

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ARBEITSWIRTSCHAFT UND ORGANISATION IAO

# SCHLUSSBERICHT IKONE

## Teilprojekt wissenschaftliche Begleitung



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

ZE:	Fraunhofer IAO	Förderkennzeichen:	03KP583D
Vorhabenbezeichnung:	IKONE		
Laufzeit des Vorhabens:	01.01.2010 – 30.09.2011		

**DIE VERANTWORTUNG FÜR DEN INHALT DIESER VERÖFFENTLICHUNG LIEGT BEIM AUTOR**

# Inhalt

1	Aufgabenstellung .....	3
2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	4
3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	5
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn .....	7
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	8
6	Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse .....	9
7	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	22
8	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	23
9	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertung .....	24
10	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....	25
11	Veröffentlichungen.....	26

# 1

## Aufgabenstellung

Beim vorliegenden Verbundprojekt ging es darum, den innovativen Anteil von batteriebetriebenen Transportern in der Modellregion Stuttgart im Alltag zu erproben, d. h. ihre Effizienz im Hinblick auf Verbrauch und Reichweite sowie ihre Alltagstauglichkeit im urbanen Verteilerverkehr zu testen. Hierbei waren vor allem die elektrischen Komponenten sowie die Hochvoltbatterien von batteriebetriebenen Transportern unter realen Kundeneinsatzbedingungen weiter zu erforschen und zu optimieren. Außerdem sollten das Verhalten und die Bedürfnisse des Nutzers bzgl. dieser Elektrotransporter erforscht werden. Wichtig war auch, für den Kunden den Nachweis zu erbringen, dass die Elektrofahrzeuge wirtschaftlich einsetzbar sind und die „gewohnten“ Sicherheitsstandards erfüllt werden. Im Sinne der Wirtschaftlichkeit galt es, neue Geschäftsmodelle zu untersuchen.

Ziel des Projekts ist die Erforschung batteriebetriebener Transporter im Hinblick auf ihre Alltagstauglichkeit. Hierzu wurden Mercedes-Benz Kleintransporter der Baureihe Vito E-CELL aufgebaut und zusammen mit Partnern in Flottentests erprobt. Die Erprobungsfahrzeuge sollten an möglichst unterschiedlichen Orten des Großraums Stuttgart eingesetzt werden, um einen großen Öffentlichkeitskreis zu erreichen. Vor allem aber sollte das Projektvorhaben bereits in sich einen gesamtheitlichen Elektromobilitätsansatz darstellen und sich leicht in ein entsprechendes übergeordnetes Konzept integrieren lassen. Nach diesen Gesichtspunkten wurden die Projektpartner sorgfältig ausgewählt.

Außerdem sollte gemeinsam mit dem Kunden eine sinnvolle Reichweite ermittelt werden. Damit die daraus gewonnenen Forschungsergebnisse repräsentativ sind, wurden Flottenpartner mit unterschiedlichen Nutzerprofilen aus mehreren Branchen beteiligt.

Überdies sollten im Rahmen des Projekts die Detaillierung und Formulierung der entsprechenden Vorschriften und Normen vorangetrieben und vereinheitlicht werden. Der Betrachtungsumfang schließt dabei u. a. die Themen Homologation und Service ein. Das wesentliche Ziel besteht dabei in der Schaffung von Rechtssicherheit und Verbindlichkeit.

## 2

### **Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

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

Beim Zusammenstellen des Konsortiums für das Projekt IKONE wurden die Konsortialpartner durch die Wirtschaftsförderung Region Stuttgart als Projektleitstelle der Modellregion Stuttgart unterstützt. Das Projekt IKONE wurde anschließend durch die NOW GmbH als eines der Projekte für die Modellregion Stuttgart ausgewählt. Nach der Bewilligung des Projektantrags war die Basis für eine erfolgreiche Zusammenarbeit der Projektpartner über die gesamte Projektlaufzeit hinweg der Abschluss eines Kooperationsvertrags. Dieser wurde zu Projektbeginn zwischen den Projektpartnern abgestimmt, unterzeichnet und über den gesamten Projektzeitraum eingehalten. Für eine mögliche zukünftige Zusammenarbeit der Projektpartner bietet der bestehende Kooperationsvertrag eine sehr gute Grundlage.

### 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt IKONE war in mehrere Teilprojekte gegliedert, welche in Abbildung 1 dargestellt sind. Mit dem übergreifenden Querschnittsteilprojekt 1 "Projektmanagement" wurde die Projektleitung unterstützt und die Erreichung der Projektziele sichergestellt. Im Teilprojekt 2 "Konzeption Flottenbetreuung" wurden die Fahrzeugerprobungen vorbereitet und das Kommunikationskonzept für das Gesamtprojekt erarbeitet und umgesetzt. Das Teilprojekt 3 „Fahrzeugaufbau und -test“ beinhaltet den Aufbau der Kundenfahrzeuge und die Durchführung und Auswertung der Versuchsfahrten.

Die Umfänge, die zur Bereitstellung der Ladeinfrastruktur notwendig sind, sind im Teilprojekt 4 „Ladeinfrastruktur“ enthalten. Im Teilprojekt 5 „Sicherheit“ wurden die sicherheitsrelevanten Aspekte behandelt, die bei elektrifizierten Fahrzeugen zu beachten sind. Das Teilprojekt 6 „Wissenschaftliche Begleitung“, welches in Abbildung 1 dargestellt ist, umfasst die wissenschaftlichen Analysen im Zusammenhang mit dem Kunden und der erfolgreichen und nachhaltigen Einführung der Elektromobilität im urbanen Wirtschaftsverkehr.

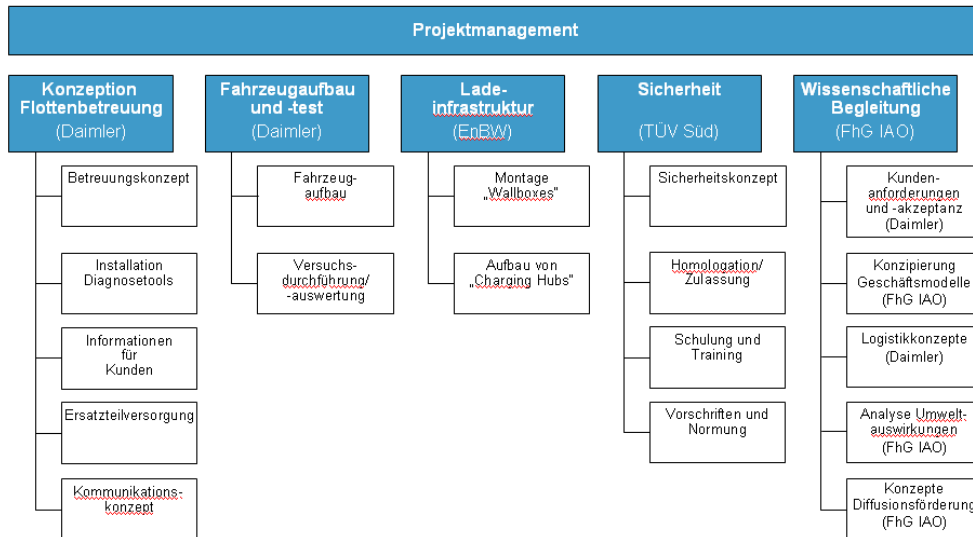
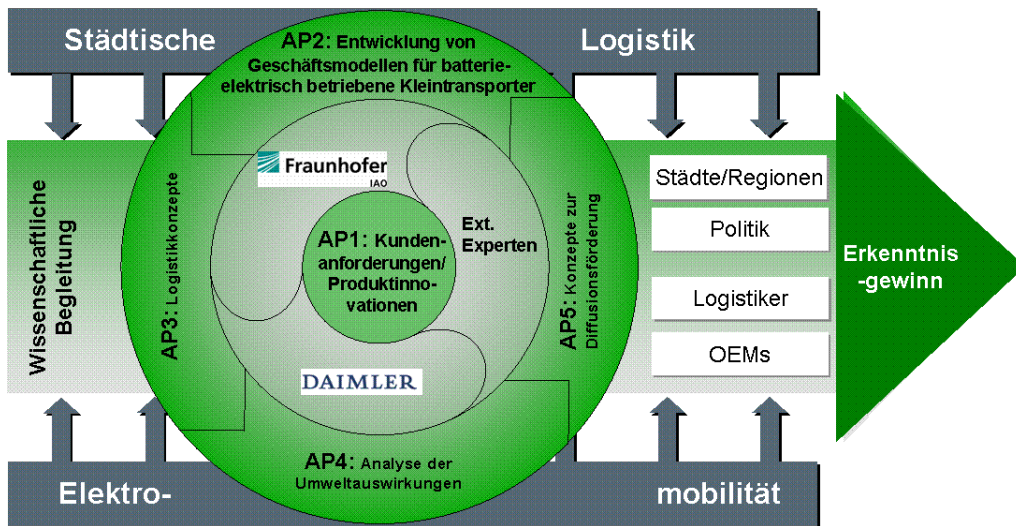


Abbildung 1: Projektstrukturplan IKONE



**Abbildung 2: Arbeitspaket 6 "Wissenschaftliche Begleitung"**

Der in Abbildung 3 dargestellte Zeitplan konnte bei der Projektbearbeitung der Arbeitspakete 6.1, 6.2, 6.4 und 6.5 im Wesentlichen eingehalten werden. Die Arbeiten der wissenschaftlichen Begleitung wurden dabei begleitend zu den Arbeiten der anderen Projektpartner durchgeführt und auf regelmäßigen Projekttreffen abgestimmt. In Abstimmung mit dem Projektkonsortium wurde eine Verlängerung der Projektlaufzeit bis in das dritte Quartal 2011 beantragt und genehmigt, sodass das Teilprojekt des Fraunhofers IAIO bis Ende September 2011 lief (siehe Abbildung 3).

Arbeitspakete		2009				2010				2011			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
AP 6.1	Kundenanforderungen und Produktinnovationen					■	■	■	■	■	■	■	
AP 6.2	Konzipierung Geschäftsmodelle					■	■	■	■	■	■	■	
AP 6.3	Logistikkonzepte												
AP 6.4	Analyse Umweltauswirkungen					■	■		■	■	■	■	
AP 6.5	Konzepte Diffusionsförderung								■	■	■	■	

**Abbildung 3: Zeitplan**

## 4

# Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn

Bei den Technologien der Elektromobilität sind noch einige technische und wirtschaftliche Hürden zu überwinden. Insbesondere müssen die Batterietechnologien, das Batteriemangement, die Sensorik, der Elektroantrieb und die Leistungselektronik weiter erforscht werden. Außerdem sind die Kundenanforderungen und das Nutzungsverhalten zu erforschen. Nicht zuletzt im Servicebereich (z. B. Wartung, Reparaturen, usw.) muss der Umgang mit batterieelektrischen Fahrzeugen erprobt werden. Auch die Rückspeisung der in Fahrzeugbatterien gespeicherten Energie in Stromnetze ist bei den Forschungsarbeiten zu berücksichtigen. Beim Aufbau der im Projekt zum Einsatz kommenden Vito E-CELL wurde an den technischen Stand der Entwicklungen der Daimler AG angeknüpft, für weitere Informationen wird auf den Schlussbericht der Daimler AG verwiesen.

Die gesetzlichen Vorschriften und Normen zur Elektromobilität waren zu Projektbeginn unzureichend beschrieben. Die Anwendung auf Nutzfahrzeuge in Verbindung mit dem Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur stellt hier eine besondere Herausforderung dar, da bei diesem integrativen Ansatz verschiedene Themenbereiche miteinander verzahnt werden. Die Lithium-Ionen-Batterien erfordern im Hinblick auf die funktionale, elektrische und chemische Sicherheit der Systeme eine besondere Beurteilung und Bewertung. Zudem musste auch die mechanische Sicherheit betrachtet werden.

Für die wissenschaftliche Begleitung des Flottenversuchs konnte auf keinen vergleichbaren Test mit einer ähnlich großen Anzahl von elektrischen Transportern aufgebaut werden.

Im Bereich der Analyse der Umweltauswirkungen konnte auf vorhandene Virtual-Reality Technologien und einen entsprechenden Visualisierungs-Aufbau (6-seitige Cave) zurückgegriffen werden. Für den Aufbau eines dreidimensionalen Modells standen 3-D-Daten der Stadt Stuttgart zur Verfügung. Als Grundlage für die Berechnung von Lärmemissionen konnte auf Lärmkartierungen der Stadt Stuttgart zurückgegriffen werden. Die zur Berechnung, Simulation und Visualisierung von Lärmemissionen notwendige Tool-Kette musste im Rahmen des Projekts jedoch neu aufgebaut werden, bei Projektbeginn bestanden zahlreiche Schnittstellen-Inkompatibilitäten, welche aufgelöst werden mussten. Auch für die Visualisierung von Geräuschpegeln konnte auf keine Vorarbeiten zurückgegriffen werden.

Bei der Analyse und Entwicklung von Geschäftsmodellen stellt sich die Herausforderung, dass wenig verlässliches Zahlenmaterial vorhanden bzw. von Fahrzeugherstellern für die Verwendung in Forschungsprojekten freigegeben ist. Zudem können viele Kennzahlen, wie beispielsweise Komponentenkosten bei einer zukünftigen Serienfertigung, noch nicht verlässlich bestimmt oder von vergleichbaren Modellen abgeleitet werden.

## 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

.....  
Zusammenarbeit mit anderen  
Stellen  
.....

Im Rahmen der Projektanbahnung und –durchführung wurde eng mit der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart (WRS) als Projektleitstelle der Modellregion Stuttgart zusammengearbeitet. Mitglieder der Projektleitstelle nahmen in regelmäßigen Abständen an den Konsortialtreffen der Projektpartner teil.

Das Fraunhofer IAO hat außerdem eng mit dem IAT der Universität Stuttgart zusammengearbeitet, welches im Rahmen eines Unterauftrages mit dem Thema Geschäftsmodelle in das Projekt eingebunden wurde.

Durch die Mitgliedschaft der Projektpartner in unterschiedlichen übergreifenden Plattformen der Modellregionen Elektromobilität war außerdem ein steter Wissenstransfer sichergestellt. Dieser umfasste sowohl die Weitergabe veröffentlichungsfähiger Ergebnisse an die Plattformen, als auch die Integration von Informationen aus den Plattformen in die Projektbearbeitung.

Zusätzlich hat das Fraunhofer IAO während der Projektlaufzeit im Rahmen des Projekts IKONE steten Kontakt zur NOW GmbH gehalten.

## 6

# Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

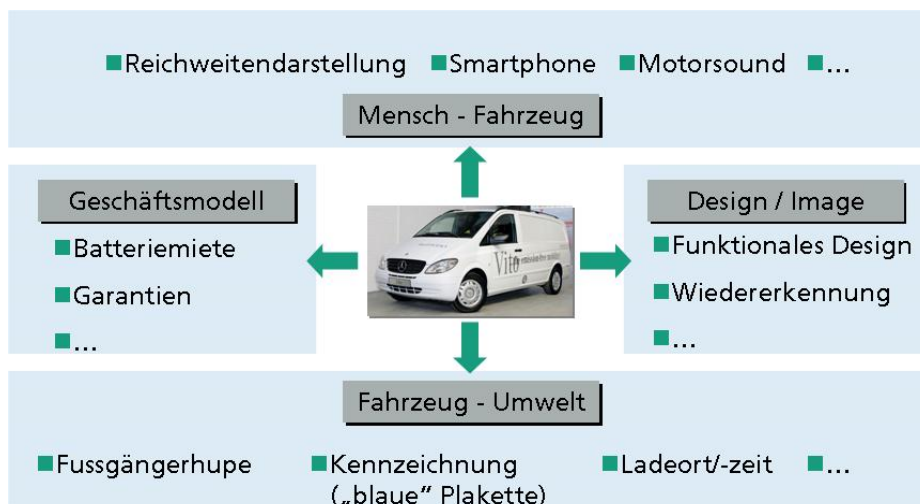
Die im Rahmen des Projekts geleisteten Arbeiten unter Zuordnung zu den jeweiligen Arbeitspaketen sind im Folgenden kurz dargestellt:

### AP 6.1: Kundenanforderungen und Produktinnovationen

Die Integration elektrischer Lieferwagen in bestehende Fahrzeugflotten sowie der Einsatz im Tagesgeschäft unterschiedlicher Kundengruppen bieten wertvolle Erfahrungen in Bezug zur Kundenakzeptanz. Gerade durch den Einsatz in der topographisch anspruchsvollen Region Stuttgart bestehen besondere Anforderungen an elektrische Fahrzeuge.

Neben einer systematischen Kundenanforderungsanalyse in Form von Befragungen der Fahrer durch die Firma Daimler wurde daher ein Konzept zur Aufnahme von Momenteindrücken der Fahrer während des täglichen Einsatzes der Fahrzeuge entwickelt. Dazu sollte ausgewählten Fahrern ein Audio-Aufnahmegerät zur Verfügung gestellt werden, welches durch einfache Bedienung erlaubt, spontane Eindrücke, Emotionen, Probleme sowie Reaktionen Außenstehender in Bezug zum Elektroantrieb aufzunehmen. Aufbauend auf einer Marktrecherche sind unterschiedliche Geräte getestet und evaluiert worden.

Basierend auf der Aufnahme der spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen der Stuttgarter Nutzer und Betreiber der Vito E-CELLs sollten Ansätze zur Steigerung und Optimierung der Nutzungs- und Einsatzmöglichkeiten in realen Arbeitssituationen abgeleitet werden. Produktinnovationen und -optimierungen konzentrieren sich dabei auf Ansätze, die in das bestehende Fahrzeug integriert werden können, ohne tiefe Eingriffe in Fahrzeugantrieb, -architektur und -design vorzunehmen. Im Fokus liegen dabei Geschäftskunden. In diesem Zusammenhang wurden Gestaltungsdimensionen definiert, hinsichtlich derer sich mögliche Ansätze zur Optimierung geben.



**Abbildung 4: Gestaltungsdimensionen zur Produktoptimierung und Entwicklung von Produktinnovationen**

In einer Best-Practice Analyse mit dem Elektrofahrzeug Lampo2 wurden zwei Produktinnovationen als besonders vielversprechend identifiziert:

-----  
Verwendung der Zuwendung und  
erzielte Ergebnisse  
-----

- Eine dynamische Reichweitenanzeige, welche durch die Berücksichtigung des Höhenprofils der zu fahrenden Route sowie Zuladung, Zusatzverbraucher (Klimatisierung, Heizung,...) etc. eine weitaus präzisere Reichweitenvorhersage treffen kann als heutige Systeme.
- Eine durch den Fahrer variabel einstellbare Rekuperationsleistung des Elektromotors. In Fahrttests analysiert werden sollten sowohl der generelle Wunsch des Fahrers, die Rekuperation variabel einstellen zu können, als auch unterschiedliche Instrumente/Schalter zur Einstellung (Hebel, Wippen, Drehschalter,...) und deren Einfluss auf die Nutzung der Rekuperation durch den Fahrer.

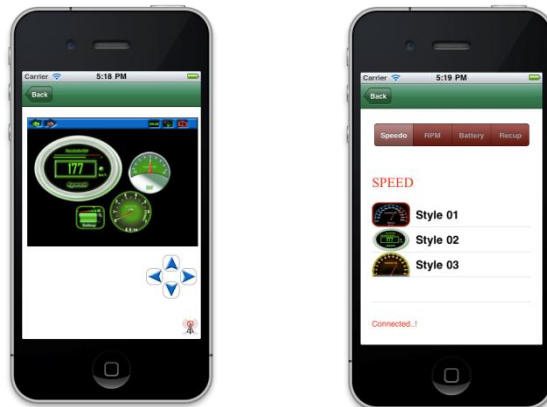
In einem Workshop wurden diese und weitere Ansätze vertiefend analysiert und auf ihre Umsetzbarkeit hin überprüft. Eine Umsetzung am Vito E-CELL stellte sich als nicht durchführbar heraus.

Im Projekt wurde außerdem die Integration von Smartphones in die Fahrzeugbedienung entwickelt und prototypisch umgesetzt. Dazu wurde eine Anwendung (Application) für ein Smartphone entwickelt, welche unterschiedliche Funktionen beinhaltet:



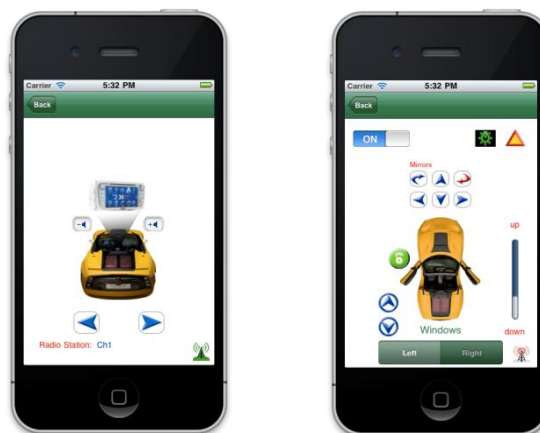
**Abbildung 5: Login-Ansicht und Hauptmenü der Application**

- Individualisierung des Fahrzeug-Armaturenbretts: Über das Smartphone ist es möglich, unterschiedliche digitale Anzeigeelemente des Armaturenbretts (Geschwindigkeit, Drehzahl, Batterieladestand, Rekuperation,...) wie gewünscht anzuordnen, unterschiedliche Anzeige-Stile auszuwählen und die Einstellungen in das Fahrzeug zu übertragen.



**Abbildung 6: Anordnung von Instrumenten und Auswahl unterschiedlicher Designs**

- Einstellung/Bedienung von Spiegeln und Fenstern: Über das Smartphone können ebenfalls die Außenspiegel des Fahrzeugs sowie die Fenster eingestellt werden. Auf diese Weise können die aktuellen Positionen von Spiegeln und zukünftig auch Sitzen auf dem Smartphone gespeichert werden und durch den Nutzer als Voreinstellungen mit in andere Fahrzeuge gebracht werden.



**Abbildung 7: Einstellung von Spiegeln und Bedienung der Fenster**

- Auffinden und Navigation zu Ladestationen: Durch das Auslesen entsprechender Datenbanken können auf dem Smartphone sämtliche in der Nähe befindliche öffentliche Ladestationen identifiziert und angezeigt werden. Durch die Navigationsmöglichkeiten des Smartphones ist es anschließend auch möglich, zu einer gewünschten Ladestation zu navigieren.



.....  
 Verwendung der Zuwendung und  
 erzielte Ergebnisse  
 .....

**Abbildung 8: Auffinden von Ladestationen, Abrufen von Informationen und Navigation zu Ladestationen**

- Anzeige des Batterieladestands: Wenn eine GSM- oder WLAN-Verbindung zwischen Fahrzeug-Boardcomputer und Smartphone existiert kann der Batterieladestand jederzeit gelesen und angezeigt werden.



**Abbildung 9: „Remote“-Anzeige des Batterieladestandes**

Die fahrzeugseitigen Funktionen wurden in einem Fahrsimulator sowie einem „Tür-Simulator“, in welchem Spiegel- und Fenstereinstellungen über einen CAN-Bus gesteuert werden können, prototypisch umgesetzt.

## AP 6.2: Konzipierung von Geschäftsmodellen

Batterieelektrische Fahrzeuge verfügen im Vergleich zu Fahrzeugen mit konventionellem Antriebsstrang über eine grundlegend andere Kostenstruktur. Diese Kostenstruktur unterscheidet sich sowohl hinsichtlich des Wertgefüges der verbauten Komponenten im Fahrzeug (mit der Batterie als maßgeblichem Einflussfaktor auf die Herstellungskosten) als auch hinsichtlich der anfallenden Kosten über den Produktlebenszyklus. Dies erfordert und begünstigt die Entwicklung völlig neuer Geschäftsmodelle für den Vertrieb und Einsatz der Elektrofahrzeuge.

Im Geschäftskundensegment geschieht die Auswahl und Beschaffung von Fahrzeugen auf rationaler Grundlage, anders als durch emotionale Einflussfaktoren im Privatkundenbereich sind die kombinierten Anschaffungs- und Betriebskosten (TCO Total-Cost-of-Ownership) der entscheidende Bewertungsmaßstab. Im Rahmen dieses Arbeitspakets wird daher ein Benchmarking-Tool erstellt, welches Transparenz im Vergleich eines Elektrofahrzeugs mit einem dieselbetriebenen Fahrzeug liefert. Die Umsetzung des Tools erfolgt in Form eines Fahrzeugkonfigurators.

-----  
 Verwendung der Zuwendung und  
 erzielte Ergebnisse  
 -----

Die Ermittlung der gesamten Lebenszykluskosten (oder auch TCO Ermittlung) erfolgt auf Basis einschlägiger Normen, wie DIN EN 60300-3-3 Zuverlässigkeitsmanagement Teil 3-3: Anwendungsleitfaden Lebenszykluskosten. Hierzu zählen unter anderem Anschaffungskosten, Betriebskosten, Instandhaltungskosten, Verkaufserlöse, etc. Zur Ermittlung der Werte wird ein Excel-basiertes Berechnungsmodell aufgebaut.



**Abbildung 10: Fahrzeugkonfigurator: Fahrzeugaufbau und Vergleich von alternativen Konzepten**

Die Beschreibung des Gesamtkonzepts und definierter Faktoren erfolgte in Abstimmung mit Daimler. Der Fahrzeugkonfigurator wurde im Sinne eines Lastenheftes definiert und anschließend programmiert. Zu den Konfigurationsmöglichkeiten zählen die auszuwählende Antriebsart, Leistung, Maximale Geschwindigkeit, Reichweite, Tonnage. Neben der Konfiguration des Antriebs-, bzw. Fahrzeugkonzepts ist es dem

Nutzer im Konfigurator ebenfalls möglich, weitere elektrofahrzeugspezifischen Komponenten im Exterieur (z.B. Positionierung Ladestecker, Auswahl Fußgängerhupe, etc.), als auch Interieur (z.B. Auswahl Rekuperationsmodi, Reichweitenanzeige, etc.) sowie der gewünschten Umgebungsbedingungen (z.B. Sonderzufahrt-Genehmigungen, Infrastrukturausbau, etc.) zu definieren.

-----  
 Verwendung der Zuwendung und  
 erzielte Ergebnisse  
 -----

Neben der Beschreibung reiner Fahrzeug-bezogener Faktoren dient der Fahrzeugkonfigurator, um die Bedürfnisse der Anwender aufzunehmen. Um eine einheitliche Auswertung der Datensätze zu ermöglichen, erfolgt die Orientierung der Befragung an dem für die Begleitforschung erstellten Kategorien und Fragebögen. Die Befragung erfolgt angepasst an das Themengebiet „gewerblicher Nutzer“.

Die Messung der Präferenzen für ausgewählte Gesamtfahrzeugkonzept sowie deren Komponenten und Umgebungsbedingungen erfolgt unter Anwendung von Stated Preferences Methoden. Hierbei wurden insbesondere auch Produktinnovationen aus den weiteren Arbeitspaketen integriert und auf ihre Relevanz und Akzeptanz hin überprüft.

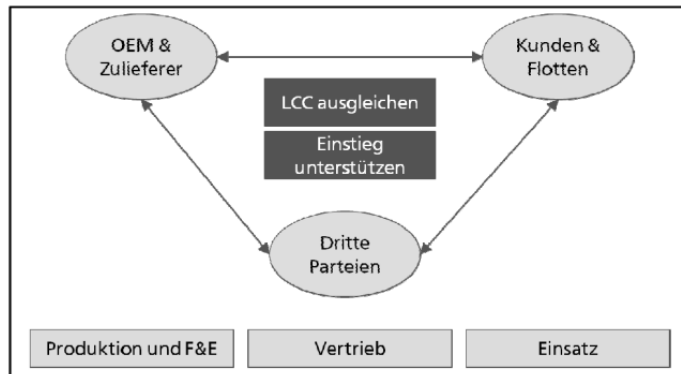


**Abbildung 11: Fahrzeugkonfigurator: Abfrage Nutzercharakterisierung und Präferenzmessung**

Für die Ableitung von Geschäftsmodell-Alternativen für batterieelektrische Transporter wurden die Lebenszyklus-Kosten für Fahrzeuge mit Elektroantrieb mit denen von herkömmlichen Fahrzeugen verglichen. Die Lebenszykluskosten für die Herstellung des Fahrzeugs wurden dabei so detailliert wie möglich auf Komponentenebene betrachtet,

um die Auswirkungen einzelner Komponenten (beispielsweise der Batterie) und deren Dimensionierung auf die Gesamtlebenszykluskosten des Fahrzeugs zu untersuchen.

.....  
Verwendung der Zuwendung und  
erzielte Ergebnisse  
.....



**Abbildung 12: Entwicklungsrahmen für Geschäftsmodelle**

Aufbauend auf der ermittelten Kostenstruktur wurden, untergliedert in die drei Bereiche Produktion und F&E, Vertrieb und Einsatz (siehe Abbildung 12), unterschiedliche Ausprägungen und Variationen von Geschäftsmodellen aus Hersteller- und Nutzersicht beschrieben und evaluiert. Eine Kurzübersicht über die entwickelten Geschäftsmodelle ist im Folgenden dargestellt:

Produktion und F&E:

- Kooperation und Standardisierung
- Effiziente Entwicklung
- Co-Innovation
- Batteriemodularisierung
- Purpose Design

Vertrieb:

- Elektromobilität erfahren
- Mobilitätsleasing
- Batterierücknahme
- Service und Garantie
- Finanzierungsmodelle
- All-Inclusive-Leasing
- Endkundenintegration
- Direktvertrieb
- Kundensegmentierung

Einsatz:

- Schaufenster

- Öffentliches Anreizsystem
- Transporter Sharing
- Fahrzeugüberlassung
- Transportbörsen als Mobilitäts-Sharing“
- Transportgemeinschaft
- Citylogistik
- Fuhrpark mit Lastspitzenausgleich
- Mobilitätsberater
- Multimodalität

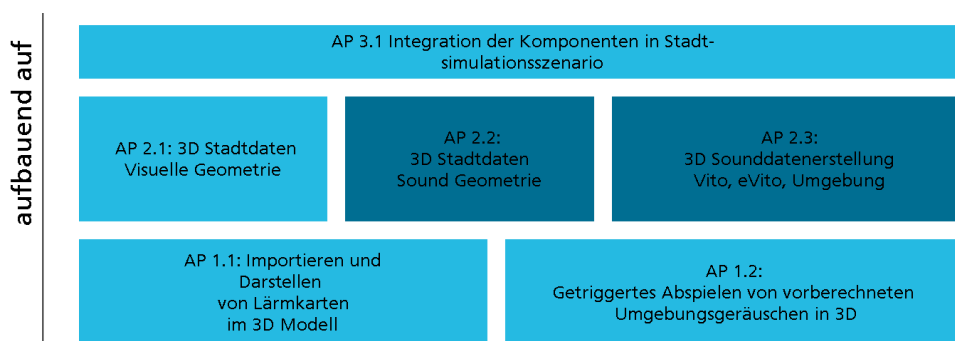
#### AP 6.4: Analyse der Umweltauswirkungen

Die Vision einer flächendeckenden Elektrifizierung innerstädtischer Logistik bedeutet umfassende Veränderungen in den Auswirkungen auf die Umwelt. Die Untersuchung der Emissionsreduktionspotentiale, ebenso wie die Änderungen im Lärmausstoß des innerstädtischen Lieferverkehrs, ist daher ein weiterer Schwerpunkt der wissenschaftlichen Begleitung durch das Fraunhofer IAO.

Um die Auswirkungen auf Menschen im städtischen Umfeld zu untersuchen, wurde ein Konzept zur Simulation, Analyse und Veranschaulichung des städtischen Verkehrs in einer Virtual-Reality-Umgebung entwickelt. Das Konzept sieht die Simulation einer städtischen Umgebung zur Untersuchung der akustischen Umwelteinflüsse in Abhängigkeit einer zunehmenden Elektrifizierung des innerstädtischen Verkehrs vor. Dazu wurde aus mehreren möglichen Use Cases folgende Anwendung näher untersucht:

*Use-Case: Visualisierung und Auralisierung von akustischen Umwelteinflüssen von Elektrofahrzeugen am Beispiel Vito E-CELL*

Das Raumerleben setzt sich zusammen aus der Raumwahrnehmung und dem Raumklang-bezogen auf den Automobilverkehr entstehen Auswirkungen auf den Fahrer, unterschiedliche Verkehrsteilnehmer sowie den Stadtraum.



**Abbildung 13: Arbeitsschritte der Implementierungen im Teilarbeitspaket „Umweltauswirkungen“**

Das Konzept sieht die Simulation einer städtischen Umgebung zur Untersuchung der verkehrlichen Umweltauswirkungen vor. Im Einzelnen umfasst das folgende Teilarbeiten:

-----  
 Verwendung der Zuwendung und  
 erzielte Ergebnisse  
 -----

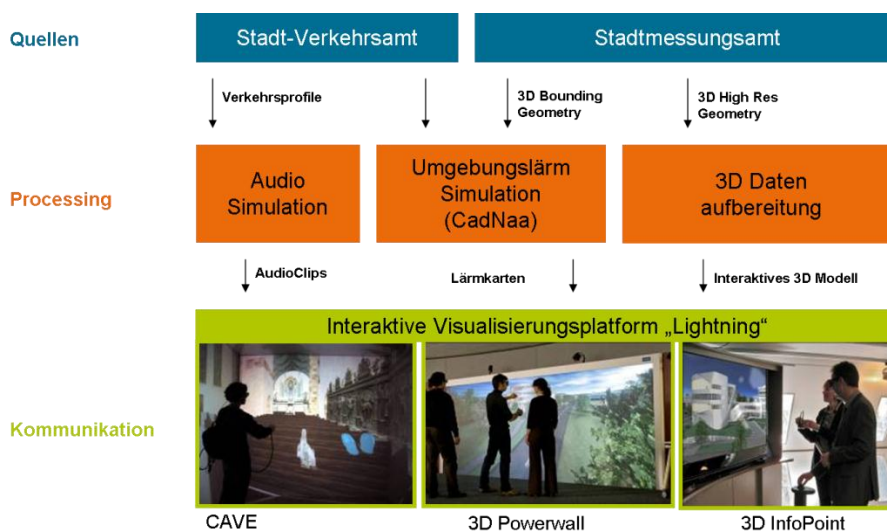
- Die IAO-eigene bestehende Virtual-Reality (VR) Engine Lightning, welche sich auf die visuelle Simulation beschränkt, wurde zur Ankopplung echtzeitfähiger 3D-Sound Simulationen erweitert.
- Darauf aufbauend werden die erzeugten und weiterverarbeiteten Soundsamples in Anwenderszenarien integriert.

Die zur Umsetzung des ausgewählten Use Cases notwendigen Arbeitsschritte waren:

- Analyse Lärmabstrahlung E-Vito im Vergleich zu Verbrenner-Vito (Vorbeifahrt, Anfahrt an Ampel)
- Simulation der Umgebungsgeräusche und Erstellung einer Lärmkarte
- Visualisierung von Lärmkarten am 3D Modell in der CAVE oder an der Powerwall
- Auralisierung und Ausgabe der Lärmsimulation der Innenstadt-Umgebung an definierten Standorten, Variation von
  - Anteil E-Fzg/Verbrenner
  - Umgebungsgeräusche

Als Lärmkartensimulationssystem wird das Softwarepaket CadNa A der Firma datakustik eingesetzt. Das System errechnet Lärmkarten nach den Normen RLS-90, VBUS oder DIN 18005, welche aktuellen Stadtplanungen zu Grunde liegt.

Der Gesamtprozess ist in Abbildung 14 dargestellt:

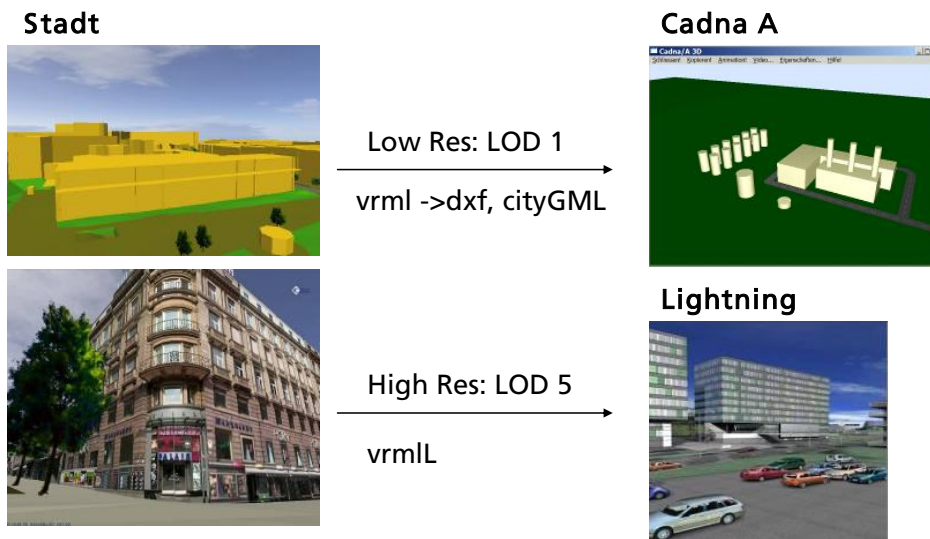


**Abbildung 14: Arbeitsfluss**

Wie oben beschrieben wurden die Lärmkarten in ein 3D Stadtmodell integriert und können dann in einem interaktiven VR-System erlebt werden. Der Benutzer kann mit Hilfe eines 3D-Displays und einer entsprechenden Brille das 3D-Stadtmodell räumlich maßstabsgetreu wahrnehmen.

-----  
 Verwendung der Zuwendung und  
 erzielte Ergebnisse  
 -----

Es wurden die unterschiedlichen Daten der Stadt Stuttgart im sog. CityGML Format über Zwischenschritte in die VR Engine „Lightning“ eingelesen. Die Simulationsdaten für die Akustiksimulation wurden in CADNA A exportiert. Folgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Qualitäten:



**Abbildung 15: Datenformate und Konversionen**

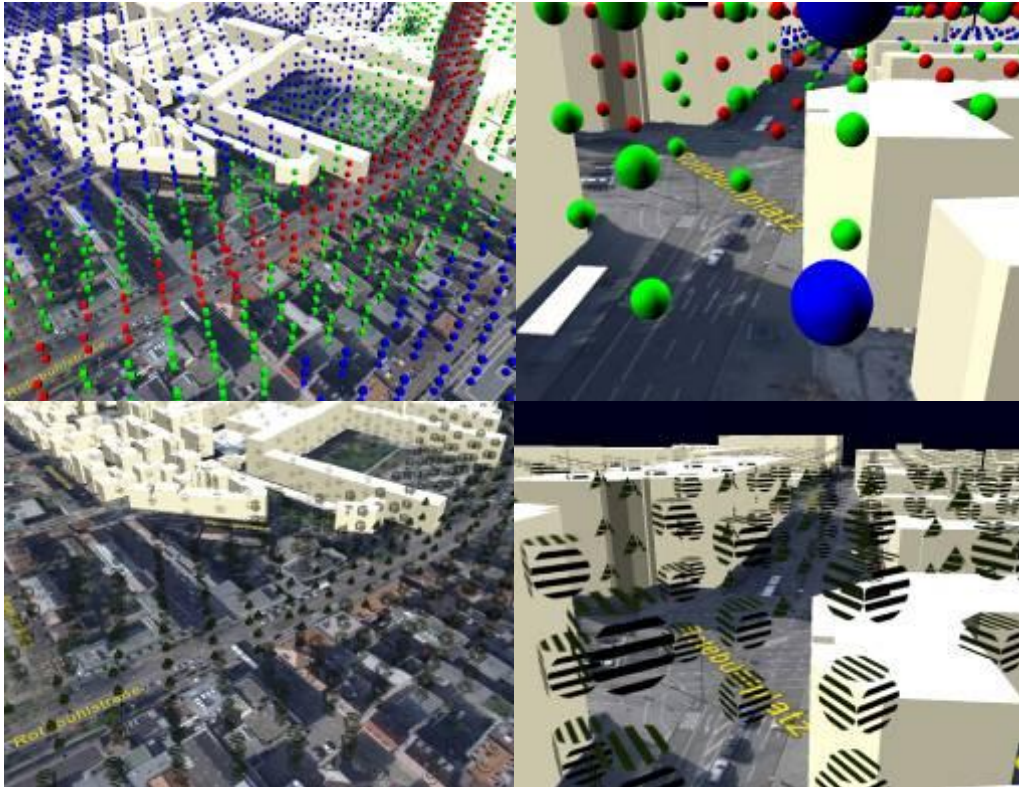
Diese Daten wurden als Basis für die Soundsimulation verwendet. Die Ergebnisse der Cadna A Akustiksimulation wurden als ASCII Grid Tabelle für je eine Höhenstufe exportiert. Diese Daten können durch folgende unterschiedliche visuelle Elemente repräsentiert werden:

- **Oberflächenrepräsentation 2D**
  - Farbe
  - Helligkeit
  - Transparenz
  - Textur: Musterstruktur u. -richtung
  - Oberflächenbeschaffenheit  
Glossy, Bump, Härte(Fur)
- **Raumrepräsentation 3D-Glyphe**
  - Größe

- Körperform
- Muster/Helligkeit

.....  
 Verwendung der Zuwendung und  
 erzielte Ergebnisse  
 .....

Diese Repräsentationen können getrennt bzw. gleichzeitig über das Interface dargestellt werden um die Verständlichkeit den Nutzerbedürfnissen anzupassen. Folgende Abbildungen zeigen Beispiele.



**Abbildung 16: Repräsentationen am Modell**

Im weiteren Verlauf wurden die Repräsentationen weiter verfeinert. Dazu wurden folgende Erweiterungen umgesetzt:

- Kubusrepräsentation, bei der jede Seite ein Szenario darstellt
- Floating Bar Charts

Diese wurden anschließend in die Szenarienauswahl im Webinterface integriert.

## AP 6.5: Konzepte der Diffusionsförderung

Verwendung der Zuwendung und  
erzielte Ergebnisse

Batterieelektrische Kleintransporter können einen wichtigen Beitrag zu einem nachhaltigen Erfolg der Elektromobilität leisten. Ihre Diffusion kann nur gelingen, wenn ein diffusions-freundliches Umfeld gestaltet wird. Unter den Schwerpunkten der Reduktion der Investitionskosten für batterieelektrische Transporter, der Reduktion der Total-Cost of-Ownership und der gesetzlichen Rahmenbedingungen werden Instrumente der Diffusionsförderung ermittelt, bewertet und in Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsträger übersetzt. Dazu wurden die zuvor ermittelten Handlungsfelder (steuerliche Vergünstigungen, marktwirtschaftliche Anreize, politische und gesetzliche Rahmenbedingungen) näher analysiert und evaluiert (siehe Abbildung 17).

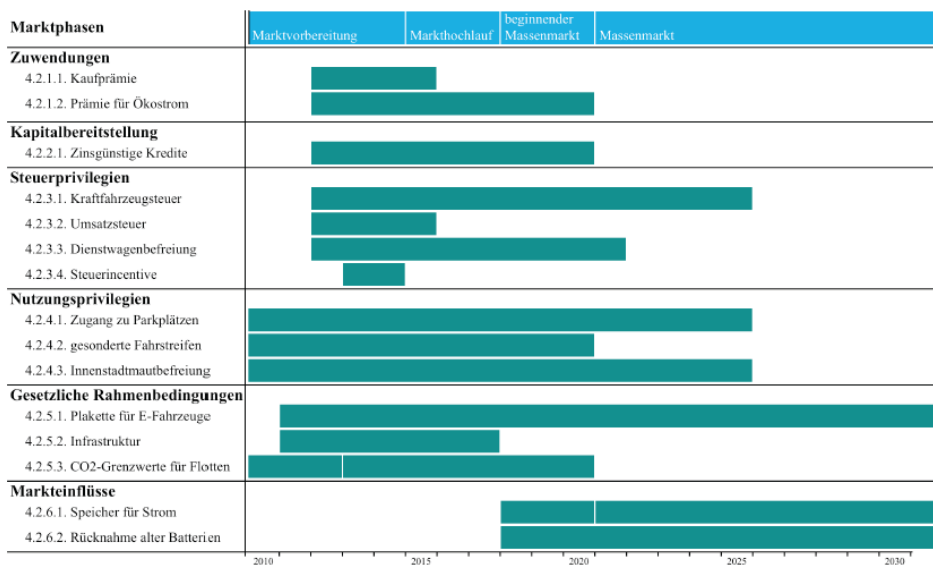


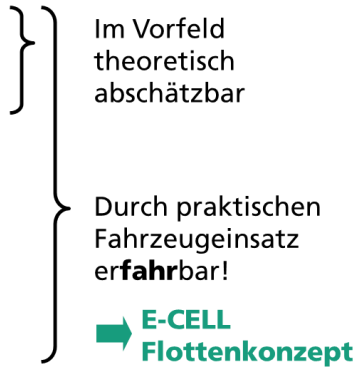
Abbildung 17: Übersicht Diffusionskonzepte

Als Unterstützung der Diffusion der Elektromobilität wurde projektbegleitend außerdem das Innovationsnetzwerk „Elektromobile Stadt“ entwickelt und etabliert, welches mittlerweile 12 Mitglieder aus Industrie und öffentlicher Hand hat. Ziel des Netzwerks ist es, einen Wissenstransfer in diese für die Diffusion der Elektromobilität zentralen Zielgruppen zu fördern.

Zudem wurde ein Konzept zur Vertriebsunterstützung entwickelt, welches speziell auf die Hürden zur Diffusion von Innovationen (siehe Abbildung 18) eingeht und als zentrale Elemente eine Potenzialanalyse konventioneller Fuhrparke sowie eine begleitete Testphase mit Elektrofahrzeugen beinhaltet.

5 + 1 Erfolgsfaktoren von Innovationen:

- Der (subjektive) **Vorteil** einer Innovation
- Die **Kompatibilität** mit einem vorhandenen Wertesystem
- Die Komplexität bzw. die beim Erstkontakt gefühlte **Einfachheit**
- Die **Probierbarkeit** (Möglichkeit des Experimentierens mit der Innovation)
- Die **Sichtbarkeit** der Innovation
- Das **Risiko** (technisch, gesellschaftlich,...)



.....  
Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse  
.....

**Abbildung 18: Erfolgsfaktoren von Innovationen**

## 7

### Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

.....  
Wichtigste Positionen des  
zahlenmäßigen Nachweises  
.....

Den mit Abstand größten Anteil des Projektbudgets bilden Personalmittel für die Durchführung der oben beschriebenen Arbeitspakete. Die Arbeiten in allen vier Arbeitspaketen der wissenschaftlichen Begleitung durch das Fraunhofer IAO konnten damit wie geplant umgesetzt werden.

Die ausgewiesenen Fremdleistungskosten gliedern sich in einen Unterauftrag an das IAT der Universität Stuttgart und an die Firma Protoscar SA.

Die Universität Stuttgart leistete im Rahmen des Unterauftrags ebenfalls personelle Forschungsarbeit. Im Rahmen des Unterauftrags an die Firma Protoscar SA wurde der entwickelte Fahrzeugkonfigurator softwaretechnisch umgesetzt.

Material- und Sachmittel wurden für die prototypische Umsetzung der Fahrzeug-Boardcomputer-Schnittstelle und die Implementierung in einem Fahrsimulator benötigt.

Die kalkulierten Reisemittel wurden für regelmäßige Projekttreffen des Konsortiums, für Abstimmungstreffen mit der Firma Protoscar im Rahmen der Programmierung des Fahrzeugkonfigurators sowie für die Wahrnehmung relevanter Termine für die Öffentlichkeitsarbeit verwendet.

## 8

# Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

.....  
Notwendigkeit und  
Angemessenheit der geleisteten  
Arbeit  
.....

Mit seiner Fokussierung auf den innerstädtischen Lieferverkehr zielt das Projekt IKONE auf die Erschließung eines Einsatzgebietes für Elektrofahrzeuge mit großem Potenzial. Während zahlreiche Aktivitäten und Ansätze auf die Elektrifizierung von Personenkraftwagen setzen, bietet gerade der Lieferverkehr mit definierten Routen von begrenzter Reichweite, häufigen Stopps und meist fester Depot-Bindung der Fahrzeuge ein ideales Einsatzgebiet für Elektrofahrzeuge.

Das Projekt leistet durch den öffentlichkeitswirksamen Einsatz der Fahrzeuge einen wichtigen Beitrag, die Einführung der Elektromobilität im Großraum Stuttgart zu beschleunigen und dabei gesamtheitliche und integrale Mobilitätsansätze zu verfolgen.

Neben dem Aufbau der Fahrzeuge ist dabei von entscheidender Bedeutung, Fragen der Nutzerakzeptanz zu untersuchen und die Kommunikation von Eigenschaften, besonders von Vorteilen, der Elektromobilität zu unterstützen. Die Entwicklung des Vito-Konfigurators als Werkzeug zur Kundenkommunikation auf detailliertem Niveau ist dazu ein wichtiger im Rahmen des Projekts geleisteter Beitrag.

Parallel zur Fahrzeug-bezogenen Sichtweise ist auch von zentraler Bedeutung, welche Umweltauswirkungen die Einführung größerer Anteile von Elektrofahrzeugen zur Folge hätte. Das im Projekt entwickelte Virtual-Reality Stadtmodell zur Analyse von Lärmemissionen bietet dazu ein aussagekräftiges und erweiterbares Werkzeug, welches im Anschluss an die Projektlaufzeit beispielsweise um die Dimension Schadstoffemissionen erweitert werden könnte.

Die Projektergebnisse werden, den Statuten und dem Auftrag der Fraunhofer-Gesellschaft entsprechend, maßgeblich über Projekte mit Industriepartnern und öffentlichen Forschungsprojekten verwertet. Insbesondere ist der Aufbau und die Etablierung eines Forschungs- und Beratungskonzepts „Elektromobile Stadt“ zu nennen, das sich an Städte und Kommunen richtet und welches projektbegleitend etabliert werden konnte. Ziel ist es, diese für die Diffusion der Elektromobilität so bedeutende Zielgruppe bei der Entwicklung und Umsetzung einer für die jeweilige Kommune/ Stadt spezifischen Elektromobilitäts-Roadmap zu unterstützen. Die Projektergebnisse werden in das Forschungs- und Beratungskonzept einfließen.

Hinsichtlich der entwickelten Innovationen zur Erhöhung der Kundenakzeptanz ist eine Weiterentwicklung mit Industriepartnern und im Erfolgsfall eine angestrebte Patentierung der Lösungen geplant. Ebenso ist angestrebt, das im Rahmen der Geschäftsmodellkonzeption entwickelte Benchmarking-Tool gemeinsam mit Industriepartnern weiterzuentwickeln.

Neben der Umsetzung der im Projekt IKONE durch das Fraunhofer IAO initiierten Entwicklungen in Industrieprojekten ist deren Fortführung in öffentlichen Forschungsprojekten, wie z. B. im Rahmen des Green Cars Programms der Europäischen Union, geplant. Mit dem im Rahmen des Projektes IKONE aufgebautem Wissen verfügt das Fraunhofer IAO über eine Referenz, die es als Forschungspartner in nationalen wie internationalen Konsortien noch attraktiver macht.

## 10

### **Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

.....  
Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen  
.....

Während der Projektlaufzeit wurden in zahlreichen weiteren Projekten der Modellregionen Elektromobilität Forschungs- und Demonstrationsvorhaben betrieben. Parallel haben Fahrzeughersteller sowie die Automobilzulieferindustrie intensiv an den relevanten Technologien des elektrifizierten Antriebsstrangs gearbeitet und große technische Fortschritte erzielt. Erste Elektrofahrzeuge sind kommerziell am Markt erhältlich.

Auf dem unmittelbaren Gebiet des Vorhabens und den oben beschriebenen Tätigkeiten im Projekt sind dem Fraunhofer IAO jedoch keine vergleichbaren Entwicklungen und Ergebnisse aus anderen Projekten bekannt.

# 11

## Veröffentlichungen

.....  
Veröffentlichungen  
.....

- Spath, D., „Der Weg in die elektromobile Stadt – Elektrifizierung des innerstädtischen Lieferverkehrs“, Vortrag im Rahmen der Verkehrsministerkonferenz in Weimar, 6. Oktober 2010
- Voigt, S., Rothfuss, F., Rose, H., “Electric Vehicle Configurator”  
The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition, Shenzhen, China, Nov. 5-9, 2010