

Abschlussbericht zum Verbundvorhaben

Kontaktloses Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen

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

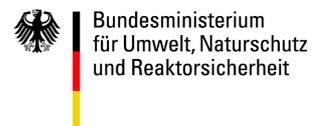
München, Oktober 2011

Kurztitel: IndiOn

Projektpartner: BMW AG, München
Siemens AG, München

Projektlaufzeit: 01.04.2010 – 30.09.2011

Gefördert durch das:



Inhalt

1. Executive Summary	4
2. Zielstellung des Verbundprojektes	6
3. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbund-projektes	10
AP1 Projektmanagement.....	10
1.1 Projektmanagement, Koordination	10
AP2 Systemanforderungen.....	11
2.1 Use Case Analyse	11
2.2 Systemanforderungen: Vorschriften, Normen, Zulassung, Sicherheit, Personenschutz, EMV, EMF sowie Stand der Technik	13
2.3 Systemanforderungen aus der Fahrzeugintegration	16
2.4 Systemanforderungen aus der Infrastrukturintegration	17
3.1 Gesamtfunktionskonzept induktiver Ladeprozess	18
3.2 Integrationskonzept / Integrationsbetreuung	20
3.3 Positionierungsassistentz	22
3.4 Anzeige- / Bedienkonzept	24
3.5 Systemkommunikation, Kommunikation Infrastruktur / -Fahrzeug	26
AP4: Magnetische Auslegung und Aufbau Übertragungssystem (Spulensysteme, Flussführung)	28
4.1 Spulensystem: Koppelgrad, Induktivitäten, Positionierung, Koppelgrad	28
4.2 Elektromagnetische Verträglichkeit	29
4.3 Konstruktion / Design mech. Aufbau Spulensystem	29
4.4 Aufbau Hardware Demonstrator	30
AP5: Auslegung und Aufbau Leistungselektronik, Datenübertragung sowie Netz- und Fahrzeugankopplung	31
5.1 Netzankopplung und infrastrukturseitiger Wechselrichter	31
5.2 Fahrzeugseitiger Gleichrichter und Batterieankopplung	31
5.3 Kommunikation mit Batteriemanagementsystem sowie dem ABK im Fahrzeug	32
5.4 Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeug	33
AP6: Gesamtsystemintegration und – evaluierung	35
6.1 Funktionsuntersuchung Labor: Komponententests	35
6.3 Funktionsuntersuchungen Fahrzeug im Zusammenwirken mit Ladestation unter Laborrandbedingungen	39
6.4 Redesign Komplettsystem	40
6.5 Aufbau / Integration / Inbetriebnahme Ladestation	41

6.6 Wirtschaftlichkeitsprognose	42
AP7: Demo Betrieb Berlin	44
7.1 Ausstattung / Inbetriebnahme Prinzip-Demonstrator	44
7.2 Ausstattung / Inbetriebnahme Demo-Fahrzeuge.....	45
7.4 Fahrzeug- und / Stationsbetrieb im Evaluierungszeitraum	47
7.5 Technische Systemevaluierung im Nutzungsphase.....	47
7.6 Evaluierung Nutzerverhalten / Nutzerakzeptanz	48
7.7 Kommunikation	49
4 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan	51
5 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik	52
6 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf.....	53
7 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).....	54

1. Executive Summary

Das beschriebene Verbundvorhaben der Bayerischen Motoren Werke AG zusammen mit der Siemens AG wurde mit der Zielsetzung aufgesetzt, durch Entwicklung erster Prototypen von Systemen zum kabellosen Laden die Grundbefähigungen für eine spätere Industrialisierung aufzubauen sowie durch praktische kundennahe Erprobung Erkenntnisse aus Kundensicht für die spätere Produktgestaltung zu gewinnen. Dies dient dem übergeordneten Ziel, die Attraktivität der Elektromobilität durch eine kundengerechte automatisierte Lösungsoption für das Laden zu steigern, damit die Verbreitung der Elektromobilität zu erleichtern und somit die energie- und klimapolitischen Zielsetzungen der Elektromobilität zu unterstützen. Gleichzeitig sollen durch know how Gewinn am Standort Deutschland die industriepolitischen Zielsetzungen einer technologischen Führerschaft der deutschen OEM's und Zuliefererindustrie gestärkt werden.

Im Projekt wurden ausgehend von einer systematischen Analyse von Kunden use-cases beim Laden Anforderungen aus Kunden- und Infrastruktursicht abgeleitet, die im Folgenden in ein technisches Zielsystem für die Prototypenrealisierung auf Komponentenebenen wie auch in der Fahrzeugimplementierung umgesetzt wurden. Die Kernziele waren beschrieben durch eine Implementierung eines Systems mit hohem Kundennutzen, ausgedrückt in einfachem, weitgehend automatischem Ablauf mit für den Kunden sicher beherrschbarer Positionieraufgabe (ausreichende Positioniertoleranz $\geq \pm 10\text{cm}$ längs/quer und intuitive Positionierassistentz). Aufgrund der hohen Relevanz des heimischen Ladens wurde für eine erste Umsetzung der Leistungsbereich von 3,6kW als einphasige Anschlussleistung (16A, 230V) gewählt. Weitere technische Kernanforderungen waren das Erreichen einer hohen Energieübertragungseffizienz $>90\%$, Einhalten von Personenschutzanforderungen in Bezug auf Magnetfelder (ICNIRP Empfehlungen), Einhalten aller relevanten infrastrukturseitigen sowie fahrzeugseitigen Vorschriften sowie das Erfüllen aller notwendigen Sicherheitsvoraussetzungen für einen Versuchsbetrieb mit Nichtexperten.

Da der Fokus auf Erarbeiten der notwendigen Grundlagen lag, waren Optimierungsschritte Richtung Gewicht, Kosten, Robustheit, die später Voraussetzung für ein erfolgreiches Produkt sind, nicht Gegenstand des Projektes.

Bei der BMW AG wurden schwerpunktmäßig das Funktionskonzept aus Kundensicht sowie die Integration in die Versuchsfahrzeuge konzeptionell erarbeitet und in der Umsetzung realisiert. Hierzu zählten geometrische Integration incl. notwendiger Fahrzeugmodifikationen, Integration in das Anzeige-/Bedienkonzept, Einbindung in Leistungselektronik und Datenkommunikation sowie das Wärmemanagement. Die Siemens AG zeichnete verantwortlich für die elektrische und magnetische Grundauslegung des Übertragungssystems, das Funktionskonzept auf Komponentenebene (Zusammenspiel Positionierung, Kommunikation und Leistungsübertragung inkl. Schnittstellen), die Hard- und Softwareentwicklung auf Komponentenebene, den Test der Komponenten und des Übertragungssystem im Labormaßstab sowie den Funktionsnachweis im Fahrzeug.

In der Gesamtfahrzeugintegration konnten alle Funktionen im Zusammenwirken der fahrzeugseitigen Subsysteme erfolgreich realisiert werden. Ebenso das Zusammenwirken des Fahrzeugladesystems mit den parallel entwickelten Ladestationen. Nach Fahrerinitiierung wird der automatische Ladeablauf gestartet, der eine erste einfache Positionierungsassistenz im Anzeige-/Bedienkonzept des Fahrzeugs beinhaltet und nach erfolgreicher Positionierung in automatisches Laden mit entsprechender drahtloser Kommunikation zur Steuerung und Überwachung übergeht. Das Erreichen wesentlicher Kriterien wie der geforderten Leistungsübertragung, Positionierungsrobustheit, hoher Wirkungsgrade sowie Einhalten relevanter Feldgrenzwerte konnte dabei demonstriert werden.

Insbesondere die Erzielung eines sehr guten Wirkungsgrades zur Unterstützung der energiepolitischen Effizienzziele sowie der Funktionsnachweis eines Regelkonzeptes mit variabler Übertragungsfrequenz als konzeptionelle Basis für künftige Interoperabilität bei hohen Effizienzen sind wichtige Ergebnisse im Hinblick auf die Projektzielsetzungen.

Aufgrund ungeplanter notwendiger Redesigns von fahrzeug- und bodenseitigen Ladekomponenten und damit verbundener Verschiebungen in der Komponentenbereitstellung war im sehr kurzen Gesamtprojektzeitrahmen die Umsetzung der geplanten Demonstrations- und Evaluierungsphase nicht möglich.

Der Konzeptnachweis und das Aufzeigen, dass kabelloses Laden eine realistische Perspektive für Anwendungen im PKW hat, wurden jedoch als wesentliche Projektziele ebenso erreicht wie die Befähigungsziele bei den Projektpartnern, die die Grundlage für erfolgreiche Produktentwicklungen der Zukunft sind. Damit konnten auch die wesentlichen förderpolitischen Zielsetzungen erreicht werden und die Anschlussfähigkeit ist sichergestellt.

Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf wurde identifiziert und bezieht sich auf die Befähigung zur Industrialisierung (Bauraumbedarf, Gewicht, Kosten, fertigungsgerechte Gestaltung, Fertigungstechnologien), die Optimierung der Kundeninteraktion (Positionierungskonzepte und zugehörige Sensoriksysteme), die sichere Fremdkörpererkennung sowie das Erreichen von Interoperabilität.

Dieser Abschlussbericht gliedert sich in einen öffentlichen Berichtsteil und Konsortiums-interne Anlagen (vertraulich).

2. Zielstellung des Verbundprojektes

Das nachfolgend beschriebene Projekt wurde als Vorhaben der Bayerischen Motoren Werke Aktiengesellschaft, München, zusammen mit der Siemens Aktiengesellschaft, München, zur Förderung beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beantragt und als Förderprojekt 16EM0065 für die Laufzeit vom 01.04.2010 bis 30.09.2011 gefördert.

Dem Verbundprojekt lagen folgende Motivationen und Zielsetzungen zugrunde:

Motivation BMW AG:

Die langfristige Sicherung der Mobilität erfordert einen Umbruch in Antriebs- und Energieversorgungssystemen um die Zielsetzungen von Unabhängigkeit der Energieversorgung, Nachhaltigkeit und Emissionsfreiheit zu erreichen.

Es besteht allgemeiner Konsens, dass auf Basis der erreichten und prognostizierten Fortschritte der Batterietechnik und der elektrischen Antriebssysteme die Elektromobilität einen wesentlichen Beitrag zur künftigen Mobilität leisten wird und muss. Dies drückt sich u.a. in der politischen Zielsetzung aus, 1 Mio. Elektrofahrzeuge bis 2020 auf den deutschen Straßen zu haben. Voraussetzungen für eine schnelle Marktablierung und für den langfristigen Erfolg der Elektromobilität und die Erreichung der entsprechenden politischer Zielsetzungen sind eine hohe Kundenakzeptanz und die Sicherstellung der netzkonformen Einbindung großer Bestände von Elektrofahrzeugen in die Stromnetze und Energieerzeugungssysteme sowie die Errichtung privater und öffentlicher Infrastruktur zum Laden.

Aufgrund der hohen Kundenrelevanz des Ladevorgangs für den Betrieb von elektrisch betriebenen Fahrzeugen sind neue Technologien, die oben genannte Anforderungen hinsichtlich Kundenwünschen und Netzanbindung unterstützen, als Durchbruchinnovationen und langfristig als zwingende Voraussetzung für den Erfolg der Elektromobilität zu sehen. Ergänzend zur Gesamtfahrzeugentwicklung sind deshalb nun neue innovative Ansätze zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen zu entwickeln, die gegenüber konventionellen Kabel-gebundenen Ladetechniken erhebliche Komfortvorteile und damit gesteigerte Nutzerakzeptanz in der heimischen wie öffentlichen Anwendung sowie Sicherheits- und Vandalismus-Schutz-Vorteile im öffentlichen Raum bieten.

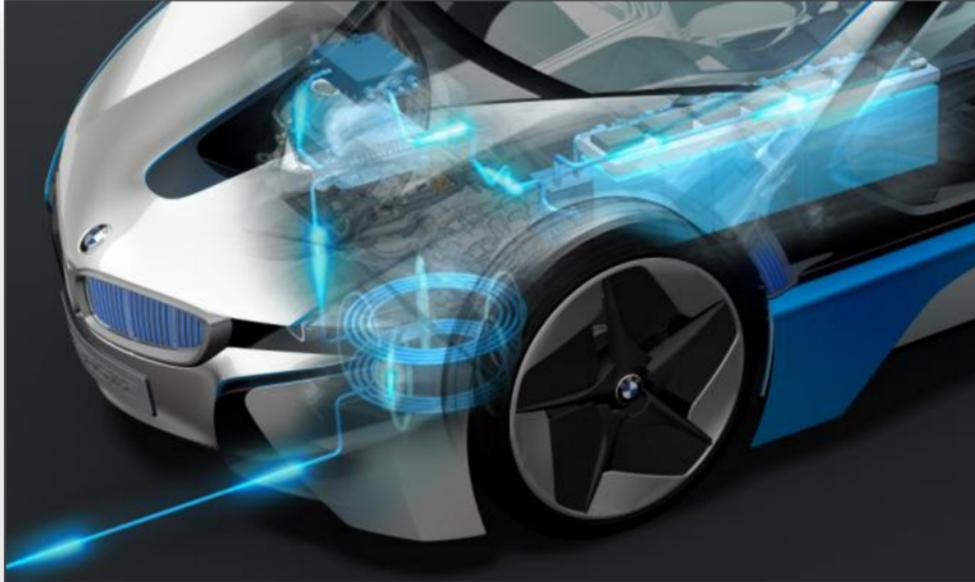


Abb. 1: Prinzipdarstellung induktive Energiezuführung

Motivation Siemens AG:

Für Siemens als Anbieter von Lösungen für Infrastruktur, elektrische Energieversorgungsnetze und Industrieanlagen ist es erklärtes Ziel, Systeme und Lösungen zur Bereitstellung der Elektroenergie zum Aufladung von Elektrofahrzeugen zu entwickeln und anzubieten. Diese Lösungen werden - neben der Batterietechnologie - ein wesentlicher „Enabler“ für die Durchsetzung der Elektromobilität im Straßenverkehr sein.

Grundsätzlich kann das Laden von Elektrofahrzeugen durch bereitgestellte Elektroenergie aus der Infrastruktur folgendermaßen geschehen:

- Sogenannte „Swapping-Stationen“, in denen durch vollautomatische Ladeeinrichtungen die leere Batterie durch eine geladene Batterie ersetzt wird.
- AC Ladestationen zur Verbindung von Elektrofahrzeugen mit dem vorhandenen Niederspannungsnetz auf 230 V / 400 V Ebene bis 3.6 kW (230 V 1~) oder bis 86 kW (400 V 3~) → hierzu ist der Ladegleichrichter auf dem Fahrzeug zu integrieren
- DC-Ladestationen zum direkten Anschluss der Fahrzeugbatterie an die Infrastruktur mit Ladeleistungen bis 100 kW
- Induktives, berührungsfreies Laden der Fahrzeuge mit Leistungen bis 3.6 kW in einer ersten Ausbaustufe und 22 kW in der weiteren Entwicklung.

Die induktive Energieübertragung weist gegenüber den leitungsgebundenen Lademechanismen deutliche Vorteile bzgl. Komfort, Integrierbarkeit und Automatisierbarkeit auf und stellen potentiell einen entsprechenden Markt für die Betreiber von Fahrzeugflotten als auch private Nutzer dar.

Innerhalb der Siemens AG liegt die Geschäftsverantwortung für alle stationären Komponenten („outside Car“) ab 01.10.2011 beim neu gegründeten Sector Infrastructure & Cities (I&C), und für alle onboard-Komponenten beim Sektor Industrie. Hier wurde der Bedeutung der Elektromobilität bei Siemens durch Gründung einer eigenen Geschäftseinheit I DT EC zum 01.02.2010 Rechnung getragen.

Gesamtziel

Gesamtziel der BMW AG und der Siemens AG im Rahmen dieses Förderprogrammes war durch Einsatz entsprechender Forschung und Grundlagenentwicklung, ausgehend von vorhandenem Basis know-how, der beschleunigte Aufbau von Umsetzungs- und Industrialisierungskompetenz zum Thema induktives Laden und damit Sicherung von Beschäftigung und Wertschöpfung am Innovations-Standort Deutschland.

Dies unterstützt die politische Zielsetzung, Deutschland zu einem Leitmarkt der Elektromobilität zu machen. Die aktive Unterstützung der Elektromobilität durch die Bundesregierung fördert dabei nicht nur die Lebensqualität in unseren Städten und macht uns unabhängiger vom Erdöl, sondern stärkt auch die Wettbewerbsfähigkeit wesentlicher tragenden Säulen unserer Volkswirtschaft, der Automobilindustrie und deren Zulieferer. Mit der beschleunigten Umsetzung wird die Chance Wertschöpfung in Deutschland zu sichern, gestärkt.

Das abgeschlossene Förderprojekt hatte die Zielsetzung o.g. Funktions- und Strategieziele durch eine erste Realisierung in der vorwettbewerblichen Phase bis zur Konzeptreife inkl. Funktionsdemonstration mit fünf neuen Elektrofahrzeugen der Marke BMW aus eigener Herstellung sowie entsprechenden Ladestationen und Komponenten der Siemens AG zu belegen.

Im Rahmen des Projektes sollten aufbauend auf dem Basis know how der Siemens AG im Abgleich mit den Anforderungen der Infrastruktur wie auch der Fahrzeugseite die wesentlichen Komponenten und Systeme zum kabellosen Laden grundlegend konzipiert, prototypisch dargestellt und zu einem Konzeptnachweis geführt werden.

Der Fokus des Projektes lag dabei darin, die besonderen Herausforderungen in der Anwendung auf reine Elektrofahrzeuge zu lösen. Reine Elektrofahrzeuge (BEV's) fordern deutlich höhere Energiemengen und damit unter Berücksichtigung der Ladezeitanforderungen entsprechende höhere Ladeleistungen, woraus sich zahlreiche Zielkonflikte als besondere Herausforderung ergeben, deren Lösung in diesem Projektrahmen aufgezeigt werden sollte. Ausgehend von den Randbedingungen einer 1-phasigen 230V Versorgung (typisch für heimische Randbedingungen) war die Basisanforderung die Umsetzung einer Ladeleistung von 3-3,5kW. Darauf aufbauend sollte mit entsprechendem Erkenntnisgewinn im Projekt die Skalierbarkeit auf höhere Leistungen z.B. 11 kW zum Anschluss am Drehstromnetz 400V für Zwecke der schnelleren Ladung, z.B. im öffentlichen Raum bei geringeren Parkzeiten, untersucht werden.

Besonderes Augenmerk wurde innerhalb der Arbeiten Fragen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) und der Betriebssicherheit zuteil.

Vorgehensweise zur Zielerreichung:

Ein Schwerpunkt war die Grundlagenarbeit zur Neuauslegung der elektromagnetischen Energieübertragung und der entsprechenden Feldparameter zur Erreichung der Funktionsziele bei Wahrung von Sicherheits- und Personenschutzzielen, die sich wesentlich von den Randbedingungen im Industrieumfeld unterscheiden. Hierbei war komplettes Neuland zu betreten und entsprechende Systeme und Komponenten der Energieübertragung infrastrukturseitig wie fahrzeugseitig wurden hierzu entwickelt.

Ferner war die funktionale Integration der infrastrukturseitigen Systeme in den Prozess eines automatischen Ladeablaufs zu entwickeln und darzustellen. Dazu wurde unter anderem ein Konzept entwickelt, wie die Kommunikationsumfänge, die im Falle des kabelgebundenen Ladens über das Ladekabel erfolgen, durch entsprechende kabellose Technologien, die in das Gesamtsystemkonzept eingebunden sind, realisiert werden. Dies betraf die Kommunikation Ladestation – Fahrzeug und mögliche Erweiterungsoptionen zur Kommunikation Ladestation- Netzbetreiber/ Infrastruktur.

Fahrzeugseitig wurde am Beispiel neuer Elektrofahrzeuge von BMW die Integration in das Fahrzeug-Energiebordnetz inkl. Hochvolt-Batterie sowie auch in die Kommunikationssysteme und deren Architektur konzipiert und umgesetzt. Zur Unterstützung des Fahrers hinsichtlich der Notwendigkeit der Positionierung der fahrzeugseitigen Ladeeinrichtung über der bodenseitigen Ladeeinrichtung wurde ein Konzept für Positionierungs-Assistenzfunktionen in Wechselwirkung des Fahrzeugs mit der Ladestation sowie entsprechende Anzeige-/ Bedienkonzepte konzeptionell ausgearbeitet und in einer ersten Realisierung dargestellt.

Erkenntnisse aus dem Entwicklungsprozess mit Relevanz für den parallel laufenden Standardisierungsprozess zur kabellosen Ladetechnik wurden in entsprechenden Standardisierungs-Arbeitskreisen (z.B. DKE AK 353.0.1) eingebracht, um die Voraussetzung für die Verbreitung der entsprechenden Technologie schaffen.

Die Praxistauglichkeit des Gesamtansatzes wurde an für dieses Projekt aufzubauenden BMW Elektrofahrzeugen aus eigener Produktion und zugehörigen Ladestationen demonstriert.

Für das Ergebnis des Forschungsvorhabens ergeben sich herausragende Verwertungsmöglichkeiten:

- Neue Geschäftsfelder für den Automobilanbieter in der Ausweitung des Angebotes vom Fahrzeug auf die Energieversorgung des Fahrzeuges
- Neue Geschäftsfelder für den Komponentenlieferanten sowohl hinsichtlich fahrzeugseitiger wie auch infrastrukturseitiger Lösungen
- Übertragung von Erkenntnissen und Technologien auf andere Anwendungsfelder:
 - Robotik, z.B. zur Vermeidung von Schleifkontakten
 - andere Verkehrssektoren, z.B. Speisung von Straßenbahnen
 - Medizintechnik, z.B. zur Vermeidung von Steckkontakten aus hygienischen Gründen

Dem stand ein erhebliches Risiko bzgl. der technischen Umsetzbarkeit im Rahmen der vorhandenen und zu erwartenden gesetzlichen Vorgaben hinsichtlich EMV und Betriebssicherheit gegenüber.

3. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes

Übersicht Arbeitspakete und Aufgabenverteilung BMW/Siemens:

Nr.	Inhalt	verantwortlich
AP1	Projektmanagement / Koordination	BMW
AP2	Systemanforderungen	BMW, Siemens
AP3	Funktions- und Integrationskonzept	BMW
AP4	Magnetische Auslegung und Aufbau Übertragungssystem (Spulen, Flussführung)	Siemens
AP5	Auslegung und Aufbau Leistungselektronik, Datenübertragung sowie Netz- und Fahrzeugankopplung	Siemens
AP6	Gesamtsystemintegration und -evaluierung	BMW, Siemens
AP7	Demo Betrieb Berlin und Evaluierung	BMW, Siemens

AP1 Projektmanagement

1.1 Projektmanagement, Koordination

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Um die komplexen Ziele sicher erreichen zu können, müssen die einzelnen Arbeitspakete inhaltlich und terminlich eng verzahnt abgearbeitet werden. Aufgabe des Projektkoordinators im Sinne der Rolle des Konsortialführers ist es hierbei die Arbeitsaktivitäten der beteiligten Partner zu koordinieren, zu synchronisieren und bei Abweichungen geeignete Maßnahmen zu veranlassen. Die Rolle der Konsortialführerschaft beinhaltet auch die Wahrnehmung der Schnittstelle zum Fördergeber hinsichtlich inhaltlicher, administrativer Abstimmungen sowie des Berichtens von Arbeitsergebnissen.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Die Konsortialführerschaft hat BMW wahrgenommen, ein Projektmanagement und ein Risikomanagement wurden erstellt und implementiert. Projektmeetings wurden nach Inhalt und Granularität strukturiert und wöchentlich mit internen BMW projektbeteiligten Fachstellen sowie involvierten Ingenieur-Dienstleistern abgehalten. Wöchentlich gab es eine operative Projekt-synchronisierung mit dem Partner Siemens, im 4-wöchigen-Turnus wurde eine allgemeine Projektbesprechung abgehalten, in der sowohl technische als auch organisatorische Aspekte thematisiert wurden, ergänzt durch Steering Committees, welche im Quartals-Turnus auf Leitungsebene zum Zielemonitoring stattfanden. Die Schnittstelle zum Fördergeber wurde durch Zwischenberichte und Abstimmungen sichergestellt.

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Um die komplexen Ziele sicher erreichen zu können, müssen die einzelnen Arbeitspakete inhaltlich und terminlich eng verzahnt abgearbeitet werden. Aufgabe des Teilprojektkoordinators ist es hierbei die Arbeitsaktivitäten innerhalb der Siemens AG sowie der entsprechenden Unterauftragnehmer zu koordinieren, zu synchronisieren und bei Abweichungen geeignete Maßnahmen zu veranlassen sowie die Arbeiten mit dem Konsortialführer (BMW AG) abzustimmen. Im Sinne der Sicherung der Ergebnisse für die anschließende Verwertung und die Bündelung des anfallenden know-how's sind entsprechende Dokumentationen zu Projektablauf und Ergebnissen zu erstellen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Für das Teilvorhaben der Siemens AG wurde ein Projektmanagement installiert und durchgeführt. Inhaltlich wurden die Gesamtprojektplanung und Durchführung mit BMW bearbeitet sowie die Projektplanung- und Durchführung innerhalb von Siemens. Ergänzend zu den vierwöchigen Gesamtprojektmeetings mit BMW wurde 14tägig ein Siemens- Projektmeeting durchgeführt. Es wurden die Aktivitäten aller siemensinterner und externer Beteiligten (Siemens- Werk Chemnitz, Ingenieurbüro Hoffmann, Ing.büro Drechsler, externer Spulengehäuse- Fertiger, 6 beteiligte Fachabteilungen bei Siemens CT, Siemens- Sektoren Energy und Industry etc.) koordiniert. Dabei erfolgte ein laufendes Monitoring und Synchronisieren der Inhalte aller Arbeitspakete und der zu leistenden Umfänge der Siemens AG und aller Unterauftragnehmer terminlich und inhaltlich. Mit dem Projektträger wurden Projektreviews durchgeführt und Zwischenberichte erstellt. Auf Initiative von Siemens wurde ein konsortiumsübergreifendes Steering- Committee mit BMW zusammen installiert, dem quartalsweise berichtet wurde.

AP2 Systemanforderungen

Anforderungen ergeben sich aus Funktionalen Zielen (2.1), Normen & Vorschriften (2.2) sowie Randbedingungen des FZGs (2.3).

2.1 Use Case Analyse

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die Technik des induktiven Ladens kann prinzipiell in sehr unterschiedlichem Umfeld eingesetzt werden: z.B. zu Hause, beim Arbeitgeber (semi-öffentliches Umfeld), in Stützpunkten von Flottenbetreibern (z.B. Mietfahrzeugzentralen), in Car Sharing Situationen und im frei zugänglichen öffentlichen Umfeld auf der Straße. Es ist davon auszugehen, dass sowohl kundenseitig wie auch von Seiten der Betreiber und der Umfeldrandbedingungen (z.B. Bewitterung, mechanische Schutzanforderungen) in den unterschiedlichen Situationen deutlich unterschiedliche Anforderungen an induktive Ladesysteme gestellt werden. Diese müssen systematisch geklärt werden um eine zielgerichtete, effiziente und kostenoptimale Entwicklung für die jeweiligen Randbedingungen zu ermöglichen. Das Ergebnis ist in die Systemspezifikation des induktiven Ladens aufzunehmen.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Im Zuge des Projektes wurden Einsatzmöglichkeiten des Induktiven Ladens aus Kundensicht identifiziert und hinsichtlich der Gemeinsamkeiten/-Unterschiede analysiert. Anwendungsfälle der Technologie sind denkbar im öffentlichen Raum (Parken, Carsharing-Stationen, Ladeplätze für Einsatzfahrzeuge, Arbeitgeber) als auch im (semi)-öffentlichen Umfeld (Arbeitgeberparkplätze, Flottenbetreiber). Spezielle Anwendungen sind mobile Ladestationen, die bei events, Pannendienst zum Einsatz kommen sowie Infrastruktur in Werkstätten. Im privaten Umfeld liegen die Anwendungsfälle bei der Installation in Garagen und Carports.

Aufgrund fehlender Standardisierungen, welche für Konzepte im öffentlichen Raum als Basis-Voraussetzung erachtet werden, wurde der Nachweis der Technologiefunktionsbestätigung anhand eines proprietären Systems für den heimischen Anwendungszweck gelegt. Zur Vereinfachung wurden die unterschiedlichen Kunden-use-cases im Anforderungsmanagement in zwei Typisierungen, dem bereits genannten Anwendungsfall im heimischen Umfeld und einer generischen Lösung im öffentlichen Raum überführt. Die Unterschiede hinsichtlich der technischen Ausprägung wurden dabei dezidiert herausgearbeitet. Anwendungsfälle im öffentlichen Raum bedingen eine kommunikative Vernetzung der Ladestationen und höhere Anforderungen bei Robustheit und Schutz gegen Vandalismus. Im privaten Umfeld hingegen kann durch den sehr kleinen Nutzerkreis eine stärkere Individualisierung und Personalisierung erfolgen. Die technische Ausprägung der Primärfunktion „Energieübertragung“ weist dieselben Anforderungen hinsichtlich Positioniertoleranz und Ladeeffizienz auf.

Anlage: B2.1 - Anwendungsfälle Induktives Laden

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die Technik des induktiven Ladens kann prinzipiell in sehr unterschiedlichem Umfeld eingesetzt werden: z. B. zu Hause, beim Arbeitgeber (semi-öffentliches Umfeld), in Stützpunkten von Flottenbetreibern (z.B. Mietfahrzeugzentralen), in Car Sharing Situationen und im frei zugänglichen öffentlichen Umfeld auf der Straße. Der Partner Siemens AG klärt in diesem AP, welche Anforderungen an solche Systeme seitens der Netzbetreiber gestellt werden (mechanische Anforderungen, Schutzgrad, Integrierbarkeit in Straßenaufbau). Das Ergebnis ist in die Systemspezifikation des induktiven Ladens aufzunehmen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Die Use-cases wurden innerhalb von zwei Workshops zu dem Thema mit BMW diskutiert und in einer Tabelle (siehe Anhang) dokumentiert. Für die weitere Diskussion wurde auf zwei „Überkategorien“ (heimisches Umfeld und semi-öffentlicher Raum) vereinfacht. Die detaillierten Ergebnisse der Diskussion der Use cases finden sich im BMW- Report zu AP2.1 und im Anhang. In Zusammenarbeit mit dem TÜV Senton Straubing wurden für das infrastrukturseitige System folgende Anforderungen hinsichtlich Bauart und Umweltbeständigkeit (mechanische Anforderungen, Schutzgrad, Integrierbarkeit in Straßenaufbau) für einen CE- konformen Aufbau von Ladeschaltschrank und straßenseitiger Ladespule identifiziert:

Anzuwendende Normen und Grenzwerte

- EN 61851-1:2001 Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- EN 60950-22 Einrichtungen der Informationstechnik - Sicherheit -- Teil 22: Einrichtungen für den Außenbereich

Aus diesen Normen sind folgende Prüfungen anzuwenden:

- 8.2 Widerstandsfähigkeit gegen ultraviolette (UV-)Strahlung
- 8.3 Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion
- 8.4 Boden von Brandschutzumhüllungen
- 8.5 Dichtungen
- 9 Schutz von Einrichtungen innerhalb einer Umhüllung für den Aussenbereich
- 9.1 Schutz vor Feuchtigkeit (Schaltschrank IP44 und Spule IP67)
- 9.2 Schutz vor Pflanzen und Ungeziefer
- 9.3 Schutz vor übermäßigem Staub
- 10 Mechanische Festigkeit von Umhüllungen

2.2 Systemanforderungen: Vorschriften, Normen, Zulassung, Sicherheit, Personenschutz, EMV, EMF sowie Stand der Technik

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die neue Technologie des induktiven Ladens muss sich einerseits den Anforderungen bestehender Vorschriften, Regelwerke, Normen und Erfahrungen stellen, um Zulassungsfähigkeit, störungsfreien Betrieb und Sicherheit zu gewährleisten. Die relevanten Vorschriftenwerke, Normen etc. sind zu identifizieren und mit Ihren Vorgaben in die Systemlastenhefte als Anforderungen zu integrieren. Darüber hinaus sind gerade aufgrund des neuartigen Anwendungsfeldes der induktiven Energieübertragung im Elektrofahrzeug die Anforderungen z.B. aus Sicht der EMF (Elektromagnetische Felder) hinsichtlich Personenschutz weitgehend unklar. Eine anwendungsgerechte Interpretation muss unter Nutzung von know how der beteiligten Kooperationspartner und ggf. unter Hinzuziehung von externer Expertise erarbeitet und als Anforderung für die neu zu entwickelnden Systemkomponenten inkl. Methodik der Verifikation spezifiziert werden, damit eine zielführende Auslegung erfolgen kann.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Relevante Vorschriften, welche die technische Konzeption beeinflussen können wurden identifiziert und in die Anforderungen aufgenommen, somit auch entwicklungsseitig beachtet. Insbesondere

Regularien zur EMV sind hierbei hervorzuheben. Die international anerkannte Richtlinie der „ICNIRP“, die auch in geltender EU-Richtlinie 2004/40/EG referenziert ist, limitiert die maximale magnetische Feldstärke in der Umgebung der elektro-magnetischen Energieübertragung. Die Grenzwerte von 6,25 mikro-Tesla müssen im gesamten für Personen dauerhaft zugänglichen räumlichen Umfeld der Energieübertragung eingehalten werden (messtechnische Überprüfung s. AP 4.2); eine Gefährdung für Menschen ist auszuschließen. Um Risiken aufzuzeigen und die Gesamtfunktion abzusichern, wurden ein funktionales und ein technisches Sicherheitskonzept erstellt.

Gefahren-und Risikoanalyse (GuR)

Die GuR als strukturiertes und in der Automobilindustrie anerkanntes Instrument dient dazu, das klar definierte und abgegrenzte System hinsichtlich Gefahren und potenziellen Risiken zu bewerten. Bestandteile der GuR waren die Sekundärspule, die Leistungselektronik und die zentrale Ladesteuerung. Die Analyse ergab, dass 4 primäre Schutzziele einzuhalten sind und entsprechend in einem funktionalen Sicherheitskonzept berücksichtigt werden müssen

- Verhinderung der Fehlkoppelung der drahtlosen Energiesysteme (sicherer Zustand: kein induktives Feld)
- Verhinderung der Überhitzung der Ladeinheit (sicherer Zustand: kein induktives Feld)
- Verhinderung eines Kurzschlusses der FZG-seitigen Komponenten (sicherer Zustand: offener HV-Kreis)
- Verhinderung ungewollt anliegender Hochspannung den zugänglichen AC-Komponenten (sicherer Zustand: HV-Komponenten spannungslos)

Zur Einhaltung dieser Schutzziele wurden Anforderungen an ein funktionales Sicherheitskonzept definiert und als Spezifikation zur Umsetzung in ein technisches Sicherheitskonzept beim Projektpartner übergeben.

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die neue Technologie des induktiven Ladens muss sich einerseits den Anforderungen bestehender Vorschriften, Regelwerke, Normen und Erfahrungen stellen, um Zulassungsfähigkeit, störungsfreien Betrieb und Sicherheit zu gewährleisten. Die relevanten Vorschriftenwerke, Normen etc. sind zu identifizieren und mit ihren Vorgaben in die Systemlastenhefte als Anforderungen zu integrieren.

Darüber hinaus sind gerade aufgrund des neuartigen Anwendungsfeldes der induktiven Energieübertragung im Elektrofahrzeug die Anforderungen z.B. aus Sicht der EMF (Elektromagnetische Felder) hinsichtlich Personenschutzes weitgehend unklar. Eine anwendungsgerechte Interpretation muss unter Nutzung von know-how der beteiligten Kooperationspartner und ggf. unter Hinzuziehung von externer Expertise erarbeitet und als Anforderung für die neu zu entwickelnden Systemkomponenten inkl. Methodik der Verifikation spezifiziert werden. Des Weiteren ist eine Recherche und Analyse des Standes der Technik zu induktiven Übertragungseinrichtungen vorzunehmen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Siemens hat an der Erarbeitung der Anwendungsregel innerhalb des DKE- Arbeitskreises mitgearbeitet, dessen Ergebnis hinsichtlich EMF die Festlegung der Einhaltung des ICNIRP-Grenzwertes der Magnetfeldstärke von kleiner $6,25\mu\text{T}$ ab Bereich 3 in Abbildung 2 ist.

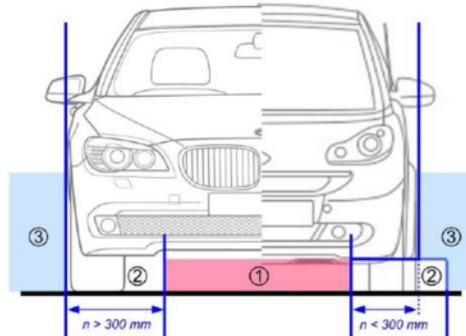


Abb. 2: Empfehlung Zonen 1, 2 und 3 für Festlegung Grenzwerte Magnetfeldstärke (DKE-Arbeitskreis)

In Zusammenarbeit mit dem TÜV Senton Straubing wurden für das infrastrukturseitige System folgende Anforderungen hinsichtlich EMV, EMF und Personenschutz identifiziert:

Elektromagnetische Verträglichkeit

Anzuwendende Normen und Grenzwerte

- EN 61000-3-2:2006 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) — Teil 3—2: Grenzwerte — Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangsstrom $\leq 16 \text{ A}$ je Leiter)
- EN 61000-3-3:2008 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) — Teil 3—3: Grenzwerte — Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen für Geräte mit einem Bemessungsstrom $\leq 16 \text{ A}$ je Leiter, die keiner Sonderanschlussbedingung unterliegen
- EN 55011:2007 Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Hochfrequenzgeräte (ISM-Geräte) — Funkstörungen — Grenzwerte und Messverfahren
- EN 61000-6-1:2007 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) — Teil 6—1: Fachgrundnormen — Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe

Produktsicherheit

Anzuwendende Normen und Grenzwerte

- EN 61851-1:2001 Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- EN 61851-22:2001 Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge Teil 2-2: Wechselstrom-Ladestation für Elektrofahrzeuge
- EN 60950-1:2006 + A11:2009 Einrichtungen der Informationstechnik – Sicherheit – Teil 1: Allgemeine Anforderungen

Siemens war inhaltlich an der projektinternen Gefahren- und Risikoanalyse (GuR), die von BMW dokumentiert und durchgeführt wurde (siehe BMW- Anteil AP 2.2), beteiligt und hat die technischen Fragestellungen darin bearbeitet. Ausgehend von der GuR und dem resultierenden funktionalen Sicherheitskonzept wurde von Siemens das technische Sicherheitskonzept der induktiven Ladeinheit erstellt, mit dem die Sicherheitsziele aus der GuR fahrzeugseitig umgesetzt wurden.

Anlagen: S2.2_1 – Technisches Sicherheitskonzept, S2.2_2 – CE_Konformitätsprüfung

2.3 Systemanforderungen aus der Fahrzeugintegration

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

In existierenden Konzepten batterieelektrischer Fahrzeuge sind Vorrichtungen, die im Zusammenhang mit der induktiven Energieübertragung im Fahrzeug benötigt werden, nicht vorhanden. Diese müssen in das Gesamtfahrzeug integriert werden bzw. Schnittstellen hierfür geschaffen werden. Hieraus resultieren Anforderungen verschiedenster Art, die die Systemgestaltung fahrzeugseitig definieren und in entsprechende Spezifikationen für Gesamtsystem und fahrzeugseitige Komponenten überführt werden müssen. Dies muss einerseits für die konkret im Rahmen des Forschungsvorhabens darzustellenden Fahrzeuge im Speziellen erfolgen und in den Komponenten verifiziert werden, andererseits müssen auch im Sinne der Ausrichtung der Entwicklung auf längerfristige Zukunftsfähigkeit absehbare generische Anforderungen neuer elektrischer Fahrzeugkonzepte entsprechende analysiert und berücksichtigt werden.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Als Basisfahrzeug wurde der BMW Active E verwendet, welcher auf dem Genfer Autosalon im März 2011 vorgestellt wurde. Dieses reine Elektrofahrzeug (BEV) ist seinerseits basierend auf den konventionell angetriebenen Versionen des BMW 1er Coupes.

Die Integration der Technologie in BEV-Konzepte stellt ein Novum dar. Aufgrund der zahlreichen benötigten Komponenten und Schnittstellen bedarf es einer hohen Integrationskompetenz, dies in bestehende Fahrzeugarchitekturen zu berücksichtigen. Dies wurde in Anforderungen beschrieben und wird in Kapitel 3.2 in Zusammenhang mit der Umsetzung in einem Konzept beschrieben. An dieser Stelle sollen die lessons-learned angeführt werden, die während der Dauer des Förderprojekts generiert worden sind:

Geometrisch:

Das Spulensystem muss möglichst kleine Abmaße in allen Dimensionen aufweisen, um am Fahrzeugunterboden integriert werden zu können. Die z-Masskette (Höhe) ist besonders kritisch da die Bodenfreiheit von Fahrzeugen nicht verändert werden kann.

Aufgrund der Notwendigkeit der Integration von HV-Batterien wird auch in künftigen Fahrzeugkonzepten geometrisch der verfügbare Raum im Unterbodenbereich sehr eingeschränkt

sein, was zu einer deutlichen Reduktion der Abmessungen der Sekundärspule in x/y Richtung ggü. dem Förderprojekt führen muss. Idealerweise sind Synergien mit anderen Fahrzeugfunktionen wie z.B. Verkleidungsteilen oder Crash-Strukturen herbeizuführen.

Systemintegration:

Im Förderprojekt wurde eine unabhängige induktive Ladeelektronik parallel zur bereits vorhandenen eingebaut. Dies wird in einem Serienkonzept aus geometrisch-und kostenseitigen Aspekten als nicht zielführend angesehen. Ziel muss sein, mit möglichst geringen Änderungen eine weitere Leistungsschnittstelle für das induktive Laden an der bereits existierenden Ladeelektronik zu integrieren. Damit wäre auch die Funktion automatisch in das onboard-Kommunikationsnetz des Fahrzeugs eingebunden, was eine Regelung und Fehlerdetektion wesentlich vereinfacht.

Die Funktion Induktives Laden muss optimal erweise in das restliche Fahrzeugsystem integriert werden. Hierbei müssen Botschaften der beteiligten Steuergeräte im Nachrichtenkatalog implementiert werden, um die Vernetzung neuer Systeme mit bereits vorhandenen zu ermöglichen.

2.4 Systemanforderungen aus der Infrastrukturintegration

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Infrastrukturseitig ist die „road-side“ der induktiven Ladeeinrichtung an das Niederspannungsnetz anzuschließen. Hierbei ist ein störungsfreier und sicherer Betrieb entsprechend den gültigen Vorschriften (Niederspannungsrichtlinie) zu gewährleisten. Hierzu sind die relevanten Vorschriftenwerke, Normen etc. zu identifizieren und mit Ihren Vorgaben in die Systemlastenhefte als Anforderungen zu integrieren. Besonderes Augenmerk ist hierbei auf die Anforderungen aus der Personensicherheit zu legen. Darüber hinaus sind Verfahren zur Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur zu berücksichtigen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Die Randbedingungen des Betriebs im heimischen Umfeld (Carport, Garage) sind folgendermaßen charakterisiert: Die Anbindung der Ladekomponenten an das lokale Stromnetz entspricht denselben Randbedingungen analog des konduktiven Ladens; hierbei sind in unterschiedlichen Märkten Differenzierungen hinsichtlich der Spannung/Stromstärke vorhanden. Weitere regionale Besonderheiten, z.B. klimatische Verhältnisse, bedingen unterschiedliche Ausprägungen bezogen auf den operativen Aussentemperaturbereich, Luftfeuchtigkeit und das Vorhandensein von Schnee und Sand. Die entsprechend anzuwendenden Normen wurden in AP2.2 aufgelistet.

Da bei der technischen Umsetzung der Positionserkennung auch geringe Kommunikationsumfänge implementiert wurden, wurde als zusätzliche Systemanforderung das Vorliegen einer Funkzulassung für den öffentlichen Raum identifiziert und bearbeitet. Die Prüfung erfolgte nach EN 300 330-1/-2.

Anlage: S2.4 - Funkzulassung Positionserkennung

AP3: Funktions- und Integrationskonzept

3.1 Gesamtfunktionskonzept induktiver Ladeprozess

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Ausgehend von der Analyse verschiedener use cases ist ein Gesamtfunktionskonzept zu erarbeiten, das die Kundenanforderungen nach möglichst einfachem und praxisgerechtem Ladeablauf in allen relevanten use cases ermöglicht. Hierzu ist es notwendig, verschiedene Funktionskonzepte zu generieren, zu bewerten und das bestgeeignete zur Umsetzung zu spezifizieren.

Elemente des Gesamtfunktionskonzeptes sind auf funktionaler Ebene: Phasenbeschreibung der Abläufe in verschiedenen use cases, Verantwortlichkeiten der Teilsysteme im Gesamtprozess, Definition wesentlicher technischer Eckdaten, Regelbetrieb und Störfälle, Kompatibilität mit Abläufen und Mechanismen des kabelgebundenen Ladens.

Da die Gestaltung der Funktion und das kundenseitige Erleben wesentlich von der Gestaltung und den physikalischen Parametern des elektromagnetischen Feldes geprägt wird, sind auch folgende Faktoren im Zusammenwirken Primär- / Sekundärseite anforderungsseitig festzulegen: Energieübertragung in Abhängigkeit von Positionierungs- / Abstandsparametern, Leistungsparameter, Wirkungsgradparameter, Feldeigenschaften, Stör- und Streufelder unter Berücksichtigung der EMV / Personenschutzanforderungen. Das zu entwickelnde Funktionskonzept inkl. Anforderungen ist ein wesentliches Element der Systemspezifikation und definiert die Wechselwirkung der Teilsysteme wie auch deren wesentliche Anforderungen.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Aus der Use Case Analyse (s.2.1) wurden Zielbeschreibungen für die Funktionalität in verschiedenen Nutzungssituationen abgeleitet. Für die Untersuchung der Kernfragestellungen im Rahmen dieses Forschungsprojektes eignet sich am besten der Anwendungsfall des heimischen Ladens, was auch im Bezug auf die künftige Umsetzung hohe Relevanz hat. Damit wurden für die Entwicklung des ersten Funktionskonzeptes Elemente des öffentlichen Umfelds, wie z.B. Autorisierungs- und Abrechnungsprozesse ausgeklammert und auf den Kernablauf des Ladens fokussiert

Generischer Ladeablauf (s. Anhang):

Ein sich annäherndes Fahrzeug benötigt eine Kommunikationsverbindung mit der Infrastruktur, um Stati, Ladewunsch und Ladeberechtigungen auszutauschen. Aufgrund der Notwendigkeit einer möglichst exakten Positionierung zwischen Primär- und Sekundärspule ist eine Positionierungsassistenz notwendig. Diese muss ab einer definierten Entfernung (mind. 3m) über eine Anzeigemöglichkeit im Fahrzeug dem Fahrer eine Assistenz hinsichtlich Lenkwinkel und Entfernung ermöglichen. Um eine möglichst hohe Effizienz zu gewährleisten, muss das Fahrzeug innerhalb einer definierten Toleranz zw. Primär- und Sekundärspule positioniert werden. Das Einleiten des Ladevorgangs kann automatisch nach dem Einlegen der Parksperre erfolgen und erfolgt unabhängig von der Anwesenheit des Fahrers. Ein detaillierter, generischer Ladeprozess wurde erstellt.

Der Hauptaspekt des Induktiven Ladens, der Komfortzugewinn wurde besonders betont:

- Einleiten des Ladewunsches aktiv durch den Fahrer
- Automatisches identifizieren des Fahrzeugs an der Ladeinfrastruktur
- Positionierungsassistentz ermöglicht direktes Positionieren ohne rangieren
- Automatisches Einleiten des Ladebeginns nachdem Getriebe auf „P“ (Parkstellung)
- Automatische Abschaltung der Ladeelektronik nach Beendigung des Ladevorgangs oder ggfs. Manuell (Fahrereingriff)

Anlage BMW: B3.1 - generischer Ladeablauf

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Ausgehend von der Analyse verschiedener Use Cases ist ein Gesamtfunktionskonzept zu definieren, das die Kundenanforderungen nach möglichst einfachem und praxisgerechten Ladeablauf bei maximaler Automatisierung in allen relevanten Use Cases ermöglicht. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Beschreibung der Netzseite sowie der Definition des tech-nischen / physikalischen Zusammenwirkens der einzelnen Subsysteme basierend auf den Anforderungen des Partners BMW in den einzelnen Phasen, die wesentlich durch die Kun-den-anforderungen geprägt sind.

Im Einzelnen werden folgende Parameter definiert:

- Energieübertragung in Abhängigkeit von Positionierungs- / Abstandsparametern
- Wirkungsgradparameter
- Feldeigenschaften, Stör- und Streufelder unter Berücksichtigung der EMV
- Personenschutzanforderungen

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Der in Abstimmung mit BMW festgelegte generische Ladeablauf wurde siemensseitig in ein technisches Funktionskonzept mit Anforderungen an die einzelnen Komponenten umgesetzt (siehe Anhang Technisches Funktionskonzept). Als wesentliche Parameter für die Energieübertragung wurde eine Übertragung bis zu einem radialen Versatz Spule- Spule von 140mm definiert. Der vertikale Luftspalt (Kupfer- Kupfer) wurde nach umfangreichen Bauraumdiskussionen auf 70 – 120mm festgelegt. Problematisch war hier die niedrige Bodenfreiheit des ActiveE. Deshalb wurde der ursprünglich anvisierte vertikale Luftspalt von 100- 150mm auf den genannten verkleinert. Als Zielgröße für den Wirkungsgrad wurde 90% für die gesamte Übertragungskette festgelegt. Wichtiges Auslegungskriterium war weiterhin die Einhaltung des Grenzwertes der magnetischen Feldstärke von $6,25\mu\text{T}$ in 20cm Abstand vom Rand des Spulensystems (Anforderung aus AP2.2).

Anlage: S3.1 – Technisches Funktionskonzept

3.2 Integrationskonzept / Integrationsbetreuung

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die nach den Systemanforderungen konzipierten Systeme müssen geeignet in die Fahrzeuge integriert werden. Hierzu ist eine konkrete Auskonstruktion des Systemeinbaus inkl. Adaption der betroffenen Umfeldbauteile erforderlich. Hieraus sind Anforderungen an die Konstruktion der Sekundärseite abzuleiten bzw. dieser entsprechende Konstruktionsprozess ist zu begleiten und einer iterativen Lösung zuzuführen. Gleichmaßen sind Systemschaltpläne für die elektrische Integration (insb. Energieübertragung) des induktiven Ladesystems inkl. der Konzeption und Konstruktion entsprechender elektrischer Anpassungsumfänge zu erstellen. Zur Sicherstellung der funktionalen Integration ist ein Konzept zur Integration in den bestehenden Steuergeräteverbund z.B. hinsichtlich Ladeablaufsteuerung, Ladeprozessüberwachung und Kommunikationsbedarfe erforderlich. Die Anforderungen der Funktionssicherheit sowie des Personenschutzes müssen in konkreten Systemfunktionen abgebildet werden. Neben der Spezifikation ist die fachliche Begleitung des Partners Siemens in der Umsetzungsphase erforderlich die elektrische Integration (insb. Energieübertragung) des induktiven Ladesystems inkl. der Konzeption und Konstruktion entsprechender elektrischer Anpassungsumfänge zu erstellen. Zur Sicherstellung der funktionalen Integration ist ein Konzept zur Integration in den bestehenden Steuergeräteverbund z.B. hinsichtlich Ladeablaufsteuerung, Ladeprozessüberwachung und Kommunikationsbedarfe erforderlich. Die Anforderungen der Funktionssicherheit sowie des Personenschutzes müssen in konkreten Systemfunktionen abgebildet werden. Neben der Spezifikation ist die fachliche Begleitung des Partners Siemens in der Umsetzungsphase erforderlich.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Im Anforderungsmanagement wurde die Spezifikation der einzelnen (Teil) -Funktionen beschrieben. Dies wurde in einer hierarchischen Struktur, von allgemeinen Anforderungen hin zu konkreten Spezifikationen, durchgeführt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Schnittstellen des Induktiv Laden-Systems mit der Bordnetzarchitektur des Fahrzeugs gelegt. Schnittstellen bestanden im Bereich der 12V- und HV-Anbindung, dem Nachrichtenkatalog sowie der WLAN-Kommunikation mit der Ladestation.

Geometrische Randbedingungen:

Die geometrische Integration der Komponenten erforderte einen hohen Aufwand und tiefgreifende Änderungen am Basisfahrzeug. Die Sekundärspule wurde unter der Vorderachse am Crasht Träger befestigt, der hierfür modifiziert werden musste. Die Abmessungen der Sekundärspule von 600 x 600mm und insbesondere die Dicke von rund 25mm bewirkte die Höherstellung des Fahrzeugs, um eine ausreichende Bodenfreiheit zu gewährleisten. Damit verbunden waren Änderungen am Fahrwerk. Der Einbau der Ladeelektronik, Positionierung sowie der Hilfssysteme (Stromverteiler, Datenlogger, ABK-Computer) wurde im Kofferraum des Fahrzeugs und auf den Rücksitzen vorgenommen. Diese wurden entfernt, sodass Raum zur Verfügung war, insbesondere die

Leistungselektronik (FLE) dort zu positionieren. Das Fahrzeug ist nunmehr nur als Zweisitzer zugelassen.

Passive Sicherheit:

Die zusätzlich eingebauten Komponenten dürfen keinen negativen Einfluss auf die passive Sicherheit des Fahrzeugs haben. Hervorzuheben ist dabei, dass bei einem Crash insbesondere die Sekundärspule als schweres und voluminöses Bauteil keine Beschädigung der HV-Batterien, die ebenfalls im Unterbodenbereich montiert sind, auftreten darf. Des Weiteren darf keine Verblockung der Spule auftreten. Da die HV-Komponenten nur zum Laden benötigt werden, sind sie während der Fahrt inaktiv und damit auch stromlos. Im Crashfall geht somit kein elektrisches Risiko von den Komponenten aus.

Wärmemanagement:

Die beim Ladebetrieb auftretenden wärmetechnischen Verluste konnten durch die Einbettung der FLE in das existente Kühlsystem der Standard-Ladeelektronik abgeführt werden. Die Sekundärspule sowie die Gleichrichter benötigen über die Oberflächenkonvektion hinaus keine separate Kühlungseinrichtung.

Anzeige-Bedienkonzept(ABK):

Beim ABK wurde eine eigenständige Rechereinheit, welche die Auswertung der Parksensoren übernahm gekoppelt mit dem in Fahrzeug befindlichem, serienmässigen, Bildschirm. Die Recheneinheit wurde hierbei direkt an das Display angeschlossen, der Wechsel der Systeme zwischen Standard-Fahrzeug-ABK und dem Positionierungsrelevanten ABK erfolgte zeitgleich mit dem Einleiten des Ladewunsches; die hierfür umfunktionierte „PDC“-Taste fungierte dabei als Trigger.

Elektrik / Elektronik Integration:

Die Ladeelektronik wurde systemarchitektonisch parallel zum Standardladeverfahren geschaltet, d.h. es erfolgte ein Ausschluss des induktiven als auch konduktiven Ladens zur selben Zeit. Der fahrzeugseitige Leistungsfluss erfolgt über die Sekundärspule, die Gleichrichter zum DC/DC-Wandler (FLE) und von dort in die Antriebselektronik, welche die Verbindung zum HV-Speicher darstellt. Um eine größtmögliche Konsistenz mit dem vorhandenen Bus-Systemen und Nachrichtenkatalogen herzustellen, wurden sogenannte Private-Bus-Systeme innerhalb der Ladeelektronik-Topologie verwendet; diese wurden durch ein Gateway an das FZG-System übertragen. Die Positionierungsassistentz wurde durch einen eigenen Computer umgesetzt, der einerseits am bereits beschriebenen Private-Bus-System angeschlossen ist, andererseits direkt an das zentrale Anzeigedisplay gekoppelt. Die grundsätzlichen Umweltafordernungen an das System induktives Laden entsprechen denen eines konduktiven Systems (Wetterbeständigkeit, Vandalismusschutz). Durch das Nicht-Vorhandensein einer Kabelverbindung zum FZG, müssen Kommunikationsdaten über ein drahtloses System ausgetauscht werden.

Anlage BMW: B3.2_1 - Prinzipdarstellung Fahrzeugintegration, B3.2_2 – Nachrichtenkatalog, B3.2_3 - Systemschaltplan

3.3 Positionierungsassistentz

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Zur Sicherstellung spezifikationsgemäßer Energie / Datenübertragung ist eine Relativpositionierung Fahrzeug / Ladestation innerhalb noch zu definierenden Toleranzen längs- und quer erforderlich. Mit größter Wahrscheinlichkeit kann der Fahrer dies nicht ohne Unterstützung über ein Positionierungsassistenzsystem bewerkstelligen. Hierbei stehen grundsätzlich mehrere Ausbaustufen der Assistenz zur Verfügung, die im Sinne der zukunftssicheren Systemgestaltung untersucht und in Ihren Anforderungen für das induktive Ladesystem analysiert werden müssen:

- Informatorische Assistenz: z.B. Anzeigen (vor/zurück, links, rechts) über Fehlpositionierung, die dem Fahrer helfen, die bestmögliche Position zu finden.
- Teilautomatisierung: z.B. automatisiertes Feinpositionieren durch vor/zurück rangieren
- Vollautomatisierung: automatische längs-/quer Positionierung mit oder ohne Fahrerüberwachung.

Für alle Systeme ist die Interaktion bzw. Integration mit entsprechenden Systemen der Parkierassistentz zu berücksichtigen, vor allem im Anzeige-/Bedienkonzept (AP 3.4). Für den konkreten Anwendungsfall in den Demonstratorfahrzeugen ist eine einfache Implementierung in Form einer informatorischen Assistenz auszuarbeiten und zu spezifizieren. Mit Vorliegen eines zielkonformen Spulensystems in 2011 im Fahrzeug sind die konkreten Eigenschaften hinsichtlich Positionierungstoleranz und Signalgüte noch einmal zu erfassen und zu bewerten sowie ggf. Auswirkungen auf Positionierungskonzepte zu erarbeiten.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Zur Gewährleistung einer optimalen Energieübertragung, müssen die beiden Spulensysteme (Infrastruktur und Fahrzeugseitige Integration) einen möglichst hohen Überdeckungsgrad aufweisen. Anforderungsseitig wurde ein toleriertes Ladefenster von $\pm 100\text{mm}$ in x/y-Richtung (entsp. 141mm diagonal) und ein optimales Ladefenster $\pm 50\text{mm}$ (x/y-Richtung) definiert. Diese Genauigkeit kann fahrerisch nicht erreicht werden, da der Fahrer Objekte vor dem Fahrzeug erst ab einer Entfernung von 4m sehen kann.

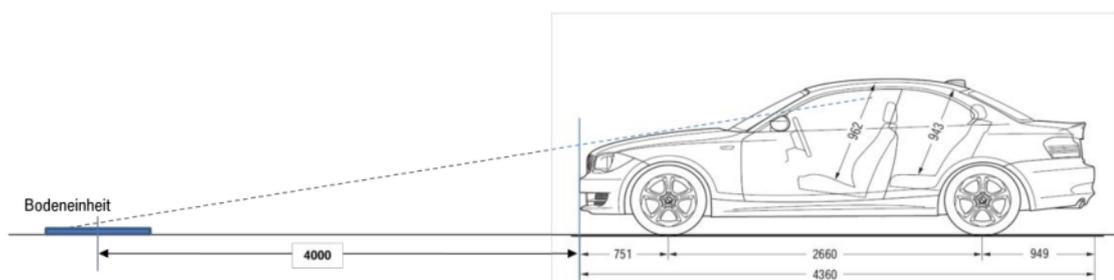


Abb. 3: Sichtperspektive auf Bodeneinheit

Eine Assistenz zum Erreichen dieser Ladefenster ist somit erforderlich. Anforderungen hierzu wurden im Anforderungskatalog definiert. Die Positionierungsassistentz sollte dem Fahrer idealerweise ab einer Entfernung von 4m und mit hinreichender Genauigkeit die Entfernung zum Ladefenster sowie

den Lenkwinkel anzeigen. Diese theoretische Anforderung kann reduziert werden, da man dem Fahrer generell eine Fähigkeit zur Grobpositionierung in einer Parkiersituation unterstellen kann. Aus der Anforderung Hin- und Herrangieren zu verhindern, resultiert dennoch eine Anforderung eine finale Positionierungsführung mit mindestens >1-2m zu realisieren, damit ausreichend Weg für seitliche Korrekturen verbleibt um im ersten Ansatz zielsicher zu positionieren.

Die Assistenzfunktion muss dabei widerspruchsfrei zu bereits vorhandenen Positionier-/Parkierassistenzsystemen am Fahrzeug ausgeführt sein und auditiv/visuell sehr einfach verständlich sein, um nicht vom Fahren abzulenken. Im Rahmen des Förderprojektes war die Entwicklung einer Positioniersensorik die sämtliche notwendigen Anforderungen erfüllt, ein Entwicklungsziel (s. Siemens Teil). Die Zielsetzung einer hohen Reichweite und Präzision wurde auf Basis der Ladesysteminternen Sensorik nicht erreicht. Um für die kundennahe Erprobung und den geplanten Demo-Betrieb dennoch eine kundenwertige Assistenzfunktion darzustellen und den Ladebetrieb überhaupt untersuchen zu können, wurden ergänzend zum ursprünglichen Planstand fahrzeugseitige Positionierhilfen zum Ladesystem ergänzt. Es wurden Versuche mit visuellen Unterstützungen (sichtbarer Laser) und Seitenlinien als Unterstützungskonzept sowie der Nutzung vorhandener Parksensoren (PDC) durchgeführt: In einem Versuch mit ca. 40 Probanden wurde die Einparkpräzision einer lasergestützten- einer Park-Sensor-basierten Positionierungsassistenz sowie Einparken ohne Hilfsmittel empirisch untersucht. Hierbei wurde die Notwendigkeit eines Assistenzsystems bestätigt und die Variante der Nutzung der Einparksensoren als Vorzugsvariante festgelegt. Hieraus kann aber nicht grundsätzlich abgeleitet werden, daß Parkassistenzsensorik für die Relativpositionierung Fahrzeug Ladesystem geeignet ist, da Parkieren und Positionieren zum Laden zunächst unabhängige Anforderungen, z.T. auch konträre, generieren. Aufgrund der hohen Relevanz für die Kundenwertigkeit ist damit die Umsetzung eines Positionierungssystems (Sensorik + Assistenzkonzept bis hin zur Automatisierung) als zusätzlicher Forschungsbedarf identifiziert, da im limitierten Zeit- und Budgetrahmen des Projekts keine adäquate Lösung als Element des Ladesystems umgesetzt werden konnte (s. Kapitel 6).

Anlage BMW: B3.3 - Versuchsergebnisse Parkieren

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Zur Sicherstellung spezifikationsgemäßer Energie / Datenübertragung ist eine Relativpositionierung Fahrzeug / Ladestation innerhalb noch zu definierenden Toleranzen längs- und quer erforderlich. Der Fahrer benötigt hierfür eine entsprechende Positionierungsassistenz, weil eine Positionierung des Fahrzeuges auf einige cm Genauigkeit ohne entsprechende Assistenzsysteme nur schwer durchführbar ist. In diesem AP sind daher Konzepte zu erarbeiten, wie – bevorzugt durch das Energieübertragungssystem selbst – Signale zur Erkennung der Relativposition erzeugt und ausgewertet werden können. Für alle Systeme ist die Interaktion bzw. Integration mit entsprechenden Systemen der Parkierassistenz zu berücksichtigen, vor allem im Anzeige-/Bedienkonzept (AP 3.4).

Für den konkreten Anwendungsfall in den Demonstratorfahrzeugen ist eine Implementierung in Form einer informatorischen Assistenz im Sinne einer Richtungs- und ggf. Pegelangabe auszuarbeiten und zu spezifizieren.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Siemensseitig wurden verschiedene Sensorik- Ansätze hinsichtlich der Verwendbarkeit zur Positionierungsunterstützung untersucht. Die Verwendung von Ultraschall- Sensorik (Sender in Primärspule/ Empfänger im Kfz) wurde aufgrund der auftretenden Umgebungsbedingungen (Verschmutzungen, Schnee etc.) als nicht erfolgversprechend verworfen. Zwei einander ähnliche Verfahren der Feldstärkemessung mit 6,78MHz (ISM- Band) und mit 10kHz wurden evaluiert und als technisch unter den bestehende Randbedingungen als machbar eingeschätzt. Festgelegte Randbedingungen waren:

- Integrierbarkeit in vorhandene Primär- und Sekundärspule (Reduzierung Komplexität Gesamtsystem)
- Möglichst keine Beeinflussung durch Leistungselektronik und magnetischer Energieübertragung (Störfestigkeit)
- Austausch von Access- Point- Informationen über Positionierung möglich
- Signalverarbeitung integrierbar in bestehende Hardware Steuergerät

Die Feldstärkemessung mit 6,78MHz wurde aufgrund der prognostizierten größeren Reichweite ausgewählt. Dazu wurde eine zusätzliche Sendespule in die Primärspule und vier Empfangsspulen in die Sekundärspule integriert. Als Schnittstelle zu BMW wurde die Übergabe einer (x,y)- Information sowie eines Winkels vereinbart. Die Ladefreigabe wurde zusätzlich über die Auswertung des radialen Versatzes als extra Nachricht an BMW gegeben.

3.4 Anzeige- / Bedienkonzept

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Der Ladevorgang beim induktiven Laden soll zielgemäß möglichst automatisiert und ohne Zutun des Fahrers ablaufen können. Dennoch sind im Hinblick auf die unterschiedlichen use- cases jeweils ein Minimalumfang von Anzeigen erforderlich, z.B. Ladestatus und Fehlerinformationen, die den Ablauf für den Fahrer nachvollziehbar und transparent machen. Diese sind use case spezifisch zu definieren, einer Harmonisierung zuzuführen und zu spezifizieren. In bestimmten Fällen können auch Bedienhandlungen oder Einstellungen des Fahrers erforderlich werden (z.B. Vorwahl Ladeparameter, Bezahlabläufe etc.). Diese sind zu spezifizieren und ebenfalls in das Anzeige-/Bedienkonzept sinnvoll zu integrieren. Da diese Umfänge die wesentliche Benutzerschnittstelle und auch Erlebniskomponente beim induktiven Laden darstellt, ist hierauf besonderes Augenmerk hinsichtlich Nutzbarkeit, Einfachheit, Induktivität zu legen und über den Demonstrator Betrieb zu belegen. Des Weiteren muss eine sinnvolle Integration in das ABK des kabelgebundenen Ladens erfolgen, um keine logischen Brüche für einen Benutzer durch Gemischnutzung aufkommen zu lassen. Das Ergebnis der ABK Erarbeitung ist eine entsprechende Spezifikation.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Die Anforderungen an die ABK-Darstellung der Positionierungsassistenten wurden in mehreren grafischen und funktionalen Entwürfen iterativ umgesetzt. Zu Beginn wurde ein Korridor i.V.m. einer Pfeildarstellung definiert, welche Richtung und Entfernung bis zur optimalen Position darstellen sollten.

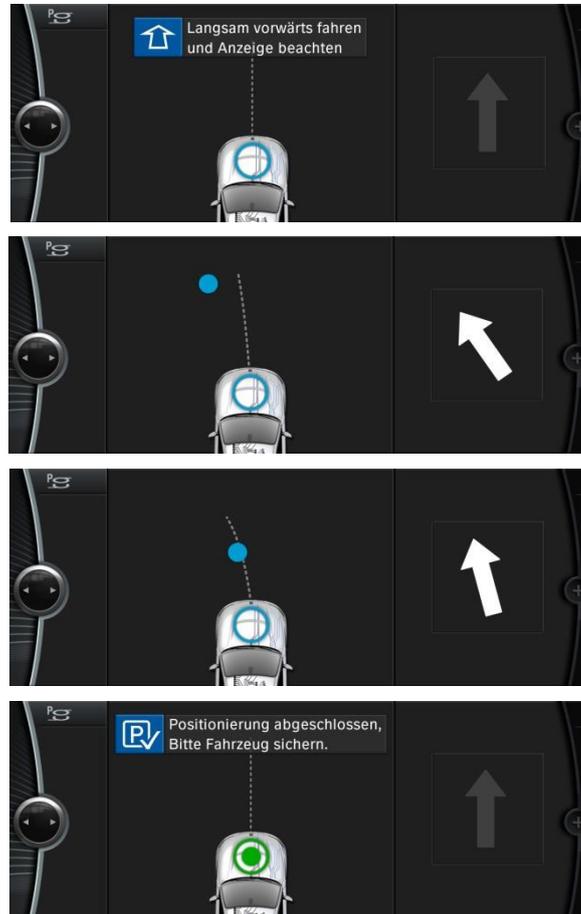


Abb. 4: ABK-Zwischenstand

Finale Konfiguration (s. Anhang):

Da die gebogene, gestrichelte Wegstrecke eine Redundanz zu dem Pfeil im rechten Bereich darstellt, wurde in der finalen Lösung ausschließlich ein bewegter „Punkt“ mit einer geraden Wegstrecke verwendet, der die finale Positionierung anzeigt. Der Punkt wandert dabei von oben nach unten entsprechend der abnehmenden Entfernung beim Positionieren. Kann die optimale Position nicht erreicht werden, fordert das System mit kleinen Pfeilen in x/y-Richtung zur Korrektur des Kurses auf. Bei Erreichen der optimalen Position verfärbt er sich grün und fordert zum Einlegen der Parksperr auf. Anschliessend beginnt der Ladevorgang.

Anlage BMW: B3.4 - Finale ABK-Umsetzung

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Der Ladevorgang beim induktiven Laden soll zielgemäß möglichst automatisiert und ohne Zutun des Fahrers ablaufen können. Gemäß der Definition der anzuzeigenden Parameter durch den Partners BMW wird in diesem AP definiert, wie die gewünschten Signale aus den Statussignalen der Übertragungseinrichtungen abgeleitet werden können. Des Weiteren definiert Siemens im Rahmen dieses AP eine ABK für die Infrastrukturseite, welches den Betriebszustand der induktiven Energieübertragung anzeigt sowie entsprechende Eingriffsmöglichkeiten bietet (z. B. Not-Aus).

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Da die Reichweite der Positionierungslösung frühzeitig als zu gering für eine allein darauf beruhende Fahrerassistenz erkannt wurde, wurde im Weiteren für die Umsetzung im ABK auf eine Kombination des BMWseitig vorhandene PDC- Signals (Park Distance Control) und des vom Siemenssystem erzeugt (x, y)- Signals gesetzt. Von Siemens wurden außerdem extra Nachrichten für die endgültige Ladefreigabe (radialer Versatz kleiner 140mm) und die Visualisierung einer nötigen Positionskorrektur (Pfeile nach links oder rechts nach Stillstand Fahrzeug) definiert und bereitgestellt. Das Anzeige- und Bedienkonzept für die infrastruktureitige Netzanbindung wurde bewusst einfach gehalten, um hier zu demonstrieren, dass dieses Funktionselement anders als Ladesäulen später nicht unmittelbar am Fahrzeug (und damit im öffentlichen Raum) sichtbar sein muss. Der Benutzer hat lediglich das Fahrzeug als User Interface zu bedienen (Ladewunschtaaste = Positionierungstaste drücken). Der gesamte darauffolgende Ladeablauf erfolgt automatisch unter Nutzung der Kommunikation Fahrzeug-Infrastruktur. Als einzige Eingriffsmöglichkeit infrastruktureitig wurde ein Not- Aus vorgesehen.

3.5 Systemkommunikation, Kommunikation Infrastruktur / -Fahrzeug

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Der Ladevorgang ist bereits beim induktiven (kabelgebundenem) Laden ein komplexer Vorgang, da sowohl Ladeparameter, Ladeablaufsteuerungsinformationen, Sicherheitsinformationen, Abrechnungsinformationen und ggf. Kommunikationsumfänge für Mehrwertdienstleistungen über die Ladeschnittstelle (d.h. Kabel) zwischen Ladestation und Fahrzeug übertragen werden müssen. Beim induktiven Laden entfällt die Möglichkeit der kabelgebundenen Kommunikation und durch das Nichtvorhandensein des Kabels ist auch eine 1:1 Zuordnung Fahrzeug / Ladestation nicht mehr per se gegeben. Zusätzlich zu den Standardumfängen der Kommunikation beim induktiven Laden sind deshalb Mechanismen zur 1:1 Zuordnung zu implementieren. Aufgrund der Notwendigkeit der Positionierungsassistenz sind ferner Informationen hierfür zwischen Fahrzeug und Ladestation auszutauschen. Demzufolge ist ein kabelloses Kommunikationskonzept entweder aus bestehenden Standard Kommunikationsoptionen des Fahrzeuges oder über eine spezifische Datenkommunikation über den Luftspalt der induktiven Energieübertragung zu konzipieren, spezifizieren und umzusetzen. Die Einbindung der neuen Kommunikationsumfänge in die bestehenden Systeme ist zu spezifizieren.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Das Nicht-Vorhandensein eines Ladekabels bedingt zwangsläufig auch den Verlust einer Datenkommunikation, welche im Ladekabel integriert ist. Da eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur jedoch notwendig ist, muss diese drahtlos erfolgen. Die als Versuchsplattform zur Verfügung stehenden BMW Fahrzeuge verfügen über keine direkt für die Zwecke des Ladens nutzbare Kommunikationstechnologie. Deshalb wurde für die Zwecke des Forschungsvorhabens die Verwendung von WLAN Standardkomponenten beschlossen, um Implementierungsrisiken zu minimieren.

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Funktional ist eine Kommunikation vergleichbar zum induktiven Laden zu implementieren (siehe entsprechende AP-Beschreibung Partner BMW). Zusätzlich ist durch die Kommunikation sicherzustellen, dass sich eine eindeutige Zuordnung zwischen Ladestation und Fahrzeug ergibt. Hierzu sind Verfahren zu konzipieren, die zumindest eine begleitende Kommunikation über den Luftspalt der induktiven Energieübertragung nutzen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Konzeptionell wurden zwei drahtlose Kommunikationswege vorgesehen. Über die Positionserkennung wird die Access- Point- Information vom Fahrzeug an die infrastrukturseitige Ladeeinheit übermittelt. Über eine zusätzliche WLAN- Verbindung werden Status- und Fehlerregister ausgetauscht, die Nachricht AC- Spannung infrastrukturseitig zu- oder abschalten vom Fahrzeug gesendet und eine Nachricht Ladeabbruch ausgetauscht. Der Zustandsautomat für den automatisierten Ladeablauf läuft im zentralen Steuergerät fahrzeugseitig. Dieses ist auch die Kommunikationsschnittstelle zum BMW- Fahrzeug- CAN.

AP4: Magnetische Auslegung und Aufbau Übertragungssystem (Spulensysteme, Flussführung)

4.1 Spulensystem: Koppelgrad, Induktivitäten, Positionierung, Koppelgrad

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Innerhalb dieses AP erfolgt die Auslegung der Spulensysteme gemäß Spezifikation. Hierbei ist ein Zielkonflikt zu bewältigen zwischen:

- Möglichst guter magnetischer Kopplung der Spulensysteme
- Luftspalt im Bereich größer als 10 cm zur Erhaltung der Bodenfreiheit des Fahrzeugs
- Hohem Wirkungsgrad
- Toleranz des Systems gegen Fehlausrichtung

Das AP umfasst darüber hinaus das Design von speziellen Komponenten und hinzu gehörigen Verfahren zur primären Ableitung von Signalen für die Positionierassistenz. Des Weiteren sollen in diesem AP prinzipielle Machbarkeitsuntersuchungen zur Nutzung magnetisch leitfähiger Kunststoff-Kompositwerkstoffe durchgeführt werden. Diese Werkstoffe können u. U. genutzt werden, um eine bessere Integration der pick-up Spule in den Unterboden des Fahrzeugs zu ermöglichen. Neben der Auslegung für ein System nach Spezifikation mit einer Leistung von ca. 3,6 kW wird auch eine magnetische Auslegung für 11 kW durchgeführt, um Aussagen für spätere Systeme mit erhöhter Ladeleistung ableiten zu können.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Die Spulenauslegung erfolgte in mehreren Schritten. Nachdem die Bauraumanforderungen mit BMW abgestimmt waren, wurde der Spulendurchmesser auf 60cm festgelegt. Es folgten magnetostatische FEM- Simulationen verschiedener Spulenkfigurationen zur Ermittlung der Eigen- und Kopplungsinduktivitäten. Aus der Differenz der Eigen- und Kopplungsinduktivitäten wurde die Streuinduktivität abgeleitet. Mittels Vierpoltheorie wurde ein Ersatzschaltbild erstellt. Für verschiedene Spulenkfigurationen wurde der Kopplungsfaktor ausgewertet und die Konfiguration mit der maximalen Kopplung unter den gegebenen Randbedingungen ausgewählt (siehe Anlage Spulensystem). Diese Spulenkfiguration wurde in einem Labormuster aufgebaut und mittels Impedanz- Analysator vermessen. Die Abweichungen zwischen Simulation und Messung betragen für L- Matrix- Werte und den Kopplungsgrad in allen Fällen weniger als 10%. Damit wurde das Vorgehen der Spulensimulation grundlegend bestätigt.

Die Ergebnisse der Simulation zeigten eine ausreichende Kopplung für einen vertikalen Abstand Spule zu Spule (Kupfer- Kupfer) von 70 bis 120mm und bis zu einem horizontalen radialen Versatz von 140mm (siehe Anlage Spulensystem).

Anlage: S4.1 - AP4_Spulensystem_Siemens

4.2 Elektromagnetische Verträglichkeit

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Das System wird später im privaten Wohnumfeld eingesetzt. Hieraus ergeben sich Anforderungen an die magnetische Feldstärke, denen Personen im Umfeld des Übertragungssystems permanent oder kurzzeitig ausgesetzt werden dürfen.

Durch das Design des Systems soll sichergestellt werden, dass die Größe des emittierten magnetischen Feldes möglichst klein ist, wenn auch die Einhaltung der normativen Grenzwerte im Rahmen dieses Projektes u. U. nicht vollständig gewährleistet werden kann.

In jedem Fall soll untersucht werden, welche Werte des magnetischen Feldes erreicht werden und wie sich Änderungen am Design auf diese Werte auswirken (Sensitivitätsanalyse).

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Durch die in Arbeitspaket 4.1 erarbeiteten Methoden der Magnetfeldsimulation konnte auch das Streufeld des gesamten Spulenaufbaus simuliert werden. Bei der Spulenauslegung wurde als Randbedingung beachtet, dass die Magnetfeldstärke in 20cm- Abstand vom Spulenrand den Grenzwert nach ICNIRP-Richtlinie für die allgemeine Bevölkerung von $6,25\mu\text{T}$ nicht überschreiten sollte. Die Einhaltung dieses Grenzwertes in 20cm- Abstand wurde auch im endgültigen Spulenaufbau durch Störaussendungsmessung mit Magnetfeldsonden nachgewiesen (siehe Anlage Spulensystem). In Zusammenarbeit mit BMW wurden auch Störfestigkeitsmessungen an einem BMW- Serienfahrzeug mit Vollausrüstung durchgeführt. Dabei wurden im Fahrzeug keine Fehlerspeichereinträge selbst bei ungünstigsten Übertragungsbedingungen (maximaler Versatz und maximale Leistung) festgestellt. Störungen wurden beim Keyless- Entry- System, das mit einer Übertragungsfrequenz von 125kHz arbeitet, gefunden.

Anlage: AP4_Spulensystem_Siemens

4.3 Konstruktion / Design mech. Aufbau Spulensystem

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Konstruktion der Gehäuse entsprechend den Anforderungen der Spezifikation gemäß AP 2.3 und AP 2.4..

Durch das Design der Spulensysteme soll die Funktion der induktiven Energieübertragung sichergestellt werden. Das Design hat daher als wesentliche Elemente neben den mech. Eigenschaften auch die Führung des Magnetflusses sowie die Vermeidung von Wirbelströmen zu beachten. Des Weiteren sind die Anforderungen an die mechanische Festigkeit, den Schutz gegen Eindringen von Fremdkörpern, Feuchtigkeit und Staub zu erfüllen. Die Befestigung am Fahrzeug ist mit dem Projektpartner BMW abzustimmen. Für das infrastrukturseitige System ist durch das Gehäuse sicherzustellen, dass durch versehentliche Befahrung des Übertragungssystems mit einem Rad keine Beschädigung erfolgen kann.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Bauraum und Befestigungskonzept der Sekundärspule wurden zwischen BMW und Siemens abgestimmt. Die äußere Form der Sekundärspule wurde von Siemens an den vorhandenen Bauraum optimal angepasst und die von BMW vorgegebene z- Masskette von 30mm wurde durch verschiedene konstruktive Maßnahmen eingehalten. Durch Integration der Kondensator- Leiterplatten und des Gleichrichters in das Gehäuse der SSP wurde erreicht, dass die auftretende Betriebsspannung von 2,5kV nicht durch das Fahrzeug geführt werden muss. Außerhalb der Sekundärspuleneinheit ist die max. Betriebsspannung dadurch auf 400V begrenzt.

Auf einen Verguss des Spulensystems wurde für den Demo- Betrieb verzichtet, die Dichtigkeit wurde durch ein Thermoplast- Gehäuse sichergestellt. Die Sekundärspuleneinheit hat einen Schwall- Wassertest (entsprechend Schutzklasse IP6K9K), einen thermischer Zyklentest gemäß Einsatzbedingungen und einen Vibrationstest nach BMW- Vibrationsprofil für Chassis- Anbau bestanden. Diese Tests wurden bei einem zertifizierten Testinstitut durchgeführt. Die Primärspule hat die Dichtigkeitsklasse IP67 und ist getestet bis zu einer Radlast von 500kg überfahrbar.

Anlage: AP4_Spulensystem_Siemens

4.4 Aufbau Hardware Demonstrator

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Innerhalb des AP werden die road-side und pick-up Spule und deren Gehäuse mechanisch gefertigt und aufgebaut. Das AP umfasst den Aufbau der Gehäuse entsprechend den Konstruktionsunterlagen bei einem externen Zulieferer sowie das entsprechende Controlling. In die Gehäuse sind entsprechende flussführende Elemente (Ferrite) einzubringen und geeignet zu fügen. In diese Strukturen sind HF-Litzen einzulegen und zu fixieren. Des Weiteren wird ein geeignetes Vergussystem ausgewählt und es werden Probeabgüsse vorgenommen. Die Einrichtungen zur Durchführung des Vergusses werden ausgewählt und kalibriert. Wenn notwendig werden Abdichtungen oder Vergussformkörper gefertigt und es erfolgt der Verguss selbst.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

In der Labormusterphase wurde die Klebetechnik für die flussführenden Ferrite evaluiert (Anlage AP4_Spulensystem). Die geeignete Fügetechnik wurde dann in der Konstruktion des Endsystems umgesetzt. Nach der Evaluierung der Klebetechnik wurde aufgrund der grossen auftretenden CTE- Unterschiede im Aufbau auf einen Gesamtverguss des Spulensystems verzichtet und die Befestigungen der einzelnen Elemente durch eine geeignete Konstruktion umgesetzt. Es wurden 10 Primär- und 10 Sekundärspulen im Siemens- Werk Chemnitz aufgebaut.

Anlage: AP4_Spulensystem_Siemens

AP5: Auslegung und Aufbau Leistungselektronik, Datenübertragung sowie Netz- und Fahrzeugankopplung

5.1 Netzankopplung und infrastrukturseitiger Wechselrichter

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Entwurf des an die Infrastruktur angekoppelten Stromrichters (DC/AC) sowie der Netzankopplung selbst inklusive der notwendigen Schutz- und Schalttechnik sowie Anzeigeelemente.

Der an die Infrastruktur angeschlossene Stromrichter besteht aus einem aktiven Gleichrichter mit Power Factor Controller (PFC) Funktionalität sowie einem Wechselrichter zur Erzeugung der für die induktive Energieübertragung notwendigen Wechselspannung hoher Frequenz. Es wird erwartet, dass hierfür Frequenzen im Bereich von 100 kHz erzeugt werden müssen, was sich bzgl. Gestaltung des Wechselrichters entsprechend anspruchsvoll gestaltet. Unter Umständen sind für den Wechselrichter neuartige Bauelemente auf Basis von SiC einzusetzen.

Des Weiteren beinhaltet das AP die Auslegung einer verlust- und toleranzoptimierten Resonanzbeschaltung des Spulensystems, einer Steuerplatine mit FPGA / CPLD Bausteinen, den entsprechenden Gatetribern, Kommunikationshardware, der Schutztechnik an der Netzeinspeisung incl. RCD-Schutz, der entsprechenden Anzeigeelemente (wie Bereitschafts- und Funktionsanzeige) sowie eines EMV- gerechten Gehäuses.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Als Frequenzbereich der induktiven Energieübertragung wurde nach Voruntersuchungen 120 bis 180kHz festgelegt. Daraufhin wurde der infrastrukturseitige Wechselrichter (im Systemkonzept: BLE = bodenseitige Leistungselektronik) ausgelegt. Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt: Topologieauswahl / Simulation, Dimensionierung Leistungsteil, Schaltplan Leistungsteil, Schaltplan Regelung, Programmierung Logikbaustein; Anpassung PFC, Layout Leistungsteil und Regelung, Auslegung Kühlung und Gehäusekonstruktion. Als Kühlung wurde eine Luftkühlung über Lüfter vorgesehen. Das Gehäuse wurde von der externen Konstruktionsfirma IBH konstruiert und gefertigt (siehe Anlage AP5_Leistungselektronik_Siemens). Die BLE wurde in einen Schaltschrank integriert, der zum Zwecke der Netzanbindung, der Realisierung der Kommunikation Fahrzeug/ Infrastruktur und der Ladesteuerung noch die in der Anlage AP5_Leistungselektronik_Siemens aufgeführten weiteren Komponenten enthält.

Anlage: S5.1 - AP5_Leistungselektronik_Siemens

5.2 Fahrzeugseitiger Gleichrichter und Batterieankopplung

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Entwurf des fahrzeugseitigen Gleichrichters, des DC/DC-Stellers sowie der Kommunikationsbaugruppe zur Kommunikation mit dem BMS (Batterie Management System).

Auf der Fahrzeugseite ist das hochfrequente Leistungssignal gleichzurichten sowie die Leistung über einen DC/DC Steller der Fahrzeugbatterie zuzuführen. Der DC/DC-Steller übernimmt hierbei zwei Aufgaben:

- Impedanzanpassung zur Optimierung der induktiven Energieübertragung
- Anpassung des Spannungspegels zur Sicherstellung einer ordnungsgemäßen Ladung der Batterie entsprechend dem aktuellen SOC und dem vorgegebenen Lade-Regime (konstanter Strom / konstante Spannung)

Das AP umfasst des Weiteren das Design einer entsprechenden Resonanzbeschaltung auf der Fahrzeugseite, entsprechender Steuerplatinen, Gateansteuerung, Kommunikations-Hardware sowie ein fahrzeugseitigen Gehäuses.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Die Kommunikation zum BMW- Fahrzeug- CAN wurde für alle die induktive Ladeinheit von Siemens betreffende Kommunikationsumfänge über die zentrale Ladesteuerung (ZLS; siehe Anlage Spezifikation Ladesteuergerät und Anlage Systemkonzept) realisiert. Diese ist über eine RS485-Schnittstelle mit der FLE (fahrzeugseitige Leistungselektronik = DC/DC- Steller) verbunden. Zusätzlich verfügt die ZLS über einen Relaisausgang, über den potentialfrei eine Ladefreigabe an die FLE erteilt werden kann. Die fahrzeugseitige Gleichrichterbaugruppe wurde in die Sekundärspuleneinheit integriert (siehe AP4.3), um nur Spannungen kleiner 400V durch das Fahrzeug führen zu müssen. Für den DC/DC- Steller (=FLE) wurden folgende Arbeitsschritte ausgeführt: Topologieauswahl / Simulation, Dimensionierung Leistungsteil, Schaltplan Leistungsteil, Schaltplan Regelung, Programmierung Logikbaustein, Layout Leistungsteil und Regelung sowie Realisierung physikalische Kommunikationsschnittstelle, Auslegung Kühlung und Gehäusekonstruktion.

Anlagen: S5.2 _ Spezifikation Ladesteuergerät

5.3 Kommunikation mit Batteriemanagementsystem sowie dem ABK im Fahrzeug

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Entwurf und Programmierung der Software für Kommunikationsschnittstelle zwischen fahrzeugseitigem Stromrichter und dem BMS sowie dem ABK im Fahrzeug. Durch die Kommunikation ist sicherzustellen, dass einerseits alle notwendigen Signale mit dem BMS ausgetauscht werden, um eine den Anforderungen der Batterie gerechte Ladung zu gewährleisten. Zum anderen sind mit dem ABK im Fahrzeug Signale auszutauschen, um die Positionierassistenz sicherzustellen und im AP 3.4 definierte Statussignale im Fahrzeug zur Anzeige zu bringen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Die im AP beschriebenen Kommunikationsumfänge werden durch die zentrale Ladesteuerung geleistet, die ILE- seitig (ILE= induktive Ladeinheit Siemens) die Signale der Positioniereinheit (POE), der Kommunikation Fahrzeug- Infrastruktur und der FLE empfängt, bewertet und an die Schnittstelle zum BMW- Fahrzeug- CAN (Private CAN) weitergibt. Dazu ist in Zusammenarbeit mit

BMW ein Nachrichtenkatalog für die Schnittstelle ZLS- Private CAN abgestimmt worden (Anlage: Nachrichtenkatalog). Zum frühzeitigen Test dieser Kommunikation wurde BMW eine ZLS für einen Hardware- in- the –Loop Test zur Verfügung gestellt.

5.4 Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeug

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

In diesem AP wird die Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeug entworfen und implementiert. Die Kommunikation dient hierbei gemäß AP 3.1 dem Abgleich der Infrastruktur hinsichtlich Initialisierung und Anlaufprozess, Leistungsbilanzierung während des Ladevorgangs, Abfahren bei Beendigung des Ladevorgangs, Übermittlung von Metering- Daten sowie Verhalten im Fehlerfall z. B. bei Netzausfall. Hierbei ist darauf zu achten, dass eine eindeutige Zuordnung zwischen dem physikalischen Übertragungsweg und dem logischen Übertragungsweg stattfindet, d. h. das Fahrzeug exakt mit dem infrastrukturseitigen System eine Kommunikation aufbaut, von dem aus die Energie übertragen wird. Hierzu wird voraussichtlich ein zweistufiger Prozess entsprechend der Definition in AP 3.5 zu implementieren sein, indem zunächst durch das induktive Energieübertragungssystem ein Schlüssel auszutauschen ist, welcher anschließend innerhalb einer Funkkommunikation für eine höher- bitratige Kommunikation benutzt wird.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Wie in AP3.5 beschrieben, werden zwei Kommunikationspfade zwischen Fahrzeug und Infrastruktur genutzt. Der Schlüssel (Access- Point- Info) wird dabei über das Positionierungssystem ausgetauscht. Das Positionierungssystem besteht aus einer Senderspule in der primärseitigen Spule und vier Empfängerspulen in der sekundärseitigen Spule. Die Ansteuerung primärseitig erfolgt über die BSE (bodenseitige Leistungselektronik). Nach dem Austausch der Access- Point- Info wird eine WLAN-Verbindung aufgebaut. Dazu sind sowohl in dem infrastrukturseitigen Ladeschaltschrank als auch im Fahrzeug jeweils eine Kommunikationsbox (CC- Box) verbaut, die im Ladeschaltschrank die Funktionen des WLANs, der CAN- Schnittstelle zur BSE und die Schützensteuerung übernimmt. Realisiert ist das mit einer Kommunikationsbox, wie sie in Ladesäulen von Siemens im Einsatz ist (siehe Anlage AP5_Siemens und Systemkonzept_Siemens). Alle Umfänge des Ladeablaufs wurden ohne das Leistungsübertragungssystem in einem Systemtest Ladeablauf (nur Kommunikation und Positionierung) von Februar 2011 bis April 2011 getestet.

5.5 Systemaufbau Stromrichter Infrastruktur und Fahrzeug sowie Inbetriebnahme

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

In diesem AP erfolgt der Aufbau der in AP 5.1 und 5.2 ausgelegten Stromrichter inkl. Bestückung der Leiterplatten sowie Aufbau der Gehäuse. Während des Aufbaus wird ein begleitender elektrischer Test auf Bauteil-Ebene vorgenommen, um frühzeitig Fehler auszuschließen. Es wird die Leistungselektronik für ein netz- und ein fahrzeugseitiges erstes Labormuster aufgebaut.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Der Aufbau des ersten Labormusters der infrastrukturseitigen Leistungselektronik (bodenseitige Leistungselektronik = BLE) erfolgte im Zeitraum November/ Dezember 2010. Es wurde zusammen mit dem Labormuster Spulensystem im Zeitraum Dezember/ Januar 2011 an einer Widerstandslast in Betrieb genommen. Im Anschluss wurden alle Leiterplatten überarbeitet und neu angefertigt (siehe AP 6.4) und Ende März 2011 wurde das System in der Konfiguration wieder in Betrieb genommen. Dieser Stand der Leiterplatten wurde an das Werk Chemnitz gegeben, um dort den Aufbau der 10 BLEs bis Ende Mai 2011 durchzuführen.

Das Labormuster der fahrzeugseitigen Leistungselektronik (FLE) wurde im Zeitraum April/ Mai 2011 aufgebaut und in Betrieb genommen. Mit diesem Designstand BLE und FLE fand der erste Gesamtsystemtest im Mai/ Juni 2011 statt.

AP6: Gesamtsystemintegration und – evaluierung

6.1 Funktionsuntersuchung Labor: Komponententests

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die ersten entstehenden Funktionsprototypen von Ladesystemen müssen vor der ersten Integration in ein Fahrzeug einer Untersuchung der erreichten Eigenschaften und iterativen Problemlösung unterzogen werden. Das betrifft sowohl die Eigenschaften der Energieübertragung als auch die Ankoppelung an die Leistungselektronik sowie die Datensysteme des Fahrzeuges. BMW übernimmt hierbei eine begleitende Rolle beim Partner Siemens hinsichtlich der Gesamtzieelerreichung sowie eine operativ unterstützende Rolle hinsichtlich des Erreichens der Integrierbarkeit ins Fahrzeug in einem iterativen Problemlösungsprozess.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Zur Untersuchung aller Systemfunktionen unter Einbeziehung aller Randbedingungen im Regelbetrieb wie im Fehlerfall musste der Ladeablauf simuliert werden können. Die BMW AG hat hierfür Laborsysteme zur Verfügung gestellt, an denen eine CAN-BUS-Simulation des fahrzeugseitigen Signalverhaltens durchgeführt werden konnte. Wesentliche Grundfunktionen der Ladeablaufsteuerung sowie des technischen Sicherheitskonzeptes konnten so vor der Implementierung im Fahrzeug durch Simulation abgesichert werden.

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Dieses Arbeitspaket umfasst die Evaluierung der primärseitigen und sekundärseitigen Komponenten unter Laborbedingungen anhand des im AP 5.5 aufgebauten prototypischen Systems. Hierzu wird das System in seinen Grundfunktionen aufgebaut und in Betrieb genommen. Hierbei werden Messungen der wesentlichen Parameter in den Hauptbetriebsarten vorgenommen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Die Funktionserprobung im Labor hat für die Übertragungskette BLE- Primärspule- Sekundärspule – sekundärseitiger Gleichrichter eine Bestätigung des Konzeptes der adaptiven Frequenzeinstellung in Abhängigkeit vom radialen Versatz und in Abhängigkeit vom vertikalen Versatz gezeigt. Mit diesem Konzept konnten im Bereich der induktiven Übertragereinheit bis zu einem Versatz von 60mm radial Wirkungsgrade von 95% gemessen werden. Mit zunehmendem radialem Versatz (bis 140mm) fällt der Wirkungsgrad dann auf 92,5% ab. Diese Werte wurden mit dem maximalen in diesem Projekt spezifizierten vertikalen Abstand Spule- Spule von 120mm gemessen.

Die Evaluierung der Spulensysteme (Impedance Analyzer) ergab eine Übereinstimmung mit dem simulierten Verhalten für die wesentlichen Kopplungsparameter. Die Eigenerwärmung der Spule wurde mit maximal 30K vermessen und als unkritisch bewertet. Das Spulensystem wurde in der nächsten Phase konstruktiv verändert, um Bauraum- und Umweltaforderungen zu erfüllen. Das eigentliche Spulendesign wurde allerdings nach den erfolgreichen Labortests (inkl. EMV) beibehalten.

Das Labormuster der BLE wurde hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften bei der Inbetriebnahme evaluiert und alle Leiterplatten daraufhin angepasst. Die FLE zeigte bei der Laborinbetriebnahme thermische Probleme bei höheren Leistungen, die nach der Analyse in einem völlig ungeeigneten Kühlerdesign des Kühler- Zulieferers begründet waren. Nach dem Gesamtsystemtest zeigte sich die Notwendigkeit einer völligen Überarbeitung des elektrischen und des thermischen Designs der FLE (AP6.4).

Anlage: S6.1 - AP6_Labortests_Siemens

6.2 Aufbau / Systemintegration / Inbetriebnahme eines Versuchsfahrzeugs

6.2.1 Mechanische und elektrische Umrüstung eines Versuchsfahrzeugs

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Im Hinblick auf den Konzeptnachweis in den Demonstrator-Fahrzeugen M2011 wird auf Basis von ersten laborseitig funktional abgesicherter Komponenten, die auf die Erfüllung der Spezifikationen nach AP 2.3 ausgelegt sind, eine Integration in ein erstes Versuchsfahrzeug erfolgen, in dem alle fahrzeugseitigen Funktionen im Zusammenwirken dargestellt und erstmals in Betrieb genommen werden können. Das Fahrzeug wird benötigt um im Laborumfeld das Zusammenwirken mit allen Elementen der Funktionskette Infrastruktur / Ladestation / Fahrzeug simulieren und untersuchen zu können, siehe AP 6.4, und um das funktionale Zusammenwirken sicherzustellen, bevor der Einbau in Demonstrationsfahrzeuge erfolgt. Dort können dann der Einbau und die Inbetriebnahme unter der Rahmenbedingung des durch den Gesamtterminplan gegebenen Termindrucks effizient und mit minimierten zeitlichen Risiken erfolgen. Dieses Arbeitspaket beinhaltet die mechanischen Umbauten der Fahrzeuge sowie die Einrüstung der Leistungselektronik und sonstiger benötigter Elektrik Komponenten.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Der Einbau der gesamten Technologie wurde direkt am ersten Versuchsfahrzeug umgesetzt. Der Einbau der Komponenten umfasste die Sekundärspule, die Gleichrichter, Hochvoltverteilerbox sowie die Ladeelektronik einerseits (primäre Komponenten zur Darstellung der Ladefunktionalität) und den ABK-Rechner, Stromverteiler, Positionierungselektronik, WLAN-Kommunikationseinheit) andererseits. Um die geometrische Integration zu gewährleisten, wurden die Rücksitze ausgebaut und dieser freie Raum für die geometrische Integration genutzt. Die primären Komponenten wurden im Kofferraum platziert, dieser verringerte sich dadurch deutlich ggü. dem Active E-Serienmodell.



Abb 5: HV-Verteilerbox mit Kabelanbindungen (orange) und Leistungselektronik (schwarz) im Bereich der Rücksitze

Anstelle der Rücksitzbank wurde ein Gestell integriert, um die eingebauten HV-Komponenten zugänglicher zu positionieren. Die Oberfläche wurde mit einem Bezugsstoff versehen, um einen ansprechenden optischen Eindruck zu gewährleisten. Im Kofferraum wurde ein sogenanntes Rack installiert, um die Steuergeräte der Positionierungselektronik, ABK-PC, WLAN-Modul und Stromverteilerbox zu platzieren. Die Sekundärspule wurde im vorderen Achsbereich an einem Crashtäger montiert, der hierzu mit speziellen Befestigungen ausgerüstet wurde. Das HV-Ladekabel wurde am Unterboden verlegt und im Bereich der Rücksitze der Durchbruch in den Innenraum. Die geometrischen Dimensionen der Sekundärspule bedingten den Einbau von Fahrwerksbeuteilen des BMW Modell X1, um die Bodenfreiheit gewährleisten zu können. Die Positionierung wurde, wie in Kapitel 3.3. beschrieben, mit Hilfe der Parksensoren umgesetzt (Aktuatoren). Aufgrund einer einheitlichen Konfiguration des Basisfahrzeuges, bei der diese Ausstattung nicht Bestandteil ist, mussten diese ebenfalls nachgerüstet werden. Dies bedingte den Ausbau der vorderen Stossfänger-Struktur. Zur Bedienung der Funktion musste auch die PDC-Taste, welche das System aktiviert/deaktiviert nachgerüstet werden. In der Mittelkonsole wurde die Schaltleiste mit den Tasten und die dazugehörige Verkabelung geändert. Die Umrüstung der Fahrzeuge erfolgte in den Werkstatträumlichkeiten der BMW AG. Die von Siemens verantworteten Komponenten wurden hierzu angeliefert und integriert. Am Umbau des ersten Versuchsfahrzeuges konnten deutliche Fortschritte im Prozess und der Teilelogistik gemacht werden, diese Skaleneffekte beschleunigten den Umbau der weiteren Fahrzeuge erheblich.

Anlagen BMW: B6.2_1 - Teilleisten, B6.2_2 - Lagerübersicht

6.2.2 Systemintegration und Inbetriebnahme Versuchsfahrzeug

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Das im AP 6.2.1 mechanisch / elektrisch vorgerüstete System muss erstmals im Zusammenwirken aller Teilsysteme ingenieurseitig in Betrieb genommen werden. Hierzu gehören die iterative Inbetriebnahme aller Hard- und Softwaresysteme und die zugehörige Problemlösung bis zur ersten korrekten Darstellung der Systemfunktion sowie die Ableitung und Dokumentation notwendiger Änderungen in den Teilsystemspezifikationen.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Die Systemintegration der Komponenten aller Fahrzeuge erfolgte in der BMW-Werkstatt. Um die Inbetriebnahme der Ladefunktion im ersten Fahrzeug gewährleisten zu können, hat Siemens eine Ladestation an BMW geliefert, welche in der Werkstatt aufgebaut wurde. Anhand dieses Versuchsaufbaus wurden Tests mit verschiedenen Softwareständen der Positionierungselektronik, der Ladeelektronik und der Kommunikation durchgeführt.

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Um frühe Ergebnisse über die Wechselwirkung der induktiven Energieübertragung mit den Systemen im Fahrzeug sowie die konstruktive Abstimmung zu bekommen, wird das System in einem frühen Stadium in ein durch den Partner BMW umgerüstetes Fahrzeug eingebaut und phänomenologisch untersucht. Die Ergebnisse fließen in das Re-Design im AP 6.4 ein. Die Siemens AG übernimmt hierbei die Unterstützung beim Einbau der Komponenten und der Durchführung entsprechender Untersuchungen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Frühzeitig im Projekt wurde in diesem AP das Integrationskonzept aller Komponenten mit BMW abgestimmt. Eine Untersuchung an einem ersten Versuchsfahrzeug wurde nicht realisiert, da die Fahrzeuge erst in einer späteren Projektphase zur Verfügung standen. Aufgrund der engen Abstimmung der Projektpartner und der BMW-seitig für die Fahrzeugelektronik gewählten ausreichend großen Bauräume hat sich das aber nicht negativ auf den Projektverlauf ausgewirkt. Die Inbetriebnahme der induktiven Ladekomponenten in den Versuchsfahrzeugen erfolgte gemeinsam mit BMW in der BMW-Werkstatt mit einer Siemens-Ladeinheit. Dabei wurden die Kommunikationsumfänge, die Positionierung und die Leistungsübertragung Schritt für Schritt in Betrieb genommen. Besonderer Abstimmungsbedarf ergab sich für die Integrierung der Positionserkennung in das BMW-seitig entwickelte ABK.

6.3 Funktionsuntersuchungen Fahrzeug im Zusammenwirken mit Ladestation unter Laborrandbedingungen

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Voruntersuchungen (07-09/2010):

Der Prinzip-Demonstrator aus AP 7.1 dient u.a. dazu, erste Erfahrungen mit hochfrequenten Einstrahlungen im betreffenden Leistungsbereich und Feldstärken auf das Gesamtfahrzeug zu sammeln. Hierzu sind z.B. Messungen im EMV Labor erforderlich, die die EMV Auswirkungen auf alle elektrischen Systeme im Fahrzeug prinzipiell aufzeigen und evtl. Störungen auf Sensorik-Komponenten im Fahrzeug erkennen lassen.

Untersuchungen mit dem Zielsystem (03-05/2011):

Mit Hilfe der für Labortestzwecke aufgebauten Ladestation sowie des Versuchsfahrzeuges müssen vor Vervielfältigung der Lösungen für den Demo Versuch die Funktion und Zielerreichung relevanter Parameter für den Demo-Versuch nachgewiesen werden. Desweiteren werden hier alle Systemparameter unter definierten Laborrandbedingungen untersucht, wofür sich der Feldversuch nicht eignet. Ziel ist der Funktionsnachweis und die Ermittlung wesentlicher Parameter im Zusammenwirken von Ladestation und Fahrzeug unter idealen wie suboptimalen Randbedingungen (z.B. Fehlpositionierung) aber auch die Simulation von Fehlerfällen und der Nachweis der Wirkung von Sicherheitsfunktionen. Die Durchführung muss iterativ i.V. mit den Redesign-Schritten der Komponenten erfolgen.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Voruntersuchungen:

Untersuchungen mit Hilfe des Prinzipdemonstrators sind entfallen, da kein fahrzeuggeeignetes System zur Verfügung stand.

Untersuchungen mit dem Zielsystem:

Die Gesamtfunktion wurde bestätigt. Im Detail:

- Automatischer Ladeablauf
- Anzeige der Positionierung mit Ausblick auf kundentaugliche Umsetzung
- Einhaltung der ICNIRP-Grenzwerte
- Übertragung der Leistung in einem gewissen Toleranzfeld mit Einhaltung der ICNIRP-Regularien bei gleichzeitigem Wirkungsgrad >90%

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Voruntersuchungen:

Der Prototyp aus AP 6.1. und seine erste Implementierung in einem Versuchsträger gemäß AP 6.2 dient u.a. dazu, erste Erfahrungen mit hochfrequenten Einstrahlungen im betreffenden Leistungsbereich und Feldstärken auf das Gesamtfahrzeug zu sammeln. Hierzu sind z.B. Messungen im EMV Labor erforderlich, die die EMV Auswirkungen auf alle elektrischen Systeme im Fahrzeug prinzipiell aufzeigen und evtl. Störungen auf Sensorik-Komponenten im Fahrzeug erkennen lassen.

Untersuchungen mit dem Zielsystem:

Mit Hilfe der für Labortestzwecke aufgebauten Ladestation sowie des Versuchsfahrzeuges müssen vor Vervielfältigung der Lösungen für den Demo Versuch die Funktion und Zielerreichung relevanter Parameter für den Demo-Versuch nachgewiesen werden. Des Weiteren werden hier alle Systemparameter unter definierten Laborrandbedingungen untersucht, wofür sich der Feldversuch nicht eignet. Ziel ist der Funktionsnachweis und die Ermittlung wesentlicher Parameter im Zusammenwirken von Ladestation und Fahrzeug unter idealen wie suboptimalen Randbedingungen (z.B. Fehlpositionierung) aber auch die Simulation von Fehlerfällen und der Nachweis der Wirkung von Sicherheitsfunktionen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Voruntersuchungen:

Da der in AP7.1 beschaffte Prinzipdemonstrator „Early Bird“ für eine Fahrzeugintegration ungeeignet war (siehe AP7.1), wurden im Januar 2011 erste EMV- und Störfestigkeitsmessungen mit dem Labormuster aus AP6.1 an einem Serienfahrzeug mit Vollausrüstung (BMW 5er- Reihe) durchgeführt (Ergebnisse siehe AP4.2 EMV).

Untersuchungen mit dem Zielsystem:

Im Werkstattumfeld von BMW sowie bei Siemens wurden die Funktionsumfänge wie folgt getestet und bestätigt:

- automatisierter Ladeablauf (Fahrer drückt einmal Positionier- und Ladewunsch im Fahrzeug) (siehe Anlage Spec_Ladesteuergerät; Zustandsautomat = Ladeablauf)
- Positionsassistentz auf Grundlage von BMW- PDC- und Siemens- Positionserkennungssystem und automatisierte Ladefreigabe (siehe Anlage WP6_Siemens)
- Geregelt Leistungsübertragung bis 1,7kW bis 30.09.2011, bis 3,5kW Einspeiseleistung bis 30.10. 2011 (nach Redesign FLE)
- Einhaltung ICNIRP- Grenzwert 6,25µT in allen zugänglichen Bereichen und bei Versatz

6.4 Redesign Komplettsystem

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Innerhalb dieses AP wird auf Basis der Ergebnisse in den AP 6.1 und 6.2 ein Re-Design vorgenommen. Dieses Re-Design umfasst alle Komponenten und Subsysteme der induktiven Energieübertragung inkl. Kommunikationsbaugruppen, Stromrichter und Spulensysteme sowie Software. Der genaue Arbeitsinhalt von AP 6.4 wird nach Vorliegen der Ergebnisse der AP 6.1-6.3 festgelegt. Aus ähnlichen Hardware- Entwicklungsprojekten ist bekannt, dass mindestens ein Redesign bis zum Erreichen eines vollfunktionstüchtigen Demonstrators eingeplant werden muss. Oft sind im Zuge eines ersten Redesign folgende auftretende Probleme zu lösen: Behebung von Schaltplan- und Layoutfehlern, Abstimmung von Störungen durch parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten und Überhitzung von Bauteilen durch mangelnde thermische Anbindung. Erfahrungsgemäß muss jede Leiterplatte (ca. 5 für Leistungselektronik Fahrzeugseite und 5 für

Leistungselektronik Netzseite) überarbeitet werden. Bestandteile des Redesigns sind neue PCB-Layouts, Fertigung der PCBs, Einzelbetriebnahme pro Leiterplatte, Aufbau und Inbetriebnahme sowohl der fahrzeugseitigen Leistungselektronik als auch der netzseitigen. Ebenso werden alle mechanischen Komponenten der Systeme überarbeitet und den aus der ersten Fahrzeugintegration in AP6.2 gewonnenen Erkenntnissen angepasst.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Nach der ersten Labormustererprobung von BLE und Spulensystem wurden alle Leiterplatten hinsichtlich des elektrischen Verhaltens und hinsichtlich der Fertigbarkeit für 10 Systeme redesignt wie oben beschrieben. Das Spulensystem wurde hinsichtlich der Bauraum – und der Umweltbedingungen angepasst. In das Primärspulensystem wurde der Positionssender integriert. In das Sekundärspulensystem fahrzeugseitig wurden die vier Positionsempfängerspulen sowie die komplette Gleichrichter- Baugruppe und Kondensatorbaugruppen integriert, um maximal Betriebsspannungen von 400V außerhalb der Sekundärspule durch das Auto zu führen. Das Redesign der FLE erfolgte nach der Laborinbetriebnahme hinsichtlich Kühlerdesigns und des Aufbaus des Motherboards. Bei der ersten Version der FLE war es bei höheren Leistungen zu thermischen Problemen aufgrund des mangelhaften Kühlers der ersten Zulieferer- Firma gekommen.

Außerdem wurde der Zustandsautomat im zentralen Steuergerät (Umsetzung Ladeablauf) bei der Fahrzeugintegration Schritt für Schritt angepasst, um einen möglichst kundenfreundlichen Ablauf Positionierung und Laden zu erreichen.

6.5 Aufbau / Integration / Inbetriebnahme Ladestation

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Aufbau einer kompletten Ladesystems (fahrzeugseitig und netzseitig) gemäß Re-Design nach AP 6.4 als Vorbereitung für die Herstellung der Systeme gemäß AP 7.2.3 und 7.3 für die Feldtests und Inbetriebnahme des Systems im Labor. Das nun optimierte Labormuster wird hinsichtlich der in AP 2 definierten Systemanforderungen getestet. Insbesondere werden Wirkungsgrad, Positionsgenauigkeit, Kommunikation und EMV- Verhalten untersucht.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Aus terminlichen Zwängen wurde das Redesign vorgezogen und nur aufgrund der Erkenntnisse bei den Labortests der Komponenten durchgeführt (AP6.4). Es erfolgte kein Test eines Gesamtsystems im Fahrzeug vor dem Redesign der BLE und des Spulensystems wie anfänglich oben beplant. Es wurde allerdings nach der Inbetriebnahme der gesamten Energieübertragung im Fahrzeug noch die Notwendigkeit der Verbesserung der Kühlung der FLE erkannt, da mit der ersten Version aufgrund von thermischen Problemen nur eine reduzierte Leistungsübertragung möglich war. Nach der Fahrzeuginbetriebnahme mit der zweiten Version FLE konnte dann die spezifizierte Leistungsübertragung (3,5kW Einspeisung) im Oktober 2011 gezeigt werden. Netzseitig wurde eine Ladeeinheit bestehend aus Ladeschaltschrank (Komponenten siehe Anlage Systemkonzept und AP5_Leistungselektronik) und Primärspule aufgebaut.

6.6 Wirtschaftlichkeitsprognose

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Für die wirtschaftliche Erfolgsfähigkeit und Vermarktbarkeit ist die Kenntnis der mittel- und langfristig erreichbaren Grenzkosten aller systemseitig verursachten Umfänge notwendig. In diesem Arbeitspaket werden die Kosten auf Basis des erreichten Standes sowie Weiterentwicklungsprognosen hinsichtlich Material und Fertigungskosten (kostenoptimales Komponentenkonzept) analysiert.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Die Herstellkosten der Primär- und Sekundärspule wurden kostenseitig analysiert. Grundlage war eine angenommene Stückzahl von 60T Einheiten und ein hoher Automatisierungsgrad. Weitere Kostenpotenziale für das Optimieren einer Serienlösung konnten ebenfalls ermittelt werden und lagen im Bereich -30%. Die Leistungselektronik wurde ebenfalls unter wirtschaftlichen Aspekten betrachtet. Eine Kostenanalyse des Positionierungssystems wurde aufgrund der nicht-Übertragbarkeit in eine Serienlösung nicht durchgeführt; hierzu ist als Vorstufe ein technisch tragfähiges Konzept notwendig, welches die Anforderungen erfüllt. Grundsätzlich bestand die Intention des Förderprojekts darin einen Nachweis der Technologiefunktionalität und –Praktikabilität in einem eng begrenzten Zeithorizont zu liefern. Der Fokus der technischen Lösungen und Integration lag daher nicht auf einer möglichst seriennahen Umsetzung; die kostenseitig gewonnenen Ergebnisse sind somit nur bedingt Aussagekräftig. Detaillierte Aussagen zu Kosten können erst unter genauer Kenntnis der Systemauslegung und Produktionstechnischer Aspekte gemacht werden.

Anlage: B6.6 – Kostenbewertung (generisch)

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Innerhalb dieses AP wird in Abstimmung mit BMW eine Analyse der zu erwartenden Stückzahlen in Abhängigkeit der zu erwartenden Verbreitung von eCars bei Betrachtung verschiedener Ladeszenarien vorgenommen. Hieraus resultierend erfolgt durch die Siemens AG eine Prognose der erzielbaren Umsätze in verschiedenen Regionen und für verschiedenen use-cases. Inputs für die Wirtschaftlichkeitsprognose sind die in den AP4 bis 6 durch die Hardwareauslegung gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich Stückkosten des vorliegenden Konzeptes.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Für die Kostenanalyse der primär- und sekundärseitigen Spulen wurden BMW alle benötigten Informationen zur Verfügung gestellt (Baupläne, Stücklisten, Materialangaben). Für die bodenseitige Leistungselektronik wurde siemensintern eine Kostenanalyse durchgeführt (Anlage:

Kostenanalyse_BLE). Außerdem wurde eine Recherche zur erwarteten Marktentwicklung für induktive Ladesysteme durchgeführt.

Anlage: S6.6_1 - Kostenanalyse_BLE, S6.6_2 - Marktanalyse_Induktiv

AP7: Demo Betrieb Berlin

7.1 Ausstattung / Inbetriebnahme Prinzip-Demonstrator

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Um allererste Erfahrungen mit den Herausforderungen der Fahrzeugintegration, z.B. EMV-Auswirkungen, frühzeitig testen zu können, ist der Aufbau eines Prinzip-Demonstrators notwendig. In ihm wird ein erstes Vormuster der induktiven Übertragung eingebaut und die Voraussetzungen für den Betrieb, z.B. durch Integration einfacher Anzeigeumfänge sowie elektrischer Adaptionsumfänge geschaffen und das Gesamtsystem in Betrieb genommen.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Es war kein fahrzeugtaugliches Prototypensystem der Ladekomponenten verfügbar; Laboruntersuchungen konnten beim Projektpartner Siemens durchgeführt werden.

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Das Arbeitspaket dient der frühen Demonstration der technischen Machbarkeit der Projektinhalten durch Information der Öffentlichkeit durch Aufbau eines Vormusters („Early Bird“) mit reduzierter Leistungsfähigkeit von etwa 1 kW übertragener Leistung. Des Weiteren sollen in diesem AP schon bestimmte Grundzüge der induktiven Energieübertragung untersucht werden.

Um einen schnellen Projektfortschritt zu gewährleisten und auch das in Deutschland vorhandene know-how zu nutzen, wird der Aufbau des „Early Birds“ als Unterauftrag an das ifak (Institut für Automation und Kommunikation e. V. Magdeburg) vergeben. Die Integration ins Fahrzeug erfolgt durch die BMW AG.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Der Demonstrator „Early Bird“ mit einer spezifizierten Energieübertragung von 1kW bei einem vorgegebenen festen Luftspalt von 10cm wurde mit Projektstart an das ifak e.V. beauftragt und im Juli 2010 an Siemens geliefert. Die erste Inbetriebnahme bei Siemens führt zum Ausfall des Systems. Es wurde zur Reparatur an das ifak zurückgesendet und im September 2010 wieder an Siemens geliefert. Die folgende Inbetriebnahme führte zu einem erneuten Ausfall. Die Einschätzung von Siemens war, dass dieser Demonstrator nicht für die Fahrzeugmontage und Presse- Events geeignet ist. Ein Betrieb bei Montage auf einer metallischen Platte (z.B. Fahrzeugunterboden) war nicht möglich. Siemens hat weitere Versuche mit dem Demonstrator „Early Bird“ daraufhin als nicht zielführend eingeschätzt und abgebrochen. Der Demonstrator wurde nicht aus dem Projektbudget finanziert.

7.2 Ausstattung / Inbetriebnahme Demo-Fahrzeuge

7.2.1 Mechanische und elektrische Umrüstung Demo-Fahrzeuge

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die im Laborumfeld abgesicherte fahrzeugeitige Funktionsrealisierung und Integration muss auf 5 Elektrofahrzeuge der BMW AG unter Berücksichtigung der Anforderungen des Demo Betriebes übertragen werden. Die Fahrzeuge werden speziell für das Projekt gebaut, im Projektrahmen werden aber nur die Materialaufwände hierfür beantragt. In diesem Arbeitspakete wird deshalb ausschließlich der Umbauaufwand vor der Inbetriebnahme beschrieben.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Es wurden inklusive des ersten Versuchsfahrzeuges fünf Fahrzeuge BMW Active E für die Zwecke des Demo-und Evaluierungsbetriebes aufgebaut und für den Einbau der Lade-und Versuchskomponenten vorbereitet. Die hierzu nötigen Umrüstungsaufwände und –Tätigkeiten wurden bereits in Kapitel 6.2. ausführlich am Versuchsfahrzeug beschrieben. Die ersten beiden gelieferten Fahrzeuge entsprachen noch dem Prototypenstand, daher entsprach die Abstimmung des Fahrzeuges noch der Vorserie, was sich u.a. am vorhandenen NOT-AUS-Schalter für das gesamte Hochvoltsystem im Innenraum manifestiert.

7.2.2 Inbetriebnahme, Freigabe, Zulassung von 5 Fahrzeugen

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die im Labor und Versuchsfahrzeug abgesicherte fahrzeugeitige Funktion und Integration muss auf 5 geeignete Elektrofahrzeuge der BMW AG unter Berücksichtigung der Anforderungen des Demo Betriebes übertragen und in Betrieb genommen werden. Für den anschließenden Demo-Betrieb ist eine funktionale Erprobung und Freigabe jedes Fahrzeug notwendig, um robusten Betrieb am Standort Berlin zu gewährleisten. Des Weiteren müssen die Fahrzeuge sicherheitstechnisch für den Betrieb durch eingewiesene Demo-Nutzer freigegeben werden.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Mit den betroffenen Fachstellen wurde ein für den beabsichtigten Einsatzzweck und Betriebsrandbedingungen der Fahrzeuge (kontrollierter Demobetrieb mit instruierten Anwendern) abgestimmtes Absicherungs-/Freigabeprogramm vereinbart. Die einzelnen Teilsysteme wurden auf dieser Basis jeweils von den freigebenden Instanzen freigegeben. Bei den Fahrwerksänderungen war dies eine Fachabteilung der BMW AG, zugekaufte HV-Komponenten, bspw. die HV-Verkabelung inkl. HV-Verteilerbox wurden vom Lieferant freigegeben. Die von Siemens gelieferten Komponenten wurden dort freigegeben. Die Homologation der Fahrzeuge wurde in Zusammenarbeit mit der BMW-internen Abteilung für integrierte Absicherung durchgeführt. Hierbei wurden bereits zu einem sehr

frühen Zeitpunkt die zu erwartenden Änderungen bekanntgemacht und mit Vertretern des TÜV diskutiert. Die Änderungen am Fahrwerk und der Einbau der HV-Komponenten wurden vom TÜV abgenommen und die Fahrzeuge als Einzelzulassung zugelassen (entspricht Prototypenstatus).

7.2.3 Aufbau Hardware der fahrzeugseitigen Ladesystemen für Demobetrieb

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Aufbau von 6 fahrzeugseitigen Systemen (Stand Redesign AP 6.4) und Integration von 5 dieser Systems in die Fahrzeuge i. V. mit BMW. Anschließend wird ein Funktionstest der Systeme vorgenommen. Ein System verbleibt bei der Siemens AG zur Durchführung von begleitenden Messungen / Fehleranalysen bzw. als Back-up für den Austausch defekter Systeme während der Versuchsphase in AP 7.4.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Die fahrzeugseitigen Systeme bestehend aus Sekundärspule mit 4 Positionsempfangsspulen, Leistungsspule und Gleichrichter- und Kondensatorbaugruppe (SSP), fahrzeugseitiger Steuereinheit (ZLS = zentrale Ladesteuerung), Kommunikationseinheit mit WLAN- Antenne und Signalvorverarbeitung Positionierung wurden aufgebaut und BMW zur Fahrzeugintegration zur Verfügung gestellt. Die Fahrzeugintegration bei BMW wurde siemensseitig begleitet und die Inbetriebnahme zusammen mit BMW durchgeführt. Ein vollständiges System wurde in einem Systemtestaufbau bei Siemens realisiert. Die Fertigung der Spulensysteme erfolgte im Siemens- Werk Chemnitz.

7.3 Aufbau, Aufstellung und Inbetriebnahme von Demo- Ladestationen

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Es erfolgt der Aufbau von 6 Ladestationen gemäß AP 6.5. Davon werden 5 Ladestationen vor Ort geliefert und zusammen mit dem zuständigen Energieversorger oder Facility Management in Betrieb genommen. Ein System verbleibt bei der Siemens AG zur Durchführung von begleitenden Messungen / Fehleranalysen bzw. als Back- up für den Austausch defekter Systeme während der Versuchsphase in AP 7.4.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

6 Ladestationen (Beschreibung in AP6.5 und in Anlage Systemkonzept) wurden von Siemens aufgebaut. Aufgrund der Nichtrealisierbarkeit des Demo- Betriebes in Berlin wurden alternativ drei Ladeparkplätze bei BMW im Parkplatzumfeld installiert und eine bei Siemens auf dem Gelände des Standortes München- Perlach (MchP). Jeweils eine Ladestation wurde im Werkstattumfeld von BMW und in der Siemens- Werkstatt in MchP für die Inbetriebnahmen der Fahrzeuge installiert.

7.4 Fahrzeug- und / Stationsbetrieb im Evaluierungszeitraum

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die für das induktive Laden eingesetzten Fahrzeuge erfordern Betreuungsaufwand vor Ort hinsichtlich Wartung, Hotline vor Ort sowie Problemlösungsunterstützung aus München durch BMW und Siemens und verursachen An-/Abtransport- und Betriebskosten. Die operative Umsetzung des Fahrzeugbetriebs kann im Rahmen bestehender Strukturen aus den laufenden Demo-Projekten in Berlin erfolgen.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Durch Terminverzögerungen in der Bereitstellung der notwendigen finalen Ladesystemkomponenten (6.3) und der für den angestrebten Evaluierungsbetrieb erforderlichen Freigaben konnten im engen Gesamt-Terminrahmen der angestrebte kundennahe Test und der damit zusammenhängende Stations- und Fahrzeugbetrieb nicht umgesetzt werden.

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Da für das induktive Laden keine Fahrzeuge eines laufenden Betriebes Verwendung finden, erfordern die zusätzlichen Fahrzeuge zusätzlichen Betreuungsaufwand vor Ort hinsichtlich Wartung, Hotline, Betriebskosten. Die operative Umsetzung kann im Rahmen bestehender Strukturen aus den laufenden Demo-Projekten in Berlin erfolgen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Siehe BMW

7.5 Technische Systemevaluierung im Nutzungsphase

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Auf der Grundlage von Datenerhebungen in der Nutzung können relevante Parameter für die Komponenten und Funktionsauslegung künftiger Produktentwicklungen ermittelt werden. Die Fahrzeuge müssen hierzu mit geeignet zu konfigurierenden Datenlogger Systemen instrumentiert werden, die laufend relevante Daten im Betrieb aufzeichnen und zur Auswertung auf einen Datenserver übertragen. Diese Daten sind systematisch zu Analysieren und zusammen mit Erkenntnissen aus evtl. Ausfällen im Feld in Spezifikationen zur Verbesserung zukünftiger Systeme umgesetzt werden.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Ein geeignetes Datenlogger-System (Hardware) wurde ausgewählt und im Fahrzeugpackage und Datenkommunikation konzeptionell integriert. Im Hinblick auf die Zielsetzungen der Datenerfassung (Fehleridentifikation, Betriebsparameter im Ladeprozess und Benutzerverhalten) zu Zwecken der

Systemevaluierung und Weiterentwicklung wurden die zu erfassenden Signale als Grundlage für die Umsetzung in der Datenlogger-Software spezifiziert. In diesem Rahmen wurde ein Fehlermanagementprozess auf Basis der geplanten Datenerfassung und damit verbundener Kommunikation von Fehlerdaten zu den Prozesspartnern definiert.

Eine Umsetzung der Datenerfassung und Analyse konnte aufgrund des Entfalls des Evaluierungsbetriebes (s. 7.4) nicht erfolgen.

Anlage BMW: B7-5 Spezifikation Datenlogger

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Auf der Grundlage von Diagnosedaten bzw. Analyse von Ausfällen im Feld werden Potentiale zur Verbesserung zukünftiger Systeme abgeleitet. Des Weiteren werden die in AP 2 und AP 3 entwickelten Spezifikation überarbeitet und einer Revision unterzogen. Die im Laborversuch ermittelten wichtigen Randbedingungen (z.B. Positionsgenauigkeit) werden im Feldversuch nutzerabhängig bewertet.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

In Vorbereitung der geplanten Demo- Phase wurde mit BMW zusammen die Spezifikation eines einzubauenden Daten- Logger- System erarbeitet. Damit wäre im Evaluierungszeitraum sichergestellt gewesen, dass alle relevanten Systemparameter der induktiven Ladeeinheit zur Auswertung zur Verfügung gestanden hätten.

7.6 Evaluierung Nutzerverhalten / Nutzerakzeptanz

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die längerfristigen Erfolgsaussichten des induktiven Ladens hängen maßgeblich von der Nutzerakzeptanz ab. Die Analyse des Verhaltens der Testnutzer (z.B. Auswertung Datenlogger über Ladehäufigkeit und Ladeparameter in AP 7.5) einerseits, aber auch die systematische Beobachtung von Testnutzern in der Anwendung der Funktion (z.B. Positionierverhalten bzw. -fähigkeit) sowie gezielte Befragungen hinsichtlich Nutzungserfahrungen liefern wertvolle Erkenntnisse, ob die funktionalen Ziele aus Nutzersicht erreicht sind und Handhabung wie Komfort den Anforderungen genügen. Hierbei werden auch relevante Erkenntnisse für Änderungsbedarfe in künftigen Mustergenerationen und Kundenangeboten generiert, um dort entsprechende Verbesserungen sicherzustellen.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Entfall, siehe 7.4.

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die längerfristigen Erfolgsaussichten des induktiven Ladens hängen maßgeblich von der Nutzerakzeptanz ab. Die Analyse des Verhaltens der Test Nutzer einerseits aber auch die systematische Beobachtung von Test Nutzern in der Anwendung der Funktion sowie gezielte Befragungen hinsichtlich Nutzungserfahrungen liefern wertvolle Erkenntnisse, ob die funktionalen Ziele aus Nutzersicht erreicht sind und Handhabung wie Komfort den Anforderungen genügen. Hierbei werden auch relevante Erkenntnisse für Änderungsbedarfe in künftigen Mustergenerationen und Kundenangeboten generiert, um dort entsprechende Verbesserungen sicherzustellen.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Entfällt wegen 7.4.

7.7 Kommunikation

BMW: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Eine gezielte technisch faktenorientierte Kommunikationsinitiative zum Thema induktives Laden ist ein wesentlicher Baustein einer erfolgreichen Positionierung des Themas in der öffentlichen Wahrnehmung. Im Kontext einer stark auf Problemfelder wie Elektrosmog sensibilisierten Öffentlichkeit, verbunden mit dem Risiko dass neue Themen presseseitig hinsichtlich möglicher Risiken überbewertet werden könnten, muss das Thema durch eine geeignete Kommunikation proaktivpositioniert werden. Dabei ist Fachjournalisten sowie der allgemeinen Presse und der Öffentlichkeit durch sachliche und inhaltlich fundierte Kommunikation auf Basis fundierter Absicherung die Angst vor neuen Gefahren oder Belastungen zu nehmen. Dies ist ein Schlüsselement der Einführung entsprechender Systeme im Rahmen der Marktvorbereitung, dessen Bedeutung nicht unterschätzt werden darf und weshalb hierfür eine professionell aufbereitete Kommunikationsstrategie erarbeitet werden muss.

BMW: Erzielte Projektergebnisse

Während der Projektlaufzeit wurden externe und interne Kommunikationsveranstaltungen durchgeführt. Ein Argumenter, der inhaltlich die Technologie erklärt und etwaige Bedenken seitens der Allgemeinheit ausräumen soll, wurde erstellt und als Basis für die externe Kommunikation verwendet. Um die technischen Abläufe einem breiten Publikum verständlich zu machen, um u.a. frühzeitig eine Sensibilisierung für die Technologie zu erreichen, wurde eine Videoanimation zur Visualisierung der komplizierten technischen Abläufe sowie zugehöriges Ausstellungsmaterial erstellt. Dies wurde auf der Hannover Messe im April 2011 zum Einsatz gebracht, so dass eine hohe Breitenwirkung erzielt werden konnte. Um die förderpolitischen Ziele des BMW zu unterstützen wurde diese ursprünglich ungeplante Maßnahme zusätzlich durch die Projektpartner umgesetzt. Die Weitere öffentliche Kommunikation wurde durch die Vorführung beim BMU am 2.9.2011 erreicht. In Kooperation mit der Siemens AG fand am 27. September 2011 eine Präsentation auf der Plattform „e-Monday“ statt, welche im vierwöchentlichen Zyklus in München veranstaltet wird.

Außerhalb des Projektzeitraumes werden weitere Kommunikationsveranstaltungen beim Fördergeber BMU erfolgen.

Siemens: Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Eine gezielte Kommunikationsinitiative zum Thema induktives Laden ist ein wesentlicher Baustein einer erfolgreichen Positionierung des Themas in der öffentlichen Wahrnehmung. Im Kontext einer stark auf Problemfelder wie Schädlichkeit magnetischer Felder sensibilisierten Öffentlichkeit, verbunden mit dem Risiko, dass neue Themen presseseitig hinsichtlich möglicher Risiken überbewertet werden könnten, muss das Thema durch eine geeignete Kommunikation aktiv positioniert werden. Dabei ist Fachjournalisten, der allgemeinen Presse und der Öffentlichkeit durch sachliche und inhaltlich fundierte Kommunikation auf Basis fundierter Absicherung die Angst vor neuen Gefahren oder Belastungen zu nehmen. Dies ist ein Schlüsselement der Einführung entsprechender Systeme im Rahmen der Marktvorbereitung, dessen Bedeutung nicht unterschätzt werden darf und weshalb hierfür eine professionell aufbereitete Kommunikationsstrategie erarbeitet werden muss. Der Schwerpunkt der Siemens AG liegt hierbei in einer verständlichen und sachlichen Darstellung der technischen Zusammenhänge insbesondere hinsichtlich Emission von magnetischen Feldern.

Siemens: Erzielte Projektergebnisse

Innerhalb der Projektlaufzeit wurde das Thema Induktives Laden siemensintern und extern kommuniziert. Es wurde auf dem siemensweiten Innovation- Day im Mai 2011 vorgestellt und dort von den Anwesenden als zukünftig bedeutende Technologieinnovation bewertet. Im Rahmen des Innovation Days hat Siemens das Thema der eingeladenen Fachpresse vorgestellt. Zur besseren Kommunikation des Themas und der Darstellung der Beiträge der Technologie zu den förderpolitischen Zielen des BMU wurde ein Film erstellt, der die Bedeutung des induktiven Ladens als easy to use- Technologie für den Markterfolg der Elektromobilität anschaulich darstellt. Ebenso wird die zu Grunde liegende Technologie kurz erklärt, um hier einer negativen Belegung des Themas durch mögliche Überbewertung von Risiken vorzubeugen. Der Film wurde auf dem Innovation Day der Fachpresse gezeigt und dem BMU für die Präsentation des Projektes auf der Hannover Messe im April 2011 zur Verfügung gestellt. Des Weiteren wurde das induktive Laden im Rahmen des eMondays von beiden Projektpartnern im September 2011 einer breiteren Öffentlichkeit vorgestellt.

4 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan

Beim Zwischenbericht im März 2011 wurde darauf hingewiesen, dass sich die Labortests zur Absicherung der Teilsysteme bis Ende April verzögern werden. Ursache hierfür war eine Verzögerung der Komponentenanlieferungen, die zu einem verspäteten Start des Gesamtsystemtestes im Labor Siemensseitig führte. Zum Zeitpunkt des Zwischenberichtes im März 2011 war die Notwendigkeit eines Redesigns des Komplettsystems nicht erkennbar, da bereits eine Überarbeitung der Leiterplatten auf Komponentenebene stattgefunden hatte. Daher wurde die Redesign-Phase (AP 6.4) in der ursprünglichen Planung gestrichen, um den damals aufgetretenen Terminverzug aufzuholen. Zusätzlich hatte sich auch die Lieferung der Versuchsfahrzeuge aufgrund mangelnder Systemreife verzögert.

Beim Gesamtsystemtest im Labor (AP 6.1) im Juli 2011 zeigte sich dann die Notwendigkeit eines Redesigns der FLE (Ursache: thermische Probleme bei höheren Leistungen) sowie die Notwendigkeit der Neuauslegung des Regelkonzepts für das Gesamtsystem. Damit ergaben sich die unten aufgezeigten Abweichungen zum März 2011 (gelb). Ein vollständig redesignedes Leistungsübertragungssystem stand im Projekt erst Ende September zum neuen Gesamtsystemtest zur Verfügung. Damit konnte die geplante Phase des Demo-Betriebs innerhalb des Projektrahmens nicht mehr realisiert werden.

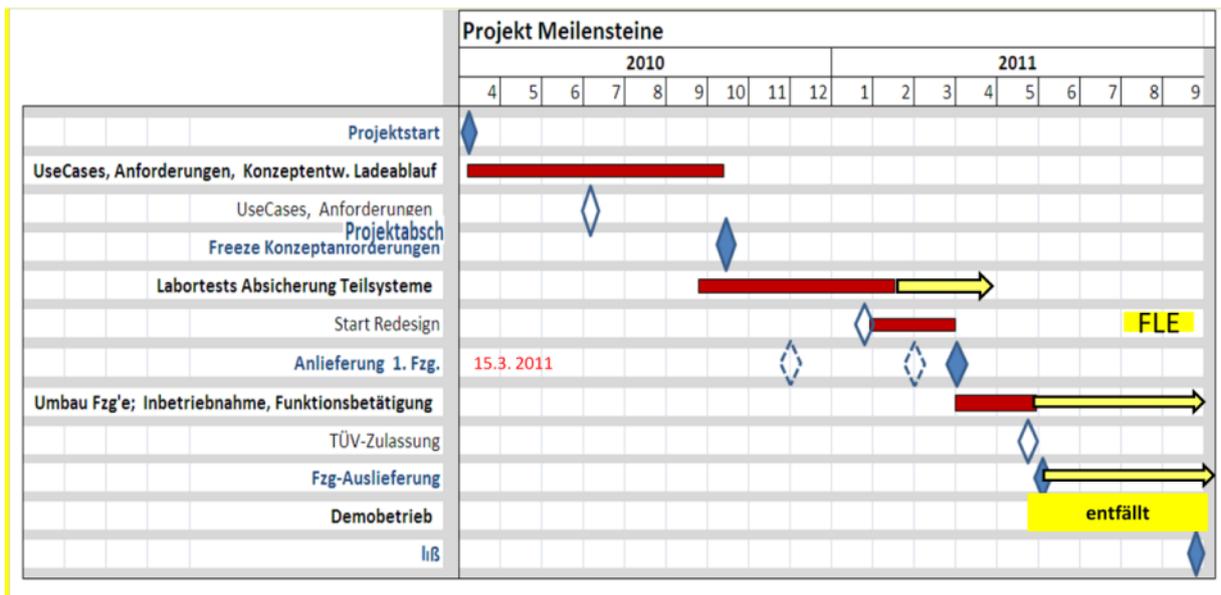


Abb 6: Projektmeilensteine, Stand März 2011 mit Veränderungen (gelb)

5 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

Die Technologie Induktives Laden und deren Anwendung im Automotive-Umfeld wird weltweit aktuell in verschiedensten Projekten erforscht.

In Deutschland sind aktuell einige Förderprogramme bekannt, die jeweils eine Kooperation zwischen einem OEM und einem Systemlieferanten darstellen. Diese haben die Intention, Forschung zu betreiben, eine technische Machbarkeit im Hinblick auf verschiedenen Einsatzfelder, zum Beispiel BEV- sowie in Plug-In Fahrzeugen zu belegen und Marktvorbereitung zu betreiben. Folgende Kooperationen sind bekannt:

- Daimler / Conductix Wampfler:
Im Verbundprojekt „Conductix“ wird das kabellose Laden für ein Range-Extender-Fahrzeug entwickelt. Als besondere Herausforderung wird hier die Integration der fahrzeugseitigen Ladespule in den Fahrzeugboden angesehen.
- Audi / Volkswagen / Vahle:
Im Verbundprojekt „W-Charge“ arbeiten die Partner neben den bisher erwähnten Aufgaben auch an Fragestellungen zur Drahtloskommunikation zwischen der Fahrzeugseite und der Netz- bzw. Straßenseite.

Des Weiteren sind verschiedenste Demonstrationsfahrzeuge aufgebaut und im europäischen Umfeld demonstriert worden so z. B. von Halo IPT (Rolls Royce, Citroen) oder SEW Eurodrive.

In den Medien wurden bereits Kooperationen verkündet, die über das reine Versuchsstadium hinausgehen und ein Serienpartnerschaften anstreben:

- Witricity mit Delphi i.V. mit Toyota (Kapitalbeteiligung bei Witricity), Mitsubishi
- Halo IPT /Bosch
- Evatran/Plugless Power

Diese Projekte befinden sich jedoch größtenteils ebenfalls noch in einem früheren Entwicklungsstadium.

Der Entwicklungsstand der bekannten Projekte ist generell schwer beurteilbar, da aktuell wesentliche Kenngrößen noch nicht oder nur teilweise öffentlich zugänglich publiziert werden. Damit ist ein Vergleich mit dem dort erreichten Stand der Technik nicht substanziell möglich.

Im Bereich Forschung engagieren sich universitäre Einrichtungen wie die TU Erlangen, das KAIST (Korea) über die stationäre Energieübertragung hinaus im Bereich der Energieübertragung beim Fahren. Diese Aktivitäten sind jedoch wegen der sehr hohen Herausforderungen heute überwiegend der reinen Grundlagenforschung zuzuordnen.

Durch gemeinsame Gremienarbeit u.a. der deutschen OEM's wie auch der Zuliefererindustrie erfolgte im Rahmen der Vorarbeiten zu künftigen Standardisierungen im Rahmen des DKE GAK 353.0.1 (VDE-AR-E 2122-4-2) ein Abgleich zur Sicht des aktuellen Standes der Technik.

Dies ist die Basis um die laufenden Aktivitäten zur internationalen Normung in der SAE J2954 sowie der IEC/ISO/TC69/PT61980-1 substanziell mitgestalten und im Sinne der deutschen industriepolitischen Interessen mitgestalten zu können.

6 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf

Der Nachweis der technischen Machbarkeit im Automotive-Bereich konnte im Förderprojekt erbracht werden. Aus den iterativen Entwicklungsschritten und Versuchen während des Förderprojekts ergeben sich weitere Forschungsbedarfe. Diese im Förderprojekt nicht ausreichend geklärten Themen, wie beispielsweise die Fremdkörpererkennung/Temperaturüberwachung und die Positionierungsassistenz stellen Arbeitspakete dar, die vor dem Beginn einer Industrialisierung abgearbeitet werden müssen. Höhere Ladeleistungen bis zu einer Leistungsklasse von 11kW sind für spezielle Anwendungen ebenfalls wünschenswert und bedingen eigene Untersuchungen. Diese Themen eignen sich für weitere Förderprojekte, um die technische Ausgestaltung zu erreichen und anschließend die Serienentwicklung zu beginnen.

Übergeordnetes Ziel ist die Standardisierung der Technologie. Damit einhergehend ist ein Planungsszenario für Partner und Lieferanten, welches deutliche Kostenpotenziale durch die Verwendung von Standardkomponenten und Baukästen verspricht. Die Interoperabilität wäre damit gewährleistet, was den Aufbau einer öffentlichen Infrastruktur deutlich beschleunigen wird. Mittelfristig ist die Konzeption eines „VDA-Induktiv-Ladegeräts“ denkbar. Voraussetzungen für eine Standardisierung sind vorab die Gestaltung einheitlicher Standards bzgl. Systemkonfiguration, Spulenpositionierung und Kommunikation. Ein konsolidiertes Auftreten kann über die einschlägigen Gremien ISO/IEC, SAE und GAK 353.0.1 erfolgen.

Ergänzend kommt hinzu, dass eine proaktive Kommunikation der Technologie und das Ausräumen etwaiger Bedenken hinsichtlich Elektrosmog und/oder Energieverluste stattfinden muss.

Anlage: B_S_6 - BMU-Workshop Induktives Laden_V1.2

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

Die Technik der induktiven Energieübertragung stellt eine Schlüsseltechnologie für die Elektromobilität dar, da hiermit ein wesentlicher Beitrag zur deutlich kundenorientierten Gestaltung von Elektrofahrzeugen, hier im speziellen des Ladevorganges, und damit einhergehender Steigerung der Produktattraktivität gemäß den Zielsetzungen der schnellen Marktdurchdringung und der Implementierung einer zukunftsfähigen Ladeinfrastruktur gegeben ist.

Das Potenzial der Technologie ist als sehr hoch einzuschätzen, da es einen signifikanten Komfortgewinn und eine barrierefreie Lademöglichkeit offeriert, was insbesondere stadtplanerische Gestaltung vereinfacht. Ein besonderer Schwerpunkt bei der Bearbeitung des Förderprojekts, die Erzielung eines möglichst hohen Wirkungsgrades zur Unterstützung der energiepolitischen Nachhaltigkeitsinteressen wurde erreicht. Gleichzeitig wurden durch den Ansatz der variablen Übertragungsfrequenz die konzeptionellen Grundlagen für künftige Weiterentwicklungen in Richtung Interoperabilität bei hoher Effizienz gelegt.

Diese Aspekte sind der allgemeinen Marktakzeptanz der Elektromobilität zuträglich und können eine unterstützende Funktion bei der Marktdurchdringung einnehmen.

Damit entsteht eine Hebelwirkung, so dass mit dem positiven Konzeptnachweis in diesem Projekt nicht nur die induktive Energieübertragung sondern auch die E-Mobilität an sich gefördert wird.

Mit den beschriebenen Projektergebnissen und der damit gegebenen Konzeptbestätigung für die Funktion und die beteiligten Technologien sind die Voraussetzungen für nächste Schritte hin zu einer industriellen Umsetzung im Sinne einer Serienlösung gegeben, so dass die industriepolitischen Förderziele sowohl in der technologischen Befähigung wie auch in den Grundlagen der Gestaltung künftiger Standards erreicht wurden.

Da sowohl die E-Mobilität als auch die induktive Energieübertragung sehr anspruchsvolle Technologien darstellen, wird die Entwicklung und Fertigung entsprechender Systeme in den nächsten Jahren wesentlich auch in Deutschland stattfinden, was sich positiv auf die Leistungsfähigkeit und Sicherung des Standorts Deutschland im Hochtechnologiesegment auswirkt. Damit werden hochqualifizierte Arbeitsplätze gesichert bzw. neu entstehen.

Bereits während der Projektlaufzeit wurden im Rahmen des Konjunkturprogramms II in den Jahren 2010 und 2011 durch vorgezogene und intensiviertere Bearbeitung des Themas bei den Projektpartnern BMW und Siemens sowie bei beauftragten Ingenieurdienstleistern und Fertigungsbetrieben konjunkturelle Wirkungen durch die Umsetzung des Forschungsvorhabens erzielt.