

Abschlussbericht zum Verbundvorhaben

Erprobung nutzfahrzeugspezifischer E-Mobilität - EmiL

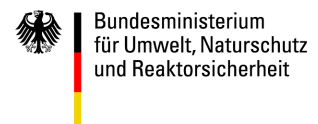
im Rahmen des FuE-Programms
"Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität"

Wolfsburg, Oktober 2011

Kurztitel: EmiL

Gefördert durch das:

Projektpartner: Volkswagen AG, Wolfsburg
Deutsche Post DHL, Troisdorf
Hochschule für Bildende Künste Braunschweig



Projektlaufzeit: 01.06.2009 – 30.09.2011



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

Gemeinsamer Abschlussbericht

Vorhabenbezeichnung:

Verbundprojekt: Erprobung nutzfahrzeugspezifischer E-Mobilität - EmiL

Laufzeit des Vorhabens:

vom: 01.06.2010

bis: 30.09.2011

Zuwendungsempfänger:

Volkswagen AG

Deutsche Post DHL Research and Innovation GmbH

Hochschule für Bildende Künste Braunschweig

Förderkennzeichen:

16EM0076

16EM0086

16EM0088

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 4 |
| TABELLENVERZEICHNIS | 4 |
| EXECUTIVE SUMMARY | 5 |
| ZIELSTELLUNG DES PROJEKTES | 6 |
| ABSCHLUSSBERICHT DER VOLKSWAGEN AG | 7 |
| AUSFÜHRLICHE DARSTELLUNG DER ERZIELTEN ERGEBNISSE DES PROJEKTES | 7 |
| TEILPROJEKT 1 – ERPROBUNG E-MOBILITÄT / 1. GENERATION | 7 |
| TEILPROJEKT 2 – NUTZUNGSKONZEPT / 2. GENERATION | 13 |
| TEILPROJEKT 3 – E-ANTRIEB UND FAHRWERK / 2. GENERATION | 15 |
| TEILPROJEKT 4 – KOMMUNIKATION / 2. GENERATION | 28 |
| TEILPROJEKT 5 – MODELLBASIERTE ENTWICKLUNG DES DEMONSTRATORS / 2. GENERATION | 31 |
| TEILPROJEKT 6 – VERBREITUNG UND VERWERTUNG DER ERGEBNISSE / 2. GENERATION | 36 |
| DARSTELLUNG WESENTLICHER ABWEICHUNGEN ZUM ARBEITSPLAN | 37 |
| E-MOBILITÄT 1.GENERATION | 37 |
| E-MOBILITÄT 2.GENERATION | 37 |
| VERGLEICH DER PROJEKTERGEBNISSE ZUM INTERNATIONALEN STAND DER TECHNIK | 39 |
| KONKURRENZ: NUTZFAHRZEUGKONZEPTE ANDERER HERSTELLER | 39 |
| ZUKUNFTSAUSSICHTEN UND WEITERER F&E BEDARF | 41 |
| ABSCHLUSSBERICHT DER HOCHSCHULE FÜR BILDENDE KÜNSTE | 43 |
| KURZE DARSTELLUNG DER AUFGABENSTELLUNG | 43 |
| VORAUSSETZUNGEN, UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE | 43 |
| PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS | 43 |
| WISSENSCHAFTLICH UND TECHNISCHER STAND UND BEKANNTE KONSTRUKTIONEN | 44 |
| VERWENDETE FACHLITERATUR | 44 |
| ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN | 44 |
| EINGEHENDE DARSTELLUNG DER ERZIELTEN ERGEBNISSE | 44 |

ABSCHLUSSBERICHT DER DEUTSCHE POST DHL RESEARCH AND INNOVATION GMBH 45

| | |
|--|-----------|
| EINLEITENDE DARSTELLUNG | 45 |
| AUFGABENSTELLUNG | 45 |
| VORAUSSETZUNGEN DER PROJEKTDURCHFÜHRUNG | 46 |
| PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS | 46 |
| STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK | 47 |
| ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN | 49 |
| EINGEHENDE DARSTELLUNG | 50 |
| ZUWENDUNGSVERWENDUNG UND ZIELERREICHUNG | 50 |
| TP1.1 ANALYSE ZUR AUSWAHL GEEIGNETER EINSATZPROFILE | 50 |
| TP1.2 FAHRZEUGKONZEPTION FÜR DEN WARENVERKEHR | 51 |
| TP 2.1 AUFBAU LADEINFRASTRUKTUR AN AUSGEWÄHLTEN STANDORTEN | 52 |
| TP2.2 VORBEREITUNG DES EINSATZES VON E-FAHRZEUGEN IM BETRIEB | 54 |
| TP3.1 FAHRVERSUCHE FAHRZEUGE | 55 |
| TP4.1 TEILPROJEKTKOORDINATION | 56 |
| TP4.2 PUBLIKATION DER PROJEKTERGEBNISSE | 56 |
| TP4.3 PATENTE UND SCHUTZRECHTE | 57 |
| WICHTIGE POSITIONEN | 57 |
| NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT | 57 |
| NUTZEN UND VERWERTBARKEIT | 57 |
| FORTSCHRITTE BEI ANDEREN STELLEN | 58 |
| VERÖFFENTLICHUNGEN | 58 |

**BEITRAG ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) 60**

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| ABBILDUNG 1: BETREUUNGSKONZEPT FÜR VERSUCHSFLOTTE..... | 9 |
| ABBILDUNG 2: HANDLUNGSFELDER CADDY BLUE-E-MOTION | 11 |
| ABBILDUNG 3: EMIL - FAHRLEISTUNG UND VERBRAUCH | 16 |
| ABBILDUNG 4: PÄCKCHENREGAL (LINKS) UND BRIEFBOXREGAL (RECHTS) IN SITZKISTE..... | 18 |
| ABBILDUNG 5: BRIEFBOXENHALTER AN LADERAUMSEITENWAND KONSTRUIERT | 18 |
| ABBILDUNG 6: "EMIL" IN FORM EINES UMGEBAUTEN TRANSPORTERS ZUR KONZEPTABSICHERUNG..... | 20 |
| ABBILDUNG 7: ERGEBNIS DER ZEITMESSUNG | 21 |
| ABBILDUNG 8: EINGESPARTE ZEIT DURCH EMIL | 21 |
| ABBILDUNG 9: EINGESPARTE LAUFWEGE DURCH FOLLOWME | 22 |
| ABBILDUNG 10: EINGESPARTE ZEIT DURCH FOLLOWME | 22 |
| ABBILDUNG 11: CADDY MAXI MIT POSTABGABESTELLE UND BORDSTEINLINIE FÜR VERGLEICHSMESSUNG | 23 |
| ABBILDUNG 12: EMIL MIT POSTABGABESTELLE UND BORDSTEINLINIE FÜR VERGLEICHSMESSUNG | 23 |
| ABBILDUNG 13: SIMULIERTER FOLLOWME-BETRIEB MIT UMGEBAUTEM TRANSPORTER..... | 32 |
| ABBILDUNG 14: LADESÄULE IM PROJEKT EMIL | 54 |
| ABBILDUNG 15: FAHRZEUGÜBERGABE E-CADDIES POTSDAM | 58 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| TABELLE 1: FAHRLEISTUNG DER EINZELNEN FLOTTENFAHRZEUGE | 9 |
| TABELLE 2: DATEN ERFAHRUNGSFLOTTE POTSDAM/STAHNSDORF | 10 |
| TABELLE 3: TECHNIKPUNKTE CADDY BLUE-E-MOTION..... | 11 |
| TABELLE 4: NUTZUNGSKONZEPTE E-MOBIL..... | 13 |
| TABELLE 5: ZEITERSPARNIS DURCH INNOVATIVE LIEFERDIENSTSPEZIFISCHE KOMPONENTEN | 19 |
| TABELLE 6: AUSGEWÄHLTE STRAßENTYPEN ZUR VERGLEICHSMESSUNG..... | 20 |
| TABELLE 7: NUTZFAHRZEUGKONZEPTE ANDERER HERSTELLER | 39 |
| TABELLE 8: WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE ARBEITSZIELE IM FÖRDERPROJEKT | 46 |
| TABELLE 9: INHALT TEILARBEITSPAKETE | 47 |
| TABELLE 10: ABLAUFPLANUNG | 47 |

Executive Summary

Vor dem Hintergrund des global wachsenden Individualverkehrs und begrenzter Energieressourcen ist der elektrische Antrieb auf Basis der Elektrotraktion das Ziel intensiver Forschungsanstrengungen der Automobilindustrie. Im Fokus dieser Bemühungen als auch des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität stehen neben dem individuellen Personenverkehr auch Konzepte zur Einführung der Elektromobilität bei Nutzfahrzeugen. Die für Verbrennungsmotoren häufig ungünstigen Einsatzprofile bieten für batterieelektrische Fahrzeuge zahlreiche Ansatzpunkte einer Optimierung.

Hauptziel des hier beschriebenen Vorhabens ist daher die Erforschung und Erprobung eines verkehrstauglichen Nutzfahrzeugmodells. Auf Antriebsbasis einer reinen E-Traktion ist dabei ein ganzheitliches innovatives Fahrzeugkonzept mit neuartigen Komponenten für den innerstädtischen Verteilerdienst entstanden. Mit dem EmiL wird nicht nur eine wirtschaftliche Alternative zu konventionell betriebenen Fahrzeugen angeboten, sondern auch die Bedürfnisse gewerblicher Nutzer für einen effektiven Verteilerverkehr integriert.

Im ersten Teil des Projektes wurden zunächst 10 auf konventionellen Antrieb ausgelegte Volkswagen Caddy auf E-Traktionsbasis neu aufgebaut und in einem Flottenversuch bei der Deutschen Post DHL erprobt. In einem knapp 3-monatigen Einsatz wurden die Elektromobile an 2 Standorten eingesetzt. Dabei erfolgte eine kontinuierliche Betreuung der Fahrer durch ein Team vor Ort. Zahlreiche Erkenntnisse aus der Flottenerprobung können in die Anforderungen an zukünftige elektromobile Nutzfahrzeuge einfließen. Es hat sich auch gezeigt, dass nicht nur das Fahrzeug als Mittelpunkt des Flottenversuchs, sondern flankierende Maßnahmen wie die Infrastruktur, Organisation und die Betreuung von entscheidender Bedeutung sind. Mit einer Nutzerbefragung wurden weitere Erkenntnisse für eine umfassende Auswertung erschlossen.

Im Mittelpunkt des zweiten Teils des Projektes stand das neuartige Zustellfahrzeug. Das Konzept soll logistische innerstädtische Dienstleistungen effizient gestalten und dabei ohne Mobilitätseinschränkungen bleiben. Durch den E-Antrieb wird die freie Einfahrt in die städtischen Umweltzonen garantiert.

Das Innovationsfahrzeug EmiL mit allen e-traktionsspezifischen Komponenten wurde komplett neu konzipiert, ausgelegt und aufgebaut. Zusätzlich wurden in den entstandenen EmiL zahlreiche innovative lieferdienstspezifische Komponenten wie z.B. eine Schnellöffnungstür, ein Stehsitz sowie Joystick- und FollowMe-Betrieb integriert. Es hat sich gezeigt, dass diese eine erhebliche Zeitersparnis im Zustellbetrieb ermöglichen und somit zu einer zusätzlichen Effizienzsteigerung des urbanen Verteilerverkehrs beitragen.

Die für die Größe des Fahrzeugprojektes und den hohen Innovationsgrad des Fahrzeuges ehrgeizig geplante Konzeptphase musste durch Verzögerungen in der Auslegung der Rahmenstruktur des Fahrzeugs verlängert werden. Eine Präsentation des Fahrzeugs war aus diesem Grund nicht mehr im Rahmen der vorliegenden Projektlaufzeit möglich und wird im November 2011 erfolgen.

Zielstellung des Projektes

Die Nachteile von heutigen Nutzfahrzeugen, welche schwerpunktmäßig in Ballungsräumen zum Einsatz kommen, liegen oftmals in ihren ungünstigen Betriebsmodi für Verbrennungsmotoren begründet (z.B. ständiges Stop & Go im Verteilereinsatz von Tür zu Tür bzw. der motorenbelastende Kurzstreckenverkehr). Der hierdurch verursachte hohe Kraftstoffverbrauch steht im direkten Zusammenhang mit dem erhöhten CO₂-Ausstoß und den negativen Folgen auf die Luftqualität insbesondere in Innenstädten. Wenn weiterhin davon ausgegangen wird, dass die städtischen Umweltzonen zukünftig restriktiver gefasst werden (z.B. Erhebung einer City-Maut und/oder Einfuhrverbot für Fahrzeuge mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren) kann dieses für innerstädtische Dienstleistungsunternehmen zu Problemen im wirtschaftlichen Betrieb ihrer Fahrzeuge führen.

Zudem ist in naher Zukunft davon auszugehen, dass aufgrund der Verknappung der Erdölreserven und durch die zunehmende Motorisierung in Ländern wie China und Indien die Kraftstoffpreise weiter steigen werden. Der zu erwartende Preisanstieg wird vor allem auch Unternehmen im Logistikbereich treffen und einen erheblichen wirtschaftlichen Druck auf diese nach sich ziehen. Auf Grundlage dieser Prämissen gibt es ein erhöhtes Forschungspotential für den Einsatz eines elektrobetriebenen Nutzfahrzeugs im innerstädtischen Zustellverkehr, da die Automobilhersteller noch am Anfang der Entwicklung von rein elektrisch angetriebenen Nutzfahrzeugen stehen.

Hauptziel des Vorhabens ist daher die Erforschung und Erprobung eines neuartigen Zustellfahrzeugkonzeptes, welches durch innovative neuartige Komponenten die Nutzerbedürfnisse eines effektiven Verteilerverkehrs berücksichtigt und gleichzeitig auf Antriebsbasis einer reinen E-Traktion eine wirtschaftliche Alternative zu konventionell betriebenen Fahrzeugen darstellen soll. Logistische innerstädtische Dienstleistungen sollen ohne Mobilitätseinschränkungen effizient gestaltet werden.

In einem ersten Schritt wurden zunächst 10 Fahrzeuge des Volkswagen Caddy auf E-Traktionsbasis aufgebaut und in einem Flottenversuch erprobt. Auf dieser Grundlage steht der Prototyp eines rein auf batterieelektrischen Antrieb ausgelegten Fahrzeugs im Fokus des zweiten Teils des Projektes. Dieser wird grundlegend neu konzipiert, designt und aufgebaut. Neben den neu zu entwickelnden Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs werden innovative lieferdienstspezifische Komponenten in das Demonstrationsfahrzeug integriert. Zu diesen gehören u.a. ein Schnellöffnungs- und Stehsitzsystem, Fahrzeugsteuerung durch Drivestick sowie der Follow-Me-Betrieb.

Abschlussbericht der Volkswagen AG

Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Projektes

Teilprojekt 1 – Erprobung E-Mobilität / 1. Generation

Konzeptionierung

Ziel von Teilprojekt 1 war der Aufbau und die Erprobung eines leichten Nutzfahrzeugs (Volkswagen Caddy) auf Basis der Elektrotraktion. Zunächst wurde dazu ein Konzept zur Integration e-traktionsspezifischer Komponenten in die herkömmlichen Fahrzeugstrukturen eines Volkswagen Caddy erarbeitet. Maßgebend war dabei die effiziente Gestaltung des Zustellverkehrs unter Berücksichtigung sämtlicher notwendiger Sicherheitsstandards.

Im Arbeitsplan vorgesehen war der Aufbau von 13 Fahrzeugen (3 Konzept- und 10 Flottenfahrzeuge) mit langem Radstand. Zu Beginn der Konzepterstellung wurde das Potential einer zweiten Variante erkannt. So wurde im November 2010 entschieden, die Flotte in je 5 Fahrzeuge mit langem und kurzem Radstand zu unterteilen. Obwohl die neue Variante ein kleineres Ladevolumen und eine kürzere Reichweite aufweist, wird sie insbesondere für den Stadtverkehr als praktische Alternative betrachtet. Da durch eine zusätzliche Variante ein erhöhter Entwicklungsaufwand bestand, für den eine größere Anzahl an Erprobungsträgern benötigt wurde, erhöhte sich die Anzahl der notwendigen Konzeptfahrzeuge zunächst von 3 auf 4.

Für beide Varianten wurde ein Konzept zum e-traktionsspezifischen Aufbau der 1. Generation erstellt. Dafür wurde die e-spezifische Hardware wie Antrieb, Package, Batterielagerung und – verbau, Fahrwerk, Materialien und Bordnetze in die herkömmlichen Nutzfahrzeuge beider Radstände integriert. Die spätere Serienfähigkeit war für alle Komponenten ein ausschlaggebendes Kriterium.

Zahlreiche Berechnungen sicherten die eingebrachten Anforderungen theoretisch ab. Mit Hilfe von Simulationen und Fahrleistungsberechnungen wurde erkannt, dass das Batteriegewicht zu hoch ist. Somit konnten rechtzeitig Leichtbaumaßnahmen für die Batteriegehäuse geplant und umgesetzt werden. Um weitere praktische Erkenntnisse gewinnen zu können, wurde die Anzahl der Konzeptfahrzeuge um weitere 4 erhöht. Insgesamt wurden somit 3 Konzeptfahrzeuge mit kurzem und 5 Konzeptfahrzeuge mit langem Radstand aufgebaut.

Erprobungen zu Sicherheit und Funktionsspezifität

Mit den Konzeptfahrzeugen wurden Erprobungen zur Sicherheit und Funktionsspezifität durchgeführt. Neben einem Frontal- und einem Pfahlcrash erfolgten ein Shakertest sowie ein Fahrzeughydropulstest zur Überprüfung der mechanischen Verbindungen in der HV-Batterie und der Strukturfestigkeit. Zu den Funktionstests gehörten zunächst die klassischen Fahrzeugtests (Anfahren am Berg, Bordsteinkantenüberfahrt, Höchstgeschwindigkeit etc.). Getestet wurden die Fahrzeuge außerdem bei Wasserdurchfahrten. Zudem wurden die elektrischen Funktionen und die Bedienung im Fahrzeug sowie das Fahrverhalten im Hinblick auf den veränderten Fahrzeugschwerpunkt und die Gewichtsverteilung überprüft. Es erfolgten Funktionstests im Rahmen eines Mustergutachtens zur Erlangung einer nationalen Einzelgenehmigung (Bremsen, Elektromagnetische Verträglichkeit, Reichweitenermittlung, elektrische Sicherheit etc.). Dazu kamen zahlreiche Komponententests, wie z.B. Dichtigkeitstests der Batterie.

Um die Reichweitenermittlung, die Funktionskette und den Arbeitsablauf beim Zustellen zu untersuchen bzw. zu bestätigen, wurde ein Funktionstest vor Ort in Potsdam durchgeführt. Dabei wurden die Postlieferzyklen abgefahren.

Um einen repräsentativen Dauerlauf zu generieren, wurde ein Fahrzeug mit Messaufnehmern über 10 ausgewählte Postkurse bewegt. Aus den gewonnenen Daten wurde ein Dauerlaufkurs erzeugt, der die Aspekte Reichweite, Höchstgeschwindigkeit und eine hohe Anzahl von Starts/Stopps abbildet. Dieser Kurs wurde ergänzt durch Anteile, die die Struktur des Fahrzeugs belasten. Diese Belastungen wurden ebenfalls repräsentativ aus den Poststrecken abgeleitet und auf dem Prüfgelände abgebildet.

Erprobung im Flottenversuch

Alle Fahrzeuge der Versuchsflotte erhielten eine Straßenzulassung. Die Durchführung der Flottenversuche vereinfachte sich dadurch erheblich, die Anforderungen an die Fahrzeuge waren jedoch wesentlich höher und komplexer. Die unternehmensinterne Freigabe erfolgte durch eine Statusfahrt inkl. Projektgespräch mit diversen Fachbereichen am 30.06.2011. Hier waren z.B. die Qualitätssicherung verschiedener Bereiche und Werke, die Technische Entwicklung, der Versuchsbau sowie Vertreter der Elektro-Traktion beteiligt. Die Übergabe der Fahrzeuge erfolgte Anfang Juli 2011 nach Aufbau der 10 Fahrzeuge sowie nach Abschluss der entsprechenden Schulungen von Mechanikern, Fachkräften, Fahrern und Rettungskräften. Für den Flottentest stand ein Betreuungsteam und Ansprechpartner zur Verfügung. In Potsdam wurde eine Werkstatt für Service- und Wartungsarbeiten beauftragt. Den Fahrern wurde neben einem Bordbuch ein QuickGuide übergeben.

Der gemeinsame Praxistest im Zustellbetrieb der DHL erfolgte vom 12.07.2011 – 30.09.2011 an 2 Standorten. In Potsdam wurden die 5 Fahrzeuge mit kurzem Radstand für Briefzusteller eingesetzt, in Stahnsdorf kamen die 5 Fahrzeuge mit langem Radstand für Brief- und Paketzusteller zum Einsatz. Für die festen Routen gab es 24 zugeordnete Fahrer.

Durchführung

Abbildung 1 zeigt das Betreuungskonzept für die 10 Flottenfahrzeuge im Praxistest. Neben einer 14-tägigen Durchsicht der Fahrzeuge konnte über eine Hotline Unterstützung im Falle eines Defekts, Unfalls oder Liegenbleibers angefordert werden. Die Diagnose von Fehlern wurde dabei durch die aufgezeichneten Fahrzeugdaten ermöglicht.

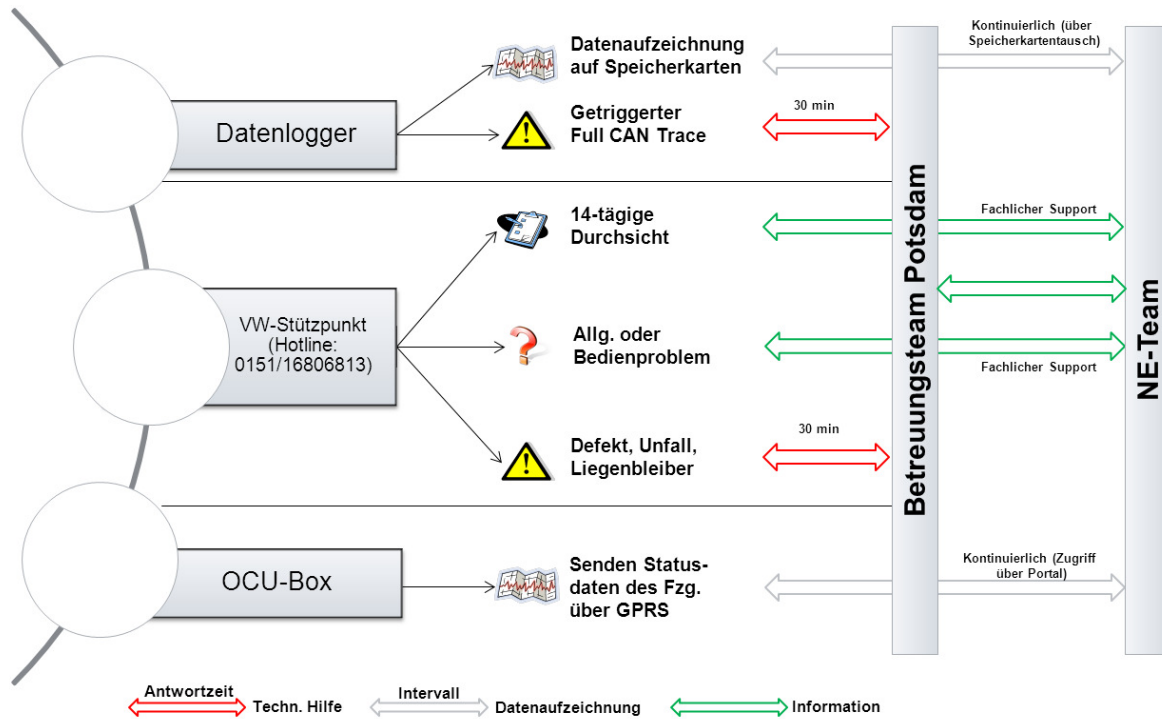


Abbildung 1: Betreuungskonzept für Versuchsflotte

Die Erprobung eines verkehrstauglichen E-Nutzfahrzeugs im innerstädtischen Verteilerverkehr orientierte sich dabei an den folgenden 4 Forschungsfragen:

- Gibt es überhaupt signifikante Mobilitätseinschränkungen?
- Welchen zusätzlichen Nutzen bieten leichte Elektrolieferfahrzeuge?
- Welche Verteilerzyklen/Betriebszeiten sind durch das Laden auf dem Betriebshof möglich?
- Gibt es eine höhere Sicherheit im Lieferverkehr durch Entlastung des Fahrers?

Die Fahrzeuge hatten eine Einsatzdauer zwischen 23 und 53 Tagen (Tabelle 1). Tabelle 2 zeigt Daten zur Laufleistung und Verbrauch der Flottenfahrzeuge. Der Großteil der Laufleistung erfolgte innerorts.

Tabelle 1: Fahrleistung der einzelnen Flottenfahrzeuge

| Fahrzeug | Laufleistung in km | Einsatztage |
|--------------|--------------------|-------------|
| 1 | 2.572 | 50 |
| 2 | 1.767 | 53 |
| 3 | 915 | 46 |
| 4 | 1.657 | 45 |
| 5 | 1.274 | 46 |
| 6 | 1.921 | 43 |
| 7 | 556 | 23 |
| 8 | 938 | 41 |
| 9 | 1.379 | 52 |
| 10 | 1.206 | 53 |
| Summe | 14.185 | 452 |

Tabelle 2: Daten Erfahrungsflotte Potsdam/Stahnsdorf

| | |
|------------------------------------|-----------------|
| Einsatztage | 452 |
| Gesamtkilometer | 14.185 km |
| Höchste Laufleistung | 2.572 km |
| Geringste Laufleistung | 556 km |
| Ø Verbrauch Potsdam (kurzer RS) | 27,69 kWh/100km |
| Ø Verbrauch Stahnsdorf (langer RS) | 31,19 kWh/100km |
| Min. Verbrauch Potsdam | 21,70 kWh/100km |
| Max. Verbrauch Potsdam | 33,90 kWh/100km |
| Min. Verbrauch Stahnsdorf | 25,80 kWh/100km |
| Max. Verbrauch Stahnsdorf | 38,90 kWh/100km |

In Summe wurden ca. 65 Wartungen durchgeführt. Das Betreuungsteam hat 100 Anrufe bei der Hotline registriert und war insgesamt 92 Tage vor Ort. Im Rahmen des Flottenversuchs kam es zu 3 Liegenbleibern.

Die Beanstandungen lassen sich in die Kategorien Technik, Konzept und Funktion einteilen.

Technik, z.B. Hochvoltfehlermeldung

Konzept, z.B. ungenaue Reichweitenanzeige

Funktion, z.B. Ladeabbruch aufgrund von Netzschwankungen

Zur zielgerichteten Befragung der Nutzer wurde durch den Projektpartner HBK ein Fragebogen entwickelt, der von Volkswagen durch technische Themen ergänzt wurde. Neben dieser Befragung sowie einer weiteren Abfrage durch VW konnten Erkenntnisse aus dem Flottenversuch sowie Rückmeldungen des Projektpartners Deutsche Post gezogen werden. Diese Quellen haben Haupthandlungsfelder offen gelegt, die sich wie folgt darstellen:

Erkenntnisse und Handlungsfelder

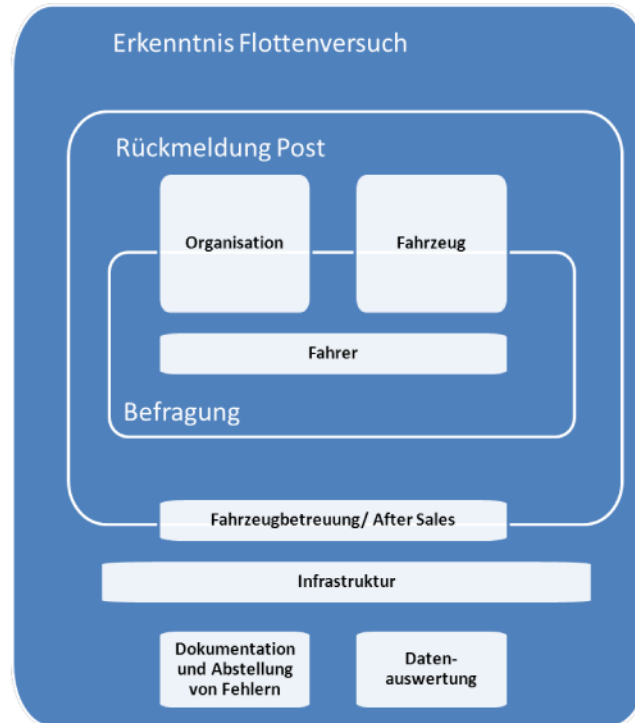


Abbildung 2: Handlungsfelder Caddy blue-e-motion

Detaillierte Erkenntnisse aus der Nutzerbefragung sind im Abschlussbericht der HBK aufgeführt. Für das Handlungsfeld Fahrzeug wurden zahlreiche Punkte in das Fahrzeuglastenheft aufgenommen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Technikpunkte Caddy blue-e-motion

| | |
|---|--|
| Anzeigephilosophie inkl. Reichweitenwarnung | Fahrbereitschaft Restreichweite (Genauigkeit) Klarer Hinweis Genauere Aufforderung, welche Nebenverbraucher abzuschalten sind Leistungsanzeige Batterieladezustand |
| Verlassenskonzept | Warnungen Gurtschloss (für Zustellbetrieb abschaltbar) Fahrbereitschaft Türöffnung |
| Wintertauglichkeit, Heizung/Klimatisierung | Winterbetrieb Heizung Entfeuchtung Heizungssteuerung mit Ein-/Ausstieg koppeln Konvektionswärme (Sitzheizung, beh. Frontscheibe) |
| Bodenfreiheit | im Test i.O. Unterfahrschutz integrieren (Winterbetrieb) Wasserdurchfahrt darf nicht begrenzt sein |
| Akustik | Geräusche im Fahrzeug Außengeräusch bei Rückwärtsfahrt |

| | |
|----------------|-----------------------------|
| Funktionalität | Vorheizung an der Ladesäule |
| Optik/Komfort | Spiegelung Trennwandscheibe |

Es hat sich im Laufe des Projektes gezeigt, dass nicht nur das Fahrzeug als Mittelpunkt des Flottenversuchs, sondern flankierende Maßnahmen wie die Infrastruktur, Organisation und die Betreuung von entscheidender Bedeutung sind. Die Schulungsmaßnahmen waren in diesem Zusammenhang von Bedeutung. Diese mussten zunächst neu konzeptioniert werden. Zudem konnten nur geschulte Fahrer im Flottenversuch eingesetzt werden. Im Rahmen der Organisation war zudem die Zuordnung der Fahrzeuge zu den Strecken wichtig. Eine weitere wichtige Erkenntnis ist z.B. auch die Notwendigkeit einer durchgängigen Prozesskette vom Stromversorger bis hin zum Fahrzeug.

Nachfolgend sollen die oben formulierten Forschungsfragen beantwortet werden.

Mobilitätseinschränkungen

Es gab keine signifikanten Mobilitätseinschränkungen, die Fahrzeuge waren für die Deutsche Post im Versuchszeitraum einsetzbar. Leichte Einschränkungen gab es im Rahmen von Sondereinsätzen, da die Flexibilität der Fahrzeuge für eine Routenverlängerung oder eine krankheitsbedingte Vertretung im Vergleich zu herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen eingeschränkt war. Einschränkungen aufgrund der Reichweite im normalen Zustellbetrieb waren eher psychologischer Natur, da die Restreichweitenanzeige als zu ungenau empfunden wurde.

Nutzen leichter Elektrolieferfahrzeuge

Als größter Vorteil elektromobiler Mobilität wurde die durchgängig einfache Bedienung des Fahrzeugs empfunden. Die Fahrzeuge konnten mit 1-Fuß-Bedienung bewegt werden (nur Gas mit hoher Rekuperation), was eine Arbeitserleichterung und Optimierung des Zustellbetriebs darstellt. Unterstützt wurde die einfache Fahrweise durch ein gutes Bedienkonzept. Zusätzlich wurde die leise Fortbewegung mit dem Fahrzeug als positiv empfunden. Die gemessenen Verbräuche im Flottenversuch waren zudem im Vergleich zu Verbrennungsmotoren geringer. Nicht zuletzt spiegeln Elektrofahrzeuge somit eine umweltbewusste Unternehmensphilosophie nach außen wider.

Verteilerzyklen

Im Durchschnitt konnten die Fahrzeuge mit kurzem Radstand täglich zwischen 24 – 50 km bewältigen. Mit den Fahrzeugen mit langem Radstand wäre eine längere Laufleistung möglich, wurde beim Flottenversuch jedoch nicht ausgenutzt. Über Nacht wurden die Fahrzeuge auf dem Betriebshof geladen. Im Normalfall war eine Ladezeit von ca. 1h ausreichend.

Sicherheit

Wie bereits angesprochen, wurde die einfache Bedienung des Fahrzeugs durch die Fahrer als sehr angenehm empfunden. Dadurch war es ihnen auch möglich, ihrem Umfeld und dem Straßenverkehr eine erhöhte Aufmerksamkeit entgegenzubringen. Durch die Geräuscharmheit ist zudem eine bessere Wahrnehmung der Umgebung möglich.

Teilprojekt 2 – Nutzungskonzept / 2. Generation

Den Beginn von Teilprojekt 2 stellten verschiedene Zielgruppenanalysen dar. Um die Anforderungen der späteren Nutzer an das Fahrzeug zu analysieren, wurden Feldstudien im zukünftigen Einsatzgebiet Potsdam durchgeführt. Ziel war es, die Zielgruppe kennenzulernen und spätere Nutzerbedürfnisse zu antizipieren. Damit wurde gewährleistet, dass Nutzungsszenarien in die Fahrzeugkonzeption einfließen. Ausgehend von diesen Untersuchungen wurden Parameter wie beispielsweise die notwendige Reichweite, Ladevolumen u.ä. bestimmt. Tabelle 4 stellt die Erarbeitung der Nutzungskonzepte für die einzelnen Komponenten dar.

Tabelle 4: Nutzungskonzepte E-Mobil

| Komponente | Ergebnisse |
|----------------------|--|
| Antriebskonzept | <p>Aus den möglichen Antriebskonzepten Zentralantrieb (E-Frontantrieb, E-Heckantrieb, E-Allradantrieb), Radnabenantrieb (E-Frontantrieb, E-Heckantrieb, E-Allradantrieb) radnahe Antriebe (E-Frontantrieb, E-Heckantrieb, E-Allradantrieb) wurde der Radnabenantrieb Hinterachse ausgewählt, da hiermit der niedrigste Ladeboden und größte Lenkradeinschlag realisiert werden kann. Nach der Erfassung von elektrischen Antrieben und Antriebskonzepten wurden die Fahrzeuganforderungen, wie z.B. Steigfähigkeit, Maximalgeschwindigkeit, Reichweite, Beschleunigung, Gewicht und Dynamik des Motors (Drehmoment und Drehzahl) auf den Antrieb übertragen. Anschließend wurden die Anforderungen an den Bauraum mit Hilfe von Bauraumuntersuchungen und Alternativen der Bauraumnutzung ermittelt. Nach der Auswahl eines geeigneten Antriebskonzeptes zur Umsetzung mussten sämtliche Schnittstellen abgestimmt und mögliche Risiken bewertet und minimiert werden. Schließlich wurden geeignete Antriebe (Umrichter und Motor) ausgewählt und beschafft.</p> |
| Batteriekonzept | <p>Festlegung einer Kapazität von 32kWh, da damit ein Nutradius von ca. 70km im ermittelten Postzyklus bei gleichzeitigem Betrieb der Mess- und Bildverarbeitungsrechner gewährleistet werden kann.</p> <p>Unterschiedliche Batteriezellen wurden anhand des Fahrzeugkonzeptes im Hinblick auf verschiedene Kriterien bewertet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Voraussichtliches Lastprofil, • Anforderungen der E-Maschine, • Anforderung an die Reichweite, • Verfügbarkeit der Zellen, • Bauraumausnutzung. <p>Nach der Erarbeitung eines Verschaltungskonzeptes und Bauraumuntersuchungen wurden geeignete Zellen ausgewählt und beschafft.</p> |
| Ladekonzept Batterie | <p>Für die Auslegung der Ladeinfrastruktur wurde der Betriebshof der Post als Aufladungsstation festgelegt.</p> |

| | |
|--------------------|--|
| Beladungskonzept | <p>Ausarbeitung des Verstauungskonzepts, Optimierungen Paketablagen</p> <p>Im Rahmen eines Abstimmungsworkshops mit der DP DHL wurde die Verfügbarkeit der Daten für eine tägliche Routenplanung thematisiert. Da für Standardbriefe, Großbriefe, Päckchen/Pakete sowie Einschreiben jeweils unterschiedliche Systeme genutzt werden, variiert die Datengrundlage und –qualität für die einzelnen Sendungsarten. Es war daher im Projektzeitraum nicht möglich, die Daten, die für eine tägliche Routenplanung der Laufstrecke nötig wären, zur Verfügung zu stellen. Um die Machbarkeit darzustellen, werden die Routenplanung und das Informationssystem für den Zusteller daher mit vorbereiteten Daten versorgt. Auch das Beladen des Fahrzeugs mit Päckchen und Paketen muss aus diesem Grund manuell optimiert werden.</p> <p>Um das Beladungskonzept des EmiL in seiner Nützlichkeit bewerten zu können, wurde mit dem Projektpartner DP DHL ein weiterer Workshop durchgeführt.</p> <p>Unterstützt durch die Abteilung Budgets/Zeitwirtschaft wurden die Bewertungsschemata der Arbeitsabläufe vorgestellt und hinsichtlich ihrer Beurteilungsfähigkeit für technische Innovationen des EmiL analysiert.</p> <p>Das Ergebnis zeigte, dass die Bewertungskriterien der DP DHL Auswirkungen von technischen Veränderungen auf den Zustellprozess nicht im Detail bewerten können. Andererseits besteht ein großes Interesse an Zeitsparpotentialen und langfristigen Lösungen für mehr Flexibilität.</p> <p>Aus dem Workshop wurde der Auftrag formuliert, eine eigenständige Konzeption und Messung einzelner vergleichbarer Arbeitsschritte einerseits und Messungen im realen Zustellumfeld andererseits durchzuführen.</p> <p>Um die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Zustellumfelder zu gewährleisten wurde als kleinste Messeinheit ein Zustellabschnitt vorgegeben.</p> <p>Durch die Verzögerung im Projekt und die spätere Fertigstellung des EmiL wurde die Simulation der Arbeitsabläufe an der Sitzkiste und die Felderprobung mit Hilfe eines umgebauten Volkswagen Transporters als gerechtfertigt angesehen.</p> <p>Durchführung und Ergebnisse dieser Vergleichsmessungen werden im Rahmen von Teilprojekt 3 näher beschrieben.</p> |
| Fahrerarbeitsplatz | <p>Ergonomische Untersuchungen, Konzepterarbeitungen, Aufbau Ergonomiesitzkiste, Erarbeitung und Optimierung von Drive-Stick Modellen, Gestaltung der Instrumententafel inkl. Zusatzablagen Postkisten, Positionierung Rückhaltesysteme, Untersuchung Lenkrad, Festlegung Schalter-/Bedienkonzept, Zuordnung und Positionierung Gangwahlelement, Fußhebelwerk und Zusatzanzeigen erfolgt.</p> <p>Besondere Herausforderungen stellten die Anforderungen an die Insassensicherheit, den Komfort (insb. Fußstütze), die</p> |

| | |
|------------------|--|
| | Bedienung (Positionierung Schalter und Bedienelemente) sowie Form und Funktion des Drivesticks dar. Sichertgestellt werden musste zudem der Zugang zum Laderaum und die Ampelsicht. Hierfür wurde ein Dachausschnitt umgesetzt. |
| Thermomanagement | Auslegung der Sicherstellung von Beschlagsfreiheit und Enteisung, Konzeptionierung des Heizungsmanagements. Der für die Aufrechterhaltung der Batteriebetriebstemperatur umgesetzte Wasserkreislauf wird auch zur Wassererwärmung für die PTC-Heizung herangezogen. Die so erwärmte Luft ist ausreichend, um für Beschlagsfreiheit und Enteisung zu sorgen. Neben einer Scheibenheizung wurde auch eine Sitzheizung implementiert. |

Teilprojekt 3 – E-Antrieb und Fahrwerk / 2. Generation

E-Antrieb

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde die Auslegung der Komponenten der E-Traktion erarbeitet. Zum elektrischen Antriebsstrang gehören 2 Radnabenmotoren und je Motor eine Kommutierelektronik. Zur Erprobung der Antriebskomponenten wurde ein Aggregateträger verwendet. Die Auslegung der Komponenten selbst sowie der zur Befestigung notwendigen Elemente erfolgte unter Berücksichtigung von Funktions- und Sicherheitsanforderungen. Nach erfolgreichen Prüfstandsversuchen wurde ein Radnabenantrieb konstruktiv in das Gesamtfahrzeug integriert. Des Weiteren wurden die Wasserversorgung zur Kühlung, Stecker für Signalleitungen und die HV-Verkabelung inkl. Stecker und Halter integriert. Halter für Umrichter, Kabel und Verschlauchung wurden entsprechend angepasst. Zur Packageuntersuchung und -konstruktion gehörte zudem eine Designkappe für den Radnabenmotor.

Der Funktionsumfang Fahrzeugsteuerung wurde inklusive der dazugehörigen Software komplett neu entwickelt und zunächst am Aggregateträger in Betrieb genommen.

Für sämtliche Umfänge erfolgten umfassende Tests, wie z.B. Software- und Modultests und HiL-Simulationen.

Die Anforderungen an den Antrieb für die Applikation im Fahrzeug stellten sich wie folgt dar (Abbildung 3):

- Steigfähigkeit $\geq 30\%$
- Höchstgeschwindigkeit $\geq 110 \text{ km/h}$
- NEFZ-Reichweite $\geq 100 \text{ km}$
- Beschleunigung
- Gewicht

Der ausgewählte Antrieb wurde im Fahrzeug umgesetzt und hinsichtlich seiner Machbarkeit im vorgegebenen Bauraum sowie der Erfüllbarkeit der o.g. Anforderungen überprüft. Umrichter und Motor wurden zur Anpassung an das Fahrzeug umkonstruiert.

Die beschafften Antriebe werden pro Motor durch die folgenden Daten beschrieben:

- Leistung
 - P_Dauer = 35kW
 - P_Peak = 48kW (10s)
- Drehmoment
 - M_Dauer = 400 Nm
 - M_Peak = 750 Nm

Daraus ergeben sich Fahrleistungen:

- Steigfähigkeit
 - Dauer = 12 %
 - Peak = 24 %
- Höchstgeschwindigkeit
 - V_{\max} > 140 km/h

Aus Sicherheitsgründen wurde die Maximalgeschwindigkeit für das Präsentationsszenario elektronisch auf 62 km/h begrenzt. Für einen Autobahnbetrieb ist eine Geschwindigkeit von 62 km/h erforderlich, dieser wäre somit möglich. Da das Fahrzeug im Rahmen der Erprobung im Stadtverkehr eingesetzt werden soll, erschien diese Begrenzung aus sicherheitstechnischen Beweggründen sinnvoll.

| Parameter EmiL2: | Radnabenmotoren: (Dauer / Peak) | Zielwerte: |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> $m_{Fzg} =$ 2150 kg (leer + 100kg) 2500 kg (zul. Ges.gew.) | <ul style="list-style-type: none"> $n_{\max} = 1500 / 1500$ 1/min $P = 35 / 48$ kW $M = 400 / 750$ Nm | <ul style="list-style-type: none"> Steigfähigkeit ≥ 30 % Höchstgeschw. ≥ 110 km/h NEFZ-Reichw. ≥ 100 km |

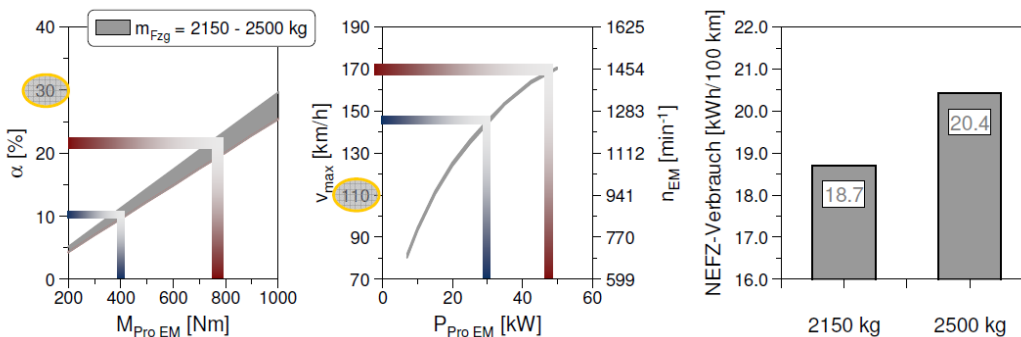


Abbildung 3: EmiL - Fahrleistung und Verbrauch

Mit den ausgewählten Antrieben (Motoren und Umrichter) werden mit Ausnahme der Steigfähigkeit alle geforderten Leistungsdaten erfüllt. Da im Einsatzgebiet für den Feldversuch keine Steigung über 10% vorliegt, stellt dies keine Einschränkung für den zunächst vorgesehen Einsatz dar. Für zukünftige Entwicklungsschritte ist eine Erhöhung der Steigfähigkeit durch den Einsatz von zukünftigen Motoren möglich. Sämtliche Funktions- und Sicherheits-Softwareumfänge können umgesetzt werden, erste Softwaretests waren erfolgreich. Am Aggregateträger konnte die Inbetriebnahme und Applikation zudem erfolgreich umgesetzt werden.

Batterie

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden für die Definition der Zelltypen zunächst geeignete Batteriezellen bewertet. Nach Konzeption des Batteriepackages, d.h. Zellen, Gehäuse und Peripherie, wurde begonnen, Konstruktionsdaten für die Integration des Packages in das Gesamtfahrzeug aufzubauen. Bei den anschließenden Detailkonstruktionen stellte bei der Bearbeitung des Batteriegehäuses die optimale Ausnutzung des vorgegeben Bauraums eine besondere Herausforderung dar. Das Batteriegewicht ist mit ca. 500 kg vergleichsweise hoch und musste auf geringem Bauraum untergebracht werden. Die daraus resultierende Flächenlast machte eine detaillierte Analyse der Statik erforderlich. Auf Basis von FEM Simulationen wurden Verstärkungsmaßnahmen definiert und konstruktiv umgesetzt. Die Fertigung des Batteriedeckels erfolgte aus CFK- Kunststoff. Mit diesem Leichtbaumaterial wird die erforderliche Anpassung an den vom Fahrzeug vorgegeben Batteriebauraum erreicht. Des Weiteren wurde die Gehäusestruktur dahingehend optimiert, dass im Fall eines Seitencrashes

eine Beschädigung der Zellen möglichst verhindert wird. Bei der Fertigung des Batteriegehäuses musste infolge der hohen Bauraumausnutzung ein besonderes Augenmerk auf die Einhaltung der Toleranzen beim mechanischen Aufbau des Systems gelegt werden.

Zum Erzielen der geforderten Reichweite müssen insgesamt 396 Zellen der Firma Sanyo verschaltet werden. Dazu werden zunächst Einheiten aus vier parallel verschalteten Zellen aufgebaut. Anschließend werden 99 dieser Einheiten in Serie geschaltet, um die erforderliche Spannungslage und den Energieinhalt zu erreichen.

Die Dimensionierung der elektrischen Bauteile erfolgte anhand von Längsdynamiksimulation sowie der Simulation des elektrischen Verhaltens der Batterie im Fall eines Lastabwurfes. Zur Überprüfung des Batterieverhaltens im Crashfall wurde eine Simulation umgesetzt.

Die Parameter des Batteriemagementsystems wurden entsprechend der Anforderungen angepasst. Nach Fertigstellung des mechanischen und elektrischen Aufbaus der Batterie wurde sie im Batterielabor der Konzernforschung in Betrieb genommen.

Beladungskonzept / Zustellkomponenten

Im Rahmen eines Arbeitspaketes wurde das fahrzeugspezifische Beladungskonzept erarbeitet. Die Ergebnisse der für die Nutzungskonzepte durchgeführten Feldstudie wurden hier in konkrete Maßnahmen der Fahrzeuggestaltung umgesetzt. Bei der Beladung des Fahrzeugs soll die optimale Position im Laderaum angezeigt werden. Ziel ist die maximale Nutzung des Ladevolumens. Eine Ladungssicherung wird über enges Packen erreicht. Über den Radkästen werden Regale angebracht, die einen sicheren und raumsparenden Transport der Briefboxen ermöglichen sollen. Auf diese Weise ergeben sich für den Zusteller ergonomisch günstige Bewegungsabläufe. Neben der Routenführung beim Fahren soll eine Routenführung beim Austragen der Post realisiert werden. Diese soll sich nicht nur durch das Aufzeigen der kürzesten Laufwege sondern auch durch die Anzeige von Sonderaufträgen, besonderen Briefkastenpositionen und Erfahrungswerten auszeichnen.

Die Tür wurde als automatische Doppelschiebetür umgesetzt, die bei Annäherung des Zustellers an das Fahrzeug automatisch öffnet. Die Möglichkeit der manuellen Bedienung der Tür bleibt über das Apple Inc. iPhone® sowie das Türbetätigungselement immer erhalten. Zum Schließen der Doppelschiebetür ist ein Automatismus, der das Entfernen des Nutzers erkennt bzw. eine Gestiksteuerung vorgesehen.

Das fahrzeugspezifische Beladungskonzept wurde nach gemeinsamer Abstimmung mit der DP DHL detailliert. Durch einen Probeaufbau des Regalsystems in der Sitzkiste konnte gezeigt werden, dass die Päckchen und Briefboxen gut erreichbar sind. Leider zeigte sich auch, dass der verbleibende Platz im Laderaum und der Durchgang von der Schiebetür in Laderaum sehr stark eingeengt wurden. Die daher notwendige Überarbeitung der Regalanordnung hat zu einer Neukonfiguration geführt. Das Päckchenregal wird an der Seitenwand befestigt und bleibt an erprobter Position. Das Briefboxenregal wird in aufgelöster Bauweise realisiert, d.h. einzelne Halter für kleine und große Briefboxen werden in unterschiedlicher Höhe an den Seitenwänden angebracht. Ein großer Vorteil dieses Konzepts ist der wegfallende Platzbedarf für ein leeres Regal, der Raumbedarf ergibt sich allein durch die Briefboxen selbst.

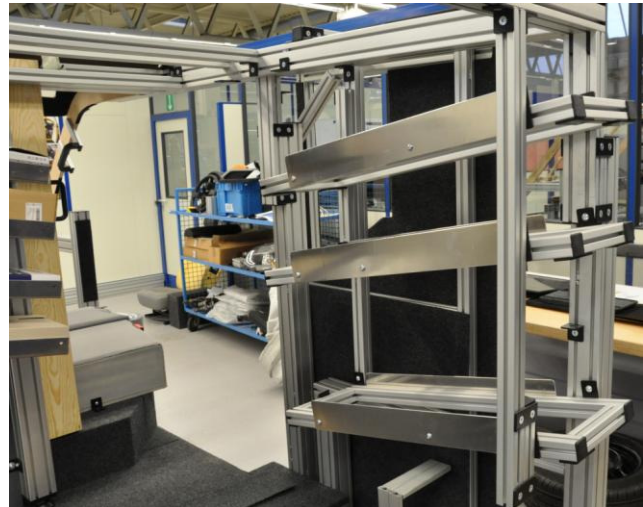


Abbildung 4: Päckchenregal (links) und Briefboxregal (rechts) in Sitzkiste

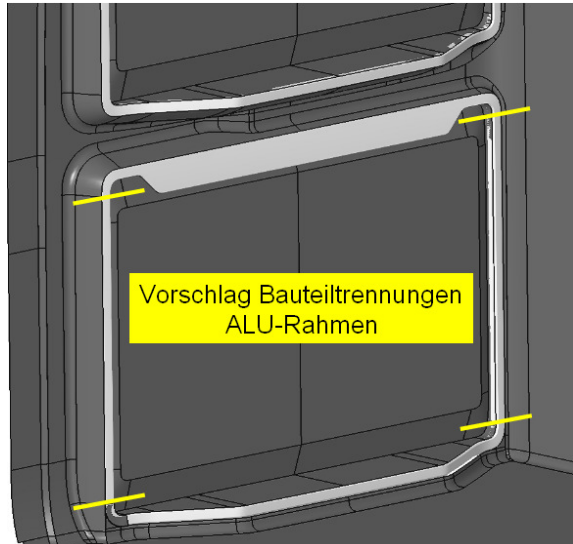


Abbildung 5: Briefboxenhalter an Laderaumseitenwand konstruiert

Ein weiteres wichtiges Thema im Rahmen dieses Arbeitspaktes war die Verkleidung des Laderaums. Insbesondere die Anordnung des Rechners für den FollowMe-Betrieb, der so platzsparend wie möglich an der linken Seitenwand angeordnet werden sollte, musste festgelegt werden. Die Verkleidung des Rechners muss platzsparend ohne Radien an die übrige Laderaumverkleidung anschließen. Dieser Rechner wird jedoch nur für den Prototypenaufbau benötigt. Zudem muss im hinteren Bereich des Laderaums an einem Teilstück sichtbar sein, dass die Fahrzeugkonstruktion eine Durchladebreite größer 1200 mm ermöglicht.

Zur Erprobung des Beladungskonzeptes mit Päckchenregal und Briefboxenhalterungen sowie des gesamten EmiL-Einsatzes wurden Versuchsreihen in der Halle und in Wohngebieten durchgeführt. Als Vergleichsfahrzeug hatte die DP DHL einen Caddy-Maxi vorgegeben. Die Anordnungen der Regale im Laderaum des EmiL konnten mit Hilfe der Sitzkiste realitätsnah dargestellt werden. Aus den intensiven Beobachtungen des Zustellprozesses wurden die wichtigsten Arbeitsabläufe isoliert und in Standardabläufe überführt. Diese Standardabläufe wurden in der Versuchshalle erst am Caddy-Maxi und danach an der EmiL-Sitzkiste durchgeführt. Als Probanden standen ein ehemaliger Zusteller der DP DHL, ein Mitarbeiter der

Forschung sowie eine Studentin und ein Student zur Verfügung. Alle Versuche wurden 3mal wiederholt und die Zeitwerte gemittelt.

Die Abfolge der Handgriffe und die Bewegungsgeschwindigkeiten entsprachen der üblichen Praxis. Start und Ende der Zeitmessung wurde durch der Verlassen bzw. Erreichen eines kleinen Podestes determiniert. Da das Fahrzeugkonzept des EmiL eine schnelllaufende Tür vorsieht, die von innen per Knopfdruck und von außen per Touch auf das iPhone® am Arm des Zustellers betätigt wird, wurde bei der Messung immer von einer offenen Tür ausgegangen. Die Untersuchungen am Kinematikmodell der Doppelschiebetür bestätigen die Realisierbarkeit dieser Konzeptvorgabe im Demonstrationsfahrzeug EmiL.

Auch im Prototyp stellen sich die Bewegungsabläufe der Tür entsprechend gut dar. Die Messungen ergaben, dass beim Vergleich von Caddy zu EmiL der Zeitbedarf für die Arbeitsschritte um 18 bis 70% reduziert werden kann (Tabelle 5).

Tabelle 5: Zeitersparnis durch innovative lieferdienstspezifische Komponenten

| Tätigkeit | Prozentuale Zeitersparnis | Erläuterung |
|--|----------------------------------|---|
| Aussteigen nach Fahrt mit dem Lenkrad | -47% | Automatisches Öffnen der Tür rechts und Durchstieg nach rechts auf den Bürgersteig. Zusätzlich entfällt das Warten auf den Durchgangsverkehr. |
| Einsteigen zur Fahrt mit dem Lenkrad | -61% | Die Tür wird ferngesteuert geöffnet, der Zusteller benutzt den Schnelleinstieg von rechts durch das Fahrzeug auf den Fahrersitz. |
| Aussteigen nach Fahrt mit dem DriveStick | -65% | Durch den kurzen Weg zum Stehsitz sind die Bewegungsabläufe noch effektiver. |
| Einsteigen zur Fahrt mit dem DriveStick | -70% | |
| Nachladen von Briefen | -41% | Die vordere Schiebetür ist beim Erreichen des Fahrzeugs bereits geöffnet und die Postboxen sind auf Höhe der Fensterlinien angeordnet, somit ist der Bewegungsablauf ergonomisch günstiger und zeitsparender. |
| Nachladen von Paketen seitlich | -44% | Das einhändige Greifen des Pakets und das einhändige Schließen der Tür des Caddy erfordert deutlich mehr Zeit als bei der elektrischen Tür des EmiL. |
| Nachladen von Paketen hinten | -18% | Verglichen wurde die Caddy Heckklappe mit der zweiflügeligen Tür mit mittlerer Teilung des EmiL. Die halbe Tür des EmiL ist schneller zu betätigen als eine große Heckklappe. |

Die Vergleichsmessungen der Zustellung im Wohngebiet erfolgten in verschiedenen kategorisierten Straßentypen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Ausgewählte Straßentypen zur Vergleichsmessung

| Typ | Zustellabschnitt (lfd. Nr.) | Eingänge | Abgabestellen | Erläuterung |
|-----|--------------------------------|-----------------|-------------------|---|
| A | 1 | 7 | 20 | Mehrfamilienhäuser und landwirtschaftl. Betrieb, Sackgasse mit Wendehammer, Baujahr ca. 1930 - 1980 |
| B | 3 4 | 22 14 | 27 27 | Eng stehende Reihenhäuser, einzelne Einfamilienhäuser, Baujahr ca. 2000 |
| C | 22 26 25 | 5 7 9 | 25 7 11 | Einfamilienhäuser mit relativ großen Grundstücken, Baujahr ca. 1950 – 1970 Zustellung nur auf einer Straßenseite |

Der als Referenzfahrzeug ausgewählte Caddy Maxi wurde mit 2 Briefboxen auf dem Beifahrersitz ausgestattet. Der als Versuchsfahrzeug „EmiL“ eingesetzte Transporter (Abbildung 6) hatte keine Beifahrertür und war mit 2 Briefboxen über dem Handschuhfach ausgestattet. Die Simulation der FollowMe- und DriveStick-Fahrt erfolgte durch einen Fahrer. Die verbliebene Schiebetür rechts blieb immer offen.

Als Zusteller wurde ein Mitarbeiter der DP DHL mit mehrjähriger Erfahrung im Zustellbetrieb eingesetzt. Als Zeitnehmer, Protokollant für Strecken und Haltepunkte sowie FollowMe- und DriveStick-Fahrer wurden Mitarbeiter der Volkswagen Konzernforschung eingesetzt.

**Abbildung 6:** "EmiL" in Form eines umgebauten Transporters zur Konzeptabsicherung

Die Referenzmessung erfolgte gemäß der Abfolge der Hausnummern nach Zustellplan mit einer zügigen Fahrgeschwindigkeit wie in der Praxis. Die Haltepunkte wurden nach Einschätzung des Zustellers optimal ausgewählt.

Für die Messungen mit dem „EmiL“ wurde die Abfolge der Hausnummern und Haltepunkte für einen Schnellausstieg rechts optimiert. Es wurde im FollowMe- und DriveStick-Fahrmodus gefahren. Für den FollowMe-Betrieb entfielen technische Einschränkungen bzgl. der Fahrbahnerkennung, die nicht simuliert wurden. Bei Einmündungen, Kreuzungen und Wendepunkten wurde die Fahrt im DriveStick-Modus fortgesetzt, da das FollowMe-System nicht

für diese Straßenbegebenheiten ausgelegt ist. Eine zusätzliche erweiterte Umfelderkennung wäre hier nötig, um diese Möglichkeiten zu ergänzen.

Der Arbeitsablauf gestaltete sich folgendermaßen:

- Entnahme der Briefe im Fahrzeug durch Armbewegung zu den Briefboxen angedeutet
- Keine Berücksichtigung von Paketen und Päckchen
- Immer Wahl des schnellsten Weges
- Je nach Grundstückstyp erfolgte ein Betreten des Grundstückes mit Antippen der Abgabestelle je Eingang bzw. Antippen der Gartentore

| Besuchsrate | Typ | ZAb | Caddy | EmiL | Einsparung absolut Ø | |
|-------------|-----|-------|-----------------|----------------|----------------------|------|
| 50% | A | 1 | 2:18 | 2:15 | 0:03 | 0:03 |
| | B | 3 | 4:35 | 3:45 | 0:50 | 0:45 |
| | B | 4 | 3:30 | 2:50 | 0:40 | |
| | C | 22+26 | 1:22 | 1:12 | 0:10 | 0:06 |
| | C | 25 | 1:06 | 1:04 | 0:02 | |
| 100% | A | 1 | 3:58 | 3:14 | 0:44 | 0:44 |
| | B | 3 | 5:44 | 4:38 | 1:06 | 1:18 |
| | B | 4 | 5:11 | 3:41 | 1:30 | |
| | C | 22+26 | 2:27 | 1:55 | 0:32 | 0:35 |
| | C | 25 | 1:55 | 1:18 | 0:37 | |
| Wendehammer | | | 3 Züge: 0:15 | 1 Zug: 0:12 | 0:02 | 0:02 |

Abbildung 7: Ergebnis der Zeitmessung

| Besuchsrate | Typ | Zeitersparnis pro ZAb [min:sek] | x 33% x 47 ZAb pro ZBez [min:sek] | Summe Einsparung pro Tag [min:sek] |
|-------------|-----|---------------------------------------|---|--|
| 50% | A | 0:03 | 0:47 | 13:58 |
| | B | 0:45 | 11:38 | |
| | C | 0:06 | 1:33 | |
| 100% | A | 0:44 | 11:22 | 40:35 |
| | B | 1:18 | 20:10 | |
| | C | 0:35 | 9:03 | |

Annahmen:

- Bebauungstypen A, B, C kommen jeweils zu 33% vor
- 47 Zustellabschnitte (ZAb) pro Zustellbezirk (ZBez) bzw. Tag

Ergebnis:

Bei 6 d/Wo. x 52 Wo. x 40 min/d ergibt sich eine Zeitersparnis von 208 h pro Jahr

Abbildung 8: Eingesparte Zeit durch EmiL

Zusätzliche Zeiteinsparungen werden ebenso durch die FollowMe-Funktion erzielt, die für den Fahrer zusätzliche Laufwege zurück zum Fahrzeug überflüssig macht (Abbildung 9 und Abbildung 10). Zudem wird durch den engen Wendekreis von 8,50m das Wenden in 1 statt 3 Zügen möglich.

| Besuchsrate | Typ | ZAb | Caddy [m] | EmiL [m] | Einspar. [m] | Ø [m] | Zeitersparnis bei 6km/h [sek.] |
|-------------|-----|-------|-----------|----------|--------------|-------|--------------------------------|
| 50% | A | 1 | 46 | 46 | 0 | 0 | 0 |
| | B | 3 | 175 | 150 | 25 | 21 | 12,6 |
| | B | 4 | 105 | 88 | 17 | | |
| | C | 22+26 | 96 | 94 | 2 | 5 | 3 |
| | C | 25 | 42 | 55 | 7 | | |
| 100% | A | 1 | 161 | 123 | 38 | 38 | 22,8 |
| | B | 3 | 307 | 242 | 65 | 51 | 30,6 |
| | B | 4 | 175 | 139 | 36 | | |
| | C | 22+26 | 145 | 127 | 18 | 22 | 13,2 |
| | C | 25 | 75 | 50 | 25 | | |

Abbildung 9: Eingesparte Laufwege durch FollowMe

| Besuchsrate | Typ | Zeitersparnis pro ZAb [sek] | x 33% x 47 ZAb pro ZBez [min:sek] | Summe Einsparung pro Tag [min:sek] |
|-------------|-----|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 50% | A | 0 | 0 | 4:02 |
| | B | 12,6 | 3:15 | |
| | C | 3 | 0:47 | |
| 100% | A | 22,8 | 5:57 | 17:14 |
| | B | 30,6 | 7:55 | |
| | C | 13,2 | 3:25 | |

Annahmen:

- Bebauungstypen A, B, C kommen jeweils zu 33% vor
- 47 Zustellabschnitte (ZAb) pro Zustellbezirk (ZBez) bzw. Tag
- Zeitersparnis pro Tag: $12,6 \text{ sek} \times 33\% \times 47 \text{ ZAb} = 195 \text{ sek.} = 3 \text{ min } 15 \text{ sek}$

Abbildung 10: Eingesparte Zeit durch FollowMe

Die wichtigsten Arbeitsabläufe wurden später mit dem EmiL im Prüfgelände erneut durchgeführt. Die Vergleichsuntersuchungen zwischen Caddy-Maxi und tatsächlichem EmiL konnten am 20.10.2011 auf dem VW-Prüfgelände bei Ehra-Lessin auf einer abgesperrten Fläche durchgeführt werden. Die Straßen des Wohngebietes in Wolfsburg wurden vermessen und auf der Teerfläche mit Kreide reproduziert. Als Bordstein diente eine aufgeklebte, gelbe Fahrbahnmarkierung, die vom FollowMe-System als Fahrbahnrand erkannt wurde. Für die Messungen stand derselbe Mitarbeiter der DP DHL zur Verfügung wie im Wohngebiet. Auch das VW-Team bestand aus denselben Personen, um die Vergleichbarkeit der Messungen zu optimieren.



Abbildung 11: Caddy Maxi mit Postabgabestelle und Bordsteinlinie für Vergleichsmessung



Abbildung 12: EmiL mit Postabgabestelle und Bordsteinlinie für Vergleichsmessung

Die für den Arbeitsablauf des Zustellers relevanten Unterschiede zwischen umgebautem T5 und EmiL beziehen sich auf:

- Durchstieg vom Fahrersitz über den Stehsitz zur Beifahrertür
- Niedriger Einstieg auf der Beifahrerseite
- B-Säulen-freier Zugriff auf Beifahrerseite und Laderaum
- Postboxen vor Beifahrersitz auf Armaturenbrett in Fahrtrichtung

Bei den Messungen wurde deutlich, dass diese Besonderheiten des EmiL die Bewegungsabläufe des Zustellers deutlich unterstützen. Laut Aussage des Zustellers sind die Bewegungen flüssiger und die ergonomische Belastung spürbar geringer. Die Arbeitsabläufe können also noch zeitsparender abgeleistet werden als mit dem umgebauten T5.

Bei der Zeitnahme von Caddy Maxi und EmiL zeigte sich allerdings, dass die Reproduktion der Wohngebietsstruktur ein sehr schwieriges Unterfangen darstellt. Obwohl die Positionen und Laufwege sehr genau abgebildet worden waren, war der Bewegungsablauf auf der glatten Fläche des Prüfgeländes deutlich anders als auf Fahrbahn, Bürgersteig, Zuwegen und Eingängen im Wohngebiet. Damit war die direkte Vergleichbarkeit nicht mehr gegeben.

Die Versuche und Messungen im Prüfgelände machten trotzdem die Vorzüge des EmiL gegenüber dem Caddy Maxi deutlich. Zum einen sind die oben erwähnten ergonomischen Vorzüge zu nennen. Zum anderen wurde bestätigt, dass der EmiL sich fahrtechnisch so verhält, wie es beim Einsatz des umgebauten T5 simuliert worden war. Die Messwerte aus dem Wohngebiet können damit auch für den EmiL gelten.

Es ist damit bestätigt, dass durch den EmiL unter den bei der Auswertung getroffenen Festlegungen eine Zeitersparnis von bis zu 40 Minuten pro Tag denkbar ist.

Bordnetz

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden für das Bordnetz Systemschaltpläne sowie ein Vernetzungskonzept erstellt. Hierbei konnten Probleme frühzeitig erkannt und abgestellt werden. Während der Konzeptionierung des Bordnetzes ergaben sich jedoch zusätzliche Anforderungen, welche nachträglich integriert wurden. Hierzu gehörten neben einem Soundaktuator eine neue Scheibenheizung, ein neues Türöffnungskonzept sowie zusätzliche Funktionen der iPad-Dockingstation. Diese konzeptbedingten Änderungen führten dazu, dass der elektrische Konzeptfreeze nicht eingehalten werden konnte.

Nach Fertigstellung des Kabelstrangs erfolgte zunächst nur eine Inbetriebnahme für den Antrieb, den Türdemonstrator, die neu entwickelten Steuergeräte und die gesamte Bordnetzelektronik. Anschließend erfolgte der Verbau und die Inbetriebnahme des Kabelstrangs im Gesamtfahrzeug. Die aufgetretenen Kommunikationsprobleme zwischen den Steuergeräten wurden mit Unterstützung aus den Fachbereichen durch Neucodierung behoben.

Fahrwerk

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden die Fahrwerksumfänge für das Prototypenfahrzeug EmiL entwickelt. Dies erfolgte in Zusammenarbeit mit der Volkswagen Nutzfahrzeugentwicklung. Die Randbedingungen für die Fahrwerksentwicklung des EmiL waren die folgenden:

- Durchladebreite für den Platzbedarf einer Europalette
- Niedriger Ladeboden
- Wendekreis von 8,5m
- Integration von Radnabenmotoren an der Hinterachse
- Anbindung einer hydraulischen Bremsanlage mit einer elektromechanischen Parkbremse (EPB) an der Hinterachse

Die durchgeführte Machbarkeitsstudie ergab, dass die Verwendung von seriennahen Fahrwerkskomponenten nicht möglich ist und somit die Untersuchung eines Alternativkonzepts notwendig war.

Vorderachse

- Entwicklung eines Simulationsmodells einer MacPherson Vorderachse mit elastokinematischer Eigenschaftsbildung für die Längs- und Querdynamik sowie unter Berücksichtigung des geforderten Lenkeinschlags zur Realisierung eines Wendekreises $\leq 8,5\text{m}$
- Auslegung einer nichtangetriebenen MacPherson Vorderachse speziell unter Berücksichtigung des erforderlichen sehr großen Radeinschlags von 65°

- Integration einer hydraulischen Bremsanlage am Radträger aus dem VW - Programm
- Konstruktion eines Hilfsrahmens zur Anbindung der Vorderachse an die Längsträger des Rahmens
- Anschraubpunkte am Hilfsrahmen für das neu entwickelte elektromechanische Lenkgetriebe auf Basis eines achsparallelen Antriebs (APA) sind ebenfalls konstruiert und ausgelegt
- Absenkung des Querlenkers zur optimalen Abstützung bei Seitenkraft, zur Vermeidung von Dämpferklemmen
- Berechnung und Auslegung der mechanischen Bauteile unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode

Hinterachse

- Entwicklung eines Simulationsmodells einer Schräglenkerhinterachse mit elastokinematischer Eigenschaftsbildung für die Längs- und Querdynamik
- Auslegung einer Schräglenkerhinterachse mit Torsionsstabfeder, um den niedrigen Ladeboden umzusetzen
- Konstruktion des Radträgers unter Berücksichtigung eines Radnabenantriebs
- Integration einer hydraulischen Bremsanlage mit EPB
- Untersuchung der Hochvoltabgänge des Radnabenantriebs und Verlegung der Hochvoltkabel
- Berechnung und Auslegung der mechanischen Bauteile unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode

Lenkung

Eine der wesentlichen Randbedingungen beim Fahrzeugprojekt EmiL war die Erreichung des kleinen Wendekreises von 8,5m, welches am kurveninneren Rad einen Einschlag von 65 Grad erfordert. Bei derzeitigen Serienfahrzeugen liegt der Radeinschlag bei etwa 40 Grad. Somit ist beim Fahrzeugprojekt EmiL ein deutlicher Unterschied zu vermerken. Um dies zu realisieren war es notwendig, ein komplett neues elektromechanisches Lenkgetriebe auf Basis eines achsparallelen Antriebs (APA) zu entwickeln, welches einen Zahnstangenhub von $\pm 122\text{mm}$ (Serie $\pm 80\text{mm}$) umsetzt. Des Weiteren entstehen durch die veränderte Kinematik deutlich höhere Zahnstangenkräfte. Damit diese hohen Kräfte aufgenommen werden konnten, musste eine Durchmesserergrößerung von 28mm auf 34mm an der Zahnstange vorgenommen werden. Zusätzlich war es notwendig, eine konstruktive Anpassung an der Lenksäule umzusetzen. Dies ist dadurch bedingt, dass das Lenkgetriebe aus kinematischen Gründen vor der Vorderachse liegt und sich die konstruktive Turmneigung somit geändert hat.

Bremse

Für das Fahrzeug EmiL wurde eine hydraulische Bremsanlage an der Vorder- und Hinterachse verwendet. Die Handbremsfunktion ist bei dem Projekt über eine elektromechanische Parkbremse (EPB) an der Hinterachse realisiert. Besonders schwierig gestaltete sich bauraumbedingt die Integration einer ausreichend dimensionierten Scheibenbremse an der Hinterachse in Verbindung mit den Radnabenmotoren. Hierfür wurde wegen der günstigen Lage des EPB Steckers auf eine Bremse aus bereits entwickelten Komponenten des Konzerns zurückgegriffen. Der verwendete Bremskraftverstärker unterscheidet sich von herkömmlichen darin, dass die Versorgung mit dem benötigten Unterdruck durch eine elektrische Stand-Alone Unterdruckpumpe umgesetzt wurde. Bei der Wahl des ABS-Schlupfregelsystems wurde eine

Modifikation mit den spezifischen Fahrzeugparametern vom EmiL an bereits entwickelter ABS-Steuergerätesoftware vorgenommen.

Da es sich um ein E-Fahrzeug handelt, ist es zusätzlich möglich, die sich ergebende Bewegungsenergie (Generatorprinzip beim Bremsen) über die Radnabenmotoren in die Batterie zurückzuspeisen. Gesteuert wird dies unter anderem über den am Bremspedal befindlichen Winkelsensor. Dafür war es nötig, das Bremspedal konstruktiv zu verändern um dort eine synchrone Bewegung zwischen Bremspedal und Winkelsensor zu gewährleisten. Diese Rekuperation erfolgt oberhalb einer Geschwindigkeit von 7 km/h.

Als weitere Funktionalität ist beim EmiL ein ByWire-Modus der Bremse über die ACC Schnittstelle für die FollowMe-Funktion bei einer Geschwindigkeit von $v \leq 6$ km/h realisiert. Außerdem ist die herkömmliche Fahrzeugsteuerung Antrieb-Bremse-Parkbremse für FollowMe nur bedingt geeignet gewesen. Deshalb wurde eine „Auto-Hold-Funktion“ implementiert.

Applikation

Nach dem Einbau der Fahrwerkskomponenten erfolgte eine Achsvermessung und Einstellung der vorgegebenen Achskenndaten auf dem Messprüfstand. Nach ersten Funktions- und Signalprüfungen des CAN-Protokolls sowie der mechanischen Bauteile wurde eine Fahrwerksabstimmung von mehreren Wochen durchgeführt. Diese beinhaltete zunächst ein enges Zusammenspiel zwischen Antrieb, Bremse und Lenkung während der Applikation, um somit bestmöglich auf mögliche Problemstellungen eingehen zu können.

Für die Applikation der Bremse wurden verschiedenartige Abstimmfahrten für eine optimale Bremskraftverteilung bei einer maximalen Geschwindigkeit von 62 km/h auf dem Prüfgelände absolviert. Dabei sind ABS Versuche in Geradeaus- und Kurvenfahrt auf trockener und nasser Fahrbahn durchgeführt worden. Während dieser Tests wurden Anpassungen an den Parametern (z.B. Bremskraftverteilung) der ABS-Steuergerätesoftware vorgenommen. Außerdem musste im ABS-Regelcode die Rekuperation der Bremse berücksichtigt werden.

Bei Fahrzeugen ist der Lenkradwinkel vom Fahrer so vorzugeben, dass die Abweichung vom Sollkurs gering bleibt. Um dem Fahrer dies zu ermöglichen, wurde in einem aufwendigen iterativen Prozess eine Applikation des Lenkgefühls vorgenommen. Dabei sind die Kennlinien der Unterstützungskraft des Lenkgetriebes in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen erfahren und eingestellt worden.

Des Weiteren lässt sich das Fahrzeug über einen Drivestick bis zu einer Geschwindigkeit von 6 km/h bewegen. Hierfür wurde als Kommunikationsschnittstelle der Park-Lenkungs-Assistent genutzt. Dieses ByWire-System musste ebenfalls auf das Lenkgefühl und die Lenkungsendanschläge appliziert werden.

Nach mehreren Iterationsstufen konnte diese komplexe Aufgabe bewältigt werden.

Fazit

Bei der Fahrwerkentwicklung hat sich gezeigt, dass eine Schnittstellendefinition mit dem Rohbau, der Lenkung und dem Antrieb von großer Bedeutung ist. Des Weiteren ist es sehr wichtig, die Fahrzeugmassen frühzeitig in die Entwicklung einfließen zu lassen. Wesentlich für den optimalen Ablauf in einer sehr zeitkritischen Projektentwicklung sind hierbei die Kommunikation und der Datenaustausch.

Nach kurzen Anlaufschwierigkeiten wurde dies durch wöchentliche Besprechungen mit den Fachbereichen bestmöglich umgesetzt. Eine Dokumentation zur Verwendung der Ergebnisse in Folgeprojekten hat stattgefunden.

Material

Im Rahmen der Konzepterstellung für das Gesamtfahrzeug ist eine Betrachtung der zu verwendenden Materialien unerlässlich. Sämtliche Komponenten des Fahrzeugs wurden hinsichtlich der Materialauswahl überprüft, um eine optimale Fahrzeugauslegung hinsichtlich Effizienz, Belastbarkeit und Sicherheit zu gewährleisten. Die Materialien wurden im Rahmen dieses Arbeitspakets mit Hilfe von Simulationen und Testreihen auf ihre Einsatzfähigkeit im Fahrzeug getestet. Dabei wurden u.a. Versuche zum Durchstrahlungsverhalten und Crashverhalten sowie sensoroptische Untersuchungen durchgeführt:

- Berechnung der Biege- und Torsionssteifigkeiten und Eigenfrequenzen
- Berechnung der Bauteilfestigkeiten mit Fahrwerklasten
- Simulation Gurtverankerungen (76/115/EWG)
- Simulation Frontalcrash starre Barriere mit 100% Überdeckung
- Simulation Frontalcrash deformierbare Barriere (ECE-R94) mit 40% Überdeckung (links und rechts), Berechnung mit 56 und 64 km/h sowie leer und beladen
- Simulation seitlicher Pfahlaufprall links und rechts in verschiedenen Trefferlagen
- Simulation Seitenaufprall mit deformierbarer Barriere links und rechts (ECE-R95)
- Simulation Heckcrash (FMVSS 301)
- Simulation Rollovertest (FMVSS 216)
- Simulation Ladungssicherung (DIN 75410-3)

Aus diesen Untersuchungen wurden die Anforderungen an das Strukturverhalten, die Insassenbeschleunigung und Insassenschutz, Überlebensräume und die Hochvoltsicherheit bestimmt. Mit Hilfe von weiteren Simulationen wurde die Erfüllung dieser Anforderungen bestätigt oder ggf. Maßnahmen abgeleitet. Um eine optimale Materialauswahl, Wandstärken und Geometrie des Rahmens zu erreichen, wurden konstruktive Maßnahmen abgeleitet und umgesetzt. Zudem wurde eine crashoptimierte Anordnung der Komponenten erarbeitet.

Das erarbeitete Karosseriekonzept führt durch die fehlende B-Säule und das innovative Schiebetürkonzept mit der großen Türöffnung rechts und einem tiefen Einstieg zu einer reduzierten Steifigkeit. In diesem Zusammenhang wurden zahlreiche Maßnahmen simuliert, bewertet und bei bestätigter Wirksamkeit in die Konstruktion übernommen. Eine Kompensation erfolgte schließlich durch eine mittige Stütze sowie eine verstärkte C-Säule. Zudem wurde der geänderten Crashperformance durch Verstärkungen in Boden, Dach und Türen entgegengewirkt. Zur Validierung der Materialmodelle wurden Zugversuche durchgeführt.

Mit Hilfe der hier durchgeführten Untersuchungen konnten Erkenntnisse über das Materialverhalten von Aluminium insbesondere in den Schweißnähten gewonnen werden. Zudem wurden ausgehend von dem grundsätzlich schlechterem Crashverhalten eines Fahrzeugs ohne B-Säule verschiedene Versteifungsmaßnahmen in der Schiebetür bewertet.

Die häufigen Konstruktionsänderungen der Schiebetür führten zu immer neuen Berechnungsergebnissen und machten somit laufende Anpassungen der Crashmaßnahmen notwendig. Ein Teil des Seitenaufprallkonzeptes konnte in der Schiebetür aus Gewichts- und Package Gründen nicht umgesetzt werden. Als Alternativmaßnahmen wurden z.B. Zughaken in A- und C-Säule umgesetzt.

Teilprojekt 4 – Kommunikation / 2. Generation

Interieur

Sämtliche Interieurkomponenten inklusive der Sicherheitssysteme wurden im Rahmen dieses Arbeitspakets aufgebaut. Dazu gehören u.a.:

- Fahrersitz
- Stehsitz
- Bedienelemente
- Kombiinstrument
- Schutz-vor-Ladegutwand
- Notsitz
- I-Tafel
- Aufnahmen für iPad®
- Postboxen
- Seiten- und Innenraumverkleidungen
- Bodenbelag
- Sitzgestelle
- Fußstützen

Für die Gestaltung des Fahrzeuginnenraums wurden diverse Konzepte für die Auslegung der Grundergonomie, den Sitzkistenaufbau, den Drivestick sowie die Fahrerinformationssysteme ausgearbeitet. Für eine Eingrenzung der Laderaumkonzepte und die Gestaltung des weiteren Fahrzeuginnenraums wurden verschiedene Modelle erstellt und im Laufe des Projektes immer weiter detailliert. Um die Anordnung der Bedienelemente festzulegen wurde für den Fahrerarbeitsplatz ein Bedienkonzept ausgearbeitet. Da die Sitzlehne nicht wie geplant in die Trennwand integriert werden konnte, wurde der Stehsitz neu gestaltet. Diverse Bauraumprobleme für E-Komponenten und Bauteilkollisionen wurden durch manuelle Anpassungen im Laufe des Projektfortschritts behoben.

Für den Drivestick als wichtige innovative lieferdienstspezifische Komponenten wurden Bedienungsanalysen durchgeführt. Aus den verschiedenen Varianten Drehrad, Kurbel, Pinne, Griff und Hebel wurde die Pinnensteuerung ausgewählt und umgesetzt. Im Rahmen der Untersuchungen hat sich diese Alternative als platzsparendste, ergonomischste und intuitivste Bedienung herausgestellt.

Als mögliche Konzeptalternativen für den Stehsitz standen eine zweibauteilige oder eine in die Trennwand integrierte Lehne zur Auswahl. Realisiert wurde die zweigeteilte Lösung, bei der Sitzlehne und Sitzfläche des Stehsitzes voneinander getrennt sind und somit eine separate Höhenverstellung der Sitzfläche ermöglichen. Ein integrierter Not-/Stehsitz hätte aufgrund der gesetzlich vorgeschriebenen Laufzeit von Freigabeprüfungen keine Straßefreigabe während der Projektlaufzeit erhalten können. Durch die alternative Lösung mit einem Single-Notsitz aus freigegebenen Serienkomponenten und einem Single-Stehsitz, der eine Fahrgeschwindigkeit von max. 6 km/h ermöglicht, konnte eine Straßenzulassung ohne eine separate Sitzentwicklung erfolgen (siehe auch Teilprojekt 5).

Für den benötigten Komfort musste die Vertiefung im Beifahrerbereich angehoben werden. Für die Gewährleistung einer besseren Rundumsicht wurde ein Teilbereich des Daches freigehalten und mit einer Scheibe versehen. Dies erleichtert sowohl die Ampelsicht als auch die Orientierung (Hausnummern o.ä.) im Zustellbetrieb.

Gesamterscheinungsbild

In der Gesamtheit zeichnet sich das Fahrzeug durch einen Radstand von 2,78 m und eine Länge von 4,09 m aus.

Für die Gestaltung des äußeren Erscheinungsbildes des EmiL bildeten verschiedene Design-Skizzen die Basis für eine erste Entscheidungsphase, in der eine Auswahl von 3 Varianten erfolgte. Diese wurden anschließend als 1:4 Modelle aufgebaut. Auf dieser Grundlage wurde eine finale Variante selektiert und als 1:1 Modell dargestellt. Anhand von CAD-Ausarbeitungen und –Visualisierungen wurden weitere Verfeinerungen und Abstimmungen umgesetzt.

Nach Abschluss der Konzeptphase wurden in iterativen Abstimmungen zwischen Design und Technik die finalen Designflächen (Exterieur/Interieur) erstellt, welche als Grundlage für den Strakaufbau dienen. Dieser wiederum ist notwendig für die Konstruktionserstellung. Der Strak wurde durch die Designabteilung begleitet und mitbetreut, um eine entsprechende Designumsetzung und –qualität zu gewährleisten. Um die Oberflächen physisch beurteilen zu können, wurden die Strakdaten in die Exterieur- und Interieurmodelle eingefräst. Notwendige Änderungen konnten so in die Datenlage zurückgeführt werden. Nach diesem iterativen Vorgang konnte der Konstruktionsabteilung ein finaler Strakdatensatz übergeben werden.

Ein Color- & Trim-Konzept wurde nach Abstimmung mit allen nötigen Entwicklungsbeteiligten sowie der DP DHL erstellt. Zudem wurde das Räder-, Beleuchtungs- und HMI-Design erarbeitet. Die knapp bemessene Entwicklungszeit im Gesamtprojekt musste auch in der Designabteilung durch einen größeren Kapazitätsbedarf ausgeglichen werden.

Akustik

Ziel dieses Arbeitspaketes war es, eine bestmögliche Reduktion der akustischen Emissionen des Fahrzeugs zu erreichen. Dafür wurden die akustischen Eigenschaften der Struktur, des Antriebs und des Fahrwerks optimiert. In diesem Rahmen wurden zunächst in mehreren Durchläufen Schwingungsuntersuchungen mit Konzeptbauteilen (wie z.B. Modulträger Instrumententafel, Fahrzeugrahmenstruktur) durchgeführt. Die Rückschlüsse für die Komponentengestaltung sind anschließend in die Konzeption des Gesamtfahrzeugs eingeflossen.

Häufig kommt es zu einem grundsätzlichen Widerspruch zwischen optimaler Ergonomie und guten akustischen Eigenschaften. Dieser musste durch Kompensationsmaßnahmen in der Struktur gelöst werden. Diese Maßnahmen umfassen z.B. eine mittige Stütze und zusätzliche Verstrebungen. Ein akustisch auffälliger Antrieb in Verbindung mit der Radaufhängung der Hinterachse wurde durch eine angepasste Anordnung der Magnete modifiziert. Da eine Fahrwerkanbindung über den Ladeboden einen problematischen Geräuscheintrag in den Innenraum erwarten ließ, wurde diese Anbindung ausschließlich über die massiven Träger realisiert. Die Arbeiten und Anpassungen im Rahmen dieses Arbeitspakets erfolgten aufgrund der vielfältigen Anknüpfungspunkte zu verschiedenen Baugruppen in enger Abstimmung mit der Motorenentwicklung, Fahrwerkentwicklung sowie verschiedenen Forschungsabteilungen.

Im Rahmen der Untersuchungen zur Fahrzeugnutzung wurde die Notwendigkeit eines akustischen Signals bei E-Fahrzeugen, insbesondere in Wohngebieten, bestätigt. Das aufzubauende innovative Fahrzeug wird aufgrund seines Einsatzes im Rahmen eines Versuches mit der Deutschen Post zu einem Großteil in Wohngebieten unterwegs sein, daher wurde ein Soundgenerator noch nach der Konzeptphase in die Anforderungsliste aufgenommen. Dafür wurden zunächst geeignete Komponenten ausgewählt. Die Komponenten umfassen eine Verstärkungsplatte, Lautsprecher und ein Steuergerät, die ausgelegt, aufeinander abgestimmt und angeordnet wurden. Dabei mussten auch entsprechende Packagekonflikte mit anderen Bauteilen gelöst werden. Die Verstärkungsplatte musste so z.B. aufgrund eines Bauraumkonfliktes mit angrenzenden Bauteilen neuangelegt und –angeordnet werden.

Zur Optimierung der Akustik von Klappen und Türen wurden z.B. bei der Schiebetür und beim Regenschutz konzeptionelle, akustische Probleme identifiziert. Diese Akustikprobleme sind erst im Erprobungsträger aufgetreten. Grund dafür war eine hohe Geräusentwicklung in Antrieb und Kraftübertragung, der mit geeigneten konstruktiven Maßnahmen entgegen gewirkt wurde. Nach einer Auswahl von neuen Motoren, Getrieben und Kraftübertragungselementen wurden diese zur Verbesserung der Akustik neu angeordnet.

Teilprojekt 5 – Modellbasierte Entwicklung des Demonstrators / 2. Generation

Aggregateträger Grundkonzept „Berlin-Fahrzeug“

Im Rahmen der Arbeiten für den Aufbau des Aggregateträgers war die Rahmenstrukturauslegung von besonderer Bedeutung für die Erfüllung aller Craschanforderungen, welche für eine Fahrzeugfreigabe unerlässlich sind. Mit dem Wegfall der B-Säule sind jedoch Schwierigkeiten der Profilauslegung für die Rahmenstruktur verbunden, welche nicht termingerecht optimiert werden konnten. Die Probleme bei der Auslegung der Rahmenstruktur für das Präsentationsfahrzeug haben dazu geführt, dass die Profilerstellung nicht termingerecht beginnen konnte. Der Konzeptaufbau der Profile erfolgte erst Anfang 2011 mit einer Profilvergabung in KW09/2011. Um den Aufbau des Demonstrationsfahrzeugs nicht weiter zu verzögern, mussten die Erprobungen ohne Aggregateträger durchgeführt werden. Um die Funktionalitäten Antriebssystem, Follow Me, Drive-Stick, etc. erproben und abstimmen zu können, wurden Ersatzversuchsträger auf Basis von Serienfahrzeugen aufgebaut (E-Caddy mit Radnabenantrieb, verbrennungsmotorisch betriebene Follow Me und Drive-Stick Funktionsträger).

Um die wegfallende Versuchsgrundlage zu kompensieren, wurden drei zusätzliche Aggregateträger (2 Caddy, 1 Passat) auf Basis von Serienfahrzeugen aufgebaut. Um dabei einen weiteren Terminverzug weitgehend zu vermeiden, wurden zusätzliche Mitarbeiter in das Projekt involviert und Sonderschichten eingerichtet.

Lieferdienstspezifische Komponenten

Innerhalb dieses Arbeitspakets wurden Konzepte für die lieferdienstspezifischen Komponenten des Fahrzeugs ausgearbeitet und in Abstimmung mit dem Projektpartner DP DHL erprobt.

Im Rahmen der Konzeptauslegung für das elektromobile Nutzfahrzeug mussten zahlreiche Fahrzeugbauteile neu konzipiert, konstruiert, aufgebaut, angeordnet und integriert werden. Dazu wurden u.a. Berechnungen zur Fahrzeugsicherheit durchgeführt, d.h. Frontal-, Seiten- und Pfahlcrashes simuliert. Anhand dieser Untersuchungen wurden iterativ Optimierungsumfänge im Rahmen der Konzepterstellung identifiziert.

Für einige der lieferdienstspezifischen Komponenten wurden Modelle zur detaillierten Erprobung erstellt. Für Erprobungen zum Stehsitzkonzept wurde eine Sitzkiste aufgebaut, mit Hilfe eines Grundmodells des Joysticks erfolgte die Abstimmung der Form und Funktionalität.

FollowMe

Die ursprünglich als FollowMe benannte Funktion wird nun unterschieden in die Funktionen

- FollowMe: Fahrzeug folgt dem sich neben dem Fahrzeug fortbewegenden Fahrer
- ComeToMe: Fahrer befindet sich bereits vom Fahrzeug entfernt, Fahrzeug folgt dem Fahrer zu seinem Standpunkt

Beide Funktionen basieren auf den gleichen Komponenten. Zur Vereinfachung wird daher an einigen Stellen der Begriff FollowMe für beide Funktionen verwendet.

Die FollowMe-Sensorikkomponenten Stereokamera, Monokamera, Ultraschall und Fahrerortungssystem wurden zunächst im Caddy Versuchsträger verbaut. Entgegen ersten Annahmen wurden keine Spiegelkameran benötigt. Zudem wurde ein Aktorikversuchsträger (E-Caddy) ohne Sensorik aufgebaut, um die Fahrzeugsteuerung bei einem E-Fahrzeug mit Hilfe der aufgezeichneten Messdaten zu entwickeln und optimieren. Für die Erprobung der Bildverarbeitungssensorik und –hardware war der Versuchsträger Caddy TDI ausreichend..

Im Rahmen der Softwareentwicklung für die Umfelderkennung und Bahnplanung entstanden folgende Komponenten:

- Stereobildverarbeitung zur Berechnung von Hindernis- und Bodenpunkten
- Monobildverarbeitung zur Erkennung von Fahrbahnrändern
- Ultraschallmessdaten aus 12 Sensoren rund um das Fahrzeug
- Fahrzeugortung mit Hilfe von GPS und Bestimmung des Abstands zu Kreuzungen
- Fahrerortung mit Hilfe von Laufzeitmessungsfunksignal
- Fusion der verschiedenen Messdaten
- Bahnplanung und Erkennung von Situationen

Die durchgeführte Gefahren- und Risikoanalyse in Zusammenarbeit mit dem TÜV Nord ergab für die eingesetzten Sensoren und Verarbeitungsrechner eine Maximalgeschwindigkeit von 7 km/h.



Abbildung 13: Simulierter FollowMe-Betrieb mit umgebautem Transporter

Stehsitz

Mit Hilfe verschiedener Konzeptausarbeitungen wurden ein Funktions- und ein Designmodell des Stehsitzes aufgebaut. Nach Konzeptpräsentation und –entscheid wurde ein Versuchsmodell mit einer Schutz-vor-Ladegut-Tür mit integrierter Notsitzlehne aufgebaut und in die Sitzkiste integriert. Zur weiteren Erprobung wurden Probandenversuche durchgeführt. Zur Finalisierung des Konzeptes wurden weitere Detailberechnungen durchgeführt und Straken der Oberflächendaten aufgebaut. Zudem wurde ein Design-Erlebnismuster aufgebaut.

Im Rahmen der Modellaufbauten und Erprobungen zeigte sich, dass die Kraftaufnahmefähigkeit der Schutz-vor-Ladegut-Tür nicht ausreichend ist und somit von einer Lösung mit integrierter Lehne in der Trennwand abgesehen werden musste. Alternativ wurde ein Neukonzept mit integrierbarem Gesamtsitz/Lehnenaufbau ausgearbeitet. Ziel war es, die Stehsitzfläche durch Austauschbarkeit in einen Notsitz zu verwandeln und damit eine Schnellwechselfunktion zu implementieren. Die Notwendigkeit dieses Alternativkonzeptes war mit einem Mehraufwand

verbunden, der einerseits zu einem Terminverzug bei der Fertigstellung des Interieurs und somit auch zu einem Verzug beim Aufbau des Gesamtfahrzeugs führte.

Joystick

Im Rahmen des Arbeitspaktes wurde die Entwicklung der Hard- und Software für den Drivestick durchgeführt. Der Drivestick wurde an das Gesamtdesignkonzept des EmiL angepasst. Der Brettaufbau des Drivesticks konnte funktionsfähig ins Fahrzeug integriert werden.

Mit iPad® und iPhone® wurde ein Bedien- und Anzeigekonzept umgesetzt. Die Kommunikation vom Fahrzeug zum iPad® erfolgt über WLAN. Die Kommunikation zwischen dem iPhone und dem Fahrzeug konnte nicht durch WLAN umgesetzt werden. Daher wurde eine Kommunikation per Dongle über das Ortungsprotokoll in Kombination mit einem lokalen WLAN aufgebaut. Die sonstige Kommunikation im Fahrzeug erfolgt über CAN (zum Fahrzeug), Ethernet (Rechner untereinander) und Funk (Fahrerortung). Für die Fahrerortung wurde für den Postboten ein Sender als Eigenbau entwickelt. Das ursprünglich gewählte Ortungsverfahren hat sich als zu ungenau und somit untauglich herausgestellt. Es wird daher ein alternatives Ortungssystem ergänzt durch eine intelligente Sensorfusion mit einer Inertialeinheit beim Sender eingesetzt.

Schnellöffnungstür

Die Schnellöffnungstür wurde zunächst als 1:1 Modell umgesetzt, welches in Versuchen einige Herausforderungen offengelegt hat. Aufgrund der Integration von Crashverstärkungen war das Gewicht der Tür zunächst höher als erwartet. Weitere Schwierigkeiten offenbarten sich bei der exakten Ansteuerung der ersten Türbewegung beim Öffnen. Der hintere Teil der Tür muss 23 mm ausfahren, um den vorderen Teil der Tür aufnehmen zu können. Die vorgesehenen Spindelmotoren erfüllten die Anforderungen präziser Positionierung bei der Ansteuerung nicht und wurden durch andere Motoren ersetzt.

Die große Komplexität der Doppelschiebetür erforderte eine Erprobung, die parallel zur Auskonstruktion stattfinden konnte und kurzfristige Aussagen zur Machbarkeit von Lösungsideen machte. Dazu wurde ein Kinematikmodell aus ITEM-Profilen aufgebaut. Durch die Simulation des Türgewichtes mittels Ballastierung konnte die Mechanik weitgehend erprobt werden. Verspannungen der hinteren Tür zeigten beispielsweise, dass beim Aufschwenken auf einen oberen Antrieb verzichtet werden kann, aber eine Türführung unabdingbar ist. Die Konstruktion der drei Rollenwagen, welche die hintere Tür führen, konnte so abgeschlossen werden. Auch der Antrieb für das Ein- und Ausfahren der vorderen Tür aus der hinteren wurde somit zügig umgesetzt.

Größere Schwierigkeiten bestanden in der exakten Positionierung der hinteren Tür beim Ein- und Ausfahren der vorderen Tür. Diese Übergabeposition muss sowohl im Öffnungsprozess als auch im Schließprozess millimetergenau getroffen werden, andernfalls fluchten die Führungsschienen der vorderen Tür nicht zueinander und die Rollenführung blockiert.

Erst durch die Ausgestaltung der Zuziehhilfen in Form von Kurvenbahnen konnte die sichere Positionierung gewährleistet werden. Die hintere Tür wird nun am hinteren Rand mittig und am vorderen Rand oben und unten mittels Kurvenbahnen in den Positionen Geschlossen, Übergabe und Aufschwenken gehalten.

Die Zuziehhilfe am vorderen Rand der vorderen Tür wurde mehrmals umkonstruiert, um letztendlich den Schließablauf (1. Schloss schließen / 2. Tür in die Dichtung ziehen) in geforderter Qualität zu gewährleisten.

Neben der Mechanikentwicklung wurde das Kinematikmodell intensiv durch die Elektronikentwicklung genutzt. Nach dem Einrüsten der Motoransteuerung

1. vordere Tür ein-, ausfahren
2. hintere Tür aus-, einschwenken

3. hintere Tür zurück-, und vorfahren
4. 3x Zuziehhilfe hintere Tür
5. 1x Zuziehhilfe vordere Tür

wurden die Anfahr- und Abbremsrampen der Bewegungsabläufe erprobt. Positionsschalten bestimmen die Endpositionen und Wechsellpositionen von Höchstgeschwindigkeit zu Rampengeschwindigkeit. Die Ansteuerung muss sichere Abläufe gewährleisten, da eine Beschädigung der lackierten Kunststoffteile der Tür Schäden hervorrufen würde, welche den gesamten Projektablauf gefährdet hätten. Zusätzlich musste der Einklemmschutz am vorderen Rand der vorderen Tür implementiert und erprobt werden.

Die Öffnungsgeschwindigkeit war für einen reibungslosen Bewegungsablauf des Zustellers zunächst nicht ausreichend. Als wichtigster Prozess im Rahmen der Türentwicklung ist daher die Optimierung der Bewegungsgeschwindigkeit zu sehen. Die Pausenzeiten zwischen den Einzelbewegungen mussten möglichst auf Null gesetzt und die Einzelgeschwindigkeiten maximiert werden. Erst intensive Erprobungen im Mehrschichteinsatz haben diesbezüglich ein zufriedenstellendes Ergebnis gebracht.

Den folgenden Schritt stellt die Implementierung der entwickelten und erprobten Elektronik mit Aktoren und Software in den EmiL dar. Die in der Zwischenzeit weiterentwickelte Mechanik im EmiL hat dabei einige Anpassungen erfordert, durch langsames Steigern der Bewegungsgeschwindigkeit konnte jedoch ein sehr gutes Ergebnis erzielt werden. Erste Simulationen der Arbeitsabläufe im Zustellprozess haben gezeigt, dass das Ziel eines ungehinderten Bewegungsablaufes erreichbar ist.

Da die Doppelschiebetür als Bauteilmodul für einen schnellen Ein- und Ausbau in den EmiL ausgelegt ist, konnten Fahrzeugerprobungen auch ohne Schiebetür durchgeführt werden. Somit wurde die für Konstruktion und Bau verfügbare Zeit erweitert um größere Verzögerungen zu vermeiden.

Regendach

Zusätzlich zu den ursprünglich im Arbeitsplan vorgesehenen lieferdienstspezifischen Komponenten wurde auf Wunsch der DP DHL ein Regendach am Fahrzeug angebracht. Dies soll beim Öffnen der Hecktüren die Ladung vor möglicher Nässe schützen. Aus diesem Grund wurden verschiedene Konzepte erarbeitet, z.T. konstruiert und bewertet. Die Entscheidung ist schließlich auf ein ausfahrbares Dachsegment gefallen.

Dazu wird der hintere Teil des Daches doppelschalig ausgeführt, wobei der obere Teil beweglich angeordnet ist. Über Führungsschienen wird das Regendach nach hinten und oben ausgefahren. Der Antrieb erfolgt über einen zentralen Elektromotor, Zahnräder und –stangen, sowie tragende Führungsschienen. Der Kraftbedarf für den Antrieb der Gleitschienen war erheblich höher als erwartet, so dass Motor und Kardangelen größer dimensioniert werden mussten.

Für die Ansteuerung wird eine Lösung mit Gestenerkennung unterhalb des Stoßfängers realisiert. Weiterhin kann der Regenschutz vom iPad® am Fahrerplatz aus angesteuert werden.

Messfahrten für die Erprobung der lieferdienstspezifischen Komponenten fanden in verschiedenen Wohngebieten statt.

Aufbau Gesamtfahrzeug

Der Aufbau des Demonstrationsfahrzeugs EmiL wurde durch den Sonderfahrzeugbau des Zuwendungsempfängers durchgeführt. Hierzu gehörte die Betreuung und Beratung während der Konzept- und Konstruktionsphase, was eine Kapazitätsplanung und –bereitstellung für Konstruktion und Aufbau sowie die interne und externe Materialbeschaffung und Teilebereitstellung umfasste. Da das aufzugebaute Fahrzeug zahlreiche Innovationen beinhaltet,

ist konzeptbedingt eine Übernahme von bereits in anderen Fahrzeugprojekten verbauten Teilen kaum möglich. Viele Bauteile mussten also bei Lieferanten neu angefragt und bestellt werden. Beginnend mit der Konzeptphase wurde in diesem Arbeitspaket der Aufbau des Gesamtfahrzeuges geplant. Hierbei zeigte sich früh, dass die Konzeptphase für die Größenordnung des Fahrzeugprojekts sehr ehrgeizig geplant wurde. Dies wurde einerseits bei der Sicherheits- und Crashberechnung sowie bei der doppelten Schnelllaufschiebetür, die sich im ersten Versuchsaufbau als instabil erwies, deutlich. Eine Überarbeitung des Konzepts in mehreren Schritten wurde deshalb notwendig. Das Konzept wurde in mehreren Testaufbauten überarbeitet und angepasst, um die notwendige Stabilität zu gewährleisten. Auch die Konzepte anderer Komponenten wurden mehrfach überarbeitet, hierzu zählen die Flashlights, Scheinwerfer, Regale im Laderaum, VoWa-Package, Karosserie, Crashmaßnahmen und diverse Designwünsche. Aufgrund ihres großen Volumens stellte die Integration der FollowMe-Komponenten in das Fahrzeug eine besondere Herausforderung dar. Eine Seriennähe ist bei dieser Komponente daher noch nicht gegeben.

Mit Beginn des Fahrzeugaufbaus wurden kontinuierlich sämtliche Komponenten in den Prototypen eingebracht:

- Verbau des entwickelten kundenspezifischen Kabelbaums
- Verbau der entwickelten Komponenten für die Funktionen zum autonomen Fahren
- Auf- und Verbau der umfangreichen Kinematik und benötigten Außenhautteile der doppelten Schnelllaufschiebetür
- Anpassung und Verbau der Komponenten für das ausfahrbare Regendach
- Verbau aller Lichtelemente inklusive dem für die Funktion "FollowMe" benötigten Flashlight

Alle verbauten Komponenten entsprechen dem geplanten Ergebnis.

Die Aufbauphase war auf Grund von einigen Änderungen, die speziell das Türkonzept betrafen, für die Aufbau- und Planungsmannschaft sehr arbeitsintensiv. Zudem ist die Übernahme von COP-Teilen¹ in einem so umfangreichen und technikbasierten Projekt kaum möglich, was sich vor allem im Kosten- und Zeitfaktor gezeigt hat. Auf Erfahrungen im Aufbau komplett neu entwickelter Komponenten kann ebenfalls nicht zurückgegriffen werden. Eine große Herausforderung stellte die fehlende B-Säule sowie die große Türöffnung (größer als die Crashbarriere) dar. Um eine optimale Insassen- und Batteriesicherheit zu gewährleisten, wurden iterative Geometrieänderungen vorgenommen. Diese können nach jetzigem Stand als Basis für weitere identische Fahrzeugkonzepte dienen und stellen somit ein wichtiges Ergebnis dar.

Ein während der Aufbauphase aufgetretenes Problemfeld stellte der fehlende Freigang zwischen den Bauteilen der Schiebetür und der Karosserie dar. Lösungen wurden direkt vor Ort gefunden und umgesetzt. Weiterhin kam es an einigen Laminatteilen wegen Nichtbeachtung der aufzubauenden Farbschichten zu Kollisionen mit angrenzenden Bauteilen, die u.a. in Handarbeit behoben werden mussten. Auch nicht korrekt angelieferte Bauteile von externen Lieferanten haben an einigen Stellen zu Änderungen der Zeitplanung geführt. Durch notwendige Nacharbeiten oder Neubestellungen wurde der Aufbau z.T. verzögert. Durch gezielte Auswahl von Lieferanten, die eine zeitnahe Bereitstellung der Bauteile gewährleisten konnten, konnten Verzögerungen teilweise wieder eingeholt werden.

¹ COP: Als Gleichteile (engl. COP = Carry Over Parts) werden Bauteile bezeichnet, die unverändert in verschiedenen Produkten verwendet werden können, jedoch keine Normteile sind.

Teilprojekt 6 – Verbreitung und Verwertung der Ergebnisse / 2. Generation

Die Präsentation des Fahrzeuges vor Öffentlichkeit wird anders als im Arbeitsplan vorgesehen erst im November 2011 stattfinden. Vorausgehend wird das Fahrzeug vom TÜV abgenommen und für den Straßenverkehr zugelassen. Für eine deutliche Hervorhebung der innovativen Fahrzeugkomponenten werden Piktogramme an der Fahrzeugaußenhülle angebracht, die alle neuen Funktionen repräsentieren und deutlich kennzeichnen.

Für die Erprobung ist zunächst ein einmonatiger Versuch mit dem Projektpartner DP DHL vorgesehen. Dieser wird als Einsatzzyklus je eine Tagesschicht umfassen. Geladen wird das Fahrzeug über Nacht im Betriebshof (vorhandene Ladesäulen vom Caddy Flottenversuch). 2 der 3 ausgewählten Fahrer wurden bereits für den Umgang mit Hochvoltkomponenten geschult und erhielten eine Fahrzeugeinweisung. Diese Maßnahmen werden unmittelbar vor Erprobung zur Auffrischung wiederholt. Im Rahmen des Feldversuches wird zudem Filmmaterial für eine weitere Verbreitung der Ergebnisse entstehen.

Während der Erprobung mit dem Demonstrationsfahrzeug wird ein fahrzeuginterner Datenlogger Elektronikdaten erfassen. Zudem werden die logistischen Routen und Prozesse dokumentiert. Um Erkenntnisse über die Anwenderfreundlichkeit des Fahrzeugs unter den täglichen Zustellbedingungen im KEP-Einsatz zu erlangen, werden Nutzerbefragungen durchgeführt. Die Schwerpunkte der Untersuchungen werden unter unterschiedlichen Gesichtspunkten beleuchtet und ein Fragebogen erstellt, der die technischen sowie nutzerspezifischen Erfahrungen analysiert.

Alle Auswertungen werden anschließend dokumentiert. Mit Hilfe der Erkenntnisse aus dem praktischen Einsatz werden Konsequenzen für Abänderungen in der Auslegung des Elektroantriebs sowie der innovativen logistischen Komponenten und der Fahrzeugstrukturen gezogen. Hieraus können Schlussfolgerungen für einen möglichen zukünftigen Dauereinsatz entstehen.

Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan

E-Mobilität 1.Generation

In Teilprojekt 1 – Erprobung E-Mobilität / 1. Generation war vorgesehen, eine Erprobungsflotte von 10 Volkswagen Caddy mit langem Radstand auf Elektrotraktionsbasis aufzubauen. Da sich die Fahrzeugvariante mit kurzem Radstand im Laufe der Konzeptphase als sinnvolle Ergänzung herausgestellt hat, wurde die Flotte je zur Hälfte mit den verschiedenen Radständen aufgebaut. Die ursprüngliche Zielsetzung ist davon unberührt geblieben.

Im Zuge der Konzeptphase zur Vorbereitung der Flottenfahrzeuge war zunächst 1 zusätzliches Konzeptfahrzeug aufgrund der zweiten Variante eingeplant. Um sämtliche Sicherheits- und Funktionsprüfungen abzusichern, mussten jedoch 4 zusätzliche Konzeptfahrzeuge aufgebaut werden. In Summe wurden daher 8 an Stelle der eingeplanten 3 Konzeptfahrzeuge benötigt.

Im ersten Halbjahr 2011 wurden die Caddy blue-e-motion bzgl. ihrer Funktionalität und ihres Crashverhaltens erprobt. Da immer neue technische Lösungen und elektrotraktionsspezifische Komponenten für Fahrzeuge aus den Fachbereichen in das Projekt eingesteuert wurden, konnten diese verbesserte Eigenschaften der Fahrzeuge sicherstellen und somit die Funktionalität und die Fahrzeugsicherheit der E-Caddys erhöhen. Einige Arbeitspakete wurden aus diesem Grund länger als in der Arbeitsplanung vorgesehen bearbeitet. Die Übergabe der Fahrzeuge an den Projektpartner DP DHL erfolgte Anfang Juli 2011 und ermöglichte eine 3-monatige Erprobungsphase.

E-Mobilität 2.Generation

Der ursprüngliche Zeitplan musste aufgrund von Sicherheitsanforderungen und anfallenden Änderungen im Aufbau kontinuierlich angepasst werden. Einige Komponenten und Konstruktionen wurden während der Konstruktions- und Aufbauphase nachträglich angepasst, umgebaut oder auch neu beschafft. Nachträglich eingebrachte Funktionen und Features machten den Aufbau von Demonstratoren und Hilfskonstruktionen notwendig, welche in der Arbeits- und Kostenplanung ursprünglich nicht vorgesehen waren. Durch die Anforderung der Straßenzulassung des Fahrzeugs wurden die Anforderungen an die Crashesicherheit und damit der konstruktive Aufwand deutlich erhöht. Neben dem zeitlichen Verzug entstanden Zusatzkosten für Konstruktion und Simulation.

Als wesentliche Herausforderung stellte sich auch die Konzeptionierung der Doppelschiebetür dar, deren Komplexität die Planungen weit übersteigt.

Eine Fertigstellung des Fahrzeugs bis Ende des geförderten Projektzeitraums war durch die verzögerte Rahmenauslegung nicht möglich. Aufgrund der Craschanforderungen und dem abzuleitenden Fahrzeugrahmen (Chassis), der in einem iterativen Prozess bestimmt wurde, kam es zu Verzögerungen. Ursprünglich vorgesehen war ein 1:1 Aggregateträger auf der Basis des EmiL. Ersetzt wurde dieser durch 3 Ersatzaggregateträger:

- Caddy für Erprobung FollowMe
- Caddy für Erprobung Radnabenantrieb
- Passat für Erkennung FollowMe / DriveStick

Trotz dieser Ersatzfahrzeuge und Mehrarbeit konnte der Verzug nicht vollständig aufgeholt werden. Aus diesem Grund musste die öffentliche Vorstellung des EmiL verschoben werden.

Aufgrund des Entfalls des 1:1 Aggregateträgers entfiel der Aufbau des zweiten Batteriesystems. Es wurde ein Batteriesystem aufgebaut, welches im Demonstrationsfahrzeug verbaut wurde. Zur

Sicherstellung der Funktionalität wurden zusätzliche Austauschmodule vorgesehen, die im Falle einer Batteriestörung gewechselt werden können.

Mit dem Regendach wurde eine weitere Komponente entwickelt und in das Fahrzeugkonzept integriert, welche in der ursprünglichen Arbeitsplanung nicht vorgesehen war. Dies erfolgte auf Wunsch des Projektpartners DP DHL und schützt die Ladung beim Öffnen der Hecktüren vor möglicher Nässe.

Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

Vielfach stehen die OEMs noch am Anfang der Entwicklung von reinen, durch Elektrotraktion angetriebenen Fahrzeugen, die zur zukünftigen Abwicklung des urbanen Güter- und Dienstleistungsverkehr eingesetzt werden sollen. Derzeit sind viele Hersteller mit dem Aufbau und der Erprobung einiger möglicher Prototypen beschäftigt. So spielen neben den zu prüfenden Sicherheitsaspekten in E-Fahrzeugen vor allem wirtschaftliche Fragestellungen nach einer möglichst kostengünstigen Fertigung und einem dadurch bedingten angemessenen Marktpreis eine wichtige Rolle.

Konkurrenz: Nutzfahrzeugkonzepte anderer Hersteller

Die weltweit führenden Automobilhersteller erproben und entwickeln neben möglichen Elektrofahrzeugen für Privatnutzer (Bsp. Pendlerfahrzeuge, innerstädtische Minimalmobile) ebenso Konzepte für den gewerblichen Transportverkehr. Als ein Schwerpunkt für die innerstädtische Mobilität spielt das Thema „Zustell- und Verteilerdienste“ eine bedeutende Rolle im Feld der Elektromobilität. Vor allem internationale Fahrzeughersteller entwickeln verstärkt elektromobile Nutzfahrzeuglösungen. Um im bedeutenden Markensegment international konkurrenzfähig zu bleiben, verstärken auch die nationalen OEMs ebenfalls ihr Engagement in diesem Versuchsfeld. Eine Implementierung innovativer Lieferdienstspezifischer Komponenten bei anderen OEM ist dem Zuwendungsempfänger nicht bekannt.

Tabelle 7: Nutzfahrzeugkonzepte anderer Hersteller

| Hersteller | Modell | Reichweite | Wendekreis | Max. Geschwindigkeit | Bemerkung |
|-------------------------|--------------------------|---------------|------------|----------------------|--|
| FIAT ² | Fiorino | 110-120 km | 10,15 m | 80-100 km/h | Kastenwagen |
| Axiom-Mega ³ | eCity pro | 60 km | 4 m | 64 km/h | Kleinwagen, Botenfahrten |
| Ford ⁴ | Transit Connect Electric | 130 km | | 120 km/h | 150 Fahrzeuge bei nordamerikanischen Kunden im Einsatz, 30 Fahrzeuge bei der norwegischen Post |
| Mercedes ⁵ | Vito E-CELL | 130 km | | 80 km/h | Europaweit 350 Fahrzeuge im Einsatz |
| Nissan ⁶ | NV200 | Keine Angaben | | | Flottenversuch japan. Post |
| Renault ⁷ | Kangoo Z.E. | 160-170 km | | 130 km/h | |

Im Rahmen des Projektes „colognE-mobil“ als Teil der Modellregion Rhein-Ruhr wurden durch Ford zehn batteriebetriebene Ford Transit, sieben Kastenwagen, ein Pritschenwagen sowie zwei

² <http://www.elvec.de/pkw-transporter/fiat-fiorino.php>

³ <http://www.elvec.de/pkw-transporter/e-city-pro.php>

⁴ <http://www.pm-magazin.de/r/automobiles/ford-transit-mit-batterieantrieb-f%C3%BCr-54000-%E2%82%AC>

⁵ <http://www.grueneautos.com/2011/10/mercedes-benz-vito-e-cell-auf-der-post-expo-in-stuttgart-vorgestellt/>

⁶ <http://www.grueneautos.com/2011/08/nissan-testet-nutzfahrzeug-nv200-mit-elektroantrieb/>

⁷ <http://www.grueneautos.com/2011/05/stadtwerke-krefeld-erproben-elektrotransporter-renault-kangoo-ze/>

Personentransporter unterschiedlichen Kunden übergeben. Im Mittelpunkt des Modellversuchs stand die innerstädtische Integration von Elektromobilität.⁸

Hersteller Nissan testet seit Juli 2011 das Nutzfahrzeug NV200 mit Elektroantrieb in einem Feldversuch mit der japanischen Post. Ähnliche Tests sind mit weiteren Unternehmen auch in Europa geplant.⁹

Pläne für die Einführung eines Minivans „Town & Country“ mit Elektroantrieb durch den US-amerikanischen Automobilkonzern Chrysler wurden scheinbar aufgegeben.¹⁰

Die o.g. Fahrzeugprojekte gehen zumeist nicht über die Integration eines elektrischen Antriebs in konventionelle Fahrzeugstrukturen hinaus. Das hier vorliegende Projekt hat im Gegensatz dazu mit einer vollständigen Neuentwicklung eines elektromobilen Nutzfahrzeugs weitere Möglichkeiten der Elektromobilität ausgeschöpft. Durch den Radnabenantrieb konnte ein tiefer Ladeboden realisiert werden, der das Ladevolumen maßgeblich erhöht. Der Zugang zum Laderaum ist zudem wesentlich breiter als bei bekannten Nutzfahrzeugen. Mit diesen Eigenschaften können Zustellprozesse effizienter gestaltet werden. Mit dem elektromechanischen Lenkgetriebe konnte der Lenkradeinschlag vergrößert werden. Dem Zuwendungsempfänger sind zudem keine Fahrzeugkonzepte bekannt, die innovative Lösungen wie den FollowMe bzw. ComeToMe-Betrieb, einen Schnelleinstieg oder Stehsitz integrieren.

⁸ <http://www.stadt-koeln.de/1/presseservice/mitteilungen/2010/04200/>

⁹ <http://www.grueneautos.com/2011/08/nissan-testet-nutzfahrzeug-nv200-mit-elektroantrieb/>

¹⁰ <http://www.reuters.com/article/2009/11/07/us-chrysler-ev-idUSTRE5A605N20091107>

Zukunftsansichten und weiterer F&E Bedarf

Die Volkswagen AG und ihre Projektpartner wollen mit der Umsetzung des Projektes ihren Beitrag zu dem von der Bundesregierung beschlossenen Konjunkturpaket II und einen ersten Schritt auf dem Weg zur marktfähigen Einführung von reinen Elektrofahrzeugen im Zustelldienst im Rahmen des nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität leisten. Dieser legt eine Zielsetzung von einer Million zugelassener Fahrzeuge im Jahr 2020 zugrunde.

Die Ergebnisse des Flottenversuches werden unmittelbar in die weitere Fahrzeugentwicklung einfließen. Hier konnten wertvolle Erkenntnisse sowohl für die Gestaltung der Fahrzeuge als auch die flankierenden Maßnahmen gewonnen werden. Ein Fahrzeuglastenheft entsprechend der Handlungsfelder für zukünftige Lieferfahrzeuge im Zustellverkehr ist in Erstellung. Mit den ersten Erfahrungen beim Kunden konnte die Reife des Entwicklungsstands der Fahrzeuge erweitert werden. Kurzfristig fließen die Ergebnisse in weitere Flottenversuche zur Erprobung der E-Mobilität ein. Ein vorgesehener Flottenversuch in Hannover wird zusätzliche Freiheitsgrade hinsichtlich der Verwendbarkeit und den Strecken bieten. Hier werden elektromobile Fahrzeuge bei unterschiedlichen Partnern und variierenden Strecken in einem anderen gewerblichen Umfeld eingesetzt. Weitere Untersuchungen z.B. hinsichtlich des Winterbetriebs der Fahrzeuge lassen sich damit anschließen.

Das Demonstrationsfahrzeug EmiL wird zunächst in Feldversuchen mit der DP DHL erprobt. Dabei sollen wichtige Erkenntnisse hinsichtlich des Elektroantriebs sowie der Praktikabilität der innovativen Komponenten im täglichen Zustellverkehr gewonnen werden.

Einzelne Komponenten des Prototypen werden weiteren Untersuchungen unterzogen werden. Untersuchungen auf Machbarkeit und Sicherheit werden für das Sitzkonzept, die Postboxenbefestigung (Haltekonzept) und das Schiebetürenkonzept weiterhin fortgeführt. Für einen möglichen Serieneinsatz müssen zahlreiche Komponenten in ihrer Entwicklung fortgeführt werden, so ist z.B. die FollowMe Technik aufgrund des benötigten Bauraums noch nicht serienfähig. Eine erweiterte Umfelderkennung könnte den Funktionsumfang dieser Komponente zudem vergrößern. Weitere synergetische Einsatzmöglichkeiten werden hier überprüft. Auch der Antrieb muss durch neue Technologie ergänzt werden, um sämtliche Anforderungen an ein Serienfahrzeug zu erfüllen. Mit einer Antriebsoptimierung wird auch eine weitere Verbesserung der Fahrperformance angestrebt werden. Hier bietet sich weiteres F&E-Potenzial für das Fahrzeugverhalten beim Anfahren, Kräftewirkungen und bei Bremsvorgängen. Neben weiteren Fahrverhaltensabstimmungen wäre es zusätzlich möglich, einen Bergfahrasistenten zu integrieren.

Für die Lenkung, die einen Lenkeinschlag von 65° ermöglicht, steht zum jetzigen Zeitpunkt nur ein akustisches Warnsignal bei zu starkem Einschlag zur Verfügung. Eine darüber hinausgehende kraftmäßige Einwirkung durch Gegendruck ist erstrebenswert.

Eine wirtschaftliche Verwertung des hier entwickelten Ergebnisses ist vorgesehen. Die Volkswagen AG hat als führender europäischer Automobilhersteller die Möglichkeit, dass Forschungsfahrzeuge über ihre Erprobung und Entwicklung hinaus zu einer Marktreife gelangen. Das Fahrzeug verbindet die komplementären Nutzerkriterien der ökologischen Sparsamkeit mit dem Aufbau eines effizienten Nutzfahrzeugs. Die Untersuchungen zu einem serientauglichen Aufbau eines Elektro-Nutzfahrzeugs sind damit wesentlich fortgeschritten und werden weiter fortgeführt werden. Kunden und Nutzer der Fahrzeuge können zukünftig Wert auf umweltfreundliche und effiziente Fortbewegung genauso wie auf ein flexibles Nutzungssystem im täglichen Gebrauch eines Verteilerfahrzeugs legen. Im Rahmen des Projektes wurde somit die Basis für den Aufbau eines elektromobilen Liefer- und Zustellfahrzeugs geschaffen. Die Reduzierung der Zustellzeiten von Auslieferungsfahrzeugen könnte dazu beitragen die

Verkehrszeiten dieser Fahrzeuge zu minimieren und damit die ökologischen Belastungen in Innenstadtbereichen zu reduzieren.

Die Ergebnisse innerhalb des Projektes bezüglich des Aufbaus, der Fahreigenschaften der Elektrotraktion, der Klimatisierung/Konditionierung des Motor- und des Innenraums, der Bedienbarkeit von Elektrofahrzeugen sowie der Sicherheitsmerkmale der Batterie und des Unfallschutzes lassen sich auch auf weitere Forschungs- und Entwicklungsprojekte der Volkswagen AG hinsichtlich der Elektromobilität anwenden und übertragen.

Abschlussbericht der Hochschule für Bildende Künste

Kurze Darstellung der Aufgabenstellung

Das Einsatzprofil von Fahrzeugen im innerstädtischen Verteilerdienst und Kundenservice ist geprägt durch Kurzstreckenfahrten sowie häufiges Anfahren und Bremsen auf stark ausgelasteten Straßen. Verbrennungsmotoren erreichen bei diesen Anforderungen selten ihren optimalen Betriebsmodus, werden verschleißintensiv beansprucht und weisen einen hohen Kraftstoffverbrauch in Verbindung mit hohen Abgas- und Lärmemissionen auf. Dies hat nicht nur negative Folgen auf den global wachsenden Lebensraum Stadt, sondern belastet auch die Kostenseite der die Fahrten ausführenden Unternehmen. In Kombination mit steigenden Ölpreisen und restriktiveren Zufahrtsbedingungen für Innenstädte wird der wirtschaftliche Veränderungsdruck noch zunehmen und sich die Wettbewerbsfähigkeit der Elektromobilität verbessern.

Vor diesem Hintergrund wird ein signifikantes Potenzial für den Einsatz elektrobetriebener Nutzfahrzeuge im innerstädtischen Dienstleistungsverkehr attestiert.

Gegenüber verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugen weisen Elektrofahrzeuge die Vorteile von lokal weit geringeren Schadstoff- und Lärm-Emissionen auf. Sie sind antriebsseitig für einen stark intermittierenden Betrieb sehr viel besser geeignet und die genauere Regelbarkeit des elektrischen Antriebes ermöglicht einen höheren Fahrkomfort. Eine ausschließlich inkrementelle Weiterentwicklung auf der Basis bestehender Nutzfahrzeugmodelle, also der solitäre Austausch von Verbrennungs- durch Elektromotor, kann die aus dem neuen Antriebskonzept resultierenden Potenziale jedoch nur teilweise heben. Stattdessen war es das Projektziel, durch ganzheitlich innovative Fahrzeugphilosophien die Vorteile des antriebsseitigen Systemwechsels voll auszuschöpfen.

Der Markt der kleinen Nutzfahrzeuge ist extrem kostengetrieben. Die für die eigenständige Fahrzeugarchitektur notwendigen spezifischen Lösungen lassen sich nur bei hinreichend großen Stückzahlen mit entsprechenden Kostenvorteilen umsetzen. Es besteht damit großer Bedarf, weitere Anwendungsgebiete eines elektromobilen kleinen Nutzfahrzeuges zu finden und dieses zu gestalten.

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das hier beschriebene Vorhaben wurde in einem Konsortium mit der Forschung der Volkswagen AG und der DHL Innovations & Solutions durchgeführt. Die genannten Partner haben sich auf die Entwicklung eines innerstädtischen Zustellfahrzeuges konzentriert, Aufgabe der HBK war es, für dieses durch sein Package beschriebene Fahrzeug Detaillösungen zu erarbeiten und weitere Einsatzmöglichkeiten bei innerstädtischen Dienstleistungen zu finden. Das Forschungsvorhaben wurde über einen Zeitraum von 16 Monaten bearbeitet, insbesondere in den Recherche- und Feldforschungsphasen fand ein intensiver Austausch mit den Konsortialpartnern statt. Ausgangspunkt waren die Erfahrungen aus der Zusammenarbeit mit der VW AG in vorangegangenen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben und ein eigenes Repertoire zur multidisziplinären, wissenschaftlich fundierten Entwicklungsarbeit.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde in der Planung in die aufeinander aufbauenden, verzahnten und in einzelnen Arbeitspaketen definierten Bereiche

Recherche,

Feldforschung,
Konzepterstellung,
Gestaltung und
Begleitforschung

aufgeteilt und von einzelnen Teams bearbeitet und ist detailliert im Antrag beschrieben. Der tatsächliche inhaltliche und organisatorische Ablauf entsprach der Planung, musste jedoch aufgrund einer späten Beauftragung stark verdichtet werden.

Wissenschaftlich und technischer Stand und bekannte Konstruktionen

Kern des Forschungsvorhabens ist die Erstellung von Fahrzeugkonzepten und Gestaltung auf Basis einer Bedarfsanalyse in Form von Recherchen und Feldstudien. Mit dieser Aufgabenstellung wird implizit festgestellt, dass entsprechende Lösungen noch nicht existieren. Es gibt jedoch eine Vielzahl von Ansätzen, spezifische Fahrzeuglösungen für elektrische Antriebe zu finden. Die zum Zeitpunkt des Vorhabensstarts bekannten neueren Fahrzeugkonzepte sind in Kapitel 4.1 der Projektdokumentation dargestellt. Mobilität findet immer in einem sozialen Kontext unter technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen statt. Demzufolge war wichtigstes Arbeitsmittel in diesem Vorhaben die enge transdisziplinäre Zusammenarbeit von Designern, Soziologen, Psychologen und Ingenieuren. Diese Zusammenarbeit wird grundsätzlich z. B. von Mittelstraß (Mittelstraß, Jürgen, 2005: Methodologische Fragen der Inter- und Transdisziplinarität – Wege zu einer praxisstützenden Interdisziplinaritätsforschung in Technikfolgeabschätzung, Theorie und Praxis Nr. 2, 14. Jahrgang – Juni 2005, S. 18-23) beschrieben, ist in ihrer Ausprägung und Anwendung auf Mobilitätslösungen jedoch spezifisch und einzigartig (Produktinnovation und Kostenkontrolle durch multidisziplinäre Kooperation, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Glatzel, Dipl.-Des. Mathias Wiehle, 5. Symposium für Technisches Design, Dresden 2010). Die einzelnen Disziplinen greifen auf ihr jeweiliges Instrumentarium zurück.

Verwendete Fachliteratur

Der wissenschaftliche Stand der einzelnen Disziplinen sowie die Sekundärliteratur werden mit den in der Dokumentation zitierten 198 Literaturstellen wiedergegeben.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Projekt haben wir mit den benannten zwei Konsortialpartnern VW und DHL sowie zu Recherchezwecken mit zwei Handwerksbetrieben, einem Sozialdienst und einem Pharmalogistikunternehmen zusammengearbeitet.

Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse

Die eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse und des voraussichtlichen Nutzens ist in der inhaltlichen Dokumentation zum Forschungsvorhaben wiedergegeben.

Die Kapitel 3 (Angaben zu den Personalkosten) und Kapitel 4 (Investitionen) werden gesondert erstellt.

Abschlussbericht der Deutsche Post DHL Research and Innovation GmbH

Einleitende Darstellung

In Zeiten des globalen Klimawandels und knapper Ressourcen an fossilen Brennstoffen steht der Verbrennungsmotor als bislang dominierendes Konzept im automobilen Antriebsstrang zunehmend in der Kritik. Seine Abhängigkeit von den fossilen Kraftstoffen sowie seine hohen Abgasemissionen zwingen vor dem Hintergrund strikter werdender legislativer Rahmenbedingungen und steigender Kraftstoffpreise die Fahrzeughersteller und –nutzer zur Umorientierung und Neuausrichtung ihrer Antriebsstrangstrategie.

In diesem Kontext gewinnt die Entwicklung alternativer Antriebskonzepte massiv an Bedeutung. Hinsichtlich zukünftiger Anforderungen an Fahrzeugflotten, insbesondere den Aspekten der Verbesserung der lokalen Luftqualität in Ballungsräumen und der Reduzierung der Treibhausgasemissionen, verspricht insbesondere im gewerblichen Bereich der Elektroantrieb eine zentrale Rolle in der zukünftigen Antriebsstrangentwicklung einzunehmen. Der hier sehr intensive Start-Stopp-Verkehr mit seinem ausgeprägten Teillastbetrieb stellt für konventionelle Verbrennungsmotoren einen denkbar ungünstigen Betriebspunkt mit einem geringen Wirkungsgrad und dementsprechend hohen Abgasemissionen dar.

Elektrofahrzeuge bieten hier mit ihrem über weite Drehzahlbereiche konstant günstigem Wirkungsgrad sowie ihrer lokalen Emissionsfreiheit ein deutlich bedarfsgerechteres Betriebsverhalten. Darüber hinaus kommt den klassischen Nachteilen der E-Fahrzeuge, der geringen Reichweite und der geringen Höchstgeschwindigkeit, in den kurzen Stadtzyklen eine untergeordnete Bedeutung zu. Somit ist die Elektrifizierung des Antriebsstranges, wie im Rahmen des vorliegenden Förderantrages angestrebt, ein entscheidender Baustein für das Erreichen zukünftiger Nachhaltigkeitsziele im Wirtschaftsverkehr.

Aufgabenstellung

Das Ziel des Projektes EmiL gliederte sich in zwei Teilbereiche. Zum Einen wurde die Flottenprobung von zehn auf batterieelektrischen Antrieb umgerüsteten konventionellen Fahrzeugen (Volkswagen Caddy) innerhalb der Zustellung angestrebt, zum Anderen die Konzeption und Erprobung eines auf den Anwendungsfall „Warenwirtschaftsverkehr“ optimierten Neufahrzeugkonzepts mit rein batterieelektrischem Antrieb. Dabei sollten Erkenntnisse gewonnen werden einerseits über die Potenziale und Implikationen der Einführung von Elektrofahrzeugen in gewerblichen Flotten generell, als auch dezidiert über die Mehrwerte, die sich durch Neufahrzeugkonzepte gegenüber herkömmlichen Retrofit-Lösungen für die Einführung von Elektromobilität erschließen lassen.

Im Zentrum der Betrachtung standen hierbei neben der technischen Betriebsfestigkeit, der Nutzerfreundlichkeit und –akzeptanz und der Kostenanalyse insbesondere die Analyse der fahrzeugseitigen Einflüsse auf die betrieblichen Prozesse.

Aufgrund abweichender Nutzungsparameter von Elektrofahrzeugen gegenüber konventionellen Dieselfahrzeugen bestand die Möglichkeit, dass die Einführung batterieelektrischer Antriebssysteme mit deutlichen Veränderungen in den Arbeitsprozessen industrieller Anwender einhergeht. Hierbei konnten sich sowohl negative (bsp. Nutzlast) als auch, insbesondere bei der Gestaltung von Neufahrzeugen, positive Effekte erzielen lassen. Die dezidierte Analyse dieser Einflussparameter hinsichtlich ihrer Wirkung und Potenziale für die Einführung von Elektrofahrzeugen war daher mit Bestandteil des Projektes *EmiL*.

Eine Übersicht der wissenschaftlichen Arbeitsziele gibt

Tabelle 8. Eine detailliertere Darstellung der Inhalte der einzelnen Teilschritte gibt der Abschnitt *Planung und Ablauf des Vorhabens*.

Tabelle 8: Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele im Förderprojekt

| Übergeordnete Ziele | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutzerprofile im Wirtschaftsverkehr und optimale Einsatzbereiche für Elektrofahrzeuge erstellen, gekennzeichnet durch: <ul style="list-style-type: none"> • Optimales Gleichgewicht zwischen Zuladung und Reichweite • Einsatzfähigkeit in unterschiedlichen Fahrprofilen ohne betriebseinschränkende Auswirkungen • Maximale Konformität mit den betrieblichen Anforderungen der Geschäftstätigkeit • Maximale Potenzialausschöpfung der Vorteile des Elektroantriebes gegenüber den konventionellen Kraftstoffen | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Feldversuch im Wirtschaftsverkehr zur Erforschung des Verbundsystems Fahrzeugversuchsträger / Ladetechnik u.a. durchführen hinsichtlich <ul style="list-style-type: none"> • der Eignung von Elektrofahrzeugen für den Einsatz im Wirtschaftsverkehr • Techno-ökonomische Bewertung einer Retrofit-Lösung • Techno-ökonomische Bewertung eines völligem Neukonzeptes des Fahrzeugs in der 2.8t Klasse | |

Voraussetzungen der Projektdurchführung

Das Projekt EmiL gliedert sich in eine breite Initiative zugunsten der Einführung von Elektrofahrzeugen in Deutschland ein. Treiber der Entwicklung sind einerseits steigende fossile Kraftstoffpreise, die die Wettbewerbsfähigkeit von konventionellen Fahrzeugen zunehmend in Frage stellen. Andererseits zeigt sich ein wachsendes allgemeines Umweltbewusstsein verbunden mit der Forderung einer CO₂-Reduzierung zur Erhaltung des Klimas und einer Verbesserung der lokalen Luftqualität in Innenstädten. Beide Faktoren finden zunehmend Eingang auch in gesetzliche Regelungen.

Die Einführung von Elektrofahrzeugen stellt sowohl aus Entwickler- als auch aus Anwender-sicht einen Paradigmenwechsel dar. In der Vergangenheit wurden die konventionellen Antriebe intensiv erforscht und entwickelt sowie anwenderseitige Prozesse dezidiert auf deren Eigenschaften hin ausgelegt. Die Umstellung des Antriebs erfordert vor diesem Hintergrund sowohl einen Neuanfang auf Grundlagenbasis in den Entwicklungsbemühungen der Automobilindustrie, als auch eine grundlegende Analyse der Einsatzfähigkeit, Potenziale und Implikationen der neuen Technologie für den Anwendungsfall. In diesem Sinne befindet sich der Markt beim Thema Elektromobilität in einer Phase, in der eine Vielzahl von Grundsatzfragen zu klären ist, um eine erfolgreiche Marktverbreitung sicherzustellen.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Tabelle 9 gibt eine Übersicht der in den einzelnen Teilarbeitspaketen geplanten und durchgeführten Arbeitsinhalte. Die Inhalte sind über den Zeitraum der Projektdurchführung unverändert geblieben.

Tabelle 9: Inhalt Teilarbeitspakete

| TP 1 | TP 2 | TP 3 | TP 4 |
|---|--|---|--|
| Fahrprofilanalyse- und Fahrzeugkonzeption | Aufbau Ladeinfrastruktur Inbetriebnahme der E-Fahrzeuge | Flottenversuch | Projektcontrolling, -steuerung, -verwaltung |
| TP 1.1: Analyse zur Auswahl geeigneter Fahrprofile | TP2.1: Aufbau Ladeinfrastruktur | TP 3.1: Flottentest Fahrzeuge & Infrastruktur | TP 4.1: Teilprojektkoordination |
| TP 1.2: Erstellung eines Fahrzeugkonzept für den Warenverkehr | TP 2.2: Vorbereitung des Einsatzes von E-Fahrzeugen im Betrieb | | TP 4.2 Publikation der Projektergebnisse |
| | | | TP 4.3 Patent- und Schutzrechte |

Tabelle 10 gibt eine Übersicht der geplanten Ablaufplanung für das Projekt *EmiL*. Bezüglich der Entwicklung der zehn Volkswagen E-Caddys konnte der zeitliche Ablauf in dargestellter Weise eingehalten werden. Die Entwicklung des Neufahrzeugkonzepts EmiL verzögerte sich um ca. 1,5 Monate gegenüber der Planung. Eine Fertigstellung und Erprobung erfolgt vor diesem Hintergrund erst in Q4 2011. Eine Erläuterung wird im Erfolgskontrollbericht gegeben.

Tabelle 10: Ablaufplanung

| | 2010 | | | | 2011 | | |
|-------------|------|----|----|----|------|----|----|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 |
| TP 1 | | | | | | | |
| TP 2 | | | | | | | |
| TP 3 | | | | | | | |
| TP 4 | | | | | | | |

Stand von Wissenschaft und Technik

Der Stand von Wissenschaft und Technik bei den 4 Kernthemen der Elektromobilität (Speicher, Infrastruktur, Antrieb und Fahrzeug) ist im Rahmenprogramm der Bundesregierung unter Beteiligung aller Experten aus Industrie und Forschung Anfang 2009 zusammengefasst worden.

Der Stand von Wissenschaft und Technik war mit Stand 2009 für den Einsatz von Elektrofahrzeugen im Wirtschaftsverkehr wie folgt festzustellen:

- Fundierte Erkenntnisse über den Energiebedarf von Elektrofahrzeugen im Wirtschaftsverkehr waren nicht gegeben. Bisherige Schätzungen beruhten ausschließlich auf den Verbräuchen von konventionellen Fahrzeugen. Deren Genauigkeit und die Zulässigkeit einer derartigen Umrechnung waren jedoch nicht mit Daten aus der Praxis hinterlegt.
- Erkenntnisse über die Nutzerakzeptanz im Wirtschaftsverkehr waren nicht gegeben, da bislang keine Langzeit-Flottentests mit professionellen Endanwendern stattgefunden hatten.
- Erkenntnisse über den Gestaltungsspielraum bei Neukonstruktionen eines batterieelektrischen Fahrzeuges für die Zustellung sowie über die hieraus resultierenden Mehrwerte lagen zu diesem Zeitpunkt noch nicht vor.

Bis 2009 wurden Fahrzeuge herstellenseitig primär für die Bedürfnisse des allgemeinen PKW-Marktes ausgelegt. Die besonderen Charakteristika des Wirtschaftsverkehrs fanden hierbei oftmals nur sekundär Berücksichtigung, auch hervorgerufen durch die Tatsache, dass den Herstellern nur ungenügende Informationen über die Fahrzyklen im Wirtschaftsverkehr zur Verfügung standen. Die Deutsche Post DHL, mit über 80.000 Fahrzeugen einer der global führenden Flottenbetreiber, erfasst sowohl im Kernmarkt Deutschland als auch globaler Ebene Fahrzeugdaten wie Reichweiten und Verbräuche auf Einzelfahrzeugbasis und verfügt somit über eine fundierte Basis zur Ermittlung von Leistungsanforderungen an Elektrofahrzeuge. Darüber hinaus verfügt das Unternehmen über ein dichtes Netz an Stützpunkten, was zum einen dem Aufbau einer Ladetechnik-Infrastruktur für die Fahrzeuge in besonderer Weise entgegenkommt und zum anderen einen Einsatz der Versuchsträger in dafür besonders geeigneten Gebieten ermöglicht.

Der Energiebedarf von Fahrzeugen im Wirtschaftsverkehr übertrifft den Energiebedarf konventionell betriebener Fahrzeuge deutlich. Bereits bei anderen alternativen Antriebskonzepten wie dem Erdgasantrieb konnte festgestellt werden, dass einfache Umrechnungen der Verbrauchsgrößen auf Basis des Diesel-/Benzinverbrauchs starke Differenzen zu in der Praxis gemessenen Werten aufwiesen. Als theoretische Erklärung wird herangezogen, dass verschiedene Antriebe unter den Fahrzyklen im Wirtschaftsverkehr, beispielsweise dem hohen Start-Stop-Anteil, divergierende Effizienzen aufweisen. Dies lässt eine einfache Umrechnung zwischen verschiedenen Antrieben nicht ohne Weiteres zu. Da der Energiebedarf jedoch eine elementare Größe für die Auslegung und Anwendbarkeit von Elektrofahrzeugen im Wirtschaftsverkehr bildet, bestand hier akuter Forschungsbedarf.

Bei der wirtschaftlichen Nutzung von Technologien bilden neben den „harten“ Faktoren wie den Kosten auch „weiche“ Faktoren eine wichtige Erfolgsgrundlage. Im Vordergrund bei Projekten im Fahrzeugsegment steht hier insbesondere die Fahrerakzeptanz. Die Umstellung auf Elektrofahrzeuge erfordert von den Fahrern eine Anpassung an das neue Arbeitsgerät. Inwiefern dies auf die Zustimmung der Nutzer trifft und inwiefern die Fahrer einen Nutzenzuwachs aus der Umstellung feststellen können war jedoch bislang nicht untersucht worden. Die Deutsche Post DHL als führender Logistikdienstleister sieht sich mit der Herausforderung konfrontiert, trotz einer hohen Anzahl an Fahrdienst-Mitarbeitern eine maximale Betriebseffizienz zu erzielen. Vor diesem Hintergrund setzt das Unternehmen höchste Maßstäbe an die Nutzerfreundlichkeit der Technologien. Eine Überprüfung neuer Technologien im Rahmen dieser Anforderungen kann somit als Sicherstellung einer breiten Akzeptanz auch in anderen Nutzergruppen gewertet werden.

Die Frage der Energieversorgung bildet einen weiteren Grundstein der Elektromobilität. Aus deutscher Sicht waren hier bislang keine anwendungsbezogenen Projekte zu verzeichnen. Auf globaler Basis war insbesondere das Project Better Place, welches sich auf den Aufbau von Batterie-Austauschstationen konzentriert, im Gespräch. Die mit dieser Variante einhergehenden Anforderungen an die Standardisierung der Batterietechnik wurden jedoch aus technischer Sicht von Experten als kurz- bis mittelfristig undurchführbar angesehen. Diese Infrastrukturlösung erschien somit für erste Schritte in die Elektromobilität ungeeignet. Daher wurde im vorliegenden Projektantrag auf den Aufbau einer Ladeinfrastruktur gesetzt, welche standortbasiert in verschiedenen Depots der Deutschen Post DHL installiert wurde und ein Laden der Fahrzeuge an ihrem Standplatz und zwischen den Betriebszeiten ermöglicht. Der Stand der Technik ist ein dreiphasiges Laden.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Projekt EmiL wurde mit verschiedenen Dritten zusammengearbeitet. Dies umfasst einerseits Aufträge an verbundene Unternehmen als auch andererseits die Vergabe von Unteraufträgen an nicht verbundene Unternehmen. Im Detail sind hier zu nennen

Verbundene Unternehmen:

- | | |
|---------------------------|---|
| Deutsche Post Real Estate | - Aufbau Ladetechnikinfrastruktur |
| Deutsche Post Fleet | - Mitwirkung bei der Gestaltung des Neufahrzeugkonzepts sowie Unterstützung der Pilotdurchführung vor Ort |

Fremde Unternehmen:

- | | |
|---------------|----------------------------|
| Mennekes GmbH | - Lieferung von Ladesäulen |
|---------------|----------------------------|

Eingehende Darstellung

Im Folgenden soll auf die Durchführung des Projektes näher eingegangen werden.

Zuwendungsverwendung und Zielerreichung

Die in der Projektplanung für *EmiL* vorgesehenen Meilensteine und Gesamtziele konnten in unveränderter Form im Projekt implementiert werden. Folgende Arbeiten wurden in diesem Rahmen absolviert:

TP1.1 Analyse zur Auswahl geeigneter Einsatzprofile

In TP1 wurden die relevanten Rahmenbedingungen einerseits für die fahrzeugseitigen Auslegungen (Batteriekapazitäten, Leistungsbedarfe, Rekuperationseinstellungen, etc.) sowie andererseits für die Wahl geeigneter Erprobungsstandorte ermittelt. Im ersten Schritt wurden hierzu die relevanten Einflussparameter identifiziert. Bezüglich der Standortfrage wurden fünf Kernpunkte als ausschlaggebend angesehen:

- Geeigneter Einsatzfall für das Fahrzeugmodell Caddy
- Geringe Substitutionsrate an Elektrofahrzeugen im Gesamtfuhrpark (-> implizit: hohe Anzahl Diesel Caddys an den entsprechenden Standorten)
- Große Nähe zu elektromobilitätsgeeigneten Wartungsstützpunkten der Firma Volkswagen
- Große Streuung der Einsatzbedingungen innerhalb der E-Caddy Flotte
- Hohe Aufgeschlossenheit der Zusteller gegenüber technischen Innovationen

Basierend auf diesen Kriterien kristallisierten sich die Standorte Potsdam 60 (Am Kanal 16-18) und Stahnsdorf (Ruhlsdorfer Str. 90) für die Erprobung der E-Caddys sowie Potsdam 80 (Zum Teufelssee 8) für die Erprobung des EmiL als geeignet heraus. Alle drei Standorte verfügen über einen Grundbestand von über 20 Diesel Caddys, wodurch eine grundlegende Betriebssicherheit auch bei technischen Problemen in der E-Flotte gewährleistet werden konnte. Die Einsatzzyklen des Standorts Potsdam 60 bestehen aus einer reinen Briefzustellung, wohingegen Stahnsdorf und Potsdam 80 eine gemischte Brief- und Paketzustellung (-> Verbundzustellung) betreiben. Hierdurch konnte im Sinne eines maximalen Erkenntnisgewinns eine breite Streuung der betrieblichen Einsatzszenarien erzielt werden. Darüber hinaus befinden sich die Standorte in unmittelbarer Nähe der Brandenburgischen Automobile GmbH, einem großen Vertragspartner der Volkswagen AG mit auf Elektromobilität geschultem Werkstattpersonal. Die emotionale Offenheit der Zusteller für die Erprobung wurde im Rahmen von Gesprächen mit lokalen Führungskräften ebenfalls positiv bewertet.

Der Auswahl der Standorte folgte eine dezidierte Auswahl der Erprobungsrouten. An den Standorten Potsdam 60 und Stahnsdorf wurden jeweils 5 Routen für die Zustellung mit E-Caddys vorgewählt, im Wesentlichen basierend auf einer möglichst breiten Streuung der Routenlängen. Diese wurden anschließend einerseits mit Begleitfahrzeugen sowie im zweiten Schritt mit Datenloggern in den Zustellfahrzeugen abgefahren, um die detaillierten Eigenschaften der Strecken hinsichtlich prognostizierter Energiebedarfe, Gefahrenstellen und zu

erwartender fahrzeugseitiger Belastungen, beispielsweise durch Wasserpfützen in Senken, unbefestigte Böden, Vibrationen u.Ä. zu ermitteln. Die gewählten Routen erwiesen sich durchgängig als geeignet und untereinander deutlich gestreut in Ihrer Charakteristik (bsp. teilweise mit Autobahnanfahrten).

Die Wahl der Erprobungstrecke für das Neufahrzeugkonzept EmiL erfolgte demgegenüber unter nochmals erweiterten Kriterien. Um eine volle Funktionsfähigkeit auch der hochinnovativen Komponenten wie dem sensorgesteuerten, führerlosen Fahren zu ermöglichen, wurden neben den oben genannten Aspekten zusätzlich die Qualität der Randsteine und straßenrandseitigen Objekte mit in die Betrachtung einbezogen. Basierend auf diesen Anforderungen konnte nach einer vor Ort Betrachtung das Neubaugebiet in Nuthetal als geeignetes Testgebiet identifiziert werden.

TP1.2 Fahrzeugkonzeption für den Warenverkehr

Zielsetzung des TP1.2 war die Definition der fahrzeugseitigen Spezifikationen als Ausgangsbasis für eine anwendungsgerechte Gestaltung der Elektrofahrzeuge. Hierzu wurden die in TP1.1 generierten routenspezifischen Daten für die Ermittlung der notwendigen Batteriekapazitäten und Betriebsfestigkeiten herangezogen und im Sinne einer erhöhten Skalierbarkeit nach Projektende mit den zentralen Daten des Flottenmanagementsystems der Deutsche Post Fleet abgeglichen.

Im Ergebnis ergab sich für die relevante Fahrzeugklasse eine durchschnittliche tägliche Reichweite von 35 km sowie ein maximaler Reichweitenbedarf von ca. 60 km. Zuzüglich einer energetischen Notreserve wurden die erforderlichen Reichweiten für die Fahrzeuge mit 70 km je Batterieladung definiert. Eine energetische Simulationsrechnung lieferte anschließend hierzu benötigten Batteriekapazitäten, insbesondere unter Berücksichtigung der erhöhten Energiebedarfe in logistischen Auslieferzyklen im Vergleich zu Fahrzyklen in privaten Bereichen.

Parallel hierzu wurde auch die Spezifikation der allgemeinen Fahrzeugfunktionen, insbesondere der HMI relevanten Funktionen vorangetrieben. In gemeinsamen Workshops der Projektpartner unter Einbindung interner Fachabteilungen wie der Deutsche Post Fleet GmbH wurden die notwendigen Parameter hinsichtlich Innenraumgestaltung, Rekuperationseinstellungen, Ablauf der Ladevorgänge, Bedienprozesse im Fahrzeug während der Auslieferung und weitere relevante Parameter definiert.

Insbesondere für die Gestaltung des EmiL wurden darüber hinaus vertiefende Workshops unter Einbindung von Zustellern, Flottenmanager und Entscheidungsträgern des Konzern Deutsche Post DHL durchgeführt mit der Zielsetzung, ein optimal auf die Auslieferprozesse abgestimmtes Neufahrzeugkonzept zu gestalten. Hierzu wurden die Prozesse in der Zustellung in Interviews mit den Fahrern sowie Aufzeichnungen vor Ort detailliert erfasst und sowohl bestehenden als auch neuen technischen Konzepten gegenübergestellt. Die Freiheitsgrade umfassten hierbei nicht alleine den Antrieb des Fahrzeugs sondern alle Aspekte des Fahrzeugdesigns

- Interior
- Exterior
- Beladung & Entladung

- Ladungssicherung
- Witterungsschutz
- Wendigkeit und Steuerbarkeit
- Bedienkonzepte
- Türkonzepte
- IT Anbindung
- Arbeitsschutz
- Sichtkonzepte
- Sicherheit

Basierend auf den Gegenüberstellungen der Einzelkonzepte wurde ein Gesamtkonzept für den EmiL entwickelt.

Ergebnis des TP 1.2 war ein fahrzeugseitiges Lastenheft mit Definitionen der antriebsseitigen sowie gesamtfahrzeugseitigen Rahmenbedingungen für die weitere Entwicklung.

Partner in den Entwicklungsgesprächen war die Hochschule für Bildende Künste Braunschweig, die basierend auf den Analysen eigene Konzeptansätze für die zukünftige Gestaltung von leichten Nutzfahrzeugen entwickelte. Diese wurden in gemeinsamen Workshops mit Vertretern von DPDHL hinsichtlich ihres betrieblichen Nutzens gespiegelt. Erfolgreiche Lösungen wurden hierbei vertiefend betrachtet, dezidierte realisierungsbezogene Gestaltungsaspekte analysiert sowie die betrieblichen und marktseitigen Potenziale der Lösungen abgeschätzt.

TP 2.1 Aufbau Ladeinfrastruktur an ausgewählten Standorten

TP 2.1 diente der Vorbereitung der Felderprobung durch Schaffung einer Ladetechnikinfrastruktur an den ausgewählten Standorten. Hierzu wurden verschiedene Schritte unternommen:

- Definition der fahrzeugseitigen Anforderungen an die Infrastruktur
- Definition der lokalen (örtlichen und netzseitigen) Rahmenbedingungen für die Auswahl und den Aufbau der Infrastruktur
- Analyse und Definition von anwendungsbezogenen Best Practice Prozessen für Ladevorgänge unter Ergonomie- und Nutzeraspekten und Ableitung entsprechender Lastenhefte für die Ladetechnik
- Analyse der verfügbaren Lösungen am Markt und Weiterentwicklung der Best Practice Lösung auf Basis der generierten Lastenhefte
- Detailplanung der Aufbaumaßnahmen
- Durchführung der Aufbaumaßnahmen

Auf Basis der dargestellten Vorgehensweise konnte im Projekt *EmiL* eine Optimierung bestehender Infrastrukturlösungen erzielt werden. Vorteile, die insbesondere die Nutzung im gewerblichen Sektor adressieren sind:

Kabelanschlag

Im Gegensatz zu bestehenden Lösungen ist das Kabel der im Projekt *EmiL* angewendeten Ladesäule fest angeschlagen. Dies verhindert ein Mitführen des Kabels im Fahrzeug. Da in der Zustellung grundsätzlich kurze Fahrstrecken absolviert werden ist ein Zwischenladen und somit das Mitführen der Kabel im Fahrzeug betrieblich nicht notwendig. Im gewerblichen Sektor dominiert zudem einen sehr robuster Umgang mit Ausrüstungsgegenständen. Vor diesem Hintergrund ist ein Mitführen des Kabels grundsätzlich unerwünscht.

Kabellänge und -halterung

Aus Kostengründen wurden im Projekt jeweils Doppelsäulen verwendet, die zwischen zwei Fahrzeugen positioniert werden. Die Ladebuchse der Fahrzeuge befindet sich im hinteren Fahrzeugbereich. Um ein Beladen des Fahrzeugs über die seitlichen Schiebetüren auch während des Ladevorgangs zu ermöglichen wurde eine glatte Kabelvariante gewählt, die sich besser auf den Boden „legt“. Um das Handling der hieraus resultierenden großen Kabellänge zu verbessern, wurden an den Seiten der Ladesäulen Halterungen zum Aufrollen der Kabel vorgesehen.

Dummyhalterung

Das Einstecken des freien Kabelendes in eine Dummy-Halterung bietet dem Nutzer eine leichtere sowie witterungs- und schmutzbeständigere Möglichkeit, die täglichen Handgriffe an der Säule durchzuführen. Dies vermeidet das Gefühl, nach dem Einsteckvorgang „erstmal die Hände waschen“ zu müssen und ist elementar für die Nutzerakzeptanz.

Zähler

Im Förderprojekt sollten grundlegende Erkenntnisse über die verschiedenen technischen und kostenseitigen Aspekte der E-Mobilität gewonnen werden. Aus Nutzersicht gehört dazu ebenfalls die Kenntnis der Ladewirkungsgrade, um die Gesamtenergiebedarfe der Elektrofahrzeuge und darauf basierend valide Kostenkalkulationen durchführen zu können. Diese bilden die Basis für kundenseitige Vergleichsrechnungen mit Standard-Dieselfahrzeugen. Um dies gewährleisten zu können, wurden die Ladesäulen im Projekt mit Zählern versehen.



Abbildung 14: Ladesäule im Projekt EmiL

TP2.2 Vorbereitung des Einsatzes von E-Fahrzeugen im Betrieb

Im Fokus der Vorbereitung des betrieblichen Einsatzes der Elektrofahrzeuge standen im Wesentlichen die beiden Fragestellungen

- Wartungs- und Servicekonzept während der Erprobung zur Sicherstellung der betrieblichen Abläufe im Pannenfall
- Schulungskonzept zur anwendungsgerechten Schulung der Fahrer im Rahmen betrieblich zulässiger Zeitfenster

Wartungs- und Servicekonzept

Der Gestaltung eines fundierten Wartungskonzepts für die Erprobung von Elektrofahrzeugen im Betrieb der Deutschen Post kam eine zentrale Bedeutung im Projekt EmiL zu. Im gewerblichen Sektor stellen Nutzfahrzeuge grundsätzlich ein Betriebsmittel dar, welches zur Erbringung der wirtschaftlichen Leistung und zur Aufrechterhaltung der Geschäftstätigkeit von Unternehmen dient. Vor diesem Hintergrund sind Störungen oder Ausfälle in den betrieblichen Abläufen von hoher Sensibilität und können auch im Rahmen von Prototypentest die Nutzerakzeptanz für eine neue Technologie nachhaltig schädigen.

Sowohl in den Vorgesprächen vor Ort als auch im Rahmen der t0-Befragungen durch die Hochschule für Bildende Künste in Braunschweig wurde deutlich, dass seitens der Fahrer eine hohe Sensibilität gegenüber der generellen Zuverlässigkeit von Elektrofahrzeugen im betrieblichen Einsatz und hieraus möglicherweise entstehenden betrieblichen Einschränkungen herrschte.

Vor diesem Hintergrund wurde im Projektkonsortium entschieden, das Wartungs- und Servicekonzept nicht auf Basis vorhandener Prozesse zu gestalten sondern eine projekteigene Struktur unter Berücksichtigung erhöhter Anforderungen zu etablieren. Hierzu wurde eine eigene Hotline für Servicefälle eingerichtet sowie ein Serviceteam am Standort des Servicepartners eingerichtet zur Betreuung des Feldtest. Wartungsintervalle und -abläufe wurden vorab fest definiert, um sich bestmöglich in die betrieblichen Abläufe zu integrieren und eine Vorabplanung der Fahrzeugdisposition zu ermöglichen. Zudem wurden Ersatzfahrzeuge über den Testzeitraum vorgehalten, um Fahrzeugausfälle ggfs. innerhalb kurzer Zeit kompensieren zu können.

Schulungskonzept

Der Betrieb von Prototypenfahrzeugen ohne Allgemeine Betriebserlaubnis erfordert aus legislativer Sicht eine Schulung der Fahrer für den Einsatz. Für den gewerblichen Bereich ergeben sich hier jedoch grundlegend andere Rahmenbedingungen und dementsprechend Schwerpunkte für die Durchführung und inhaltliche Gestaltung als vergleichsweise für private Kunden.

Letztere Kundengruppe zeichnet sich durch eine hohe Affinität für das Thema aus und verfügt dementsprechend meist über ein Grundwissen auf dem Gebiet oder eine hohe Lernwilligkeit. Zudem bietet der private Rahmen mehr zeitliche Spielräume für die Schulungsdurchführung. Im gewerblichen Sektor werden demgegenüber Fahrer mit der Technik konfrontiert, die nicht notwendigerweise eine hohe Technikaffinität und -kenntnis aufweisen. Darüber hinaus erfordern die betrieblichen Abläufe stark komprimierte Schulungskonzepte und -inhalte.

Vor diesem Hintergrund wurde in dem Projekt EmiL eine stringente Planung der Schulungsabläufe und -inhalte implementiert. Basierend auf den Erfahrungen vergangener Schulungen wurden in enger Abstimmung zwischen Volkswagen und Deutsche Post DHL die relevanten Themen der Schulung definiert. Um diese herum wurde ein Rahmen gespannt, der trotz der breit gestreuten Charakteristik der Nutzergruppe eine emotionale Offenheit für die Erprobung der E-Fahrzeuge schafft. Im Zentrum der Schulung stand neben der Vermittlung der relevanten Informationen zu Technik, Prozessen und Abläufen insbesondere die Aufhebung von Unsicherheiten der Fahrer bezüglich der Betriebssicherheit, der reibungslosen Fortführung betrieblicher Prozesse und der fundierten Betreuung über den Testzeitraum.

Die entwickelten Schulungskonzepte konnten sich in der Praxis erfolgreich durchsetzen und den Fahrern sowohl die notwendige Kenntnis vermitteln als auch eine grundlegende Akzeptanz für das Projekt vor Testbeginn schaffen.

TP3.1 Fahrversuche Fahrzeuge

Der Fahrversuch mit den E-Caddys startete planmäßig im Juli 2011 und wurde über den verbleibenden Förderzeitraum von 3 Monaten durchgeführt. Ziel des Versuches war die Überprüfung der Eignung der erarbeiteten Lösungen im Realeinsatz. Dies betraf vorrangig die Parameter

- Betriebliche Standfestigkeit
- Reichweiten im Betrieb
- Ladeprozesse
- Nutzerakzeptanz
- Nutzenzuwachs durch Rekuperation
- Bedienkonzepte

Der Fahrversuch führte zu dem Ergebnis, dass die erarbeiteten Lösungen für den Einsatz im gewerblichen Segment tauglich sind. Die betriebliche Standfestigkeit der Fahrzeuge konnte bestätigt werden. Die erzielten Reichweiten im Realeinsatz entsprachen den simulierten Prognosen. Der Einsatz von Rekuperation im Fahrbetrieb leistete hierbei einen signifikanten Beitrag für die Zielerreichung und ermöglichte eine entsprechend geringere Dimensionierung der Batteriekapazitäten.

Die Gestaltung des Ladeprozesses wurde von den Flottenverantwortlichen sowie den Fahrer als nutzerfreundlich, einfach in der Handhabung und anwendungsorientiert bewertet. Grundsätzlich blieben Bedienschwierigkeiten oder -fehler über den gesamten Testzeitraum aus. Die Akzeptanz der Anwender gegenüber der Bedienung des Fahrzeugs wuchs nach anfänglicher Skepsis in eine breite Anerkennung. Der Entfall von Schaltprozessen, das geräuscharme Fahren sowie das gesamte Fahrgefühl wurden als Vereinfachung der betrieblichen Prozesse und als Verbesserung der Arbeitsbedingungen wahrgenommen.

Der Flottentest des EmiL wurde aufgrund zeitlicher Verzögerungen in der Entwicklung und Konstruktion auf Q4 2011 verschoben. Um eine Vorabanalyse der betrieblichen Vorteile des Konzeptes zu ermöglichen wurden daher Erprobungsfahrten in einem repräsentativen Lieferbereich mit einem umgebauten Volkswagen T5 Modell durchgeführt. Der T5 wurde als Basis für den Umbau gewählt, da er den konzeptionellen Eigenschaften des EmiL insbesondere mit der hohen Sitzhöhe am identischsten ist. Als Vergleichsfahrzeug für die Messungen wurde das Standardfahrzeug der Verbundzustellung herangezogen, ein VW Caddy, um eine valide Aussagekraft der Ergebnisse sicherzustellen.

Die Erprobungen fokussierten insbesondere die zu erwartenden Verbesserungen aus den technischen und konzeptionellen Funktionalitäten „Einstieg beidseitig mit Stehsitz rechts und Durchgang“, „keyless Entry“, „Joystick fahren“ und „autarkes Fahren“. Um diese Aspekte abzubilden wurden folgende Modifikationen am T5 durchgeführt:

| | |
|------------------|--|
| Keyless Entry: | Demontage der Beifahrertür |
| Joystick Fahren: | Zusteller sitzt rechts, Fahrer fährt links mit 20 km/h |
| Autarkes Fahren: | Zusteller läuft, Fahrer folgt im Gleichschritt |

Die Erprobungsabschnitte wurden gemäß verschiedener in der Verbundzustellung vorkommender Typologien ausgesucht und befahren:

- A – Straßen mit Mehrfamilienhäusern
- B – Straßen mit Reihenhäusern
- C – Straßen mit Einfamilienhäusern

Gemessen wurden die Zeiten, die der Zusteller für das Absolvieren der Abschnitte, einerseits in einer Situation mit hohem Sendungsaufkommen (einer Belieferung aller Haushalte in der Straße) sowie einer Situation mit niedrigem Sendungsaufkommen (eine Belieferung von 50% aller Haushalte) insgesamt benötigt. In letzterem Fall wurde jedes zweite Haus angefahren.

Die Erprobung wurde im Zusammenspiel von einem Zusteller und einem Fahrer durchgeführt, der das autarke und Joystick Fahren simuliert. Der Zusteller war ein Mitarbeiter der Deutschen Post mit mehrjähriger Berufserfahrung im Zustelldienst. Somit konnten die Zustellabläufe originalgetreu abgebildet werden. Die Ergebnisse der Erprobung werden im Erfolgskontrollbericht detaillierter aufgeführt. Es kann jedoch festgehalten werden, dass mit dem umgebauten T5 Modell signifikante Prozessoptimierungen generiert werden konnten.

TP4.1 Teilprojektkoordination

Wie in den vorhergehenden TP-Beschreibungen verdeutlicht erforderte die Durchführung des Projektes EmiL eine enge Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern, Zulieferern sowie internen Fachabteilungen. Neben regelmäßigen Vor-Ort Besuchen an den Erprobungsstandorten zu Planungs- und Steuerungszwecken wurden in mehreren partnerübergreifenden Workshops die verschiedenen Lastenhefte zu Fahrzeugen und Infrastruktur erarbeitet sowie Schulungs- und Servicekonzepte entwickelt und abgestimmt.

TP4.2 Publikation der Projektergebnisse

Aus Gründen der Vertraulichkeit wurden Veröffentlichungen zu dem Projekt bis zum Beginn des Teststarts zurückgehalten. Die Kommunikation wurde mit der Übergabe der E-Caddies am 05.07.2011 auf dem Luisenplatz in Potsdam unter Beisein von Führungskräften der Un-

ternehmen Deutsche Post DHL, Volkswagen und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie Vertretern der Presse begonnen. Weitere Veranstaltungen sind für die Zukunft geplant, können jedoch aus Gründen der Vertraulichkeit an dieser Stelle nicht genannt werden.

TP4.3 Patente und Schutzrechte

Seitens Deutsche Post DHL sind im Projekt EmiL keine patent- oder schutzrechtsrelevanten Ergebnisse erarbeitet worden. Eine Patentierung wurde vor diesem Hintergrund nicht durchgeführt.

Wichtige Positionen

Die wichtigsten kostenseitigen Positionen von DHL im Projekt umfassten einerseits die Personalressourcen im Entwicklungsprozess sowie andererseits die Beschaffung und den Aufbau von Ladetechnikinfrastruktur.

Die Personalleistungen im Projekt beliefen sich auf einen Betrag von ca. 40% der Gesamtkosten des Projektes. Der größte Teil der Aufwendungen entstand im Rahmen der gemeinsamen Entwicklungsbemühungen in Form von Workshops, internen Recherchen, Informationsbeschaffungen und austauschen, Abstimmungsrunden und der abteilungs- und konzernübergreifenden Projektkoordination.

Auf den Infrastrukturaufbau entfielen ca. 50% der Gesamtkosten des Projektes, der größte Kostenteil hiervon wiederum auf die Beschaffung der Hardware (Säulen + Sockel). Die Entscheidung für den im Projekt gewählten Zulieferer basierte auf einer besonderen Eignung der Säulen für den spezifischen Einsatzfall im gewerblichen Sektor (siehe Kapitel TP2.1). Insgesamt ergab die Angebotslage im Bereich Ladetechnikinfrastruktur ein kostenintensives Bild, primär basierend auf der high-end Ausrichtung vieler Produkte in diesem Bereich (bsp. Edelstahlgehäuse, Designelemente). Im Rahmen des Projektes wurde daher für die Zukunft Bedarfe für stärker kosten-nutzen-orientierte Infrastrukturlösungen insbesondere für gewerbliche Nutzer identifiziert.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Notwendigkeit zur Förderung des durchgeführten Elektromobilitätsprojektes EmiL hat sich aus der Vorreiterrolle von DPDHL als gewerblicher Nutzer ergeben, Grundlagenarbeiten für die Entwicklung von Elektrofahrzeugen zu leisten und den stark risikobehafteten Erst-Transfer der FuE-Ergebnisse in funktions- und marktfähige Produkte vorzunehmen.

Die zentrale Bedeutung des gewerblichen Sektors für die Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen wurde zuletzt im Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität hervorgehoben. Zudem wurden die ungedeckten Bedarfe für Elektrofahrzeuge im Allgemeinen als auch speziell für elektromobile Neufahrzeugkonzepte aufgezeigt. Hier setzte das Projekt EmiL frühzeitig an, um Basistechnologien für Elektrofahrzeuge zu entwickeln und im Realeinsatz zu testen als Basis für zukünftige Serienmodelle und eine Skalierbarkeit der Technologie.

Nutzen und Verwertbarkeit

Im Rahmen der Feldversuche wurden Prototypen mit elektrischem Antrieb zur Verfügung gestellt, welche im Realbetrieb der Deutschen Post DHL erprobt wurden.

Bezüglich des Modells E-Caddy wurde die Erprobungsphase und das Produkt seitens des Kunden Deutsche Post DHL positiv bewertet und eine Eignung der Fahrzeuge für den Betrieb festgestellt. Eine ausgedehnte Verwendung von nachfolgenden Serienfahrzeugen wird seitens Deutsche Post DHL ausdrücklich begrüßt und angestrebt.

Die hier entwickelte Technik stellt den Prototypen eines Elektrofahrzeuges für den Lieferverkehr dar. Da nicht nur die Deutsche Post DHL sondern auch Wettbewerber wie TNT, UPS, FedEx

und ebenfalls Handwerksbetriebe ähnliche Fahrprofile aufweisen, ist für Serienprodukte eine schnelle Verbreitung der Technik zu erwarten.

Ein zusätzlicher signifikanter Mehrwert für die Einführung von Elektrofahrzeugen wurde durch die Realisierung des Prototypen EmiL erzielt. Folgende besondere Erfolge konnten verzeichnet werden:

- Eine Sensibilisierung von Top Führungskräften und zentralen Entscheidungsträgern für die Einführung von Elektrofahrzeugen sowohl intern im Betrieb der Deutschen Post DHL als auch übergreifend im gewerblichen Sektor generell
- Eine Intensivierung im Dialog zwischen Herstellern und Endkunden über die Gestaltung und Einführung von Elektrofahrzeugen
- Eine demonstrative Transparenz der Vorteile und Möglichkeiten, die die Einführung von Elektrofahrzeugen dem Endnutzer eröffnet als Kontrast zu bestehenden öffentlichen Darstellungen über deren Einschränkungen gegenüber Diesel- und Ottolösungen

Fortschritte bei anderen Stellen

Es konnten über den Projektverlauf keine Fortschritte seitens anderer deutscher Hersteller im Bereich der Elektrofahrzeugentwicklung im 2,3t Nutzfahrzeugsegment festgestellt werden. International konkurriert das Produkt E-Caddy primär mit den Modellen Renault Kangoo Z.E., Peugeot Partner Electric und Ford Transit E-Connect, die teilweise bereits auf Kauf- oder Leasingbasis am Markt verfügbar sind.

Konkurrierende Produkte zum Neufahrzeugkonzept EmiL sind im Detail nicht zu verzeichnen. Andere Neufahrzeugkonzepte wie der RWTH Streetscooter oder der Mia fokussieren andere Fahrzeuggrößen oder orientieren sich an anderen Zielgrößen für das Projekt (bsp. Design-to-Cost). Mit seiner technischen Ausstattung sowie der dezidierten Zielsetzung eines maximal anwendungsorientierten Designs bewegt sich der EmiL im nationalen und internationalen Feld bislang ohne Wettbewerb.

Veröffentlichungen



Abbildung 15: Fahrzeugübergabe E-Caddies Potsdam (v.li.: Uwe Brinks - Deutsche Post, Hubert Steinkemper - BMU, Dr. Wolfgang Schreiber - Volkswagen Nutzfahrzeuge)

Aus Gründen der Vertraulichkeit sowie dezidierter Kommunikations- und Marketingstrategien wurden Veröffentlichungen zu den Fahrzeugen stets erst mit Beginn der Felderprobung begonnen. Diese umfassten primär öffentlichkeitswirksame Fahrzeugübergaben in Potsdam und Berlin unter Beisein von Vertretern der Unternehmen Deutsche Post DHL, Volkswagen und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Eine Ausdehnung der kommunikativen Aktivitäten über die nächsten Monate ist angestrebt und in Planung.

Die Ergebnisse der Konzeptentwicklung seitens der Hochschule für Bildende Künste Braunschweig wurde im Rahmen eines öffentlichen Workshops mit Vorträgen und Podiumsdiskussionen unter Teilnahme von Deutsche Post DHL am 30.9. in Berlin veröffentlicht.

Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Ohne einen verstärkten Einsatz elektrischer Fahrzeugantriebe im Straßenverkehr können die klima- und energiepolitischen Ziele für den Sektor Verkehr nicht erreicht werden. Um die weltweite Wettbewerbsfähigkeit und Marktposition der deutschen Automobilindustrie zu steigern, müssen die nationalen Forschungsaktivitäten im Bereich der Elektromobilität – Fahrzeuge mit elektrischen bzw. elektrifizierten Antrieben – erweitert werden. Neben dem verstärkten internationalen Wettbewerb ist die zunehmende Verknappung der fossilen Brennstoffe eine große Herausforderung für die Automobilhersteller, um die zukünftige Mobilität der Gesellschaft zu gewährleisten. Weiterhin stellen die gesellschaftliche Neuorientierung hin zu einem gesteigerten ökologischen Bewusstsein, auftretende staatliche Restriktionen bzgl. der Einführung von Emissionsstandards sowie eine fortschreitende technische Entwicklung leistungsfähiger Batteriesysteme Herausforderungen an die zukünftige Innovationsfähigkeit der Automobilindustrie.

Die zukünftige Markteinführung eines elektrobetriebenen Nutzfahrzeugfahrzeugs spiegelt die Bedürfnisse und Anforderungen innovativer und ökologisch bewusster Automobilnutzer wider und ist der grundlegende Schlüssel für die zukünftige Durchdringung der Automobilmärkte mit umweltfreundlichen Technologien. Dabei ist es neben der Erforschung der Technologie für Elektrofahrzeuge ebenso wichtig, die Tauglichkeit der Fahrzeuge unter gewerblichen Nutzungsprofilen zu analysieren. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden alltagstaugliche Nutzfahrzeugmodelle unter Berücksichtigung der Bedürfnisse des städtischen Verteilerverkehrs erforscht und in einem Feldversuch erprobt. Dabei wurden neben einer innovativen Antriebstechnologie und einer neu konzipierten Fahrkarosserie neuartige Komponenten und Funktionen in den Prototypen eines Nutzfahrzeugs eingebracht und erprobt. Diese steigern die Effizienz des Fahrzeugs im KEP-Einsatz wesentlich. Als ein wichtiger Gesichtspunkt des Forschungsvorhabens im Bezug zu den förderpolitischen Zielen ist zu erwähnen, dass neben der Volkswagen AG als Hersteller auch innovationsstarke Zulieferer und Dienstleister von der Entwicklung neuartiger Fahrzeugkonzepte im Bereich der Elektromobilität profitieren und am dadurch gesteigerten weltweiten Absatz partizipieren.

Ein starkes Engagement der gesamten Automobilbranche sichert die Wettbewerbsfähigkeit und damit auch Arbeitsplätze in Deutschland wie Europa. Die Entwicklung eines innovativen Nutzfahrzeugs hin zu einer möglichen Markttauglichkeit ist ein Beitrag der Volkswagen AG zur Etablierung dieser „grünen“ Technologie in der Automobilbranche und die Chance, sich frühzeitig im weltweiten Wettbewerb zu positionieren, ganz im Sinne der Strategie der Bundesregierung und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“.