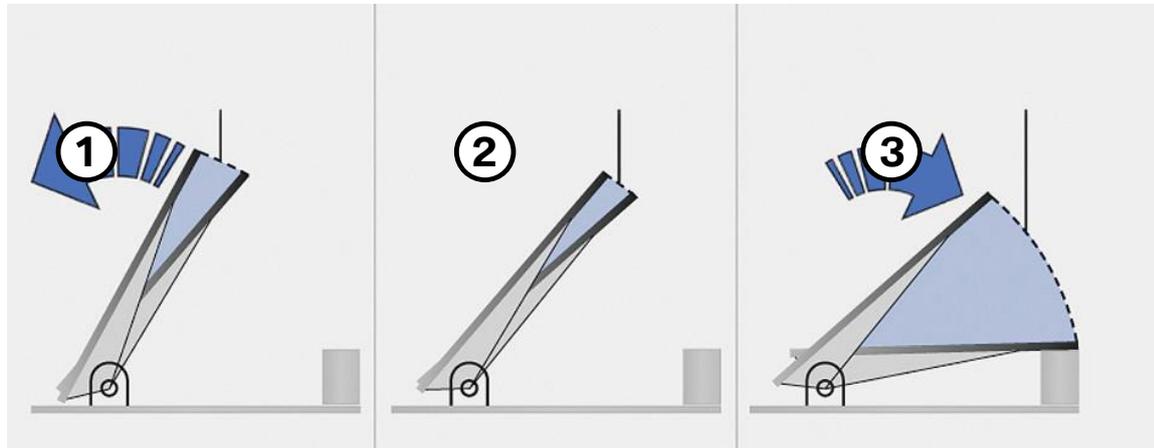


Abbildung 27: Fahreigenschaften durch Betätigung Fahrpedal.

Die drei unterschiedlichen Arten sind:

1. **Verzögerung**  
Die Stärke der Verzögerung durch Rekuperation hängt von der Fahrpedal-Stellung ab. Es ist möglich bis zum Stillstand nur durch Rekuperation zu „Bremsen“.
2. **Auslauf („Segeln“)**  
Ein Plateau in der Fahrpedal-Auslegung ermöglicht ein einfaches Ausrollen. (Null-Drehmomentregelung, um die kinetische Energie zu erhalten).
3. **Beschleunigung**  
Maximale Beschleunigung bis zur Vollast durch die Kick-down-Funktion.

Die finale Entwicklung und Applikation der Fahrwerksregelsysteme konnte erst mit dem Aufbau der Versuchsträger im Pulk 3 erfolgen. Zuvor wurden noch die Versuchsfahrzeuge aus dem Pulk 2 für Tests im Hochreibwert-Bereich im Sommer 2011 im BMW eigenen Testzentrum in Südfrankreich erfolgen.

Bis zum Projektende konnten die geforderten Ergebnisse erzielt werden.

# Abschlussbericht

## FPE210: Entwicklung zu E-fzg.spezifische Produktionsverfahren

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</p> <p><b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum</p> <p><b>Von: 01.09.2009</b></p> <p><b>Bis: 30.04.2010</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</p> <p><b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Bedingt durch das andersartigen Antriebskonzeptes und den damit verbundenen neuen Nebenaggregaten ergeben sich neuartige Anforderungen an die Produktion eines Gesamtfahrzeuges. Trotz Entfall einiger Bauteile stellen sich neue Herausforderungen an das Produktionskonzept (z.B. HV-Kabelbaum, Kühlungssystem, Bremssystem, etc.). Diese Anforderungen sind zu erforschen. Dieses beginnt im Karosseriebau mit den neuen Strukturen in der kompletten Bodengruppe. Gefolgt von der Montage, welche als erstes die Montagereihenfolge festlegen muss. Die Montierbarkeit mit zur Hilfenahmen von neuen und speziellen Werkzeugen ist zu analysieren und Lösungen entwickelt. Bei der Analyse werden bereits Themen der Ergonomie der Werker, der Taktzeit für eine zukünftige Großserie und die Fertigungskosten mit berücksichtigt. Abschließend sind auch noch die Anforderungen aus der gleichzeitigen Inbetriebnahme beider Bordnetzte zu erforschen. Auf Grund der HV-Thematik sind hierbei besondere Randbedingungen zu beachten, so ist besonders die Sicherheit der Werker, welcher an der Montage des Fzg. tätig sind zu beachten. Die Absicherung und Bestätigung der Konzepte kann nur durch den iterativen Aufbau von Fahrzeugen erfolgen.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung der Anforderungen (besonders HV-Sicherheit)</li> <li>• Auswahl von möglichen Konzepten (Karosserie, Montage und Inbetriebnahme)</li> <li>• Untersuchung der Auswirkungen auf die Karosserie (Gewicht, Schwingungen, etc.)</li> <li>• Untersuchung der Auswirkungen auf die Montage (Montierbarkeit, Ergonomie, Betriebsmit.) PM 22,5 =&gt; 1MA für den Verbau von Kabelbaum, Klima-, Bremsleitungen; 1 MA Einbau von HV-Komponenten, z.B. elektrischer Klimakompressor, Ladegerät inkl. Stecker, HV-Speicher und E-Motor inkl. Getriebe; 1 MA Kontrollmethoden.</li> <li>• Erforschung der Auswirkungen auf die Inbetriebnahme</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p> <p><b>PM 70,0</b></p>	
<p>(8) Unteraufträge</p> <p>Für bestimmte Untersuchungen und Entwicklung sind derzeit mehrere Ingenieurbüros angefragt, da aus Kapazitäts-Gründen eine BMW interne Bearbeitung nicht erfolgen kann.</p> <p>Der Vergabeumfang beträgt ca. 75.000,00 €.</p>	<p>(9) Schnittstellen</p> <p>BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspaketitel

Entwicklung zu E-fzг.spezifische Produktionsverfahren

(12) benötigter Personal-  
aufwand: PM 70,0

## Verwendungsnachweis / Ergebnis:

Die Anforderungen bezüglich der Fertigungsbelange wurden ermittelt. Dabei wurden die Themen Montierbarkeit, Sicherheit, Ergonomie, Betriebsmittel und Kosten berücksichtigt. Diese Beurteilungen bezüglich des Fertigungsdurchlaufs in dem Karosseriebau, Lackiererei und der Montage waren ebenfalls ein Entscheidungskriterium bei der Auswahl der jeweiligen Konzepte.

Es zeigte sich, dass es eine Vielzahl von ganz unterschiedlichen Anforderungen der verschiedenen Prozessbeteiligten wie z.B. Entwicklung, Kostencontrolling, Montagewerk gab. Gleichzeitig entwickelten sich aber auch aus den verschiedenen Montage-Konzepten weitere Anforderungen an die Entwicklung. Speziell bei den verschiedenen Subkomponenten wie Elektromotor, Hochvoltpeicher, handelte es sich um spezielle Herstellverfahren, so dass eine große Anzahl an Fachabteilungen eingebunden werden müssen. Zur optimalen Nutzung der verschiedenen Kompetenzen wurde ein Prozess entwickelt der innerhalb der Werkeverbundes der BMW AG das vorhandene Know-How der Fachabteilungen nutzt (s. Abbildung 28).

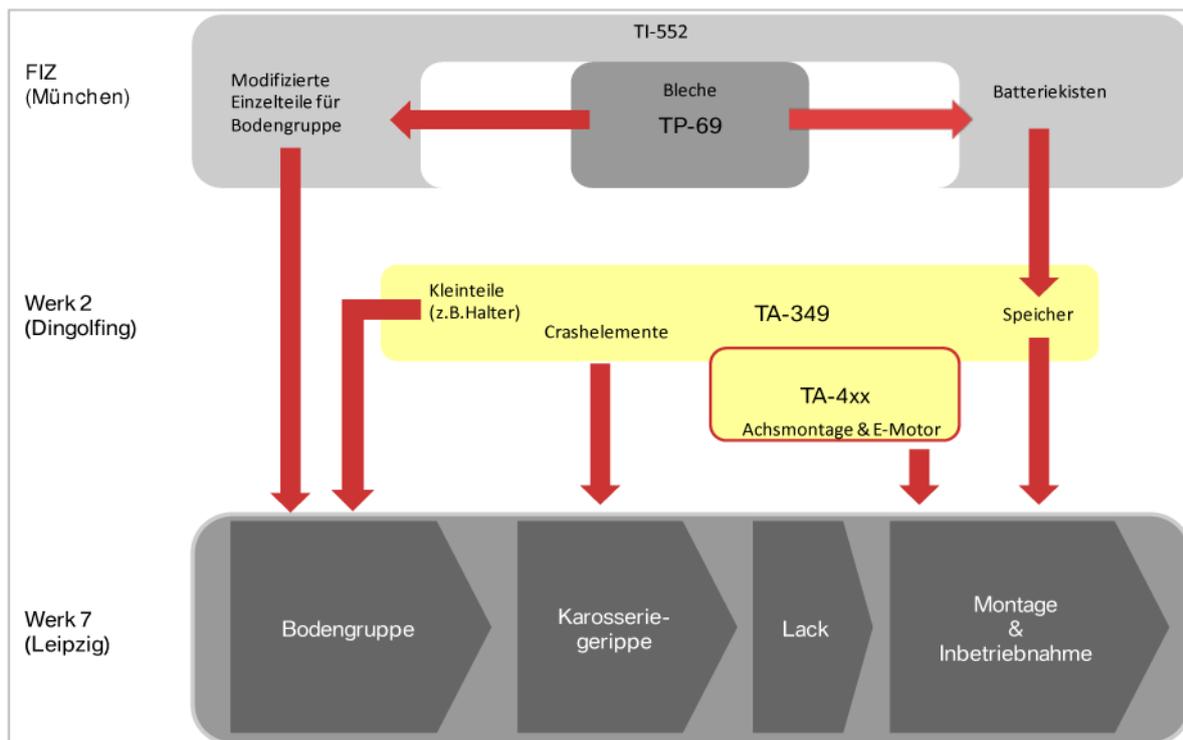


Abbildung 28: Prozess-Schaubild Fertigungsfluss.

# Abschlussbericht

Die Festlegung der Details konnte mit der Fahrzeug-Konzeptbestätigung im Mai 2010 erfolgen. Bis dahin erfolgt in iterativen Schritten eine Simulation der Prozesse.

Während der Forschung und der anschließenden Entwicklung wurde darauf geachtet, dass an den entsprechenden Prozessrunden auch immer die Fachleute aus dem Produktionsbereich teilnahmen, um so einen kontinuierlichen Austausch zwischen Entwicklung und Produktion sicherzustellen.

Dieses begann im Karosseriebau mit den neuen Strukturen in der kompletten Bodengruppe (Vorderbau inkl. Crash-Elemente, Bodenblech inkl. Aufnahme HV-Speicher und Hinterbau inkl. E-Motor und Leistungselektronik), gefolgt von der Montage. Die Montierbarkeit mit zur Hilfenahme von neuen und speziellen Werkzeugen wurde analysiert und Lösungen erarbeitet. Nachdem auf der Entwicklungsseite die Komponenten entwickelt wurden und sich in der Herstellung für die Prototypen befanden, wurde auch die Herstellung der Hilfswerkzeuge in Auftrag gegeben.

Nach dem Verbau der einzelnen Komponenten musste noch die Inbetriebnahme erfolgen. Hierbei war besonders die Hochvolt-Inbetriebnahme zu untersuchen und zu planen. Es hatte sich in ersten Versuchen gezeigt, dass diese in mehreren Schritten erfolgen musste. Zuerst wurde die HV-Sicherheit abgeprüft. Erst wenn dieses bestätigt wurde, konnte das System als geschützt gelten. Anschließend durfte mit der Zusammenschaltung der HV-Batterien, des Motors und der Leistungselektronik begonnen werden. Im nächsten Schritte erfolgt dann die Inbetriebnahme des Gesamtsystems inklusiv dem 12V Bordnetzes. Die Überprüfung des Inbetriebnahme-Konzeptes konnte erst mit den ersten Prototypen in der ersten Jahreshälfte 2011 erfolgen.

Grundsätzlich hatte sich gezeigt, dass die geplanten elektrofahrzeugspezifischen Produktionsverfahren realisierbar sind. Auf Grund der Pulkfertigung konnte jeweils eine Optimierung folgen. Die finale Bestätigung wurde mit der Verifizierung durch den Aufbau des Pulks 3 erreicht.

Das Arbeitspaket wurde bis zum Schluss des Förderprojektes verlängert und konnte so erfolgreich abgeschlossen werden.

# Abschlussbericht

## FPE221: Verifizieren der Konzepte Pulk 1 (5 Stück)

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</p> <p><b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum</p> <p><b>Von: 01.09.2009</b></p> <p><b>Bis: 31.07.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</p> <p><b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Die erforschend Anforderungen und da heraus entwickelten Lösungen und Konzepte aus dem FPE100 „Erforschung Fahrzeugkonzept“, den Lösungen aus dem FPE210 als auch die Methoden aus dem FPE3xx müssen durch Hardware bzw. Versuchsträger verifiziert werden. Von Beginn an bestehen permanente Wechselwirkungen zwischen Entwicklung und Produktion. Als Vorbereitung für den pilothaften Aufbau sind sowohl im Karosseriebau als auch in der Montage die nötigen Vorbereitungen zu treffen. Dieses bedeutet z.B. die Karosserieproduktion ist mit speziellen Vorrichtungen und Hilfsrahmen zu erweitern. Das Gleiche gilt für den Montageprozess inkl. Betriebsmittel. Nicht zu vernachlässigen sind die Vorproduktionsstätten sowohl bei BMW intern als auch bei den Lieferanten, da für diese ebenfalls neue Prozesse zu installieren sind. Als erster Schritt werden 5 Versuchsträger aufgebaut um mögliche „Kinderkrankheiten“ rechtzeitig zu entdecken und als Verbesserung für Pulk 2 und Pulk 3.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwickeln von speziellen Vorrichtungen im Karosseriebau</li> <li>• Vorbereitung des Aufbaues Karosserie von E-Fzg.</li> <li>• Entwickeln von speziellen Betriebsmitteln in der Montage</li> <li>• Erster pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Herstellbarkeit unter „Prototyen- Bedingungen“ im Karosseriebau und Montage-</li> <li>• Analyse der statistischen Erhebungen während des Aufbaus</li> <li>• Iterative Optimierung während des Aufbaus</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p> <p><b>PM 123,0</b></p>	
<p>(8) Unteraufträge</p> <p>Für bestimmte Untersuchungen und Entwicklung sind derzeit mehrere Ingenieurbüros angefragt, da aus Kapazitäts-Gründen eine BMW interne Bearbeitung nicht erfolgen kann. Der Vergabeumfang beträgt ca. 375.000,00 €.</p>	<p>(9) Schnittstellen</p> <p>BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Verifizieren der Konzepte Pulk 1 (5 Stück)

(12) benötigter Personalaufwand: PM 170,0

## Verwendungsnachweis / Ergebnis:

Zur Vorbereitung der Verifizierung des Pulk 1 war es zwingend nötig mit Prototypenteilen erste Versuche durchzuführen und in einem iterativen Prozess diese Erkenntnisse frühzeitig in die Entwicklung wieder einfließen zu lassen. Bei der Produktion von Elektrofahrzeugen lag der Hauptfokus im BMW Werk in Leipzig. In diesem Werk soll pilothaft der Aufbau von Versuchsträgern zur Verifizierung der Konzepte (FPE222 und FPE223) erfolgen. Dazu wurden im ersten Schritt an einer modifizierten Karosserie erste Montagetests durchgeführt. Besonders in den kritischen Bereichen wie der Schwenkmontage und den Automatikstationen wie der „Hochzeit“ (Zusammenfügen von Antriebstrang und Karosserie) bedurfte es zahlreicher Tests da diese nicht per Computer simuliert werden konnten. In den folgenden Abbildungen (Abbildung 29 bis 35) sind verschiedene Situationen aus dem Probeaufbau dargestellt.



Abbildung 29 / 30: Einbau eines des Wärmetauschers und des HV- Kabelbaums.

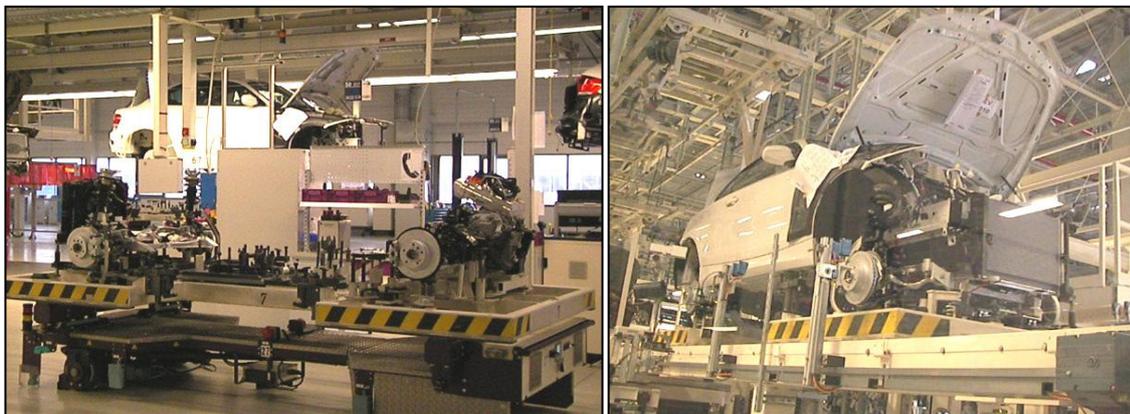


Abbildung 31 / 32: Anpassung „Aggregate Montage-Träger“ und automatischer Verbau.

# Abschlussbericht



Abbildung 33: Kontrolle und Nacharbeit im Anschluss an den automatischen HVS-Einbau.

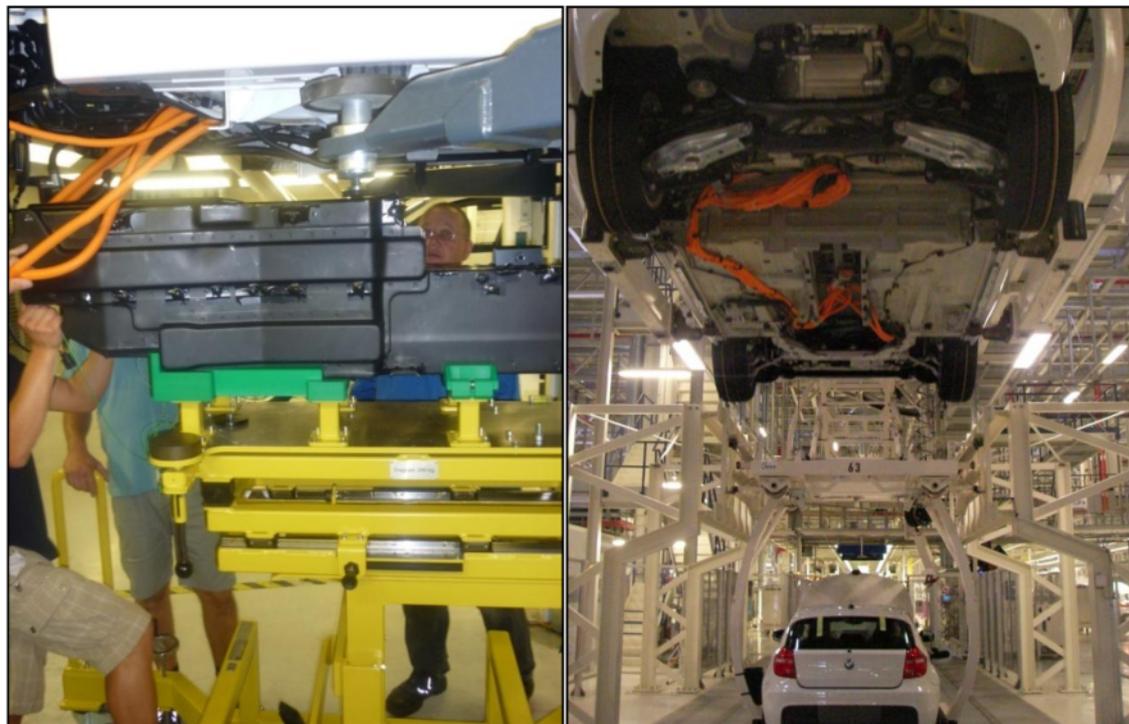


Abbildung 34 / 35: Einbau HV-Speicher (Tunnel) Störkanten-Untersuchung in der Linie.

Diese ersten Untersuchungen haben das generelle Montagekonzept des Elektrofahrzeugs

# Abschlussbericht

bestätigt. Erwartungsgemäß hat dieser Probelauf auch eine Vielzahl an Nachbesserungsbedarf aufgezeigt. Besonders für die Themen Vorrichtungen und Betriebsmittel sind noch mehrere Anpassungen notwendig. Die Ausplanung und Absicherung von Teil- und Subsystemen erfolgt bei den Fachabteilungen der Entwicklung direkt. Die Produktion ist jene Stelle im „Produkt-Entstehungs-Prozess“ (PEP) bei der zum ersten Mal ein Gesamtfahrzeug entsteht. Aus diesem Zusammenbau ergeben sich Anpassungen an die bestehenden Anforderungen. Diese werden in den nächsten Monaten in den verschiedenen Fachteams bearbeitet. Ein weiterer Probelauf war für Mitte Februar 2011 geplant und damit der Start der offiziellen Verifizierung der Konzepte erfolgen.

Im Aufbau des Pulk 1 wurde der komplette Fertigungsprozess jetzt das erste Mal unter „serienähnlichen Prototypen- Bedingungen“ im Karosseriebau und Montage getestet. Der Aufbau der ersten 5 Fahrzeuge hat dank der ausführlichen vorbereitenden Musterbauphase zu keinem Bandstillstand im Werk Leipzig geführt. Es bedurfte einer ganz genauen Planung des Ablaufs. Nur so konnte auch sichergestellt werden, dass z.B. alle zu verbauenden Teile zur richtigen Zeit, in der richtigen Menge an der richtigen Stelle und der richtigen Qualität zur Verfügung standen. Dieser Prozess musste bereits im Karosseriebau beginnen. Besonders der Karosseriebau mit der hohen Automatisierung durch die Roboter-Schweißanlagen ist weniger flexibel und es bedurfte einiger Neuprogrammierungen, da besonders die Aufnahmen der Hochvoltbatterie eine große Änderung in der Karosserie bedeutete.

Auch in der Lackiererei mussten zum Thema Korrosion und Dichtheit mehrere neue Prozessschritte eingerichtet werden.

Die meisten Änderungen ergaben sich natürlich auf Grund der Vielzahl an neuen Komponenten in der Montage. Die Anpassungen bzw. Neuerungen betreffen während des ersten Pulks noch fast alle Bandbereiche. Nach der Montage des Fahrzeuges konnte allerdings noch nicht sofort mit der Inbetriebnahme begonnen werden, da noch einzelne Hochvoltkomponenten nicht die nötige „Selbstsicherheit“ hatten. Dieser Schritt der Inbetriebnahme und auch die vielen gefunden Kleinigkeiten wurden in die Fachteams zurück gemeldet. Es begann der Verbesserungsprozess als Vorbereitung für den zweiten Pulk (FPE222).

Zwar wurden mehr Stunden als ursprünglich geplant benötigt, allerdings lag dieses an der Zunahme der Komplexität der einzelnen Bauteile, welche bereits in der Entstehungsphase zu prüfen waren. Das Arbeitspaket wurde erfolgreich abgeschlossen, so dass die folgenden Prozesse wie geplant starten konnten.

# Abschlussbericht

## FPE222: Verifizieren der Konzepte Pulk 2 (17 Stück)

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</p> <p><b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum</p> <p><b>Von: 01.02.2011</b></p> <p><b>Bis: 30.09.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</p> <p><b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Nachdem die ersten Versuchsträger aufgebaut sind und diese analysiert wurden, gilt es durch neue Lösungen die Schwächen auszugleichen und die nötigen Anpassungen im Karosseriebau, der Montage und der Inbetriebnahme vorzunehmen.</p> <p>Neben den Änderungen von Hardware sind auch die Prozesse und Messmethoden zur Qualitätssicherung zu optimieren.</p> <p>Zudem gilt es die Stückzahl in der gleichen Zeit zu erhöhen um so eine Aussage bezüglich Taktzeit, etc. zu erhalten.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überarbeitung des Aufbaues Karosserie von E-Fzg.</li> <li>• Überarbeitung des Aufbaues Montage von E-Fzg.</li> <li>• Pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Erstellbarkeit unter „Kleinserien-Bedingungen“ des Karosseriebaus inkl. der neuartigen HV-Speicher-Trägerstruktur.</li> <li>• Pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Erstellbarkeit unter „Kleinserien-Bedingungen“ für die Vormontage von: E-Motor - Getriebe-Einheit, HV-Speicher –Module zu einem Gesamtspeicher, Leitungspakete für Heiz-Klima, etc.</li> <li>• Pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Erstellbarkeit unter „Kleinserien-Bedingungen“ für die Montage, indem die ca. 120 Neuteile plus 300 Bestandteile unter genauer Beobachtung inkl. Vermessen in die Versuchsträger eingebaut werden.</li> <li>• Analyse der statistischen Erhebungen während des Aufbaus</li> <li>• Iterative Optimierung während des Aufbaus</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p> <p><b>PM 94,0</b></p>	
<p>(8) Unteraufträge</p> <p>---</p>	<p>(9) Schnittstellen</p> <p>BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Verifizieren der Konzepte Pulk 2 (17 Stück)

(12) benötigter Personalaufwand: PM 94,0

## **Verwendungsnachweis / Ergebnis:**

Nach dem erfolgreichen Aufbau der ersten 5 Versuchsträger aus dem Pulk 1 erfolgte die Auswertung (siehe auch FPE330: Auswertung der Messergebnisse) der Erkenntnisse. Dieses führte zu einer Überarbeitung des Aufbaues der Karosserie. Der gleiche Prozess zur Überarbeitung des Aufbaues von E-Fzg. wurde für die Montage durchgeführt

Im Anschluss erfolgte nach dem gleichen Grundkonzept wie im Pulk 1, allerdings mit einem neuen Focus, der pilothafte Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Erstellbarkeit unter „Kleinserien-Bedingungen“ des Karosseriebaus inkl. der neuartigen HV-Speicher-Trägerstruktur.

Die meisten Änderungen gab es bei den Montageteilen, daher wurde besonders der Vormontageprozess noch mal genauer betrachtet. Die pilothafte Vormontage von: E-Motor - Getriebe-Einheit, HV-Speicher –Module zu einem Gesamtspeicher, Leitungspakete für Heiz-Klima, diente damit als Nachweis der Erstellbarkeit unter „Kleinserien-Bedingungen“.

Nachdem die Verbesserung der Vormontageumfänge sichergestellt war. Konnte auch der pilothafte Aufbau vom weiteren BMW E als Nachweis der Erstellbarkeit unter „Kleinserien-Bedingungen“, indem die ca. 120 Neuteile plus 300 Bestandteile unter genauer Beobachtung inkl. Vermessen in die Versuchsträger eingebaut werden.

Zum Abschluss erfolgte als Vorbereitung des Pulks 3 die genaue Analyse der Erhebungen während des Aufbaus.

Die geforderten 17 BME Es wurden aufgebaut und erstmals auch direkt im Fertigungsprozess in Betrieb genommen werden. Die Zuschaltung des Hochvoltsystems stellte keine Probleme mehr dar.

# Abschlussbericht

## FPE223: Verifizieren der Konzepte Pulk 3 (28 Stück)

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</p> <p><b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum</p> <p><b>Von: 01.03.2011</b></p> <p><b>Bis: 30.09.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</p> <p><b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Die Erfahrungen aus dem Pulk 2 und den damit verbundenen überarbeiteten Lösungen werden ebenfalls im Vorfeld in das Produktionskonzept einfließen. Notwendige Änderungen an Betriebsmitteln und Prozessen werden berücksichtigt.</p> <p>Auf Grund der Erfahrungen der beiden zuvor fertiggestellten Pulks ist das Ziel die endgültige Verifizierung als Nachweis der Erstellbarkeit unter serienähnlichen Bedingungen.</p> <p>Die Fertigungsverfahren können nur Bestätigt werden, wenn sogenannte „Stresstest“ (das schnelle Produzieren mehrerer Versuchsträger hintereinander) durchgeführt werden.</p> <p>Die gesammelten Ergebnisse müssen Gültigkeit haben für der generellen Fertigung von Elektrofahrzeugen. Es ist ein direkter Rückfluss in weitere Projekte vorgesehen.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überarbeitung des Aufbaues Karosserie und der Montage von E-Fzg.</li> <li>• Pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Erstellbarkeit unter serienähnlichen Bedingungen</li> <li>• Pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Erstellbarkeit unter serienähnlichen Bedingungen des Karosseriebaus inkl. der neuartigen HV-Speicher-Trägerstruktur.</li> <li>• Pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Erstellbarkeit unter serienähnlichen Bedingungen für die Vormontage von: E-Motor - Getriebe-Einheit, HV-Speicher –Module zu einem Gesamtspeicher, Leitungspakete für Heiz-Klima, etc.</li> <li>• Pilothafter Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Erstellbarkeit unter serienähnlichen Bedingungen für die Montage, indem die ca. 120 Neuteile plus 300 Bestandteile inkl. Vermessung in die Versuchsträger eingebaut werden</li> <li>• Analyse der statistischen Erhebungen und Rückfluss der Ergebnisse in die Entwicklung</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p>	<p><b>PM 79,5</b></p>
<p>(8) Unteraufträge</p> <p>---</p>	<p>(9) Schnittstellen</p> <p>BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Verifizieren der Konzepte Pulk 3 (28 Stück)

(12) benötigter Personalaufwand: PM 79,5

## **Verwendungsnachweis / Ergebnis:**

In Analogie zum FPE222 erfolgte nachdem Aufbau der weiteren 17 Versuchsträger aus dem Pulk 2 die Auswertung der Erkenntnisse (siehe auch FPE330: Auswertung der Messergebnisse). Dieses führte auch hier noch zu einer Überarbeitung des Aufbaues der Karosserie. Der gleiche Prozess zur Überarbeitung des Aufbaues von E-Fzg. wurde für die Montage durchgeführt

Im Anschluss erfolgte nach dem bekannten Grundkonzept wie im Pulk 1 und Pulk 2, allerdings mit einem neuen Focus, der pilothafte Aufbau von Elektrofahrzeugen als Nachweis der Erstellbarkeit unter „serienähnlichen Bedingungen“ des Karosseriebaus

Es gab nur noch wenige Änderungen bei den Montageteilen, daher konnten die aktuelle Vormontageprozesse nur noch wenig verbessert werden. Die pilothafte Vormontage von: E-Motor - Getriebe-Einheit, HV-Speicher –Module zu einem Gesamtspeicher, Leitungspakete für Heiz-Klima, diente mit dem Pulk 3 als abschließender Nachweis der Erstellbarkeit unter „serienähnlichen Bedingungen“.

Nachdem die Verbesserung beim Pulk 2 sichergestellt war. Konnte auch der pilothafte Aufbau vom den letzten BMW E als Nachweis der Erstellbarkeit unter „serienähnlichen Bedingungen“, erfolgen.

Auch wenn mit dem dritten Pulk der iterative Prozess abgeschlossen war, wurde eine genaue Analyse der Erhebungen während des Aufbaus durchgeführt.

Die geforderten 28 BME Es wurden aufgebaut und direkt im Fertigungsprozess in Betrieb genommen werden. Die Zuschaltung des Hochvoltsystems stellte keine Probleme mehr dar.

Es folgten noch einige Abschlusstests mit den Fahrzeugen bevor diese zur weiteren Nutzung an die Entwicklungsfachstellen übergeben wurden.

Das Arbeitspaket konnte mit einer leichten Verspätung zum Ende der Projektlaufzeit abgeschlossen werden.

# Abschlussbericht

## FPE310: Untersuchung zur E-fzgspezifische Qualitätssicherung

<i>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</i> <b>BMW, München</b>	<i>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</i>
<i>(5) Bearbeitungszeitraum</i> <b>Von: 01.03.2010</b> <b>Bis: 30.09.2011</b>	<i>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</i> <b>11.08.2009</b>
<b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b> <p>Bedingt durch die neuen Komponenten, den neuen Anforderungen und den neuen Verfahren müssen für die Qualitätssicherung die Erprobungsmethoden und Messverfahren angepasst bzw. neue entwickelt werden.</p> <p>Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Erforschung von geeigneten Erprobungsmethoden. Neben den reinen Messverfahren, beruhen viele Methoden im konventionellen Fahrzeug auf jahrelangen statistischen Erhebungen und den Ableitungen daraus.</p> <p>Ziel ist es zur Validierung der Qualitätssicherung eine Methodik zu entwickeln, welche den Anforderungen gerecht wird. In den FPE22x werden diese Methoden direkt angewendet und können neben der Bestätigung der Konzepte und Verfahren selber optimiert werden.</p> <p>Wichtig ist, dass die entschiedenen Methoden die Gültigkeit haben auch für die generelle Anwendung in Elektrofahrzeugen übertragbar zu sein.</p>	
<b>Arbeitsinhalt des AP</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Festlegung der Anforderungen</li><li>• Auswahl von möglichen Testmethoden</li><li>• Validieren der Methoden während und nach dem Aufbau (FPE220)</li></ul>	
<i>(7) Personalaufwand</i> <b>PM 26,0</b>	
<i>(8) Unteraufträge</i> ---	<i>(9) Schnittstellen</i> BMW intern

# Abschlussbericht

<p>(11) <i>Arbeitspakettitel</i> Untersuchung zur E-fzgspezifische Qualitätssicherung.</p>	<p>(12) <i>benötigter Personalaufwand: PM 26,0</i></p>
<p><b>Verwendungsnachweis / Ergebnis:</b></p> <p>Die Qualitätssicherung wurde mit verschiedenen Themen beauftragt. Nachdem eine Reduzierung auf ein, zwei Konzepte je Bereich erfolgte, konnte eine erste Risikoanalyse durchgeführt werden. Aufbauend aus den Erfahrungen von konventionellen Fahrzeugen wurde die Risikoliste erstellt. Es hat sich gezeigt, dass die bekannten Kriterien wie Akustik, Schwingungen, Fahrverhalten, Windgeräusche etc. neu bewertet werden mussten. Mit Hilfe von MINI E Fahrzeugen wurde eine Bewertung bezüglich der relevanten Kriterien durchgeführt. Im Anschluss erfolgte eine Festlegung von Qualitätszielwerten um einen Soll-Ist-Vergleich durchführen zu können.</p> <p>Auch hier konnten die bekannten Ziele nur als Anhaltspunkt verwendet werden. Zum Beispiel sind Vibrationen, Akustik, etc. durch einen Verbrennungsmotor anders als die eines Elektromotors. Einerseits gab es klare messbare Werte, andererseits entschied aber auch der subjektive Eindruck. So zeigte sich z.B. dass das Geräusch des Blinkers in Elektrofahrzeug anders empfunden wurde als im Verbrennungsfahrzeug, wo dieses Geräusch von Motorgeschall überlagert wird.</p> <p>Die Bestätigung der Qualitätskriterien und –ziele wurde mit dem Aufbau des Pulks 2 (FPE222) erfolgen. Der Pulk 1 ist noch zu sehr ein Prototypenbau, welcher nicht die gleichen Qualitätsziele hat wie eine Kleinserie.</p> <p>Ein weiteres Thema ist die Festlegung von Prüfungsintervallen. Ausgehend von der Risikoeinschätzung bzgl. Qualitätsprobleme wurde analysiert, welche Anzahl von empirischen Erhebungen nötig war. Eine 100% Prüfung war nur in der Anfangsphase angebracht. Die Festlegung von Prüfintervallen wurde allerdings nicht mehr durchgeführt, da es bei der geringen Anzahl an Fahrzeugen auf die Auswertung jedes einzelne Fahrzeug ankommt. Die 100% Prüfung wurde daher beibehalten. Für zukünftige Elektromobile wurde aber eine erste Arbeitsanweisung erstellt, welche nur noch eine Stichprobenartige Kontrolle vorsieht.</p> <p>Bei der Inbetriebnahme wird zwangsläufig der Wagen gestartet und im Anschluss zur Fahrwerkseinstellung gefahren. Hierbei sollte bei gravierenden Fehlern bereits Warnmeldung im Fahrzeug erscheinen.</p> <p>Die ermittelten Methoden und Kennzahlen wurden erfolgreich im Pulk 3 als zielführend bestätigt.</p>	

# Abschlussbericht

## FPE320: Untersuchung zu E-fzgspezifischen Erprobungsmethoden

<p>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</p> <p><b>BMW, München</b></p>	<p>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</p>
<p>(5) Bearbeitungszeitraum</p> <p><b>Von: 01.02.2010</b></p> <p><b>Bis: 30.09.2011</b></p>	<p>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</p> <p><b>11.08.2009</b></p>
<p><b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b></p> <p>Die erforschten Themen und die anschließende Umsetzung in Versuchsfahrzeugen muss zur Verifizierung erprobt werden. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zur erhalten, bedarf es neuer bzw. angepasster Erprobungsmethoden.</p> <p>Ähnlich wie bei der Qualitätssicherung beruhen viele Methoden im konventionellen Fahrzeug auf jahrelangen statistischen Erhebungen und den Ableitungen daraus.</p> <p>Die entschiedenen Lösungen für die Komponenten, die Verfahren als auch für die Systeme inkl. Funktionen aus den FPE1xx müssen während des Aufbaus und anschließend im Versuchsträger bestätigt werden.</p> <p>Diese Testmethoden sind zu entwickeln und zu optimieren. Die entschiedenen Methoden müssen alle generellen Anforderungen bezüglich der Freigabe von Komponenten und Systemen im Elektrofahrzeug erfüllen.</p> <p>.</p>	
<p><b>Arbeitsinhalt des AP</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung der Anforderungen</li> <li>• Auswahl von möglichen Testmethoden</li> <li>• Validieren der Methoden während und nach dem Aufbau (FPE220)</li> </ul>	
<p>(7) Personalaufwand</p> <p style="text-align: center;"><b>PM 29,0</b></p>	
<p>(8) Unteraufträge</p> <p>---</p>	<p>(9) Schnittstellen</p> <p>BMW intern</p>

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Untersuchung zu E-fzgspezifischen Erprobungsmethoden

(12) benötigter Personalaufwand: PM 29,0

## Verwendungsnachweis / Ergebnis:

Um aussagekräftige Ergebnisse bei den einzelnen Tests zu erhalten war es erforderlich die Vorgehensweise bei den erforschten Themen und der anschließenden Umsetzung in Versuchsfahrzeugen genauer zu betrachten und ggf. neue bzw. angepasste Erprobungsmethoden zu entwickeln. Ähnlich wie bei der Qualitätssicherung beruhten viele Methoden im konventionellen Fahrzeug auf jahrelangen statistischen Erhebungen und den Ableitungen daraus.

Bei konventionellen Fahrzeugen werden in erster Linie die Funktionen überprüft. Aber auch Themen wie Optik bzw. Haptik, Dichtheit und Geräusche bzw. Gerüche sind zu bewerten. Es wurde beschlossen, dass bei Elektrofahrzeugen auch die bewährten Anforderungen an Fahrzeuge gelten sollten.

Bei dem Thema Funktionalität wurden zu den allerersten Prototypen-Fahrzeugen die bekannten Erprobungsmethoden hergenommen. Da eines der Projektziele der Aufbau eines Elektrofahrzeuges mit ähnlichen Eigenschaften wie ein konventionelles Fahrzeug war, hat sich gezeigt, dass viele bestehende Erprobungsmethoden auch anwendbar waren.

Es wurden die bestehenden Methoden verfeinert und die Prüfanweisungen so wie die Laufzettel zur Abarbeitung der Verfahren angepasst.

Für das Thema Rekuperation musste allerdings eine neue Artige Erprobungsmethode entwickelt werden, da dieses auf den vorhandenen Rollenprüfständen nicht prüfbar ist. Um dennoch mögliche Messwerte für reproduzierbare Auswertungen zu erhalten, wurde ein neues Verfahren entwickelt, welches durch Modifikationen an einem Bremsenprüfstand doch zu Messwerten führte. Nach zahlreichen Tests mit den ersten 10 Fahrzeugen konnte die Methode als zielführend bestätigt werden.

So konnte dann auch beim Aufbau des Pulks 3 mit den verschiedenen Testmethoden die Freigabe für die Komponenten und Systeme im Elektrofahrzeug erfolgen.

Das Arbeitspaket konnte zum Ende der Projektlaufzeit mit Erfolg abgeschlossen werden.

.

# Abschlussbericht

# Abschlussbericht

## FPE330: Auswertung der Messergebnisse

<i>(3) Firma/ Institut mit Anschrift</i> <b>BMW, München</b>	<i>(4) Am Arbeitspaket beteiligte Partner</i>
<i>(5) Bearbeitungszeitraum</i> <b>Von: 01.04.2011</b> <b>Bis: 30.09.2011</b>	<i>(6)aktuelles Bearbeitungsdatum</i> <b>11.08.2009</b>
<b>Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP</b> Zur Sicherstellung der Nachhaltigkeit sind die erforschten, entwickelten und erfassten Ergebnisse in die gesamte Entwicklung, sprich einzelner Komponenten als auch Gesamtfahrzeug, zurückzuführen.  Die Messergebnisse müssen zuerst analysiert werden und dann gefiltert den einzelnen Teilprojekten zugeordnet werden. Stellenweise lässt sich bereits jetzt eine erste Optimierung für die abweichenden Zielwerte ausmachen. Die endgültige Lösung wird in den einzelnen Teilpaketen erfolgen.	
<b>Arbeitsinhalt des AP</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Auswertung der Ergebnisse</li><li>• Ableitung von möglicher Optimierung und Rückfluss in die Forschung und Entwicklung</li></ul>	
<i>(7) Personalaufwand</i> <b>PM 17,5</b>	
<i>(8) Unteraufträge</i> ---	<i>(9) Schnittstellen</i> BMW intern

# Abschlussbericht

(11) Arbeitspakettitel

Auswertung der Messergebnisse

(12) benötigter Personalaufwand: PM 17,5

## **Verwendungsnachweis / Ergebnis:**

Nachdem nach jedem relevanten Schritt eine Auswertung stattgefunden hat und so zu Verbesserungen geführt hat, kann zusammenfassend gesagt werden, dass die Auswertung aller bis dato durchgeführten Tests das grundsätzliche Konzept bestätigt haben.

Neben den Belastungstests wurden noch zahlreiche Funktionstests durchgeführt, besonders im Hinblick auf das elektrische Gesamtsystem mit der Betriebsstrategie und dem Energiemanagement. Die Tests hatten allerdings auch gezeigt, dass es auf Grund der Komplexität zu größeren Herausforderungen als erwartet kam. Die entstandenen Aufgaben wurden dann in den verschiedenen Teilprojekten (FPExxx) abgearbeitet. Der größte Teil der überarbeiteten Lösungen konnte bereits in den Pulk2 einfließen. Einzelne Lösungen wurden erst zum Pulk3 in 2011 umgesetzt.

Final kann bestätigt werden, dass das Gesamtfahrzeug „BMW E“ und auch die Umsetzung in den letzten 24 Monaten sehr erfolgreich war.

## 6 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

### Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die im vorliegenden Projekt erarbeiteten Fortschritte zum Elektromobil wurden an Prüfständen und in Funktionsfahrzeugen intensiv zu Erprobungszwecken eingesetzt. Nachdem die Entwicklung, der Bau und die Erprobung des Antriebs für ein rein elektrisch betriebenes Automobil erfolgreich abgeschlossen wurden, können die Ergebnisse in eine Versuchsflotte von weiteren BMW 1er Coupés einfließen, die an dem deutschen Standort Leipzig produziert werden.

Dabei können z. B. in den USA - dem größten BMW Absatzmarkt - während der bevorstehenden Übergangsphase zu den ab Ende 2013 serienmäßig produzierten E-Automobilen die für 2011 - 2013 gesetzlich vorgeschriebenen „Gold credits“ erworben werden. Ohne diese Credits würde der Absatz aus Deutschland importierter BMWs zukünftig durch hohe Ausgleichszahlungen stark erschwert bzw. unwirtschaftlich. Ein funktionsfähiges Elektrofahrzeug wird für BMW und andere „large manufacturers“ zwangsweise zur notwendigen und hinreichenden Bedingung zur Erfüllung von Normen, Vorgaben und Grenzwerten.

Auf Grund der Erfahrungen aus dem hier vorliegenden Forschungsprojekt wird die nachfolgende Generation batteriegetriebener BMWs auf die Anforderungen des E-Antriebs umfassend optimiert sein. Hierbei geht es u. a. um intensiven Leichtbau, auf die Bedürfnisse der Li<sup>+</sup>-Batterietechnologie und den E-Antriebsstrang angepasste Einbauräume sowie eine eher auf Kurzstreckenbetrieb optimierte Grundauslegung. Für die Produktion der BMW Elektrofahrzeuge wurde der Standort Leipzig ausgewählt.

Die Aufwände aus diesem Förderprojekt von 2009 bis 2011 haben also einen Teil des Fundaments für die Elektromobil-Produktion an einem deutschen BMW Standort zur Großserie erzeugt.

Der wirtschaftliche Erfolg der BMW Elektrofahrzeuge wird letztendlich von der Bewertung der neuen Antriebstechnik durch den Kunden abhängen. Neben dem Fahr-

# Abschlussbericht

gefühl, dem Prestige- und dem Nutzwert werden hierbei die km-spezifischen Vollkosten die Hauptkriterien sein. Wichtig ist, mit gezielten Marketingmaßnahmen die Zielgruppe der LOHAS (lifestyle of health and sustainability) als reale Kunden zu gewinnen. Diese sind auf Basis ihres hohen Umweltbewusstseins gerne bereit, sich für ein gutes Gefühl auch finanziell zu engagieren, wenn Elektromobilität mit einem hohen Grad an gesellschaftlicher Wertigkeit verbunden ist.

Selbst dann, wenn das rein elektrische Fahren mittelfristig nicht die erhofften Zuwachsraten erreichen würde, sind die Ergebnisse dieses Förderprojektes für die Elektromobilität, der Hybrid- und PlugInHybrid-Antriebe von höchster Wertigkeit und hohem Nutzen.

## **Wissenschaftliche Erfolgsaussichten**

In diesem geförderten KP II - Projekt wurde das bei BMW verfügbare Know-how zur Forschung und Entwicklung Erprobungsfahrzeuge umgesetzt.

Aufgrund des aktuellen Stands der Technik für Elektrofahrzeuge mussten dabei aus zeitlichen Gründen insbesondere in der Materialtechnik (z.B. Dauerhaltbarkeit) im Moment noch Kompromisse eingegangen werden.

Neben dem Voranbringen der Eigenschaften, Kosten und Prozessaufwände der einzelnen Komponenten und Gesamtfahrzeug, müssen dabei insbesondere die Alltags-tauglichkeit noch stark nach vorne gebracht werden.

Die dabei zu lösenden wissenschaftlichen Herausforderungen bedingen Pionierarbeit in technologischem Neuland - mit entsprechend hohen Risiken.

## Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Professionelle Marktanalysen zeigen für die deutsche Automobilindustrie in punkto elektrifizierter Antriebsstränge und deren Energiespeicher schon bis zum Ende dieses Jahrzehnts hohe Absatzpotenziale auf. Für den Weltmarkt ergibt sich für alle in Frage kommenden Anwendungen in Hybrid- und Elektroautos über die ins vorliegende Vorhaben eingebundenen Zulieferfirmen ein jährliches Potenzial von mehr als dem Zehnfachen der BMW Stückzahlen. Zusammen mit den modifizierten Grundkomponenten kann sich inkl. der zugehörigen Integrationsbauteile ein Umsatzpotenzial von mehreren Mrd. €/a erschließen.

Die BMW Markteinführungsstrategie stützt sich auf die langjährigen eigenen Erfahrungen im Marktsegment der Premiumautomobile. Danach empfiehlt es sich im Interesse eines nachhaltigen Markterfolges, den Ersteinsatz neuer Technologien in Kombination mit einem spürbaren Kundennutzen (z. B. Komfort- und Fahrleistungserhöhung sowie einer Betriebskostenminderung durch geringeren Energieverbrauch und dem daraus resultierenden LOHAS-Lebensgefühl) zu organisieren.

Im Hinblick auf Funktion, Herstellung, Zuverlässigkeit und Kosten sind gut entwickelte Elektrofahrzeuge im Moment am Weltmarkt noch Mangelware. Dadurch hat dieses Förderprojekt zwar dazu beigetragen, größere Know-How-Lücken zu erschließen, eine Fortführung von wissenschaftlichen Aktivitäten für die Anwendung in einer Großserie ist aber zwingend erforderlich.

Die Kunden betrachten den kostenbedingten Aufpreis des Fahrzeugs in diesem Fall direkt im Kontext mit der Verbesserung des Komforts, Fahrgefühls und des Energieverbrauchs, was einem gefühlten Wertzuwachs entspricht. Eine positive Kaufentscheidung fällt i.d.R. nur, wenn Aufpreis und spürbarer Kundennutzen im Einklang stehen. Dies gelingt bei Oberklasse-Automobilen anfangs wesentlich überzeugender als im Kleinwagen-Bereich. BMW Kunden sind an Innovationen ausgesprochen stark interessiert. Sie schätzen das Gefühl, Konsument zu sein. Neben den Komfortfunktionen steht die Verringerung der Betriebskosten im realen Kundenalltagsbetrieb des Automobils als Vermarktungsansatz im Fokus.

# Abschlussbericht

Realistische Planungen zeigen, dass momentan ein günstiger Zeitpunkt für die Fortführung intensivierter Entwicklungs- und Umsetzungsarbeiten ist. Seit 2008 greift die Selbstverpflichtung der ACEA zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs um 25 % gegenüber 1990. Bei Einsatz des Elektrofahrzeuges gemäß der BMW Energie- und Antriebsstrategie „Weitere Optimierung des Elektroantrieb“ ergeben sich mittel- und langfristig hohe Absatzpotenziale.

Aktuell plant die BMW AG im Jahre 2013 Kleinfahrzeuge mit Elektroantrieb in Großserie auf die Straße zu bringen, wobei mit mehreren zehntausend Einheiten dieses Serienproduktes zu rechnen ist (mit einem Potential auf dynamische Marktnachfragen zu reagieren). Die Fahrzeuge werden in Leipzig gebaut, was Investitionen in dreistelliger Millionenhöhe in den Standort Deutschland mit sich bringt. Da der Erfolg der Elektrofahrzeuge im Wesentlichen von der Leistungsfähigkeit des Antriebsstrangs und den Themen Energiemanagement, Fahrdynamik, Kundenwünsche (Heiz / Klima / Anzeigen) abhängt, hat dieses Förderprojekt wesentlich mit dazu beigetragen, die Arbeitsplätze der BMW AG an den deutschen Standorten zu sichern.

Aus den Projektergebnissen können Bedarfe für grundlagen- und fabrikorientierte Weiterentwicklungen erfahrungsbasiert abgeleitet werden. Zur Elektromobilität bereits etablierte oder neu zu gründende wissenschaftliche Institute an Universitäten und Großforschungseinrichtungen können diese Aufgaben via Grundlagenforschung in volks- und betriebswirtschaftlich sehr sinnvolle Lösungen überführen.

## **7 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen**

Der Antriebstrang ist die Schlüsselkomponente für die Zukunft der Elektromobilität, welcher aktuell Bestandteil umfassender Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ist. Der Fokus in diesem Förderprojekt lag insbesondere auf dem Gesamtfahrzeug, also der Verbund von zahlreichen Einzelkomponenten, wo der detaillierte Fortschritt bei anderen Stellen in der Regel vertraulich behandelt wird und sich daher nur indirekt aus den vorgestellten Produkten ableiten lässt.

Ein Trend in der Automobilindustrie geht mittlerweile stärker in die Richtung von intelligenten Hochvoltspeichern, die im Fahrzeugboden integriert sind (Nissan Lear, Mitsubishi iMiev, Smart eDrive), so wie es auch BMW in zukünftigen Projekten verfolgen wird. Der Vorteil hierbei ist, dass im Gesamtfahrzeug Gewicht gespart werden kann (keine zusätzlichen Crashstrukturen). Dadurch sinkt der zu integrierende Energieinhalt bei gleicher Reichweite und der damit geringere notwendige Bauraum ist somit optimal für die Integration des Antriebs und der weiteren Komponenten geeignet.

Der Umbau eines bestehenden konventionell angetriebenen Fahrzeugs hat es dafür aber ermöglicht, in kürzester Zeit Erfahrungen mit dem Gesamtkonzept zu sammeln und diese auch im Fahrzeugbetrieb abzusichern. Mit der Auswahl des 1er Coupés als Versuchsfahrzeug für die Integration des Gesamtsystems wurde eine besondere Herausforderung geschaffen (Viersitzigkeit und maximal mögliche Kofferraumvolumen zu erhalten). Die Erfahrungen aus dem MINI E haben gezeigt, dass der Antrieb und besonders die Batteriezellen aus dem Consumerbereich, wie sie auch von Tesla genutzt werden, zwar eine hohe Energiedichte besitzen, aber im Fahrzeugbetrieb mit Nachteilen verbunden sein können (Temperaturabhängiges Verhalten, Lebensdauer unklar etc.). Damit stellt das MINI E-Konzept für dieses Projekt keine Option dar.

Die Konstruktion der Versuchsfahrzeuge und insbesondere die Fertigung waren somit besonders komplex und daher ideal geeignet, um die kritischen Themen bei der Elektromobilität zu erkennen und Lösungen zu finden, wie es in diesem Projekt erfolgreich geschehen ist.

# Abschlussbericht

Einen ähnlichen Ansatz verfolgen Ford mit dem Focus Electric und Volvo mit dem C30 Electric, die aber deutlich schwächeren Elektroantrieb integriert haben. Dies spiegelt sich auch in den veröffentlichten Bildern wieder.

## **8 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse**

Während der kurzen Projektlaufzeit von zwei Jahren sind bisher keine direkten Veröffentlichungen erfolgt:

Sollten zukünftig Veröffentlichungen erfolgen, so werden diese den Hinweis auf den Zuwendungsgeber ebenfalls berücksichtigen.

# Abschlussbericht

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erprobungsflotte von BMW E's .....	1
Abbildung 2: Ergebnis der MINI E Nutzerbefragung in Berlin bzgl. Reichweite.....	10
Abbildung 3: MINI E Nutzerbefragung in Berlin bzgl. der Gründe für Nicht-Nutzung. ....	11
Abbildung 4: Standard Terminplan.....	15
Abbildung 5: Terminplanauszug „BMW E“ mit Pulk-Montag.....	16
Abbildung 6: Erfahrungen der BMW AG mit Elektrofahrzeugen. ....	17
Abbildung 7: Energieverbrauch des MINI E in Abhängigkeit der Außentemperatur. ....	18
Abbildung 8: Übersicht der Haupt-Antriebskomponenten in dem Fahrzeug.....	25
Abbildung 9: BMW E vor dem Flughafen München. ....	27
Abbildung 10: EMV-Halle .....	37
Abbildung 11: AE - Komponentenmessung .....	38
Abbildung.12: Reifestufen-Planung.....	40
Abbildung 13: Generika zur Absicherung der einzelnen Reifestufe.....	41
Abbildung 14: Anschluss für SAE J1772 Stecker .....	47
Abbildung 15. Schematische Darstellung Heiz -/ Kühlungskonzept. ....	53
Abbildung 16. Schematische Darstellung Vorkonditionierung. ....	54
Abbildung 17. Darstellung Kühl und Heizsystem inkl. Verschlauchung im Motorraum. ....	55
Abbildung 18. Darstellung Kühl und Heizsystem inkl. Verschlauchung beim HV-Speicher. ....	56
Abbildung 19. Energieflussanzeige im zentralen Information-Display .....	60
Abbildung 20. Batterieinfo im zentralen Information-Display .....	61
Abbildung 21. Fahrtipps zur Verbrauchsreduzierung im zentralen Information-Display.....	61
Abbildung 22. Übersicht der Grafiken im zentralen Information-Display .....	62
Abbildung 23. Aufteilung der Analoganzeigen und Erweiterung der Anzeige um Ladezustand.....	62
Abbildung 24 / 25. Smartphone Anzeige und Funktionssteuerung. ....	63
Abbildung 26: Durchgeführte Tätigkeiten zur Fahrdynamikregelsysteme-Entwicklung. ....	66
Abbildung 27: Fahreigenschaften durch Betätigung Fahrpedal. ....	67
Abbildung 28: Prozess-Schaubild Fertigungsfluss.....	69
Abbildung 29 / 30: Einbau eines des Wärmetauschers und des HV- Kabelbaums. ....	72
Abbildung 31 / 32: Anpassung „Aggregate Montage-Träger“ und automatischer Verbau.....	72
Abbildung 33: Kontrolle und Nacharbeit im Anschluss an den automatischen HVS-Einbau.....	73
Abbildung 34 / 35: Einbau HV-Speicher (Tunnel) Störkanten-Untersuchung in der Linie. ....	73

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Inhalte der Arbeitspakete von Themenprojekt „BMW E“ .....	15
Tabelle 2: Übersicht der technischen Daten des BMW E .....	28