

# BOMBARDIER

Gefördert durch:



Die Verantwortung für den Inhalt dieser  
Veröffentlichung liegt beim Autor

## PRIMOVE Road

### 03EM0010A



Entwicklung der weltweit ersten multimodalen Teststrecke für induktiv geladene Fahrzeuge sowie eines vollelektrisch angetriebenen Busprototypen, welcher mittels Induktion unterflur, kontaktfrei und permanent mit Strom versorgt wird.

## I-II Schlussbericht

---

**Angaben zu den Antragstellern:**

**Name der Stelle:** Bombardier Transportation GmbH  
**Anschrift:** Schöneberger Ufer 1, 10785 Berlin  
**Name des Verantwortlichen:** Christian Koebel  
**Telefon:** + 41 79 770 5426  
**E-Mail:** christian.koebel@ch.transport.bombardier.com  
**Internet:** www.bombardier.com

## Inhaltsverzeichnis

<b>I Kurze Darstellung .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Aufgabenstellung.....</b>	<b>4</b>
1.1 Gesamtziel System PRIMOVE Road .....	4
1.2 Förderpolitische Aufgabenstellung .....	6
1.3 Wissenschaftliche und technische Aufgabenstellung .....	7
<b>2. Voraussetzungen .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Planung und Ablauf des Vorhabens.....</b>	<b>8</b>
<b>4. Stand der Wissenschaft und Technik.....</b>	<b>9</b>
<b>5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....</b>	<b>10</b>
5.1 Fahrzeugpartner Viseon .....	10
5.2 Stadt Mannheim für Teststrecke Taylor .....	10
<b>II Eingehende Darstellung der Ergebnisse .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Erzielte Ergebnisse im Projekt Primove Road .....</b>	<b>11</b>
1.1 Arbeitspaket 1 – Projektmanagement .....	11
1.2 Arbeitspaket 2 – Forschung und Entwicklung .....	13
1.3 Arbeitspaket 3 – Systementwicklung Fahrzeug .....	18
1.4 Arbeitspaket 4 – Systementwicklung Infrastruktur .....	20
1.5 Arbeitspaket 5 – Betrieb Testanlage .....	22
<b>2. Nachweis der wichtigsten Positionen des zahlenmässigen Nachweises .....</b>	<b>24</b>
<b>3. Nachweis der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit ...</b>	<b>25</b>
<b>4. Nachweis des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans .....</b>	<b>26</b>
<b>5. Nachweis des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen ...</b>	<b>27</b>
<b>6. Nachweis der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses .</b>	<b>27</b>

## I Kurze Darstellung

### 1. Aufgabenstellung

#### 1.1 Gesamtziel System PRIMOVE Road

Bombardier verfolgt das Ziel, durch einen völlig anderen Ansatz der Energiebereitstellung, rein elektrisch betriebene Fahrzeuge im Straßenverkehr im Markt zu etablieren. Akzeptanz- und Einsatzbarrieren wie beispielsweise begrenzte Reichweite oder lange Ladevorgänge während Stehzeiten werden vermieden. Ziel ist die Entwicklung eines neuartigen Elektrobusses für den Einsatz im Öffentlichen Personen Nahverkehr (ÖPNV). Zu diesem Zweck soll innerhalb des nachfolgend beschriebenen Vorhabens ein nicht kommerziell nutzbarer Prototyp entwickelt und auf einer zu errichtenden Pilotanlage in Augsburg umfangreichen Tests unterzogen werden.

Basis des alternativen Ansatzes ist das Bombardier-System PRIMOVE, welches als Kernstück die permanente Stromversorgung mittels Induktionstechnologie vorsieht. Fahrzeuge werden also nicht mehr an Ladestationen elektrisch durch Kabel betankt (statisch), sondern werden permanent (statisch und dynamisch) auch während ihres Fahreinsatzes kontaktfrei mit Strom versorgt. In Verbindung mit hocheffizienten Li-Ionen Batterien als Energiespeicher an Bord ist das temporäre Verlassen der „Induktionsstrecken“ z.B. bei Verkehrshindernissen oder während der Fahrt über historische Straßenabschnitte möglich, was die enormen Vorteile in diesem Anwendungsbereich gegenüber schienengebundenen Fahrzeugen ausmacht.

Das langfristige Ziel von Bombardier ist es, diese Technologie als echte „Intermodal-Lösung“ zu etablieren, also neben dem Anwendungsbereich der schienengebundenen Fahrzeuge auch den Anwendungsbereich Straße zu erschließen und nach erfolgreichen Tests auch in diesem Bereich die Einsatzmöglichkeiten zu erweitern. Vom innerstädtischen Lastkraftverkehr und Lieferdienste bis hin zum Taxiverkehr sind vielerlei andere Anwendungen möglich. Auf lange Sicht könnten sich auch individuelle Verkehrsteilnehmer mit ihren Elektrofahrzeugen auf bestehenden Strecken „einbuchen“. Und zuletzt ist auch der Gedanke an „Smart Grids“ unter Ausnutzung der Rekuperation, die durch Verkehrsteilnehmer beim Verzögern ihrer Fahrzeuge entstehen, ein langfristig aussichtsreicher Aspekt. Das vorliegende Planvorhaben schafft die notwendigen Voraussetzungen für die Erreichung all dieser weitergehenden Ziele.

Nachdem eine erste Pilotstrecke für schienengebundene Fahrzeuge in Augsburg etabliert wurde („PRIMOVE Rail“), soll nun in einem zweiten Schritt der Einsatzbereich im Öffentlichen Nahverkehr auf den Bereich „nicht schienengebundene Fahrzeuge“ sprich Stadtbusse, erweitert werden. Dafür soll die bereits bestehende Pilotanlage in Augsburg genutzt und wo notwendig erweitert werden. („PRIMOVE Road“)

Im öffentlichen Verkehr besteht grundsätzlich die Notwendigkeit für neue Lösungen, um den Anforderungen von Regierungen, Städten, Gemeinden, Bürgerinnen und Bürger gerecht zu werden. Daher sind neue Lösungen für den Busverkehr erforderlich um den veränderten Anforderungen in der Mobilität gerecht zu werden.

Das Ziel des Projektes ist es, die Möglichkeit der Anwendung der induktiven Ladetechnik für vollelektrisch öffentliche Verkehrsmitteln auf Straßenfahrzeugen sowie Schienenfahrzeuge zu überprüfen. Dabei ist das Ziel Straßenbahnen und Busse auf derselben Ladeinfrastruktur zu laden. Damit würden Investitionen die in die Infrastruktur getätigt werden, mehrfach genutzt werden können.

Die Absicht der Primove Anwendung für die Straße ist es, aus den Erfahrungen der Schienenanwendung zu lernen um die Technologie für Straßenfahrzeuge zu verbessern.

## 1.2 Förderpolitische Aufgabenstellung

Den Förderprogrammen zur Elektromobilität lagen folgende Strategieansätze zugrunde.

- Es sollte eine Stärkung des Wirtschaftsstandortes Deutschland durch sofort wirkende investive Maßnahmen im Verkehrsbereich auf regionaler und kommunaler Ebene herbei geführt werden.
- Auf der Grundlage vertiefter Forschungs- und Entwicklungsarbeit sollten rasch anwendbare Langzeitlösungen für Elektromobilität auf den Weg gebracht werden. Dabei spielten auch die zu erwartenden investiven Kosten eine wichtige Rolle.

Bombardier Transportation wollte mit der Pilotanlage das Ziel der deutschen Bundesregierung, die langfristige Stärkung der Zukunftsfähigkeit Deutschlands und Aufbau Deutschlands zu einem Leitmarkt für Elektromobilität mit unterstützen. Durch die Entwicklung und Anpassung Bombardiers PRIMOVE-Technologien wurde Deutschland sowohl Vorreiter im Thema Elektromobilität und kann nun die Vorteile dieser neuen Technologien aufzeigen.

Die Vorteile sind:

- keine störenden Oberleitungen und Masten
- sichere, induktive Energieübertragung
- kein Verschleiß von Teilen und Materialien
- unabhängig von Witterungseinflüssen und Bodenbeschaffenheit, etwa bei Sturm, Schnee, Eis, Sand und Regenwasser
- Technologie steht einem breiten Spektrum von Fahrzeugtypen zur Verfügung

## **1.3 Wissenschaftliche und technische Aufgabenstellung**

Nach erfolgreicher Prüfung der Schienen Primove-Lösung, ist es die Absicht, die technischen Auswirkungen der Integration der Technologie, in einem voll elektrischen Prototyp-Bus der auf derselben Infrastruktur verwendet wird, zu überprüfen. Die Themen Gewicht sowie Integrierbarkeit der Komponenten in den Unterboden des Fahrzeuges standen hierbei im Fokus der technischen Aufgabenstellung.

Bei der Umsetzung der technischen Aufgaben wurden die Erfahrungen und Messungen mit der Straßenbahn als Ausgangspunkt benutzt. Davon ausgehend wurden die Verbesserungsmaßnahmen definiert und umgesetzt. Im Wesentlichen konnten dabei die magnetischen Eigenschaften verbessert sowie die Leistungsübertragung gesteigert werden.

Die unmittelbaren Aufgaben der Pilotanlage waren:

- Weiterentwicklung der zur induktiven Energieübertragung und Leistungsabdeckung notwendigen Komponenten
- Durchführung der elektromagnetischen, thermischen und mechanischen Tests
- Anpassung der Komponenten an das Fahrzeug und die Infrastruktur zur optimalen Betriebseffizienz
- Standardisierung von fahrwegseitigen PRIMOVE-Komponenten
- Durchführung der notwendigen Arbeitsschritte, um sicherzustellen, dass die Technologie den Europäischen Normen entspricht
- Zulassung des PRIMOVE-Systems für den öffentlichen Personenverkehr

## 2. Voraussetzungen

Bombardier Transportation hat die Machbarkeit der induktiven Energieübertragung mit genügender Leistung für den Straßenbahnbetrieb mit einer Versuchsanlage im Werk Bautzen nachgewiesen. Die gesammelten Daten und Erfahrung erlaubten den Beginn der Weiterentwicklung dieser Technologie, zunächst für eine Straßenbahn und konsequenterweise nun für den vollelektrischen Stadtbus. Die Erprobung dieser neuen Technologie in einer realen Testumgebung eines öffentlichen Nahverkehrsbetreibers war unerlässlich.

Der Primove-Road Bus sollte auf der gleichen Infrastruktur wie das Primove-Rail Projekt getestet werden. Das Fahrzeug, bereitgestellt durch den Partner Viseon, basierte auf einem bereits existierenden Trolleybus Chassis welches mit den neuen Primove Komponenten zu einem vollelektrischen Stadtbus umgebaut wurde.

Die Voraussetzung war das während der kompletten Laufzeit des Primove-Road Projektes die Infrastruktur des Primove-Rail Projektes zur Verfügung stand. Wie sich herausgestellt hatte war dies nicht komplett der Fall weshalb sich Bombardier nach Abschluss anfänglicher statischer Tests dazu entschied die Anpassungen an eine dynamische Übertragung für den Bus auf einer separaten Teststrecke durchzuführen.

## 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Zunächst wurden Anpassungen der fahrzeugseitigen Komponenten für die spezifische Integration in einen Elektrobus (bereitgestellt durch den Partner Viseon) durchgeführt. Der Fokus lag dabei wie erwähnt auf der Integrierbarkeit sowie der gesteigerten Leistung.

Als nächster Schritt wurde die mechanische und elektrische Integration der Komponenten in das Fahrzeug durchgeführt. Erkenntnisse die während der Integration gewonnen wurden flossen in eine spätere Anpassung der Produkte ein.

Nach der erfolgreichen Installation, wurden erste Tests mit dem Elektro-Bus durchgeführt, unter Nutzung des Primove Antriebssystem sowie der Primove Batterie. Während dieser ersten Phase wurden nur vereinfachte Komponenten zum Laden integriert, da die Entwicklung der für den Bus benötigten Komponenten noch andauerte.

In dieser Zeit ist klar geworden, dass die Teststrecke nur für eine begrenzte Zeit verfügbar ist und nicht ausreicht für die komplette Projektdauer.

Gemeinsam mit der Stadt Mannheim wurde die Suche nach einem geeigneten Standort für eine Ersatzstrecke gestartet, der dynamische Tests für Elektrobusse erlauben würde.



Ende 2012 wurde ein passender Standort gefunden, der nur wenige Kilometer vom Produktionsstandort Bombardier Transportation in Mannheim entfernt liegt.

Im Jahr 2013, nach der Erfüllung aller verwaltungsrelevanter Punkte, startete die Testinstallation in Mannheim auf dem Gelände der „Taylor Barracks“ unter der Validierung verschiedener integrierter technischer Aspekte und unter Bezug des systembezogenen elektrischen Bus.

## **4. Stand der Wissenschaft und Technik**

Bombardier Transportation hat ein kontaktloses Stromübertragungssystem für den oberleitungsfreien Betrieb von elektrisch betriebenen Schienenfahrzeugen entwickelt. Das mittlerweile unter dem Namen PRIMOVE vermarktete System beruht auf dem Prinzip der induktiven Energieübertragung ähnlich eines Transformators, das in anderen Industriebereichen, zum Beispiel für Fördersysteme bei der Automobilherstellung, in Reinraum-Umgebungen bei der Halbleiter-Chipfertigung oder zur Aufladung der Akkus von elektrischen Werkzeugen eingesetzt wird.

Im Vorfeld der Entwicklungsarbeiten wurden umfangreiche Schutzrechtsrecherchen durchgeführt, die sich auf konstruktive Umsetzungen des oben erwähnten Prinzips im Bereich des Elektroantriebs von Fahrzeugen konzentrierten. Das Ergebnis dieser Recherchen war, dass beispielsweise in der EP 0 289 868 A2 (Anmeldetag: 20.04.1988) bereits ein Fahrzeugkonzept mit segmentierter induktiver Stromübertragung dargestellt und beschrieben worden ist. Aufgrund des Zeitalters dieses Dokuments gehört das Fahrzeugkonzept mit induktiver Stromübertragung zum freien Stand der Technik.

Bei der Entwicklung des PRIMOVE-Systems von Bombardier ist spezieller Augenmerk auf die Einhaltung der gesetzlich zugelassenen EMV-Werte (Elektromagnetische Verträglichkeit) gelegt worden, um sicherzustellen, dass Personen im öffentlichen Verkehr nicht gefährdet sind (z.B. Beeinflussung Herzschrittmacher o.ä.). Dafür wurden insbesondere auf der Primärseite des induktiven Übertragungssystems innovative Lösungen erarbeitet.

Ein weiteres wichtiges Merkmal im Zusammenhang mit der Entwicklung von PRIMOVE waren die Energiespeichersysteme, im Wesentlichen die Lithium-Ionen Batterien. Derartige Speichersysteme sind bei Straßenbahnen bereits im Serieneinsatz und in der Lage, zeitweise den Gesamtenergiebedarf (Fahrmotoren, Klimatisierung etc.) eines Fahrzeuges abzudecken. Diese elektrischen Speicher werden u.a. bei Straßenbahnen von Bombardier Transportation unter dem Namen MITRAC eingesetzt. Das Bombardier MITRAC Speichersystem stellt dabei eine sinnvolle Ergänzung zu PRIMOVE dar, da für einen zeitweise erhöhten Strombedarf, zum Beispiel beim Beschleunigen des Fahrzeuges, der zusätzliche Energiebedarf über die Energiespeicher abgedeckt werden kann. Diese können

dann wiederum in Zeiten geringeren Energiebedarfs über das induktive System oder durch Bremsenergieverwertung aufgeladen werden.

Die technologische Lösung für das induktive Laden von Bussen ist bereits seit mehreren Jahren bekannt, aber der neue innovative Ansatz ist, diese auch für hohe Leistung von 200 kW zu ermöglichen. Der Unterschied zu den bisherigen Umsetzungen besteht darin das die Übertragungsleistung des induktiven Systems so hoch ist das die Standzeit der Busse nicht verändert wird und somit der Betrieb bestehender Buslinien nicht verändert werden muss.

Alle bisherigen Testeinrichtungen waren mit Leistungen um 30% von dem, was die Primove-Technologie in der Lage ist zu leisten. Diese Einschränkung der bisherigen Testeinrichtungen hatte als Ergebnis, dass die kommerzielle Anwendung der Technologie nicht möglich war. Basierend auf den jetzigen Primove Entwicklungen ist Bombardier Transportation in der Lage, eine Lösung für die öffentlichen Straßenverkehrssysteme, die die bisherigen Leistungsgrenzen überwindet, anzubieten.

## **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

### **5.1 Fahrzeugpartner Viseon**

Da Bombardier kein Hersteller von Strassenfahrzeugen wie z.B dem Stadtbuss ist wurde für dieses Projekt mit dem Busersteller Viseon als Partner zusammengearbeitet.

Für dieses Projekt wurde ein bereits bestehendes Buschassis eines 12m Trolleybus verwendet und als Elektrobus neu aufgebaut. Da ein solcher Umbau zum Elektrobus fast alle wesentlichen Komponenten des Fahrzeug betrifft, kann man auch von einem Neubau des Fahrzeug sprechen.

### **5.2 Stadt Mannheim für Teststrecke Taylor**

Da die Testanlage in Augsburg nicht die ganze Projektlaufzeit zur Verfügung stand wurde gemeinsam mit der Stadt Mannheim nach einer neuen geeigneten Teststrecke gesucht. Die Zusammenarbeit bestand darin eine entsprechend zur Verfügung stehende Fläche, die alle Voraussetzung für eine Testanlage erfüllt, zu finden.

## II Eingehende Darstellung der Ergebnisse

### 1. Erzielte Ergebnisse im Projekt Primove Road

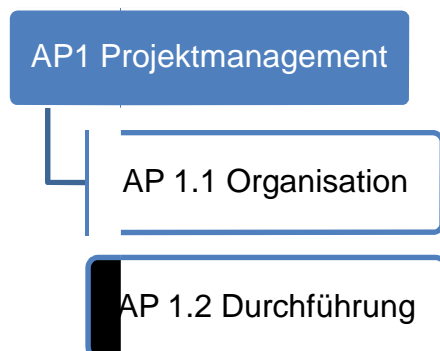
#### 1.1 Arbeitspaket 1 – Projektmanagement

Für die Entwicklung der Komponenten, der Integration in den Bus sowie der Testeinrichtung wurde das gesamte Projektmanagement von Bombardier Transportation geleitet.

Das Arbeitspaket Projektmanagement wurde untergliedert in die Pakete:

- Organisation
- Durchführung

##### 1.1.1 Arbeitsstrukturplan Projektmanagement



##### 1.1.2 Arbeitspaket 1.1 – Organisation

###### Entwicklungsziel

Für das umzusetzende Projekt „PRIMOVE“ galt es, eine geeignete Projektorganisation zu finden, die sich an den Rahmenparametern der Projektbeteiligten als Stammorganisation orientiert. Es galt zunächst, die notwendigen fachlichen Qualifikationen zu identifizieren und diese mit den vorhandenen Qualifikationen der Mitarbeiter in der Stammorganisation abzugleichen. Es lies sich dann grob identifizieren, wie Personal der Projektbeteiligten das Projekt selbst realisieren konnten. Es wird die Aufbauorganisation des Projektes selbst betrachtet. Ergänzend werden die einzelnen benötigten fachlichen Qualifikationen der Team-Mitglieder bewertet.

## **Ergebnis**

Die erforderlichen Fachkompetenzen wurden aus den verschiedenen Bereichen von Bombardier incl. Primove und aus verschiedenen Standorten ermittelt und beigezogen. Im Wesentlichen waren es Mitarbeiter des Primove Standortes in Mannheim/Deutschland sowie vereinzelt Mitarbeiter aus Belgien und der Schweiz.

### **1.1.3 Arbeitspaket 1.2 – Durchführung**

#### **Entwicklungsziel**

Das Ziel war es, die Entwicklung, Integration und die Tests der verschiedenen Komponenten zusammen mit dem Hersteller Viseon zu organisieren und auf dem Testgelände in Augsburg durchzuführen.

#### **Ergebnis**

Die Integration wurde erfolgreich durchgeführt und die ersten Tests auf der Testanlage Augsburg absolviert. Da das Testgelände in Augsburg letztendlich nicht für den Rest der Tests zur Verfügung stand, musste eine Alternative gesucht werden. Dabei ging es im wesentlichen um die dynamischen Tests mit dem Bus. Eine Lösung wurde in Mannheim gefunden und eine entsprechende Teststrecke aufgebaut.

Durch die finanzielle Probleme von Viseon als Projektpartner konnten weitere Tests erst Anfang 2014 geplant werden. Leider führten die finanziellen Probleme zu einer Insolvenz, weshalb die Tests nicht mehr mit dem ursprünglichen Fahrzeug durchgeführt werden konnten.

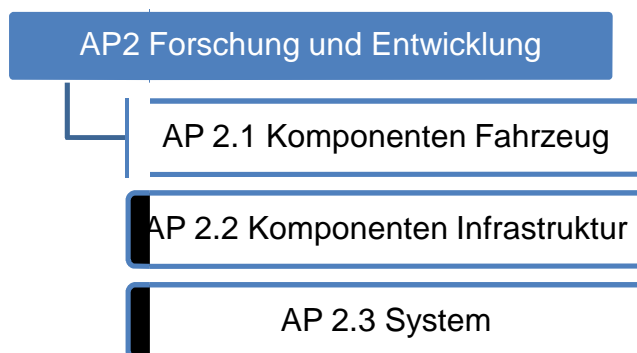
## 1.2 Arbeitspaket 2 – Forschung und Entwicklung

Der Projektinhalt Forschung und Entwicklung war die Komponenten für die Bus-Anwendung anzupassen sowie notwendige Anpassungen in den wegseitigen Komponenten sowie im System vorzunehmen.

Dazu gehörte:

- der Leistungs- und Gewichtsoptimierte Pick-up und Gleichrichter
- die Optimierung der Fahrwegsegmente mit integrierten Komponenten
- die Qualifikation aller Komponenten durch Labor- und Feldversuche

### 1.2.1 Arbeitsstrukturplan Forschung und Entwicklung



### 1.2.2 Arbeitspaket 2.1 – PRIMOVE Komponenten Fahrzeug

#### Pick-up (PIC 200)

##### **Entwicklungsziel**

Der Pick-up als mobile Komponente am Fahrzeug ist neben den allgemeinen Umweltbedingungen wie Temperatur, Feuchtigkeit und Salzeinwirkung auch mechanischen Belastungen wie Vibrationen und unter Umständen auch einer Berührung mit dem Boden bzw. Gegenständen ausgesetzt. Im Gegensatz zur Strassenbahn sind die Anforderungen bezüglich Schock und Vibration unterschiedlich was wiederum mechanische Anpassungen notwendig machte.

Um den Anforderungen für einen Busbetrieb gerecht zu werden musste die zu übertragende Leistung auf 200 kW pro System erhöht werden. Die notwendigen Anpassungen betreffen dabei alle elektrischen Bauteile in der Komponente.

##### **Ergebnis**

Die Leistungserhöhung wurde durch Messungen im Labor sowie am Fahrzeug bestätigt. Eine maximale Leistung von 205 kW im optimalen Betriebspunkt konnte erzielt werden.

Die gestiegenen thermischen Anforderungen durch die Leistungserhöhung stellten zunächst eine Herausforderung dar, durch optimierte Bauteile im Pickup konnte dies aber behoben werden. Die mechanischen Anpassungen für den Einsatz unter Automotive Bedingungen wurde in Schock- und Vibrationstest getestet und nachgewiesen.

Die Leistungserhöhung auf 200kW stellte sich als grosse Herausforderung für die magnetische Abschirmung des Systems und somit die Einhaltung der erforderlichen Grenzwerte nach ICNIRP 98 dar. In mehreren iterativen Schritten wurde das System soweit verbessert das an den vorgegebenen Messtellen nur noch ca. 50% des zulässigen Grenzwert nach ICNIRP 98 gemessen wurde.

### **Gleichrichter (REC200)**

#### **Beschreibung**

Der dem Pick-up nachgeschaltete und ebenfalls wassergekühlte Gleichrichter wandelt die dreiphasige hochfrequente Wechselspannung in eine Gleichspannung zur Versorgung des Antriebs sowie diverser Zusatzaggregate (z.B. Klima).

#### **Entwicklungsziel**

Analog zum Pick-up ist auch der Gleichrichter als mobile Komponente am Fahrzeug den allgemeinen Umweltbedingungen wie Temperatur, Feuchtigkeit und Salzeinwirkung auch mechanischen Belastungen wie Vibrationen nach Automotive ausgesetzt und musste deshalb angepasst werden. Auch für die Leistungserhöhung auf 200kW wurde eine Anpassung der Komponente notwendig.

#### **Ergebnis**

Basierend auf der Strassenbahn Variante wurde ein neues Design entwickelt und gefertigt. Die anschliessenden Tests (Schock & Vibration, Leistungstests) waren erfolgreich .

### **Hebevorrichtung (LID200)**

#### **Beschreibung & Ergebniss**

Die Hebevorrichtung bildet die mechanische Schnittstelle zwischen Pick-up und Fahrzeug. Sie ermöglicht eine Positionierung des Pick-up in eine Park- (oben) bzw. eine Betriebsstellung (unten). Die Entwicklung und Fertigung dazu wurde durch den Partner Viseon durchgeführt. Durch die Insolvenz der Firma Viseon konnte dieses Arbeitspaket nicht abgeschlossen und getestet werden. Für die alternativen Tests wurde ein von BT entwickeltes und gefertigtes System benutzt und getestet.

## **Primove Steuerung**

### **Beschreibung**

Die Primove Steuerung ist die elektrische Schnittstelle (CAN) zum Fahrzeug und dient der Überwachung bzw. dem sicheren Betrieb des Pick-up und des Gleichrichters.

### **Entwicklungsziel**

Die Auswahl entsprechender Steuerungshardware, sowie die detaillierte Spezifikation, Implementierung und Test der Primove Steuerung Software im Labor wie auch auf dem Fahrzeug.

### **Ergebnis**

Die Steuerungssoftware wurde nach Automotive Qualitätsnormen programmiert und getestet. Dabei wurden umfangreiche Test im SW Labor durchgeführt. Das SW Labor beinhaltet eine Testvorrichtung in der die originale Hardware benutzt wird um eine optimale Systemumgebung zu gewährleisten und frühzeitig Fehler zu eliminieren. Das Ergebnis war das nur wenige Fehler behoben werden musste bevor das Fahrzeug in Betrieb gehen konnte.

## **1.2.3      Arbeitspaket 2.2 – PRIMOVE Komponenten Infrastruktur**

Die infrastrukturseitigen Komponenten umfassen die Netzanbindung (Active Front End), den Hochfrequenzwechselrichter (Wayside Power Converter), die Primärwindung sowie die Fahrzeugerkennung (Vehicle Detection & Segment Control)

### **Netzanbindung (AFE 200 oder DFE 200)**

#### **Beschreibung**

Das PRIMOVE System wird entweder an das Niederspannungsnetz 400V AC oder über die Strassenbahnunterwerke 750 V DC mit Energie versorgt.

#### **Entwicklungsziel**

Untersuchungen haben gezeigt, dass für die Bus-Anwendung in den meisten Fällen eine 400V AC Niederspannungsversorgung verfügbar sein wird. Der Wechsel von der Augsburger Testanlage hin zur Teststrecke in Mannheim machte eine Anpassung nötig.

#### **Ergebnis**

Auf dem Testgelände in Mannheim wurde ein verfügbarer Prototype des Netzanschluss mit 400V AC Anschluss getestet.

## **Hochfrequenzwechselrichter (WPC 200)**

### **Beschreibung**

Die Primärwindung wird mit einer hochfrequenten Wechselspannung versorgt welches wiederum das zur Übertragung notwendige Magnetfeld erzeugt.

### **Entwicklungsziel**

Die Leistungserhöhung auf 200 kW im System machte auch hier eine Anpassung der Komponente notwendig.

### **Ergebnis**

Die Leistungserhöhung des angepassten Wechselrichter wurde im Leistungslabor getestet und verifiziert.

## **Fahrzeugeterkennung**

### **Beschreibung**

Die Fahrzeugeterkennung erfolgt durch 2 am Fahrzeug angebrachte Sender sowie eine in die Windung separat eingelassene Empfangsschleife.

### **Entwicklungsziel**

Die benutzte Technologie für die Strassenbahn erwies sich als störungsanfällig weshalb eine Grundsätzlich neue Technologie ausserhalb dieses Projektes entwickelt wurde. Das Ziel war es die finale Abstimmung der neuen Technologie mit dem leistungserhöhten System abzugleichen.

### **Ergebnis**

Im Systemtest wurde die einwandfreie Funktion sowie die Kompatibilität mit der höheren Leistung nachgewiesen.



## **1.2.4      Arbeitspaket 2.3 – PRIMOVE System**

### **Beschreibung**

Die kontaktfreie Energieübertragung des PRIMOVE Systems besteht aus einer Vielzahl einzelner Segmente, die nur dann eingeschaltet werden, wenn ein Fahrzeug darüber steht. Jedes Segment ist mit einem Schaltaggregat ausgerüstet. Diese Geräte können mit der Betriebsleitzentrale (BLZ) durch eine Datenverbindung verbunden werden. Status und Störungsmeldungen werden an die BLZ übertragen. Befehle werden von der BLZ auf die einzelnen Geräte übertragen.

### **Entwicklungsziel**

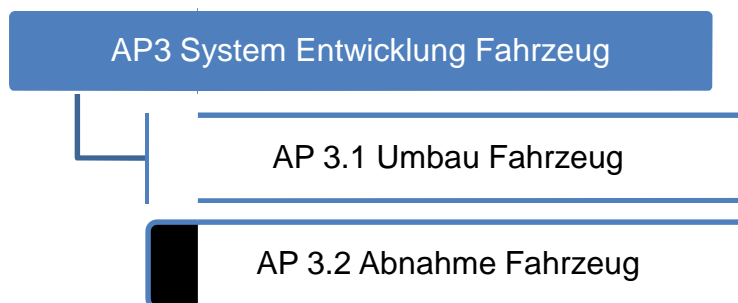
Die Funktionalität, das Verhalten bei Störungen und die Zuverlässigkeit war unter allen Betriebssituationen zu ermitteln.

### **Ergebnis**

Die Funktion und Zuverlässigkeit wurde nachgewiesen. Eine ursprüngliche Störanfälligkeit konnte durch Optimierungsarbeiten beseitigt werden und eine zuverlässige Datenverbindung konnte gewährleistet werden.

## 1.3 Arbeitspaket 3 – Systementwicklung Fahrzeug

### 1.3.1 Arbeitsstrukturplan Systementwicklung Fahrzeug



### 1.3.2 Arbeitspaket 3.1 – Umbau Fahrzeug

#### Beschreibung

Ein Elektrofahrzeug benötigt andere Komponenten als ein klassischer Diesel-Bus. Selbst ein Trolleybus, der bereits elektrisch fährt, unterscheidet sich von einem modernen Elektrobus. Die dazu notwendigen Änderungen betreffen nebst dem Antrieb und der Batterie auch die Nebenverbraucher wie z.B. die Klimaanlage oder der Kompressor.

#### Entwicklungsziel

Das Ziel war es ein bestehendes Buschassis mit Komponenten für einen modernen Elektrobus auszustatten. Der Fokus lag dabei auf die Integration der verschiedenen Komponenten für dynamisch induktive Energieübertragung. Die Erfahrungen dieser ersten Integration sollten für die weitere Integrationen in bestehende Busse genutzt sowie eine Optimierung der Komponenten durchgeführt werden.

#### Ergebnis

Alle Primove Komponenten für den Bus wurden in Mannheim getestet und installiert. Auch die System- und Software-Anpassung, speziell für die Bustests, wurden in Mannheim entwickelt.

Für die ersten Tests wurde der Bus mit den ersten Versionen des Pick-ups, dem Gleichrichter, der Traktion und der Batterie ausgestattet. Mit dieser Konfiguration wurden mehrere Tests im Bezug auf die Antriebskraft durchgeführt, wobei die Konzentration auf den Schnittstellen zwischen der Traktion, den Hilfsbetrieben sowie der Batterie lag.

Nach dem Konkurs des Projektpartners (Viseon) konnten die Tests nicht weiter mit dem bereits genutzten Bus fortgeführt werden. Daher wurden die Tests des dynamischen Ladens

auf der Teststrecke in Mannheim mit einem eigenen Elektrobus fortgesetzt der mit den im Projekt entwickelten Komponenten angepasst wurde.

Zusätzlich wurde das Hebevorrichtungssystem von Bombardier entwickelt, um die Wirkung der unterschiedlichen Höhen des Pick-up in Richtung der Straße zu überprüfen.

Der Bus, der zuvor für elektrische Antriebs- und Leistungsübertragung bis 80 kW getestet worden war, wurde modifiziert, um eine Leistungsübertragung bis zu 180kW zu ermöglichen. Dazu wurde ein zusätzlicher Widerstand installiert der die Batterie sowie andere Verbraucher simulieren sollte.

### **1.3.3      Arbeitspaket 3.2 – Abnahme Fahrzeug**

#### **Beschreibung**

Alle Komponenten wurden, so weit als möglich, getrennt in einer Laborumgebung untersucht. Nach der vollständigen Installation muss eine Inbetriebnahme des Busses erfolgen.

#### **Entwicklungsziel**

Das Ziel war es, einen funktionierenden elektrischen Bus, für die dynamische Prüfung verwenden zu können.

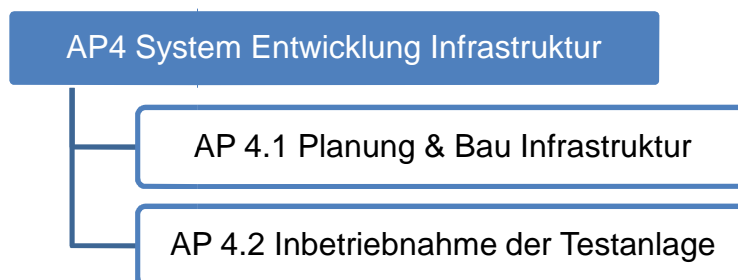
#### **Ergebnis**

Nach dem Einbau der Batterie und dem Antriebssystem, erfolgten die notwendigen Anfahrts- und Brems tests die bei Viseon durchgeführt wurden. Somit konnte eine Zulassung des Fahrzeugs erreicht werden.

Auf den Taylor Barracks ebenso wie in der Bushalle in Mannheim wurden erste interne Labortests der separaten Komponenten sowie statische Prüfungen durchgeführt und belegten die Bereitschaft zur Prüfung der Primove Bus Komponenten.

## 1.4 Arbeitspaket 4 – Systementwicklung Infrastruktur

### 1.4.1 Arbeitsstrukturplan Systementwicklung Infrastruktur



### 1.4.2 Arbeitspaket 4.1 – Planung & Bau Infrastruktur

#### Beschreibung

Fahrweg und fahrwegseitige Infrastruktur umfassten die Primärwicklung und die magnetische Abschirmung, die fahrwegseitigen Wechselrichter zur Versorgung der Primärwicklung mit Wechselstrom, die Antennenschleifen der Fahrzeuigerkennungs- und Segmentsteuerung (Vehicle Detection and Segment Control - VDSC) für die entsprechende Schaltung der Wechselrichter, das fahrwegseitige System zur Überwachung und Erfassung von Daten (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA) und die Betriebsleitzentrale. Die ursprüngliche Absicht war es, die Strecke in Augsburg, für die Bus-Tests anzupassen.

#### Entwicklungsziel

Aufgrund der Nichtverfügbarkeit der Augsburger Teststrecke wurde ein ähnlicher Ausbau in Relation auf die Bus-Tests durchgeführt, wobei zu berücksichtigen war, dass die Primärwicklung in eine Asphaltstraße integriert werden mußte.

#### Ergebnis

Dieselben Streckenkomponenten die für die Straßenbahn-Tests genutzt wurden, wurden auf den Mannheimer Taylor Barracks installiert. Aus Testzwecken wurde eine flexible Installation verwendet, welche den Zugang zu den Kabeln in dem Weg für die Messung und Forschungszwecke möglich machte. Parallel dazu wurde der Ausbau eines Serienprodukts getätigt, so dass eine Vorfertigung der Primärwicklungsinstallation möglich ist

### **1.4.3      Arbeitspaket 4.2 – Inbetriebnahme der Testanlage**

#### **Beschreibung**

Die Abnahme soll zur Überprüfung und Bestätigung der geschuldeten Leistung bzw. der Einhaltung aller Vorgaben und entsprechender Vorschriften erfolgen.

#### **Entwicklungsziel**

Das Abnahmeziel für die Trasse bestand darin, einen sicheren, funktionsfähigen Standort mit korrekt installierten Elementen für eine schnelle Systemintegration sicherzustellen.

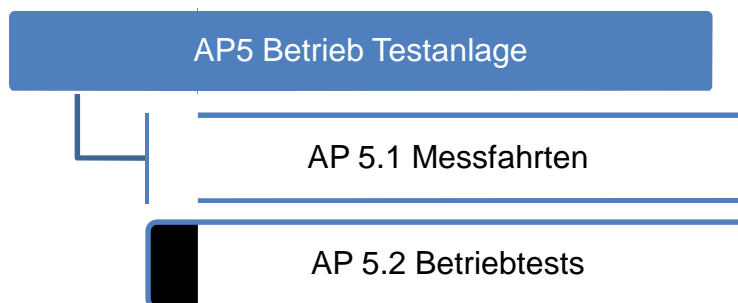
#### **Ergebnis**

Nach der Installation wurden Abschlusstests durchgeführt, um die ordnungsgemäße Installation aller, vor Ort eingebauten Elemente sicherzustellen. Es wurden Abnahme- und Integrationstests der Wechselrichterinstallation vor Ort durchgeführt.

Ebenso wurde eine separate Überprüfung der Segmenteinschaltung durchgeführt, bevor die Strecke für Testzwecke genutzt wurde.

## 1.5 Arbeitspaket 5 – Betrieb Testanlage

### 1.5.1 Arbeitsstrukturplan Betrieb Testanlage



### 1.5.2 Arbeitspaket 5.1 – Messfahrten

#### Beschreibung

Nur unter realen Bedingungen, wie z.B. in der Testanlage, können bestimmte Parameter gemessen werden und Rückschlüsse für Optimierungen gezogen werden.

#### Entwicklungsziel

Ziel des Arbeitspaketes war die Definition und Durchführung von Bustest, sowie die Analyse der gemessenen Parameter. Folgende Tests waren vorgesehen:

- übertragene Leistung in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Lateraltoleranz und Luftspalt
- Effizienz des Systems in Bezug auf Geschwindigkeit, Lateraltoleranz und Luftspalt
- Elektromagnetische Felder in und neben dem Fahrzeug in den verschiedenen Positionen.

#### Ergebnis

Mehrere Testläufe unter ähnlichen Bedingungen bestätigen die Messwerte aus dem Labor und geben einen guten Überblick über die Parameter und den Einfluss auf die optimale Nutzung der dynamischen induktiven Energieübertragung.

Der wesentliche Punkt für die Zulassung des PRIMOVE Systems ist der Nachweis der Umweltverträglichkeit bzgl. der Elektromagnetischen Felder (EMF). Es wurde der Nachweis erbracht das die Richtlinien des Bundesamtes für Strahlenschutz, der World Health Organisation (WHO) und insbesondere der International Commission on NON – Ionizing

Radiation Protection (ICNIRP), welche alle maßgebend sind für die Definition des Grenzwertes, eingehalten werden. Die Messungen zur Einhaltung dieser Anforderungen wurden von Bombardier internen Experten durchgeführt, sowie von Zulassungsbehörden bestätigt. Das Ergebnis war der Nachweis dass das PRIMOVE System bzgl. der Umweltverträglichkeit zulassungsfähig ist.

### **1.5.3      Arbeitspaket 5.2 – Betriebstests**

#### **Beschreibung**

Der Betriebstest dient dazu die Leistung, die Sicherheit und die Zuverlässigkeit der kontaktlosen Energieübertragung nachzuweisen.

#### **Entwicklungsziel**

Bei den Tests wurden folgende Parameter unter realen Bedingungen ermittelt:

- Leistungsübertragung und Toleranz
- Übertragungseffizienz
- Elektromagnetische Felder unter und neben dem Fahrzeug

#### **Ergebnis**

Erste Tests der induktiven Energieübertragung mit dem Bus wurden noch auf der Testanlage in Augsburg durchgeführt. Dabei handelte es sich um statische Test auf der Infrastruktur der Straßenbahn. Die dynamischen Tests wurden an der neu installierten Teststrecke in Mannheim (Taylor Barracks) durchgeführt.

Einer der wichtigsten Aspekte des Busbetriebs ist die laterale Toleranz des Fahrzeuges. Daher wurde Tests mit einem definierten lateralen Versatz durchgeführt und die entsprechende Leistung und Effizienz gemessen. Die Computer gestützte Datenerfassung CBDA-Software, die speziell entworfen wurde um die verschiedenen Parameter in Primove induktiven Ladesystem zu überwachen, wurde sowohl auf dem wegseitigen System als auch auf dem Bus installiert. Auf dem Bus wurde zusätzlich eine EMF-Messvorrichtung installiert, um die Feldstärke neben dem Bus als auch im Bus (Fahrer- und Passagier-Bereich) zu erfassen. Mehrere Testläufe wurden unter den gleichen Bedingungen durchgeführt, um die Messergebnisse zu verifizieren.

Das Resultat zeigt das im optimalen Fall eine hohe Effizienz und hohe Übertragungsleistung erreicht wird. Die Reduktion durch den lateralen Versatz ist zwar Messbar, jedoch konnte gezeigt werden das ohne Hilfsmittel sich das Fahrzeug im Toleranzbereich bewegen lässt und eine akzeptable Energieübertragung stattfindet.

## 2. Nachweis der wichtigsten Positionen des zahlenmässigen Nachweises

### Kosten und Zeitablauf

Category	HRS allocation		cost in €				
	HRS	%	Personalkosten	Reisekosten	Material	Fremdleistung	Total
Energy	1401,97	6%	112 860,43 €	3 114,49 €	162 038,26 €	165 664,01 €	443 677,19 €
Onboard	9227,88	42%	742 856,48 €	20 499,81 €	- €	36 204,14 €	799 560,43 €
Test	2465,13	11%	198 446,21 €	5 476,31 €	113 750,52 €	159 470,52 €	477 143,55 €
Wayside	8859,48	40%	713 199,80 €	19 681,40 €	260 050,67 €	423 575,05 €	1 416 506,92 €
<b>Sum</b>	<b>21954,46</b>	<b>100%</b>	<b>1 767 362,92 €</b>	<b>48 772,00 €</b>	<b>535 839,45 €</b>	<b>784 913,72 €</b>	<b>3 136 888,09 €</b>

Mit dem Förderantrag vom 10. November 2011 wurde für das Projekt PRIMOVE eine Gesamtvorkalkulation in Höhe von 3.123.350 € vorgelegt. Diese Gesamtkosten gliedern sich auf die nachstehenden Positionen auf.

Pos. 0813 Materialkosten (545.000 €)	535.839,45 €
Pos. 0837 Personalkosten (1.652.224 €)	1.767.362,92 €
Pos. 0838 Reisekosten (71.500 €)	48.772,00 €
Pos. 0823 Fremdleistung (851.250 €)	784.913,72 €
<b>Summe</b>	<b>3.136.888,09 €</b>



### **3. Nachweis der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Das Primove Road Projekt zeigt auf, dass die induktive Ladetechnik für öffentliche Verkehrsmittel, im besonderen der Straßenfahrzeuge wie z.B. dem Stadtbuss, technisch machbar ist.

Während des Projektes war es möglich zu zeigen, dass die Technik des induktiven Ladens nicht nur für kleine Leistungen möglich ist, sondern wie auch schon in der Vergangenheit für Strassenbahnen gezeigt, hohe Leistungen von bis zu 200 kW übertragen werden können. Damit ist eine Änderung des Betriebs nicht mehr notwendig und eliminiert eine der Hemschwellen für eine erfolgreiche Einführung der Elektromobilität im ÖPNV.

Das Projekt hat ebenfalls gezeigt das die Ladeinfrastruktur gemeinsam von Schienenfahrzeugen und Strassenfahrzeugen benutzt werden kann. Damit können Investitionen über mehrere Fahrzeuglinien abgeschrieben werden was wiederum den Betrieb der Fahrzeuge, egal ob Schiene oder Strasse, begünstigt.

Der Nachweis der statischen wie auch dynamischen Übertragung mit der gleichen Technik lässt viele Möglichkeiten der Implementationen zu, und eröffnet weitere Optimierungen in abhängigen Technologien wie dem Energiespeicher.

## **4. Nachweis des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

### **Nutzen für die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten**

Innovationen im Bereich des öffentlichen Nahverkehrs sind oft schwer einzuführen da oftmals die Demonstration jener Innovationen nur schwer umzusetzen sind. Die Betreiber von Nahverkehrssystemen sind jedoch auf die Zuverlässigkeit und Robustheit einer Technologie und somit auf die Demonstration angewiesen. Ein wesentlicher Nutzen des Projektes bestand deshalb darin, aufbauend auf das Strassenbahn Projekt, die Innovation induktive Energieübertragung für elektrische Busse zu demonstrieren und interessierten Kunden zu zeigen. Es wurden regelmäßig Kundenbesuche auf der Pilotanlage durchgeführt.

Dank der erfolgreichen Erprobung zunächst in Augsburg und später auf der Teststrecke in Mannheim kommt das PRIMOVE System nun in 4 weiteren Projekten zum Einsatz.

### **Nutzen für wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten**

Durch die Tests konnten wir zeigen dass das System prinzipiell funktioniert und den Anforderungen eines ÖPNV Systems entsprechen. Es wurde aber auch festgestellt, dass durch die Erhöhung der Übertragungsleistung die Standzeit an Endhaltestellen meist ausreicht um die Energie auf das Fahrzeug zu bringen. Das bedeutet dass eine dynamische Übertragung nicht mehr notwendig ist und somit ein erheblich reduzierter Infrastrukturaufwand notwendig ist. Als weitere Erkenntnis des Projektes ist die Anbindung des Systems an die Energieversorgung zu erwähnen. Zwar gibt es einige Straßenbahnbetreiber mit einem 750V DC Netz, jedoch ist dies nicht überall der Fall. Die Anbindung der Ladestation an das öffentliche Niederspannungsnetz 3x400V AC stellt deshalb den Regelfall dar. Da die Anschlussleistung mit 250 kVA aber sehr hoch ist können die Stationen nicht an allen Unterstationen angeschlossen werden. Zum einen konnte das System so optimiert werden dass der Anschluss vereinfacht wird, zum anderen wurden Konzepte entwickelt wie ein vereinfachter Anschluss ohne jegliche Einschränkungen aussehen könnte.

## **5. Nachweis des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Die Technologie der induktiven Energieübertragung wird wie in der Einleitung erwähnt bereits in der Industrie sowie im PKW Bereich für kleinere Leistungen entwickelt und angewandt. Dieser Leistungsbereich der, im Wesentlichen bei Leistungen kleiner 30kW liegt, eignet sich aber nicht für die Anwendung im öffentlichen Personen-Nahverkehr. Die im Vorhaben entwickelte Leistungsklasse grösser 100kW bei dynamischer Übertragung ist weder für den Bereich der Industrie noch, wie im Vorhaben benötigt für den ÖPNV auf dem Markt verfügbar.

Die Aktivitäten auf nationaler Ebene sind im Wesentlichen durch die Firmen Wampfler-Constructix, SEW und Vahle abgedeckt. Hier liegt der Fokus der Aktivitäten in der Standardisierung für den kleinen Leistungsbereich (3.6kW), für die Anwendung in Elektro-PKWs und Plug-In Hybrid Fahrzeugen. Bombardier ist Teil dieser Normierungsaktivität und konnte durch die erzielten Resultate im Vorhaben einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung und Standardisierung beitragen.

Auf internationaler Ebene ist die Universität KAIST in Südkorea und deren Ausgliederung in die Industrie, die Firma OLEV zu erwähnen. Ähnlich dem PRIMOVE System handelt es sich dabei um ein induktives System für dynamische Energieübertragung. Die Anwendung beschränkt sich aber ebenso auf Leistungen im Bereich von 30kW pro System und wird für kleinere Fahrzeuge, wie kleine Busse und Transportmittel in Vergnügungsparks angewandt. Während des Vorhabens wurde aber bekannt dass eine Busstrecke über mehrere Kilometer mit dieser Technologie ausgestattet werden soll.

Des Weiteren ist die Firma Qualcomm durch deren Übernahme von HalolPT zu erwähnen. Der Fokus von Qualcomm liegt aber auch bei statischer Übertragung und kleineren Leistungen von kleiner 11kW.

## **6. Nachweis der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses**

Schon während der gesamten Projektlaufzeit, insbesondere aber gegen Abschluss der Tests, konnte sich das PRIMOVE Pilotprojekt sehr großer Presseresonanz erfreuen. Allein im Jahr 2012 erschienen mehr als 140 Artikel in Fachzeitschriften und Zeitungen in Europa, Nordamerika und dem Nahen Osten. Der Großteil der Medien berichtete im Nachgang der internationalen Presseveranstaltung in Augsburg im Mai 2012, auf der die Ergebnisse des

ersten Tests mit dem Bus sowie die Tests mit der Straßenbahn der vorangegangenen 20 Monate vorgestellt wurden. Auf der Veranstaltung wurde ganz klar hervorgehoben, dass die Pilotanlage Augsburg mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung realisiert wurde. Dazu trug auch die Rede des Staatssekretärs Rainer Bomba bei. Die meisten Medien, insbesondere in Deutschland, verwiesen in ihrer Berichterstattung auf die Förderung.

Eine Übersicht über die wesentlichen Messen und Konferenzen gibt die folgende Liste:

- UITP 2011 in Dubai
- VDI Fachkonferenz Ladeinfrastruktur und –technik Elektromobilität 2011 in Stuttgart
- Trolleyemotion 2011 in Eberswalde
- Austrian Conference für Hybrid und E-Mobilität 2012 in Graz
- UITP 2012 in Warsaw
- VDV Elektrobus 2012
- ETEV 2012 in Nürnberg
- Trolleyemotion 2012 in Leipzig
- IFEV 2012 in South Korea
- VDV Elektrobus 2013

---