

**FuE-Programm „Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)**

**Gemeinsamer Abschlussbericht**

Vorhabenbezeichnung:



**Ganzheitliche Analyse und Bewertung  
der Umwelteffizienz von Elektro- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen  
in der Alltagsnutzung am Beispiel des Flottenbetriebs –  
Fleets Go Green**

**Laufzeit des Vorhabens:**

vom: 01.09.2012

bis: 31.08.2016

**Zuwendungsempfänger:**

**Förderkennzeichen:**

BS|ENERGY Braunschweiger Versorgungs-AG & Co. KG (Konsortialführer)

16EM1034 / 16EM1043

Imc Meßsysteme GmbH

16EM1035

ACTIA I+ME GmbH

16EM1036

iPoint-systems GmbH

16EM1037

Lautlos durch Deutschland GmbH

16EM1038 / 16EM1044

TLK-Thermo GmbH

16EM1039

Volkswagen AG

16EM1040

Technische Universität Braunschweig

16EM1041

- Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion
- Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen
- Institut für Fahrzeugtechnik
- Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung

16EM1033



## Executive Summary

Ziel des Verbundprojekts Fleets Go Green war die ganzheitliche Analyse und Bewertung der Umwelteffizienz von Elektrofahrzeugen in der Alltagsnutzung am Beispiel des Flottenbetriebs. Im Projekt wurden für die Anwendungsszenarien Werksflotte BS|ENERGY und Poolkonzept Technische Universität Braunschweig verschiedene batterieelektrische Fahrzeuge beschafft, mit entsprechender Messtechnik zur Erfassung des Gesamtenergiebedarfs ausgerüstet und betrieben. Die ökologischen und ökonomischen Potentiale wurden unter Zugrundelegung verschiedener Nutzungsprofile experimentell in Flottenversuchen sowie mit Hilfe von Komponenten- und Gesamtfahrzeugsimulationen untersucht und bewertet. Die Flottenversuche ermöglichten die Aufzeichnung, Speicherung, Aufbereitung und Analyse unterschiedlicher Daten des Fahrzeug-, Nutzer-, Netzverhaltens im realen Betrieb. Mit Hilfe der Simulationsmodelle konnten verschiedener Antriebstrangkonfigurationen bei variierenden Komponenteneigenschaften unter Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzerverhalten abgebildet und damit die Umweltwirkungen sowie Auswirkungen im Hinblick auf das Netzverhalten bewertet werden. Die verschiedenen Ergebnisse wurden in einem Werkzeug zur ökologischen Flottenplanung zusammengeführt.

Im Projekt Fleets Go Green wurde insgesamt eine Stichprobe von 25 Fahrzeugen verschiedener Hersteller mit einer Gesamtlauflistung von über 70.000 km und über 9.300 einzelnen Fahrten analysiert. Dabei zeigte sich, dass die Fahrzeuge überwiegend im innerstädtischen Bereich eingesetzt wurden und dabei nur kurze Fahrstrecken zurücklegten. So hatten circa 70 % aller Einzelfahrten eine Streckenlänge von unter 10 km und nahezu alle Fahrten waren kürzer als 50 km. Durch diesen Kurzstreckenbetrieb konnten einerseits die im Fahrzeugbetrieb festgestellten erhöhten Nebenverbraucher erklärt werden. Auf der anderen Seite konnte anhand der Streckenverteilung gezeigt werden, dass die in der öffentlichen Wahrnehmung zu geringe Reichweite von batterieelektrischen Fahrzeugen unter den Anwendungsbedingungen des Projekts kaum eine Rolle gespielt hat.

Allerdings zeigte sich auch, dass die Reichweite einen sehr viel größeren Einfluss auf die Kaufentscheidung eines potentiellen Kunden hat, als die eher kurzen Fahrstrecken der im Projekt untersuchten Fahrzeuge vermuten lassen. Nicht unerheblich bei der Entscheidung, ein Elektrofahrzeug für die Bewältigung eines Fahrauftrags zu nutzen, ist eine vertrauenswürdige Reichweitenprognose, insbesondere bei Wetterlagen mit sehr hohem Klimatisierungsbedarf. Zudem haben die Dauer und der Aufwand des Ladens einen signifikanten Einfluss auf die Kaufintention. Der Bedarf nach elektrisch betriebenen Fahrzeugen ist dabei über alle Fahrzeuggrößen hinweg vorhanden. Es zeigte sich eine erhöhte Bereitschaft Plug-In-Hybride zu kaufen. Die Faktoren, die bei der Fahrzeugwahl eine Rolle spielen lassen sich jedoch nicht auf Symbolismus, Hedonismus oder Funktionalität zurückführen, sondern vielmehr auf die Innovationsfreude und das Umweltbewusstsein der Befragten.

Die im Rahmen des Projekts durchgeführte Ökobilanz zeigte deutlich, dass die Umweltwirkungen von Flotten aus Elektrofahrzeugen stark vom Energiestrommix abhängen. Bei diesem sollte daher konsequent auf Energie aus erneuerbaren Quellen gesetzt werden. Parallel hierzu gilt es den Gesamtenergieverbrauch der Flotte in der Nutzungsphase zu reduzieren. So wirken sich etwa die Außentemperaturen maßgeblich auf den Gesamtenergieverbrauch aus, da von diesem Nebenverbraucher wie Heizung und Klimatisierung abhängen. Die jeweilige Klimazone, in der die Flotte betrieben wird, spielt daher eine zentrale Rolle bei der Entscheidung, welche Elektrofahrzeugen aus ökologischer Sicht sinnvoll eingesetzt werden können. Gleiches gilt für weitere geografische Eigenschaften wie Streckenprofile und typische Fahrtstrecken. Aber auch das Fahrverhalten der Nutzer hat einen spürbaren Einfluss. Hier können Einsparungen durch entsprechende Schulungen der Fahrerinnen und Fahrer erzielt werden.

Hinsichtlich der entwickelten Entscheidungsunterstützung für die Flottenplanung wurde bestätigt, dass pauschale Aussagen über die Vorteilhaftigkeit von Elektrofahrzeugen für betriebliche Flottenanwendungen aufgrund der hohen Heterogenität von Flotten nicht zielführend sind. Stattdessen ist die Abbildung, Modellierung und Simulation der spezifischen Entscheidungssituation von Flottenbetreibern zweckmäßig. Ausgehend von den durchgeführten Fallstudien zu den Projektanwendungsszenarien konnte gezeigt werden, dass durch die Integration von Elektrofahrzeugen sowohl in das Pool-Konzept der TU Braunschweig als auch in die Werksflotte BS|ENERGY positive Effekte im Hinblick auf die mit den Flotten verbundenen Umweltwirkungen erzielt werden.

## Das Fleets-Go-Green-Team

Bley, Thomas	iPoint-systems GmbH
Bodmann, Michael	TLK-Thermo GmbH
Böhme, Stefan	Technische Universität Braunschweig
Brandt, Henneke	Lautlos durch Deutschland GmbH
Büschleb, Holger	Volkswagen AG
Büngener, Uwe	Fraunhofer-Gesellschaft
Dettmer, Tina	Technische Universität Braunschweig
Diekmann, Stephan	Technische Universität Braunschweig
Egede, Patricia	Technische Universität Braunschweig
Erkisi, Selin	Technische Universität Braunschweig
Fröhlich, Sven	ACTIA I+ME GmbH
Gerald Rausch	Fraunhofer-Gesellschaft
Goetzke, Markus	Volkswagen AG
Gröninger, Michael	Fraunhofer-Gesellschaft
Hendrich, Lars	ACTIA I+ME GmbH
Herrmann, Christoph	Technische Universität Braunschweig
Hermann, Randolf	BS ENERGY Braunschweiger Versorgungs-AG & Co. KG
Hillenbrand, Franz	Imc Meßsysteme GmbH
Hofemeier, Florian, Dr.	Volkswagen AG
Horch, Felix	Fraunhofer-Gesellschaft
Inderwisch-Bitter, Kathrien	Technische Universität Braunschweig
Karges, Uwe	BS ENERGY Braunschweiger Versorgungs-AG & Co. KG
Koch, Robert	Volkswagen AG
Kücükay, Ferit	Technische Universität Braunschweig
Kurrat, Michael	Technische Universität Braunschweig
Laue, Tino	Volkswagen AG
Leicht, Katrin	Technische Universität Braunschweig
Lösch, Stefan	Fraunhofer-Gesellschaft
Mau, Daniela	Technische Universität Braunschweig
Mennenga, Mark	Technische Universität Braunschweig
Mummel, Jan	Technische Universität Braunschweig
Reiniger, Florian	Imc Meßsysteme GmbH
Roesky, Ole	TLK-Thermo GmbH
Sander, Marcel	Technische Universität Braunschweig
Schiffleitner, Andreas	iPoint-systems GmbH
Schober, Axel	ACTIA I+ME GmbH
Schudeleit, Mark	Technische Universität Braunschweig
Seelbach, Beres	Lautlos durch Deutschland GmbH
Soleymani, Lorenz	Technische Universität Braunschweig
Stachura, Marek	iPoint-systems GmbH
Stalze, Johanna	BS ENERGY Braunschweiger Versorgungs-AG & Co. KG
Steinwachs, Hans-Joachim	ACTIA I+ME GmbH
Strube, Sven	Lautlos durch Deutschland GmbH
Tegethoff, Wilhelm	TLK-Thermo GmbH
Völlmecke, Ingo	Imc Meßsysteme GmbH
Wisbar, Aram	Imc Meßsysteme GmbH
Woisetschläger, David	Technische Universität Braunschweig

## Inhalt

1. Zielstellung des Verbundprojekts .....	1
1.1. Gesamtziel des Verbundes.....	1
1.2. Aufgaben der einzelnen Partner .....	2
2. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes .....	9
2.1. Modul 1: Fahrzeugverhalten .....	9
2.1.1. AP 1.1: Datengenerierung und Datenanalyse .....	9
2.1.2. AP 1.2: Aufbau eines modularen Simulationsmodells.....	34
2.1.3. AP 1.3: Validierung der Simulation .....	46
2.2. Modul 2: Nutzerverhalten.....	57
2.2.1. AP 2.1: Treiber der Nutzerakzeptanz .....	57
2.2.2. AP 2.2: Tatsächliches Nutzerverhalten .....	62
2.2.3. AP 2.3: Effektivität von Anreizmechanismen.....	69
2.3. Modul 3: Netzverhalten .....	73
2.3.1. AP 3.1: Analyse der Netzzrückwirkungen der Flotten .....	74
2.3.2. AP 3.2: Entwicklung, Erprobung von Konzepten zur Reduktion von Lastspitzen .....	77
2.3.3. AP 3.3: Erprobung eines Konzepts für die lokale Versorgung einer Flotte mit Energie aus erneuerbaren Energieträgern .....	83
2.3.4. AP 3.4: Konzepte und Geschäftsmodelle zur verbesserten Integration nicht lokaler erneuerbarer Energieträger .....	85
2.4. Modul 4: Ökobilanz .....	89
2.4.1. AP 4.1: Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen.....	89
2.4.2. AP 4.2: Energie- und Stoffstrommodellierung .....	91
2.4.3. AP 4.3: Wirkungsabschätzung und Auswertung .....	97
2.5. Modul 5: Anwendungsszenario Flottenbetrachtung .....	103
2.5.1. AP 5.1: Flottenbeschaffung und -betrieb .....	104
2.5.2. AP 5.2: Kategorisierung flottenspezifischer Eigenschaften.....	106
2.5.3. AP 5.3: Entscheidungsunterstützung für das Flottenmanagement .....	108
2.5.4. AP 5.4: Validierung der Modelle und Ableitung von Handlungsempfehlungen.....	118
2.6. Weitere Projektergebnisse.....	121
2.6.1. Veröffentlichungen.....	121
2.6.2. Vorträge .....	123
2.6.3. Durchgeführte Projektveranstaltungen .....	123
3. Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan .....	124
4. Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik .....	125
5. Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf.....	127
6. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des BMUB .....	128
7. Literaturverzeichnis .....	129

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektstruktur Fleets Go Green .....	1
Abbildung 2: Schematischer Aufbau der analogen Hoch- und Niedervoltmesstechnik am Beispiel des Citroën C-Zero (Quelle: IAV GmbH) .....	11
Abbildung 3: Beispiel für die verbaute Hochvoltmesstechnik, hier Shunt zur Messung der Ströme an Heizelement und elektrischem Klimakompressor (Quelle: IAV GmbH).....	12
Abbildung 4: Abgleich der vom CAN-Bus sowie der analogen Messtechnik aufgezeichneten Signale am Beispiel des Stroms der HV-Batterie beim Citroën C-Zero .....	12
Abbildung 5: Temperaturmessstellen im Smart ED .....	13
Abbildung 6: Thermographieaufnahme während einer stationären Aufheizung im Winterfall	13
Abbildung 7: Verarbeitung der Rohdaten einer Fahrt.....	14
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Übertragungswege Datenlogger-Datenbank bei BSN .....	15
Abbildung 9: Schematische Darstellung der Übertragungswege der Datenlogger bei LDD ..	15
Abbildung 10: Benutzerschnittstelle Datenbank.....	17
Abbildung 11: Startseite Fleet Go Green-WebFrontEnd .....	17
Abbildung 12: Beispiel für eine durchgeführte Fahrt .....	17
Abbildung 13: Datenbankmodell.....	18
Abbildung 14: Daten-Plausibilisierung .....	19
Abbildung 15: Fahrtenbuch .....	20
Abbildung 16: Verbrauchsauswertung Smart ED.....	21
Abbildung 17: Verbrauchsauswertung Citroen C-Zero.....	22
Abbildung 18: Verbrauchsauswertung VW e-up! .....	23
Abbildung 19: Histogramm der Streckenlängen für den Berichtszeitraum KW01/2015 – 32/2016 .....	24
Abbildung 20: Auswertbare Laufleistungen der verschiedenen Fahrzeugtypen .....	25
Abbildung 21: Verteilung der Laufleistung der einzelnen Fahrzeuge auf die Monate .....	25
Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der Laufleistung pro Tag für BS ENERGY und TU Braunschweig.....	26

Abbildung 23: Anteile der Fahrumgebungen Stadt, Land und Autobahn an der Laufleistung bei BS ENERGY und der TU Braunschweig, ohne e-up! .....	26
Abbildung 24: Aufenthaltshäufigkeit des Smart ED bei BSN, welcher teilweise in Gifhorn und teilweise in Braunschweig stationiert war .....	27
Abbildung 25: Aufenthaltshäufigkeit der Smart ED bei BSN, welche in Braunschweig stationiert waren (ohne Fahrzeug aus Abbildung 24) .....	27
Abbildung 26: Aufenthaltshäufigkeit der Fahrzeuge an der TU Braunschweig .....	28
Abbildung 27: Häufigkeitsverteilung der Uhrzeit bei Fahrtbeginn für BS ENERGY und TU Braunschweig .....	28
Abbildung 28: Häufigkeit der Anzahl an Ladungen pro Tag (ohne e-up!) .....	29
Abbildung 29: Häufigkeitsverteilung des verbleibenden SOC der Batterie vor der Ladung, ohne e-up! .....	29
Abbildung 30: Mittlerer Energieverbrauch für Antrieb und Nebenverbraucher sowie durch Rekuperation zurückgewonnene Energie (an Batterie) .....	30
Abbildung 31: Energieverbrauch für Antrieb und Nebenverbraucher sowie Gesamtverbrauch des Smart ED aufgeschlüsselt nach Monaten .....	31
Abbildung 32: Energieverbrauch für Antrieb und Nebenverbraucher sowie Gesamtverbrauch des VW e-up! aufgeschlüsselt nach Monaten .....	31
Abbildung 33: Energieverbrauch für Antrieb und Nebenverbraucher sowie Gesamtverbrauch des Citroën C-Zero aufgeschlüsselt nach Monaten .....	32
Abbildung 34: Energieverbrauch für Antrieb und Nebenverbraucher des Smart ED bei unterschiedlichen mittleren Umgebungstemperaturen .....	32
Abbildung 35: Anteil der Laufleistung bei unterschiedlichen mittleren Umgebungstemperaturen für die Smart ED von BSN .....	33
Abbildung 36: Permanentmagneterregte Synchronmaschine (PMSM) der Fa. Bosch .....	35
Abbildung 37: Endoskopie-Aufnahmen zur Ermittlung der Magnet- und Polgeometrie des Rotors .....	35
Abbildung 38: Magnetische Induktionsverteilung der Symmetrieeinheit des FEM-Modells ...	36
Abbildung 39: Beispielhafte Kennfelder einer PMSM .....	36
Abbildung 40: Flussdiagramm des thermischen Komponentenmodells der E-Maschine .....	37
Abbildung 41: Struktur des Getriebemodells und der thermischen Bilanzierung .....	37
Abbildung 42: Schematische Darstellung der Bestimmung der Fahrereingaben im statistischen Fahrermodell .....	38

Abbildung 43: Heiz-Klima-System mit PTC.....	39
Abbildung 44: Heiz-Klima-System mit CO <sub>2</sub> -Wärmepumpe.....	39
Abbildung 45: Zusammenschluss der zwei Batteriemodule .....	40
Abbildung 46: Zeitlicher Verlauf des Stroms bei Entladung der Traktionsbatterie mit 1C bei den Umgebungstemperaturen 0, 15 und 25°C.....	41
Abbildung 47: Zeitlicher Verlauf des SOC bei Entladung der Traktionsbatterie mit 1C bei den Umgebungstemperaturen 0, 15 und 25°C.....	41
Abbildung 48: Konsole mit Frequenzumrichter .....	42
Abbildung 49: Aufspannwinkel mit Elektromotor .....	42
Abbildung 50: Schematische Darstellung des Signalfusses des Gesamtfahrzeugmodells als Vorwärtssimulation .....	44
Abbildung 51: Vergleich der simulierten (durchgezogen) und gemessenen (gestrichelt) Gesamtverluste bei verschiedenen Drehmomenten und Drehzahlen.....	47
Abbildung 52: Vergleich der simulierten (durchgezogen) und gemessenen (gestrichelt) Gesamtwirkungsgrade bei verschiedenen Drehmomenten und Drehzahlen ..	47
Abbildung 53: Validierung des Fahrreglers anhand von Soll- und Ist-Geschwindigkeit des Fahrzeugs .....	48
Abbildung 54: Drehzahl (elektr. Maschine) normiert auf $n_{max}$ .....	48
Abbildung 55: Drehmoment (elektr. Maschine) normiert auf $M_{Max,Min}$ .....	49
Abbildung 56: Mechanische Leistung (elektr. Maschine) normiert auf $P_{Max,Min}$ .....	49
Abbildung 57: Elektrische Leistung (elektr. Maschine) normiert auf $P_{Max,Min}$ .....	49
Abbildung 58: Strom (HV-Batterie) normiert auf $I_{max}$ .....	50
Abbildung 59: Spannung (HV-Batterie) normiert auf $U_{max}$ .....	50
Abbildung 60: State of Charge (HV-Batterie) normiert auf $SOC_{max}$ .....	50
Abbildung 61: Strecke und Höhen- und Geschwindigkeitsprofil zur Validierung der Gesamtfahrzeugsimulation (Jugert und Fischer 2014).....	51
Abbildung 62: Geschwindigkeitsprofil und Energieverbrauch von Simulation und Messung (Jugert und Fischer 2014).....	51
Abbildung 63: Mittlere Fahrgastraumtemperatur und Einblastemperatur für PTC- und Wärmepumpen-System bei einer Umgebungstemperatur von -10 °C (Jugert und Fischer 2014).....	53



Abbildung 64: Energieverbrauchserhöhung (im Vergleich zu 20 °C Referenzfall) und dem Fahrgastraum zugeführte Heizenergie bei verschiedenen Umgebungstemperaturen (Jugert und Fischer 2014).....	53
Abbildung 65: Geschwindigkeitsprofil des betrachteten repräsentativen Stadtzyklus.....	54
Abbildung 66: Einfluss der Anzahl der Insassen auf den Energieverbrauch des Fahrzeugs .	54
Abbildung 67: Parametervariation - Kumulierter Energieverbrauch für unterschiedliche Luftwiderstandsbeiwerte .....	55
Abbildung 68: Fahrzeugbeschaffungsprozess .....	58
Abbildung 69: Kaufkriterien von Flottenfahrzeugen .....	59
Abbildung 70: Ergebnisse zu Einstellung, Weiterempfehlung, Nutzungs- und Kaufintention.	63
Abbildung 71: Ergebnisse zu Fahrverhalten, Nutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit .....	64
Abbildung 72: Ergebnisse zu Klimatisierung, Laden und Ladevorgang.....	64
Abbildung 73: Performance-Impact-Matrix ausgewählter Parameter .....	65
Abbildung 74: Forschungsdesign zur Identifizierung idealtypischer Fahrzeugkonfigurationen .....	66
Abbildung 75: Segmentierung der Probanden auf Basis der Latent Class Analysis .....	67
Abbildung 76: Geschwindigkeitsprofile der identifizierten Nutzertypen .....	68
Abbildung 77: Beispielhaftes Szenario zur Überprüfung von Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung .....	70
Abbildung 78: Vergleich der Kaufintention der unterschiedlichen Szenarien.....	71
Abbildung 79: Mögliche Anreize hinsichtlich eines ökologischen Fahrverhaltens.....	71
Abbildung 80: Ergebnisse der Signifikanz im Vergleich zur Kontrollgruppe .....	73
Abbildung 81: Betrachtetes Netzgebiet für Werksflotte .....	75
Abbildung 82: Betrachtetes Netzgebiet für Poolflotte .....	75
Abbildung 83: Ablaufdiagramm der Simulationsumgebung.....	78
Abbildung 84: Aufbau der Ladeinfrastruktur BS ENERGY Betriebsgelände, eigen Abbildung, Bildquellen: (MENNEKES Elektrotechnik GmbH & Co.KG , 2017) (Smarten GmbH, 2017) .....	79
Abbildung 85: Informations- und Kommunikationskonzept zur Ladesteuerung (Mummel et al. 2013a) .....	80
Abbildung 86: Ladeverlauf bei ungesteuertem Laden .....	81

Abbildung 87: Ladeverlauf bei statischem Lademanagement.....	81
Abbildung 88: Energiedeckungsbeitrag der simulierten Szenarien beim ungesteuerten und gesteuerten Laden von Elektrofahrzeugen (Mummel et al. 2016) .....	82
Abbildung 89: Lokale Infrastruktur zum Laden der Elektrofahrzeuge .....	83
Abbildung 90: Technischer Anschluss des Energiespeichers, der PV-Anlage und der Ladepunkte ans Netz.....	84
Abbildung 91: Prognostizierte Ladekurve im Vergleich zur realen Ladekurve .....	85
Abbildung 92: Prozentualer Anteil der Standzeit im Betrachtungszeitraum.....	86
Abbildung 93: Prozentualer Anteil der Ladezeit zur Standzeit über einen Tag.....	86
Abbildung 94: Stand- und Ladezeiten der Poolflotte .....	87
Abbildung 95: Einflussfaktoren auf die Akzeptanz von Systemdienstleistungen .....	88
Abbildung 99: Die Schnittstelle des IPCA-IMDC-Moduls .....	92
Abbildung 100: Struktur des Ökobilanztools aus Fleets Go Green .....	93
Abbildung 101: Modell der Arbeitsblätter und Formularsteuerelemente sowie ihrer wesentlichen Funktionen in der bestehenden Ökobilanzierungsanwendung..	93
Abbildung 102: Formularsteuerelement mit Eingabemaske für Fahrzeugdaten .....	94
Abbildung 103: Formularsteuerelement Fahrzeug-Flotten-Generator .....	95
Abbildung 104: Ökologische Bewertung der Werksflotte .....	98
Abbildung 105: Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch von Elektrofahrzeugen (Del Duce et al. 2013) .....	98
Abbildung 106: Fahrzeugflotten im Vergleich von Fahrprofilen in der Umweltwirkungskategorie Treibhauseffekt.....	100
Abbildung 107: Fahrzeugflotten im Vergleich der Auswirkungen von Klimatisierungsprofilen in der Umweltwirkungskategorie Treibhauseffekt.....	101
Abbildung 108 Gesamtemissionen des Systems zur lokalen Produktion erneuerbarer Energie .....	102
Abbildung 106: Morphologische Matrix zur Beschreibung von Flottentypen (Mennenga 2014, S.94).....	107
Abbildung 107: Konzeptabbildung für die simulationsbasierte Entscheidungsunterstützung.....	109
Abbildung 108: Vorgehensmodell und Nutzeroberfläche der excelbasierten Potentialabschätzung .....	109

Abbildung 109: Konzeptstruktur zur Unterstützung der Flottenplanung (Mennenga 2014, S. 87) .....	110
Abbildung 110: Umsetzung der Entscheidungsunterstützung als Expertensystem (Mennenga 2014, S. 140).....	111
Abbildung 111: Nutzeroberfläche des Simulationsmodells (Mennenga 2014, S. 144) .....	111
Abbildung 112: Umsetzung des Moduls Fahrzeugkonzepte in MS Excel (Mennenga 2014, S. 142) .....	112
Abbildung 113: Abhängigkeit des Energieverbrauchs von den klimatischen Randbedingungen für eine innerstädtische Fahrt (Mennenga et al. 2016, S. 141) .....	114
Abbildung 114: Beispielhafte Auswertemöglichkeit der Entscheidungsunterstützung .....	116
Abbildung 115: Module der Workshop-basierten Entscheidungsunterstützung.....	117
Abbildung 116: Aktualisierter Projektzeitplan.....	125

# 1. Zielstellung des Verbundprojekts

## 1.1. Gesamtziel des Verbundes

Ziel des Verbundprojekts Fleets Go Green war die ganzheitliche Analyse und Bewertung der Umweltaffizienz von Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeugen in der Alltagsnutzung am Beispiel des Flottenbetriebs. Im Projekt wurden für die Anwendungsszenarien Werksflotte BS|ENERGY und Poolkonzept Technische Universität Braunschweig verschiedene batterieelektrische (BEV) Fahrzeuge beschafft, mit entsprechender Messtechnik zur Erfassung des Gesamtenergiebedarfs ausgerüstet und betrieben. Die ökologischen und ökonomischen Potentiale wurden unter Zugrundelegung verschiedener Nutzungsprofile experimentell in Flottenversuchen sowie mit Hilfe von Komponenten- und Gesamtfahrzeugsimulationen untersucht und bewertet. Die Flottenversuche ermöglichten die Aufzeichnung, Speicherung, Aufbereitung und Analyse unterschiedlichster Daten des Fahrzeug-, Nutzer-, Netzverhaltens im realen Betrieb. Mit Hilfe der Simulationsmodelle konnte bei begrenzter Anzahl verfügbarer Fahrzeugtopologien kosten- und zeitsparend eine Vielzahl verschiedener Antriebstrangkonfigurationen bei variierenden Komponenteneigenschaften unter Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzerverhalten abgebildet und damit die Umweltwirkungen sowie Auswirkungen im Hinblick auf das Netzverhalten bewertet werden.

Einen Überblick über die Projektstruktur gibt Abbildung 1. Innerhalb von vier Modulen wurden die realen Energiebedarfe im Fahrbetrieb über der Nutzungsdauer gemessen und modelliert (Modul 1), die Anforderungen von Kunden und Betreibern an die Flotte evaluiert und in geeignete Geschäftsmodelle über-

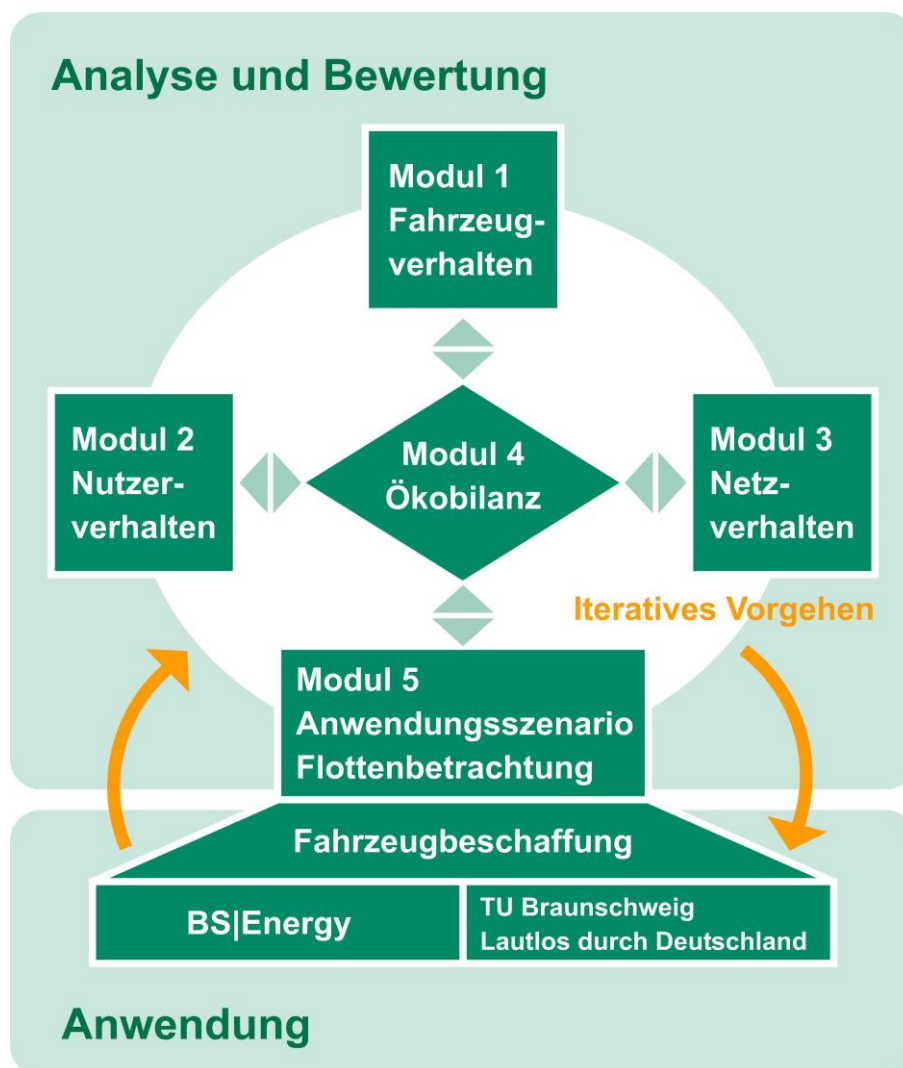


Abbildung 1: Projektstruktur Fleets Go Green

führt (Modul 2), die Umweltauswirkungen der Flotten durch die Nutzung erneuerbarer Energieträger und die Ausschöpfung von Potenzialen zur Integration zusätzlicher erneuerbarer Energieträger in das Stromnetz durch die Flotten minimiert (Modul 3) sowie eine ganzheitliche Bewertung der Umwelteffizienz von Elektro- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen in der Alltagsnutzung am Beispiel des Flottenbetriebs durchgeführt (Modul 4). Ein an den Umweltauswirkungen orientierter wirtschaftlicher Flottenbetrieb wurde erarbeitet und schrittweise realisiert (Modul 5). Modulübergreifend dienen Werksflotten sowie ein Poolkonzept als praxisorientierte Anwendungsszenarien, für die im Rahmen des Projektes eine Flottenbeschaffung erfolgte.

Das Projekt *Fleets Go Green* schafft mit seinem ganzheitlichen Ansatz zur Analyse von Fahrzeug-, Nutzer- und (Energieversorgungs-) Netzverhalten die erforderliche Transparenz zur Erschließung der ökologischen Potenziale der Elektromobilität für den Flottenbetrieb im Alltag. Dazu gehören die verbesserte Nutzung erneuerbarer Energieträger zur Ladung von Elektrofahrzeugen sowie die Minimierung von Umweltauswirkungen eines wirtschaftlich orientierten Flottenbetriebs durch eine modellbasierte Evaluation der Netzführung zur Integration weiterer erneuerbarer Energieträger.

## 1.2. Aufgaben der einzelnen Partner

### **ACTIA I+ME GmbH (IME)**

Die ACTIA I+ME GmbH mit Sitz in Braunschweig ist Spezialist für elektronische Steuergeräte und Diagnosetechnik. Seit 1995 ist das Unternehmen mit der Entwicklung, Herstellung und dem Vertrieb von Batteriemanagementsystemen („BMS“) für NiMH und seit 2002 für Li-Ionen Batterien im Bereich der Leistungselektronik bis 1000 Volt erfolgreich tätig. Mit dem Aufbau der eigenen Business Unit „Li-Batteriesysteme“, hat ACTIA I+ME die Kompetenzkette zum Li-Batteriegesamtsystem vollständig erschlossen. Dadurch können für verschiedenste Anwendungen großformatige Li-Ionen Batterien in kompakter und abgestimmter Ausführung von I+ME als Systemlieferant bezogen werden. Die eigene BMS-Leistungselektronik hat sich seit Jahren durch den Einsatz in großformatigen Batterien für verschiedenste Endanwendungen (HEV/EV-, PV, Wind...) bewährt. Sie sorgt u.a. für einen sicheren und langfristigen Betrieb unterschiedlicher elektrochemischer Systeme in vielfältiger Bauausführung. Im Rahmen dieses BMU Projektvorhabens hat I+ME bestehendes Li-Batterie-Know-how und die Erfahrungen aus dem Bereich Herstellung (Montage, Demontage, Handling), Logistik und Betrieb von Li-Batterien und Li-Batteriekomponenten zur Verfügung gestellt.

Bei dem Projekt *Fleets Go Green* hat IME die eigenen Datenlogger in die Flottenfahrzeuge eingebaut. Darüber hinaus hat IME bei Ermittlung und Auswahl von Betriebsdaten zur Feststellung der Einflüsse und Auswirkungen auf den Energiespeicher durch einen wirtschaftlich und ökologisch optimierten E-Flottenbetrieb unterstützt und eine grafische Darstellung der bei IME vorhandenen Batteriesystemdaten geliefert. IME hat bei Planung, Bau und Anbindung des stationären Batteriespeicherprototyps für die lokale Versorgung der Werksflotte unterstützt eine Plausibilitätsprüfung der Stoffstrommodelle in Bezug auf das Verhalten von Batteriesystemen vorgenommen.

### **BS|ENERGY Braunschweiger Versorgungs-AG & Co. KG (BSN)**

Die BS|ENERGY Gruppe mit ihren rund 1.200 Mitarbeitern ist verantwortlich für Versorgungsleistungen in den Bereichen Energie (Strom, Gas, Fernwärme), Wasser (Trinkwasser und Stadtentwässerung) und Beleuchtung (Stadtbeleuchtung und Ampelanlagen). BSN sichert die Grundversorgung der rund 240.000 Braunschweiger Bürger und bietet Strom auch bundesweit an. Als zuverlässiger und kompetenter Servicepartner stehen wir bei allen Fragen rund um Energie bereit. BSN engagiert sich für den Ausbau von Elektromobilität auf Braunschweigs Straßen. Seit 2010 wurden zahlreiche Elektro-Tankstellen eröffnet. An diesen wird ausschließlich BS|Naturstrom Gold, zertifiziert nach dem höchsten Standard „Grüner Strom Label“ e.V., angeboten, womit der CO<sub>2</sub>-neutrale Betrieb der Elektro-Fahrzeuge sichergestellt wird.

BSN hat im Projekt *Fleets Go Green* als Konsortialführer gedient und in dieser Rolle neben der allgemeinen Koordination verschiedene Projekttreffen und Workshops organisiert. Ein zentrales Arbeitspaket war zudem die Beschaffung von verschiedenen Fahrzeugen und der Betrieb dieser Fahrzeuge im Rahmen einer Werksflotte. Zu dieser Werksflotte und dem entsprechenden Netz wurden Daten erfasst und bereitgestellt. Die Ladestationen der Werksflotten wurden innerhalb des Projekts um eine Vorrichtung

zur Leistungsregelung erweitert. Zusätzlich wurde eine PV-Anlage zur lokalen Versorgung der Werksflotte konzipiert und umgesetzt. BSN hat an qualitativen Interviews zur Ermittlung kaufentscheidender Faktoren im Zusammenhang mit der Flottenbeschaffung teilgenommen und weitere Interviewpartner ermittelt sowie Feedback zum Untersuchungs-Design gegeben. Zudem wurden die Projektpartner bei Planung und Modellentwicklung der LCA sowie der Charakterisierung der Flottenanwendungen unterstützt.

### **Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM)**

Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) entwickelt Produkte und Verfahren von der Studie bis zur Anwendungsreife. Hier wird u.a. Forschung und Entwicklung zu Elektromobilität, Elektrische Systeme, Funktionsstrukturen, Gießereitechnologie und Leichtbauwerkstoffe betrieben. In den letzten Jahren wurden bzw. werden am Fraunhofer IFAM zahlreiche Projekte mit Bezug zur Elektromobilität bearbeitet. Hierzu zählen u.a. die Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität, die Modellregion Elektromobilität Bremen / Oldenburg oder der Aufbau einer neuen Arbeitsgruppe zur Batterieforschung. Im Rahmen der Konjunkturförderprogramme der Bundesregierung wurde zudem der Aufbau eines kombinierten Antriebsstrang- und Batterieprüfstands gefördert. Aus diesen Aktivitäten ergeben sich für das IFAM auf dem Gebiet der Elektromobilität verschiedenste Forschungsschwerpunkte. Dies betrifft die Entwicklung von Elektrofahrzeugkomponenten (insbesondere Radnabenmotoren), deren Integration in Fahrzeuge sowie neue Fertigungsverfahren für Elektroantriebe wie z.B. die gießtechnische Herstellung von Spulen. Weiterhin werden verschiedene batterieelektrischer Fahrzeuge im Alltagsbetrieb in Fahrversuchen auf der Straße erprobt. Eine Modellierung und Optimierung verschiedener Antriebskomponenten erfolgt sowohl durch Simulationen als auch auf dem Prüfstand (z. B. mit den in den Fahrversuchen ermittelten Daten) und Übertragung der Optimierungen auf die verschiedenen Fahrzeuge. Eine Materialentwicklung für und Modellierung von Next-Generation Batteriechemien wird ebenfalls durchgeführt.

Das IFAM hat im Rahmen des Projekts Fleets Go Green ein WebFrontEnd programmiert, mit dem es möglich war, schnell und unabhängig vom webfähigen Endgerät einzelne Fahrten der mit Datenlogger ausgestatteten Elektrofahrzeuge anzuschauen und ggf. die Messdaten herunterzuladen. Das Programm leistete zu Beginn des Projektes gute Dienste, um eine schnelle Plausibilisierung der erzeugten Messdaten durchzuführen. Weiterhin baute das IFAM im Laufe des Projektes ein computergestütztes Modellierungsmodell für elektrische Maschinen auf. Um dieses Modell zu validieren, charakterisierte das IFAM mit Hilfe ihres Prüffeldes einen Elektromotor und eine Traktionsbatterie. Hierzu wurden umfangreiche Messreihen durchgeführt. Diese Komponenten waren identisch mit den Komponenten eines Elektrofahrzeugs, welches im Rahmen des Projektes gemonitort wurde. Weiterhin war das IFAM bei der Zuarbeit für das Gesamtfahrzeugmodell, die Auswahl und Integration von Datenloggern in die Elektrofahrzeuge sowie die Auswertung der erfassten Fahrt-Messdaten beteiligt. Eine über den Projektzeitraum kontinuierliche Überwachung aller Datenlogger auf Funktionalität gehörte ebenso zur Tätigkeit des IFAM. Mit ihrem Expertenwissen im Bereich der elektromotorischen Komponenten und den erlangten Ergebnissen aus Modul 1 unterstützte das IFAM die weiteren Module des Projektes in vielen Bereichen, z.B. bei der Komponentenauslegung von E-Fahrzeugen in Abhängigkeit der Nutzerprofile.

### **Imc Meßsysteme GmbH (IMC)**

Die Firma imc Meßsysteme GmbH (IMC) entwickelt seit 29 Jahren Messsysteme für die Erfassung unterschiedlicher physikalischer Größen. Auf Grund dieser Tätigkeit liegen umfangreiche Erfahrungen in der Entwicklung von Datenerfassungs- und Sensorconditioniersystemen vor. Insbesondere wurden Datenlogger für den Einsatz in Kraftfahrzeugen entwickelt, bei denen ein umfangreiches Energiemanagement notwendig ist. Neben den angesprochenen Datenloggern ist die Messdatenarchivierung und die Analyse von Messdaten ein Schwerpunkt der Arbeit von IMC.

Der Aufgabenbereich von IMC innerhalb des Verbundprojekts Fleets Go Green gliederte sich ursprünglich in die drei Punkte „Datengenerierung und Datenanalyse“, „Aufbau eines modularen Simulationsmodells“ sowie „Validierung der Simulation“. Die Arbeitsschritte, die sich aus Punkt 2 und 3 für IMC ergeben (AS 1.2.1 / AS 1.2.3 / AS 1.3.1), wurden ressourcenneutral innerhalb des Moduls mit den Arbeitsschritten der IFAM (AS 1.1.4 / 1.1.5) getauscht.

Aufgrund der messtechnischen Expertise im Hause IMC wurden System- und Messgrößen identifiziert und definiert. Diese Größen wurden messtechnisch erfasst, um daraus eine praxisnahe Beschreibung des Fahrzeuges hinsichtlich der Elektromotoren und Leistungselektroniken zu erhalten. Dies umfasste neben der digitalen Aufzeichnung von CAN-Bus Daten des Fahrzeugs, analoge Messdaten, welche mit geeigneter zusätzlicher Sensorik erfasst wurden. Eine weitere Aufgabe war für die zuvor definierten Messgrößen eine technisch geeignete und robuste Messhardware zu applizieren, zu beschaffen und entsprechend der physikalischen Anforderungen zu konfigurieren. Der Einbau der Hochvolttechnik für die analoge Datenerfassung wurde durch IMC begleitet. Des Weiteren mussten die gesamten Messaufbauten über die Laufzeit des Projektes hinweg gewartet werden (Reparaturen, Fehlersuche, Erweiterungen etc.). Ferner wurden die zunächst lokal in den Datenloggern aufgezeichneten Messdaten aufgrund ihrer Volumina in eine automatisierte Prozesskette eingebettet, die dafür sorgte, dass sie lokal abgeholt, weiterverarbeitet und zentral in einer Datenbank abgelegt wurden. Zusätzlich mussten sie auf ihre Plausibilität und Verwendbarkeit laufend überprüft werden, um sich eventuell veränderten Projektanforderungen anzupassen. Um den Zugriff auf die generierten Messdaten für die Modul- und Projektpartnern zu gewährleisten, war der Aufbau einer zentralen Datenbank nötig. Dies umfasste das Definieren einer geeigneten Hardware, das Erstellen eines auf die Projektanforderungen zugeschnittenen Datenbankmodells, das Festlegen von Schnittstellen zwischen Datenbank und Datenbanknutzern sowie einer entsprechenden Benutzerverwaltung. Das Datenbankmodell musste variabel konzipiert werden, um weitere Fahrzeuge, weitere Loggertypen und diverse neue Messkonzepte integrieren zu können. Um den Inhalt der Datenbank auch anderen Nutzern zugänglich zu machen, wurde ein Webserver mit geeignetem Webfrontend entwickelt und in Betrieb genommen. Um die hohen Messdatenvolumina beherrschbar zu machen, war darüber hinaus eine kontinuierliche Pflege der Datenbank erforderlich. Dies beinhaltete sowohl anforderungsbedingte Erweiterungen, das regelmäßige Sichern der Daten und die Fehlerbehebung.

#### **iPoint-systems GmbH (IPO)**

iPoint-systems ist ein globales Software- und Beratungshaus für die Optimierung unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. Als Integrationsspezialist unterstützt IPO seine Kunden bei der Entwicklung gesetzeskonformer (ELV, REACH, RoHS, RRR) und nachhaltiger (LCA, DfE) Produkte. Durch langjährige Zusammenarbeit mit mehr als 200 Unternehmen aus der Automobil- und Elektronikindustrie besitzt IPO tiefgehende Expertise in den branchenspezifischen Informationssystemen und Datenflüssen, die es ermöglicht, mit hohem Automatisierungsgrad und unter Integration in ERP + PDM/PLM-Systeme Ökobilanzen zu erstellen und Produkte gemäß ‚Design for Environment‘ Ansätzen zu entwickeln.

Für das Projekt Fleets Go Green hat IPO gemeinsam mit dem IWF verschiedene Workshops organisiert sowie vor- und nachbereitet, um die ökologische Bewertung der Fahrzeuge und Flotten durchzuführen. Im Anschluss hat IPO die Rahmenbedingungen der Ökobilanz mitgestaltet, etwa in Hinblick auf die Zieldefinition und die Systemgrenzen. Für die Durchführung der LCA hat die IPO bei ihren Kunden umfangreiches Datenmaterial eingesammelt und in aufbereiteter Form über die IPO Compliance Agent LCA-Software für Analysen bereitgestellt. Hierfür wurden Produktmodelle der Fahrzeuge erstellt und die Daten entsprechend dieser Modelle hierarchisch strukturiert. Gemeinsam mit dem IWF hat IPO die abschließenden Ökobilanzen für Fleets Go Green ausgearbeitet und umfassend dokumentiert.

#### **Lautlos durch Deutschland GmbH (LDD)**

Die Lautlos durch Deutschland GmbH ist ein bundesweites auf Elektromobilität spezialisiertes herstellerunabhängiges Händler- und Service-Netzwerk. Bereits seit 2009 beschäftigt sich LDD mit dem Verkauf, dem Leasing und der Vermietung von Elektrofahrzeugen (Pkw und Zweiräder). Der Service umfasst ebenso den Bereich After-Sales, das Flottenmanagement und insbesondere individuelle Mobilitätsdienstleistungen sowie Fuhrparkberatung. Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen, interessierte Kunden mit den innovativen Produkten zusammenzuführen und die Leistungsfähigkeit von Elektrofahrzeugen bekannt zu machen sind die erklärten Ziele von LDD.

Zu den Aufgaben von LDD im Projekt Fleets Go Green gehörte zunächst die Beschaffung von insgesamt 5 Fahrzeugen (2x mia electric, 2x C-Zero, 1x eNV200) sowie daran anschließend der Flottenbetrieb. Darüber hinaus unterstützte LDD die anderen Projektpartner durch die Überprüfung des Fragebogende-

signs im Hinblick auf die quantitative Erhebung im Kontext Poolkonzept sowie die Vermittlung von Interviewpartnern, arbeitete gemeinsam mit den Projektpartnern an der Datenerhebung und Aufbereitung der Nutzer- und Nutzungsprofile, an der Entwicklung von kommunikationsbezogenen Maßnahmen zu einem optimierten ökologischen Nutzungsverhalten an der Erarbeitung des Kategorisierungsschemas durch Einbringung von Erfahrungswissen aus dem Betrieb eigener Flotten. LDD erstellte regelmäßig Erfahrungsberichte zum Nutzerverhalten im Anwendungsszenario Poolkonzept und erarbeitete Vorschlägen zur Anpassung der Entscheidungsunterstützung gemäß der gewonnenen Erkenntnisse. Abschließend überprüfte LDD die entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf der Betrachtung des Nutzerverhaltens im Anwendungsszenario Poolkonzept Technische Universität Braunschweig.

### **TLK-Thermo GmbH (TLK)**

Die TLK-Thermo GmbH stellt Expertenwissen in den Bereichen Thermodynamik, Simulationstechnologie und Software zur Verfügung. Ferner führt TLK Simulationen sowie Messungen von thermischen Systemen und deren Komponenten durch. Insbesondere unterstützt TLK ihre Kunden bei der Gesamtfahrzeugsimulation sowie bei der Analyse umfangreicher Mess- und Simulationsdaten von elektrifizierten Fahrzeugen. TLK entwickelt plattformunabhängige Software in den Bereichen Modellierung, Simulation, Middleware und Visualisierung.

Innerhalb des Projektes Fleets Go Green hat sich TLK schwerpunktmäßig mit dem Aufbau von Gesamtfahrzeugmodellen beschäftigt. Zum einen wurden Basismodelle als Vorlage für die am Projekt beteiligten Partner erzeugt, mit deren Hilfe sich über die gekoppelte Simulation die einzelnen Fahrzeugkonzepte abbilden lassen. Die thermischen Modelle wurden soweit erforderlich ergänzt und parametrisiert. Die Parametrisierung erfolgte teilweise auf Basis separat durchgeführter Messungen, zum Beispiel für den Fahrgastraum von Smart ED sowie C-Zero. Für den C-Zero wurde eine Abstimmung des Gesamtfahrzeugmodells anhand diverser Testfahrten durchgeführt, anschließend wurden verschiedene Klimatisierungssystemkonzepte in Hinblick auf den Energieverbrauch und den Komfort bewertet.

TLK hat weiterhin den Prozess der Messtechnikausstattung begleitet. Bei der Auswahl der Messstellen sowie der Messtechnikkonzeptentwicklung wurde mitgewirkt. Federführend wurde das Vorgehen für die Straßenzulassung der mit Sondermesstechnik ausgestatteten Fahrzeuge ausgearbeitet und umgesetzt. Kriterien für die automatische Plausibilisierung der Messdaten wurden mit erarbeitet sowie der periodisch erfolgte Begutachtungsprozess der Messdaten unterstützt. Zur Ermittlung der für die Klimatisierung der Fahrzeuge benötigten Verbräuche wurden diverse protokollierte Testfahrten durchgeführt. Ferner erfolgte eine umfangreiche Untersuchung des Ladeverhaltens der im Projekt eingesetzten E-Fahrzeuge für unterschiedliche Ladeverfahren (Schuko-Laden, AC- sowie DC-Schnellladen).

Die Ergebnisse sowohl hinsichtlich der Messdaten- und Simulationsplausibilisierung als auch die Betrachtungen der verschiedenen Ladeeffizienzen wurden im Rahmen von verschiedenen Veröffentlichungen dem Fachpublikum präsentiert.

Ferner hat sich TLK an der Untersuchung der Nutzerakzeptanz beteiligt und bei der Gestaltung und Auswertung der Fragebögen unterstützt bzgl. der Klimakomfortbewertung sowie des Ladens von E-Fahrzeugen. Gleichfalls wurden die Aspekte Klimatisierung und Thermomanagement für die ökologische Bilanzierung aufbereitet und nutzbar gemacht.

### **Technische Universität Braunschweig**

#### ***Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion (AIP)***

Das AIP steht für ausgewiesene betriebswirtschaftliche Kompetenz zur Beantwortung aktueller und zukünftiger Fragestellungen der Automobilindustrie und der Entwicklung theoretisch fundierter, praxisorientierter Konzepte zur Gestaltung, Planung und Steuerung industrieller Produktions- und Logistiksysteme auf der Produktionsseite sowie entsprechender Marketing- und Vertriebskonzeptionen auf der Vermarktungsseite. Schwerpunkt des Lehrstuhls für Dienstleistungsmanagement im AIP sind das Management von (automobilen) Dienstleistungsnetzwerken und die Bereiche des Kundenbeziehungs-, Marken- und Vertriebsmanagements. Dabei liegt der Fokus auf der Anwendung innovativer quantitativer Forschungsmethoden, die zur Analyse betriebswirtschaftlich relevanter Fragestellungen in verschiedenen Dienstleistungsfeldern eingesetzt werden.



Das AIP war für die Leitung des Moduls 2, der Nutzerakzeptanz, verantwortlich. Neben der inhaltlichen Bearbeitung der Arbeitsschritte, wurde ein reger Austausch mit den in dem Modul 2 beteiligten Partnern in Form von Workshops organisiert. Diese Workshops wurden vom AIP vorbereitet, durchgeführt und nachbereitet. Dabei lag der Fokus in der Konzeption der einzelnen Studiendesigns. Des Weiteren wurden vom AIP Teilnehmer für die Umfragen akquiriert. Der inhaltlichen Arbeit gingen umfangreiche Literaturrecherchen zum Thema Nutzerverhalten, Akzeptanzforschung, und Fahrzeugbeschaffungsfaktoren im Kontext der Elektromobilität voraus, deren Ergebnisse in alle Arbeitsschritte aus Modul 2 einfließen. Mittels der Literaturrecherche konnten zum einen semi-strukturierte Leitfäden für qualitative Tiefeninterviews zur Identifikation von Anforderungen und Präferenzen von Flottenbetreibern, tatsächlichen Nutzern von Werksflotten und Pool-Konzepten durchgeführt werden. Die Ergebnisse wurden in Form von Fragebögen aufbereitet, an die Nutzer verschickt und die Daten mittels T-tests ausgewertet. Des Weiteren wurden weitere Studien gestaltet, konzipiert und mit unterschiedlichen Methoden der Marktforschung (insb. qualitative Inhaltsanalyse, Latent Class Analysis, Varianzanalyse) ausgewertet, um Faktoren der Fahrzeugkonfigurationsentscheidungen zu identifizieren und akzeptanzfördernde Maßnahmen des Fahrzeugkaufs zu analysieren. Zusätzlich wurden kommunikative Maßnahmen auf ihre Effektivität zur Verhaltensänderung hinsichtlich des ökologischen Fahrens untersucht.

### ***Institut für Fahrzeugtechnik (IFF)***

Die Forschungsschwerpunkte des Instituts für Fahrzeugtechnik der TU Braunschweig unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Ferit Kütükay gliedern sich in die fünf Bereiche: „Getriebe, Hybrid- und Elektroantriebe“, „Fahrwerk und Fahrdynamik“, „Fahrerassistenzsysteme“, „Aufbau und Innenraumergonomie“ sowie „Akustik und Schwingungen“. Dabei ist der 3F-Parameterraum Kernelement aller Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Die aus dieser ganzheitlichen Betrachtung der drei miteinander interagierenden Module Fahrer, Fahrzeug und Fahrumgebung entwickelte 3F-Methodik ermöglicht die systematische Erfassung und Simulation des Kundenbetriebs von Fahrzeugen sowie deren Komponenten unter allen relevanten Betriebs- und Einsatzbedingungen.

Das IFF brachte seine umfangreiche Erfahrung im Bereich der systematischen Erfassung des Kundenbetriebs und der Simulation von Fahrzeugsystemen in das Projekt ein. Dazu war es beteiligt an der Erarbeitung des Anforderungskatalogs an die messtechnische Ausrüstung der Fahrzeuge und der aufgezeichneten Signale. Außerdem wurden insgesamt fünf Fahrzeuge vom IFF mit Messtechnik ausgerüstet. Durch fehlende Unterstützung seitens der Fahrzeughersteller wurde bei zwei Fahrzeugtypen eine Dekodierung bzw. Identifikation von CAN-Bus-Signalen durchgeführt. Über die Projektlaufzeit wurden vom IFF außerdem gemeinsam mit weiteren Partnern die Wartung sowie die Identifikation und Behebung von Fehlern der Messtechnik durchgeführt. Ferner wurde die Datenübertragung auf den Fahrdatenserver bzw. in die Datenbank durch regelmäßige Überprüfung der Funktionsfähigkeit und der Fehlerbehebung bei Unterbrechungen sichergestellt. Zusätzlich wurden die Daten bei einem Fahrzeug durch das IFF abgeholt und übertragen, da dort eine automatisierte Übertragung nicht möglich war. Die aufgezeichneten und übertragenen Daten wurden für eine wöchentliche Plausibilisierung aufbereitet und diese gemeinsam mit weiteren Partner durchgeführt. Das IFF führte des Weiteren umfangreiche Datenanalysen hinsichtlich der Nutzungsprofile und des Energieverbrauchs der Fahrzeuge durch und stellte diese den weiteren Projektpartnern/Modulen zur Verfügung. Die Auswertungen erfolgten in Abstimmung mit den anderen Projektpartnern, um die spezifischen Anforderungen aus den anderen Modulen zu erfüllen.

Darüber hinaus übernahm das IFF die Leitung der Arbeitsgruppe „Simulation“ innerhalb des Moduls 1. In diesem Rahmen wurden der Aufbau der Komponentenmodelle und des modularen Gesamtfahrzeugmodells koordiniert. Außerdem wurden vom IFF das Komponentenmodell des Getriebes und Achsgetriebes aufgebaut sowie beim Aufbau weiterer Modelle unterstützt. Vom IFF wurden außerdem zwei Gesamtfahrzeugmodelle aufgebaut und gepflegt. Zusammen mit weiteren Partnern war das IFF auch an der Validierung der Gesamtfahrzeugmodelle sowie einiger Komponentenmodelle beteiligt. Mit den vorhandenen Modellen wurden des Weiteren diverse Simulationsstudien durchgeführt, unter anderem zur Bestimmung von kundentypspezifischen Antriebsstrangkonfigurationen.

### ***Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (ELE)***

Das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (ELE) besitzt ein breites Expertenwissen im Bereich der Energiesysteme. Dabei werden Fragestellungen der Netzberechnung, Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Systemanalysen fokussiert. Dazu gehört u.a. die Leitung des Forschungsverbund Energie Niedersachsen, in welchem der Einsatz von Mini-BHKW und Elektrischen Speichern die Netzauslastung des Verteilnetzes optimiert. Weiterhin besitzt ELE durch diverse Projekte zur Optimierung von Mittel- und Niederspannungsnetzen Erfahrungen in der Netzberechnung sowie Netzoptimierung, insbesondere vor dem Hintergrund der Integration lastnaher, fluktuierender Erzeuger.

Das ELE war für die Leitung des Moduls 3, Netzverhalten, verantwortlich. Neben der inhaltlichen Bearbeitung der Arbeitsschritte, wurde ein reger Austausch mit den in dem Modul 3 beteiligten Partnern in Form von bilateralen Gesprächen und kleinen Projekttreffen organisiert. Das ELE brachte seine umfangreiche Erfahrung im Bereich der Netz- und Systemintegration von erneuerbaren Energien in das Projekt ein. Die Auswahl geeigneter Ladeinfrastruktur wurde durch das ELE federführend durchgeführt. Im Laufe des Projektes entwickelte das ELE Konzepte zur verbesserten Integration der Elektrofahrzeuge durch die Nutzung lokaler erneuerbarer Energien. Die Konzepte wurden anschließend im Projekt erprobt. Für die Erprobung entwickelte das ELE ein Lademanagementsystem (elias), um die Elektrofahrzeuge gezielt mit erneuerbaren Energien zu Laden und eventuell Lastspitzen, durch einen hohen Gleichzeitigkeitsfaktor der Flotte, zu reduzieren. Neben der Ladeinfrastruktur wurden ein Energiespeicher und eine PV-Anlage errichtet. Das ELE erstellte hierfür die Konzeption und begleitete den Aufbau.

### ***Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF)***

Das Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) forscht in der Professur Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering seit vielen Jahren zu Fragestellungen des Life-Cycle-Managements unter Berücksichtigung des Leitbilds einer Nachhaltigen Entwicklung. Im Forschungsschwerpunkt „Automotive Life Cycle Engineering“ beschäftigt sich die Professur mit der lebensphasenübergreifenden Gestaltung von Produkten und Prozessen im Automobilsektor. Ziel ist die Erreichung eines Optimums über alle (Produkt-) Lebenszyklusphasen und Zieldimensionen (technisch-wirtschaftlich, ökologisch, sozial).

Das IWF hat im Projekt die Module 4 (Ökobilanz) und 5 (Anwendungsszenario Flottenbetrachtung) geleitet und hatte darüber hinaus gemeinsam mit BSN die Konsortialführung inne. Für die ökologische Bewertung der verschiedenen Fahrzeuge und Anwendungsszenarien hat das IWF eine Life Cycle Analyse nach ISO 14040 durchgeführt. Das beinhaltete zunächst auf Basis des Stands der Forschung die Definition von Ziel- und Untersuchungsrahmen sowie Vordergrund- und Hintergrundsystem, gemeinsam mit den Projektpartnern mittels mehrerer vom IWF organisierter Workshops. Daran anschließend erfolgte der Entwurf eines Stoffstrommodells der Lebenswege der verschiedenen beschafften Fahrzeuge sowie eine Modellierung der Anwendungsszenarien. In diese Modelle wurden die von den Projektpartnern gelieferten Daten zu Materialeigenschaften, Nutzungsphase etc. integriert. Die verschiedenen Modelle und Daten wurden abschließend in einem vom IWF für das Projekt Fleets Go Green angefertigten Kalkulationswerkzeug zusammengeführt. Mit diesem Werkzeug wurden Sachbilanz und Wirkungsabschätzung berechnet und eine umfassende Ökobilanz erstellt. Abschließend wurde mittels zusätzlicher Modelle die Auswirkung des Einsatzes erneuerbarer Energiequellen auf die Ökobilanz untersucht.

Für den Flottenbetrieb hat das IWF die Rahmenbedingungen eines Poolkonzepts an der TU Braunschweig definiert. Für beide Flotten, Poolkonzept und Werksflotte, wurden die erfassten Daten mit den Anforderungen aus dem Flottenbetrieb abgeglichen und die Daten dann hinsichtlich flottenspezifischer Eigenschaften analysiert. Anschließend wurden gemeinsam mit den Projektpartnern Flottenkategorien charakterisiert. Auf dieser Basis wurde ein Konzept für ein Werkzeug für eine simulationsbasierte multikriterielle Entscheidungsunterstützung entwickelt und als Software-Lösung umgesetzt. In dieser Software wurden ausgewählte Teilergebnisse der Module 1-4 zusammengeführt und dann verschiedene Simulationen durchgeführt. Aus den dabei ermittelten Ergebnissen wurden allgemeine Handlungsempfehlungen für unterschiedliche Anwendungsszenarien und Flottentypen abgeleitet.

### ***Volkswagen AG (VW)***

Die Marke Volkswagen Pkw ist Bestandteil des Volkswagen Konzerns, welcher aus derzeit 12 unabhängigen Marken aus sieben europäischen Ländern besteht. In 119 Produktionseinrichtungen in 31

Ländern werden weltweit Fahrzeuge, Aggregate und Komponenten produziert. Die diversifizierte Produktpalette wird in 153 Ländern angeboten. Damit ist die Volkswagen AG einer der größten weltweit aktiven Automobilhersteller und investiert einen bedeutenden Anteil der Jahreserträge in die Entwicklung von neuen Technologien für den Automobilbereich.

In den letzten Jahren haben sich die FuE-Tätigkeiten von Volkswagen auf die Entwicklung von umweltfreundlichen, sicheren, Kraftstoff sparenden und schadstoffarmen Autos konzentriert. „Grüne Mobilität“ bedeutet für Volkswagen, neue ökologische Maßstäbe im Automobilbau setzen, um die saubersten und sparsamsten, aber auch qualitativ besten Autos auf die Straße zu bringen. Dieses schließt auch F&E Tätigkeiten zu elektrischen und hybriden Antriebssystemen ein, um zukünftig Zero-Emission-Vehicles (ZEV) zu entwickeln. Innerhalb dieser Tätigkeiten ist Volkswagen seit 1970 in die Forschung, Entwicklung und Produktion von Fahrzeugen mit elektrischen und hybriden Antriebssystemen involviert, so z.B. den Golf CitySTROMer, ein rein elektrisch betriebenes Fahrzeug, das 1995 im Verkauf war und den Golf-Hybrid mit einer parallelen Antriebskonfiguration, der für einen Flottentest in Zürich aufgebaut wurde.

VW hat in das Projekt Fleets Go Green sein Expertenwissen aus dem Betrieb von Erfahrungsflotten für Elektro-Fahrzeuge sowie deren Datenerhebung eingebracht, die Anforderungsbeschreibung zur Abbildung eines Fahrzeugesamtsystems unterstützt und bei der Erarbeitung eines Aufzeichnungskonzeptes und der Auswahl der Datenerfassungstechnik mitgearbeitet. Zur Analyse der aufgezeichneten Messdaten wurde eine automatisierte Energieverbrauchsauswertung aufgebaut und im Zwei-Wochen-Rhythmus angewendet. Des Weiteren hat VW an der Definition der Anforderungen an die einzelnen Simulationsmodelle zur Beschreibung des Komponentenverhaltens mitgearbeitet. Die hierbei gewonnenen Simulationsergebnisse wurden mit den Messdaten sowie intern vermessenen Prüfstandsergebnissen aus dem VW-Bestand verglichen, um so das Gesamtfahrzeugmodell zu validieren. Mit Hilfe der ausgewerteten Messdaten und der Gesamtfahrzeugmodelle konnten die nutzungsspezifischen Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch analysiert, quantifiziert und zur weiteren Verwendung nutzbar gemacht werden. VW hat an qualitativen Interviews zur Ermittlung kaufentscheidender Faktoren teilgenommen und die Untersuchung der Nutzerakzeptanz durch die Bereitstellung von Informationen zu Anforderungen und Präferenzen der Kunden aus Herstellersicht unterstützt. Hierzu zählte auch die Unterstützung bei der Konzeption der Datenerhebung durch Selektion nutzerverhaltensrelevanter Beobachtungsgrößen, die Unterstützung der Ableitung idealtypischer Fahrzeugkonfigurationen sowie die Unterstützung bei der Entwicklung von kommunikations- und produktbezogenen Maßnahmen zum Abbau von Akzeptanzbarrieren. Für die ökologische Bewertung führte VW eine vorbereitende Zusammenstellung der Anforderungen an die LCA sowie eine stichprobenhafte Kontrollrechnungen und Vergleich der Ergebnisse der Bandbreite von Erfahrungswerten aus anderen LCAs durch. Zudem unterstützte VW bei Konzeptentwicklung, -ausarbeitung und -umsetzung der simulationsbasierten multikriteriellen Entscheidungsunterstützung.

## 2. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes

Das Projekt gliederte sich in fünf Module: In *Modul 1* wurden Gesamtenergiebedarfe im Betrieb von Flottenfahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebstopologien über der Nutzungsdauer ermittelt, modelliert und bewertet. In *Modul 2* wurde die Akzeptanz elektromobiler Flottenangebote aus Betreiber- und Nutzersicht zur Entwicklung alternativer Geschäftsmodelle mit dem Ziel untersucht, diese aus kundenverhaltensbezogener sowie ökologischer Sicht zu optimieren. Unter Berücksichtigung der notwendigen Akzeptanz für Elektrofahrzeuge auf Nutzerseite sowie der ermittelten Gesamtenergiebedarfe wurde in *Modul 3* durch nutzungsabhängige Geschäfts- und Betreibermodelle für die Energieversorgung die Integration von Elektrofahrzeug-Flotten in das elektrische Verteilnetz verbessert sowie der Anteil an erneuerbaren Energieträgern an deren Versorgung erhöht. Das *Modul 4* überführte die erzielten Ergebnisse in ein Modell, welches die Fahrzeug-, Nutzer- und Netz-Wechselwirkungen im Flottenbetrieb abbildet, sowie in ein weiteres Modell, das die Energie- und Stoffströme darstellt. Die oben genannten Anwendungsszenarien wurden in der Alltagsnutzung ökologisch bewertet. Dies diente der Ermittlung geeigneter Technologien für die gegebenen Nutzungsprofile unter ökologischen Aspekten sowie der Auswahl von Konzepten zur lokalen Versorgung aus erneuerbaren Energieträgern und Reduktion von Lastspitzen. In *Modul 5* standen zum einen Feldversuche in den beiden Anwendungsszenarien im Mittelpunkt, deren erhobene Daten zur Validierung der modellbasierten Ergebnisse aller Module dienen. Zum anderen wurden die gewonnenen Daten und Erkenntnisse zu Fahrzeug-, Nutzer- und Netzverhalten sowie der Ökobilanzierung zur Integration in eine Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement aufbereitet.

### 2.1. Modul 1: Fahrzeugverhalten

Ziel von **Modul 1** war die Modellierung realer Gesamtenergiebedarfe in unterschiedlichen Anwendungsszenarien auf Basis von Daten aus realen Fahrversuchen. Hierdurch sowie durch die an einer kleinen Auswahl von Fahrzeugen (insgesamt 25 Fahrzeuge) durchgeführten Messungen wurde die Möglichkeit geschaffen, eine gute Abschätzung des Energieverbrauchs in Abhängigkeit von Fahrzeugart, Antriebstopologie und Nutzungsprofil zu treffen. Es wurden antriebsseitige Teilsysteme (Motor, Elektronik und Batterie) sowie entsprechende mechanische Komponenten (Getriebe) modelliert und in ein modulares Gesamtfahrzeugmodell integriert. Ferner wurden repräsentative und realitätsgetreue Fahr- bzw. Nutzungsprofile ermittelt, um den realen Betrieb der Fahrzeuge in der Simulation nachbilden zu können.

Das **Modul 1** gliederte sich in 3 Arbeitspakete.

- **AP 1.1:** Datengenerierung und Datenanalyse
- **AP 1.2:** Aufbau eines modularen Simulationsmodells
- **AP 1.3:** Validierung der Simulation

Die Datengenerierung und Datenanalyse in **AP 1.1** lieferte alle notwendigen Eingangsgrößen für den späteren Aufbau der Simulationsmodelle. Die den Fahrzeugen entsprechenden Simulationsmodelle wurden in **AP 1.2** erstellt und in **AP 1.3** parametrisiert und validiert, um im Rahmen von **Modul 4** für Energieverbrauchsbewertungen angewendet werden zu können. Im Ergebnis lieferten die Arbeiten dieses Moduls eine einheitliche Datenbasis und die simulations- und fahrzeugseitigen Grundlagen für die Untersuchungen in den **Modulen 2 bis 5**.

#### 2.1.1. AP 1.1: Datengenerierung und Datenanalyse

**AP 1.1** stellte zeitlich und örtlich hochaufgelöst elektrische (Ströme, Spannungen, Leistungen), mechanische (Drehzahlen) und thermische Daten (Temperaturen) von der Gesamtfahrzeugumgebung bis hinab auf die Komponentenebene bereit. Diese bildeten die Grundlage der Aktivitäten zur Berechnung der Fahrzeugenergieverbräuche und für die in **Modul 4** durchgeführte Ökobilanzierung von Komponenten- und Gesamtenergieverbräuchen. Das Arbeitspaket gliederte in fünf Arbeitsschritte:

- **AS 1.1.1** Anforderungen / Datenscreening
- **AS 1.1.2** Messtechnische Ausrüstung

- **AS 1.1.3** Datengenerierung
- **AS 1.1.4** Datenbankaufbau
- **AS 1.1.5** Datenbankpflege

Im Rahmen des Projekts wurden fünf unterschiedliche Fahrzeugtypen und insgesamt 28 Fahrzeuge näher untersucht. Bis auf einen Fahrzeugtyp (Nissan eNV200) gehörten alle zum A-Segment (Kleinwagen). Die untersuchten Fahrzeuge, deren Anzahl sowie einige wichtige technische Daten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

**Tabelle 1: Eingesetzte Fahrzeuge und wichtige Fahrzeugparameter**

	<i>Smart ED</i>	<i>Volkswagen e-up!</i>	<i>Citroën C-Zero</i>	<i>Nissan eNV200</i>	<i>Mia</i>
<i>Anwendungs-szenario</i>	BS ENERGY		TU Braunschweig		
<i>Gewicht [kg]</i>	975	1139	1195	2220	765
<i>Leistung [kW]</i>	55	60	49	80	18
<i>Batteriekapazität [kWh]</i>	17,6	18,7	16	24	8
<i>Sitzplätze</i>	2	4	4	5	3
<i>Reichweite NEFZ [km]</i>	145	160	150	167	80
<i>Fahrzeug-anzahl</i>	13	10	2	1	2

### Anforderungen / Datenscreening

Durch alle am Modul 1 beteiligten Partner wurde zunächst ein Anforderungskatalog erstellt, welcher die zum Aufbau und zur Modellvalidierung relevanten Fahrzeugdaten benennt. Dieser umfasste insgesamt 80 Messgrößen, die hinsichtlich der Erfassungsart (CAN-Bus, analoge Messtechnik, GPS, Metadaten) und in die Hauptgruppen Antrieb, Klima, Nebenverbraucher und Metadaten gruppiert wurden. Durch TLK, IFF und IFAM wurde eine Namenskonvention zur präzisen Identifizierung der Mess- und Simulationsdaten entwickelt. Diese beinhaltet das physikalische Formelzeichen, die Komponentenbezeichnung, die physikalische Einheit sowie eine Kennzeichnung als Mess- oder Simulationskanal. Der Strom der Hochvoltbatterie aus Messungen wurde beispielsweise mit „I\_BatHV\_A\_msg“ bezeichnet.

Seitens der Fahrzeughersteller erfolgte keine Unterstützung zur Dekodierung der CAN-Bus-Datensätze. Daher erfolgte bei den Fahrzeugen Citroën C-Zero und Nissan eNV200 durch das IFF soweit möglich eine Identifikation relevanter CAN-Bus-Botschaften, während für die Identifikation von CAN-Bus-Signalen des Smart ED ein externer Dienstleister einbezogen wurde. Durch die fehlende Herstellerunterstützung konnten nicht alle im Anforderungskatalog festgelegten Signale identifiziert werden.

### Messtechnische Ausrüstung

Im Anschluss an die Erstellung des Anforderungskataloges folgte die messtechnische Ausrüstung der Fahrzeuge. Insgesamt wurden 23 Fahrzeuge mit Messtechnik ausgerüstet. Alle Fahrzeuge wurden mindestens mit einem Datenlogger zur Aufzeichnung von CAN-Bus-Signalen versehen. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte in der Regel mit einer Abtastrate von einem Hertz. Zusätzlich wurden GPS-Empfänger sowie bei drei Fahrzeugen umfangreiche analoge Strom- und Spannungsmesstechnik eingebaut. Datenlogger vier unterschiedlicher Hersteller kamen gemäß Tabelle 2 in den Fahrzeugen zum Einsatz.

**Tabelle 2: Aufteilung der Datenlogger auf Fahrzeugtypen**

	<i>Smart ED</i>	<i>Volkswagen e-up!</i>	<i>Citroën C-Zero</i>	<i>Nissan eNV200</i>	<i>Mia</i>
<i>Ipetronik Fleetlog</i>	3		1	1	
<i>IME x-Net</i>	9				1
<i>IMC C-Serie</i>	1		1		1
<i>IAV-Datenlogger</i>		5			

Aufgrund eines entsprechenden Vorstandsbeschlusses der Volkswagen AG waren die VW e-up! von der IAV GmbH mit Datenloggern auszurüsten. Die aufgezeichneten Messdaten wurden in bereits aufbereiteter Form zur Verfügung gestellt, weshalb einige Analysen zu Nutzerverhalten und Energieverbrauch für diesen Fahrzeugtyp nicht möglich waren (siehe auch Datenanalyse).

Zum Zweck der Identifikation und Verifikation der CAN-Bus-Signale durch eine detailliertere Daten-Akquirierung wurden drei Fahrzeuge mit IMC-Messtechnik ausgestattet, von denen ein C-Zero und eine mia am Campus des IWF im Pool-Konzept und ein Smart ED für das Anwendungsszenario Werksflotte bei BSN eingesetzt wurden. Zusätzlich zur standardisierten digitalen Datenaufnahme aller im Projekt vorhandenen Fahrzeuge wurden diese drei Fahrzeuge analog vermessen, um detailliertere Fahrtenprofile zu erhalten und dem Zweck der Modellvalidierung zur Verfügung zu stellen. Die IMC-Datenlogger wurden jeweils im Kofferraum eingebaut. Die digitale Datenaufnahme erfolgte hier ebenfalls über den CAN-Bus und über eine GPS-Maus. Für die Fahrten relevante Kanäle, wie Ladezustand der Batterie (State of Charge, SOC), Geschwindigkeit, Kilometerstand, GPS-Position etc., wurden mit 1Hz bei GPS-Signalen bzw. 100 Hz bei CAN-Signalen aufgezeichnet. Für die detaillierte analoge Datenerfassung wurden die drei genannten Fahrzeuge bei der IAV GmbH mit Unterstützung seitens IMC mit Hochvoltmesstechnik ausgestattet. Hierbei kamen Shunts und Strommesszangen zum Einsatz, die es ermöglichen, Ströme und Spannungen der Hoch- sowie Niedervoltnetze und -verbraucher hochabgetastet zu erfassen. Des Weiteren wurden Beschleunigungssensoren und jeweils für einen Kühl- und Heizfall temporär Temperaturmesstechnik im Innenraum verbaut. TLK konnte darüber hinaus durch die analoge Messtechnik Messungen zur Ladeeffizienz durchführen. Abbildung 2 zeigt anhand einer schematischen Darstellung den Aufbau der analogen Hoch- und Niedervoltmesstechnik am Beispiel des Citroën C-Zero. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für die verbaute Hochvoltmesstechnik im Fahrzeug.

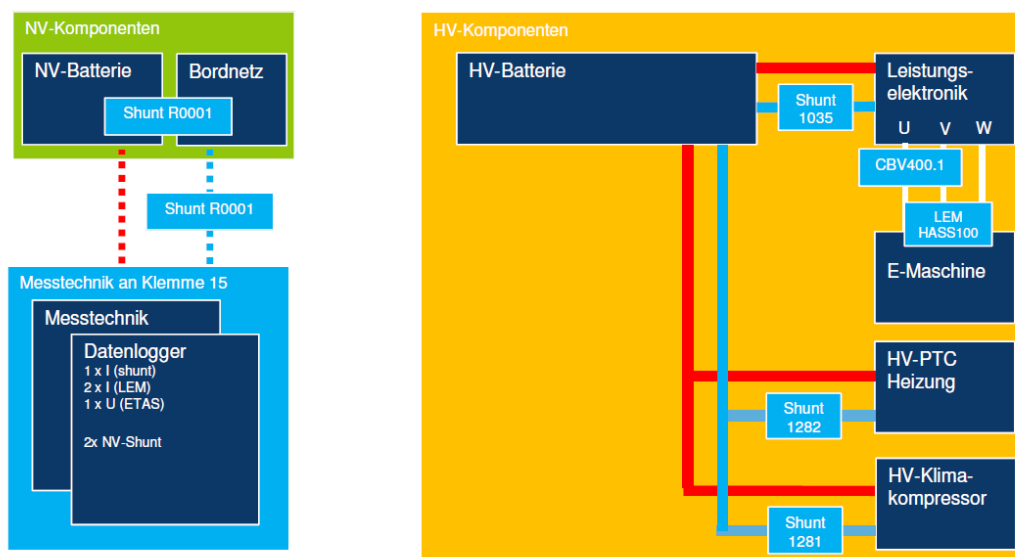
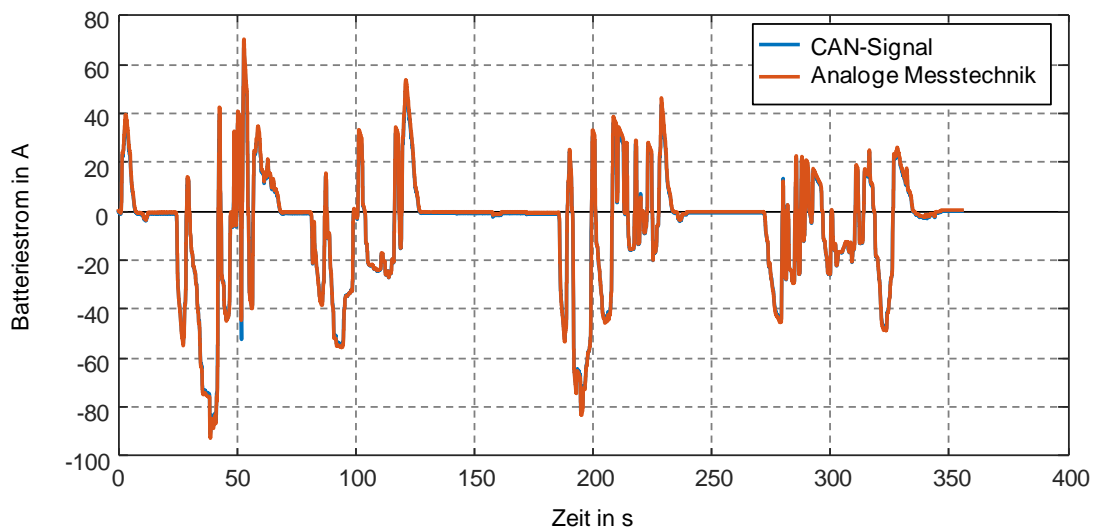


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der analogen Hoch- und Niedervoltmesstechnik am Beispiel des Citroën C-Zero (Quelle: IAV GmbH)



**Abbildung 3: Beispiel für die verbaute Hochvoltmesstechnik, hier Shunt zur Messung der Ströme an Heizelement und elektrischem Klimakompressor (Quelle: IAV GmbH)**

In Abbildung 4 ist beispielhaft für die Verifikation bzw. Identifikation der Signale der Lauf des Stroms der HV-Batterie vom CAN-Bus sowie das von der analogen Messtechnik erfasste Signal dargestellt.

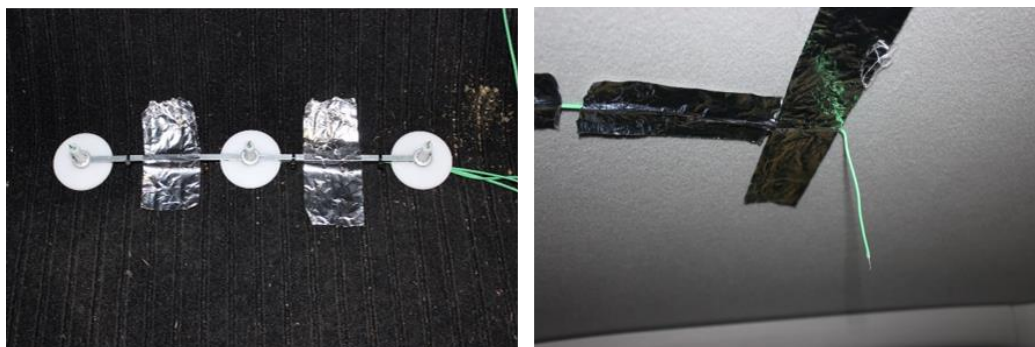


**Abbildung 4: Abgleich der vom CAN-Bus sowie der analogen Messtechnik aufgezeichneten Signale am Beispiel des Stroms der HV-Batterie beim Citroën C-Zero**

Beide Signale zeigen eine sehr gute Übereinstimmung, so dass die vom CAN-Bus erfassten Signale als valide gelten können. Außerdem zeigt die Abbildung auch die Notwendigkeit der Messtechnik zur Identifikation der Signale. Ohne Kenntnis des tatsächlichen Stromverlaufs wäre es nicht möglich gewesen, das richtige Signal auf dem CAN-Bus zu identifizieren. Auch die richtige Skalierung des Signals wäre nicht zu ermitteln gewesen.

Da die verbaute analoge Strom- und Spannungsmesstechnik sicherheitsrelevante Bereiche (Hochvoltnetz) baulich veränderte, wurde von TLK in Abstimmung mit allen Beteiligten ein Prozess zur Erhaltung der Straßenzulassung der Fahrzeuge erarbeitet. Dazu wurden die Fahrzeuge dem TÜV Nord vorgeführt und erhielten von diesem im Rahmen einer Einzelabnahme die Freigabe, weiterhin im öffentlichen Straßenverkehr eingesetzt zu werden. Nach Abschluss des Projekts wurde die Messtechnik wieder ausgebaut und die Fahrzeuge in den Ursprungszustand zurückversetzt. Auch dies wurde erneut vom TÜV Nord abgenommen.

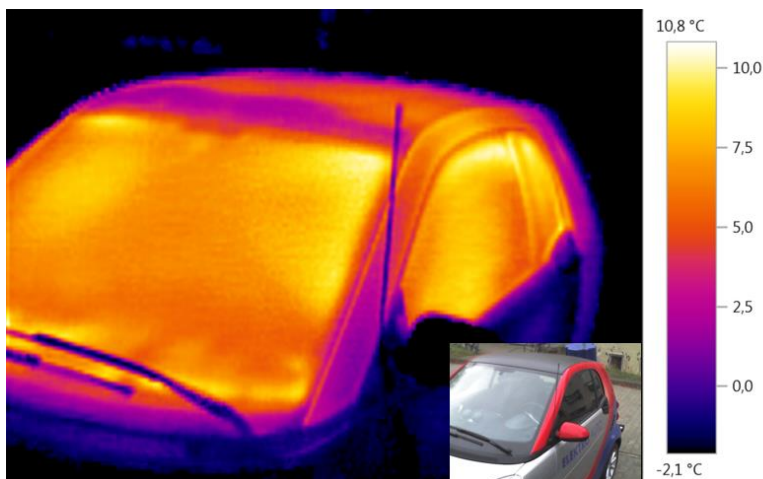
Mit dem Ziel der Verbesserung der Modellgüte vorhandener Fahrgastraummodelle wurde eine einfache thermische Vermessung des Innenraums mehrerer Fahrzeuge durchgeführt. Dazu wurden sowohl ein Citroen C-Zero als auch ein Smart ED mit den typischen VDA-Temperaturmessstellen ausgestattet.



**Abbildung 5: Temperaturmessstellen im Smart ED**

Exemplarisch zeigt Abbildung 5 Temperaturmessstellen, die im Beifahrerfußraum und im Kopfbereich eines Smart ED verbaut wurden. Das Aufheiz- und Abkühlverhalten des Fahrgastraumes konnte dadurch sowohl im Stand als auch im realen Fahrbetrieb untersucht und Rückschlüsse auf die Wärmeübergangskoeffizienten des Fahrgastraumes an die Umgebung ermittelt werden.

In Abbildung 6 ist exemplarisch eine Thermographieaufnahme während einer stationären Aufheizung im Winterfall dargestellt. Die Messdaten wurden zur Validierung und Parametrierung eines Fahrgastraum-Simulationsmodells verwendet.



**Abbildung 6: Thermographieaufnahme während einer stationären Aufheizung im Winterfall**

Während der Projektlaufzeit wurde die verbaute Messtechnik vor Ort von IFF, IMC und IME betreut und gewartet. Zu diesem Zweck fand eine wöchentliche Plausibilisierung statt, um einerseits Ausfälle der Sensorik sowie Logger und andererseits Unterbrechungen der Datenübertragung zu detektieren. Dabei wurden mehrfach Unterbrechungen der Datenübertragung und Ausfälle der Messtechnik durch IFF, IMC, IFAM und IME behoben.

### **Datengenerierung und -übertragung**

Zur Übertragung der aufgezeichneten Messdaten wurden überwiegend WLAN-Verbindungen genutzt. Dazu wurde bei BSN auf eine vorhandene Infrastruktur zurückgegriffen, während bei der TUBS am IWF ein eigener WLAN-Zugangspunkt eingerichtet wurde. Sobald ein Fahrzeug in einen der WLAN-Bereiche abgestellt wurde, begann die Übertragung aller bis dahin gespeicherten Messdaten. Entweder an den Fahrdatenserver, welcher vom IFF beschafft und vom IFAM betreut wurde, oder zu einem lokalen PC. Die Übertragung der Daten der Logger von IME und Ipetronik erfolgte über eine FTP-Verbindung direkt auf den Fahrdatenserver. Bei den Geräten von IMC wurde die Software imcLink genutzt, welche die Daten zunächst auf einen lokalen PC übertrug. Von diesem wurden sie entweder ebenfalls zum Fahrdatenserver oder direkt in die Datenbank weitergeleitet.

Für die Übertragung der Messdaten vom Fahrdatenserver in die Datenbank wurden ebenfalls Softwareprodukte von IMC genutzt: imcFamos, imcLink und imcSearch.



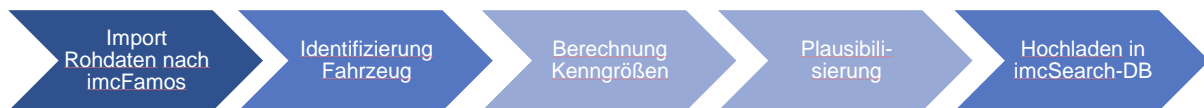
imcFamos ist eine Messdatenanalyse-Software zur Anzeige und Auswertung von Messdaten sowie zur Erstellung von Reports. Im Rahmen des Projekts kam imcFamos an folgenden Stellen zum Einsatz:

- Steuerung und Automatisierung der Prozesskette Messdatenabholung → Messdatenanalyse → Messdatenablage in Datenbank
- Betrachtungs- und Auswertungswerkzeug der Messdaten im Backend-Bereich für alle Projektpartner mit zugehöriger imcFamos-Lizenz
- Schnittstelle zur Datenbank
- Realisierung von Einlesefiltern für externe Datenformate

imcLink ist eine Software, die speziell für den Fernzugriff auf imc Messgeräte konzipiert ist. Sie sorgt für das automatische Kopieren oder Übertragen der erfassten Messdaten auf einen PC oder Server. Im Rahmen des Projektes wurde imcLink dafür eingesetzt, die lokal in imc-Messgeräten gespeicherten Messdaten bei einer bestehenden WLAN-Verbindung zu erfassen, auf einen lokalen Speicher zu kopieren und den Folgeprozess der Datenauswertung und Ablage in der zentralen Datenbank anzustoßen. Dieser Prozess geschah automatisiert.

imcSearch ist eine Datenbankanwendung, die gängige Datenbankmanagement-Systeme wie Oracle, MS SQL und MySQL unterstützt. Sie diente der zentralen Speicherung, Verwaltung, Sichtung und Durchsuchung der Messdaten sowie als Ablage- und Verweisstruktur von Fahr-, Ladestations-, Wetter- und Befragungsdaten. Sie ist über die Analysesoftware imc FAMOS die gemeinsame Plattform für die Messdaten.

Alle Messdaten wurden über unterschiedliche Infrastruktur auf einen lokalen Server am IFAM abgelegt. Über Skripte, die vom IFAM erstellt worden sind, wurde eine Reihe von Sequenzen, die von IMC erstellt wurden, sequentiell gestartet, wie in Abbildung 7 dargestellt.



**Abbildung 7: Verarbeitung der Rohdaten einer Fahrt**

Im ersten Schritt wurden alle aufgezeichneten Rohdaten in Famos importiert. Danach erfolgte die Zuordnung der Rohdaten zu dem entsprechenden Fahrzeug, wobei gleichzeitig Metadaten wie Fahrzeuggewicht, -abmessungen, Batteriekapazität etc. zugeordnet wurden. Anschließend erfolgte die Berechnung diverser skalarer Kenngrößen aus den zeitäquidistanten Rohdaten. Diese errechneten Kenngrößen, wie z.B. gemittelte Verbräuche, Geschwindigkeiten und Strecken, waren im Besonderen für spätere Auswertungen auch für andere Projektmodule von erhöhter Relevanz. Mittels der zuvor berechneten Kenngrößen wurde im vierten Schritt eine Plausibilisierung der Fahrt vorgenommen. Die Kriterien für die Plausibilisierung wurden mit den Modulpartnern zusammen entwickelt. Im letzten Schritt wurden die Rohdaten sowie die Kenngrößen in die zentrale imcSearch-Datenbank hochgeladen und eine Verlinkung der Fahrt mit dem jeweiligen Fahrzeug vorgenommen. Die Übertragungswege der Fahrzeuglogger zur imcSearch-Datenbank sind schematisch in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt.

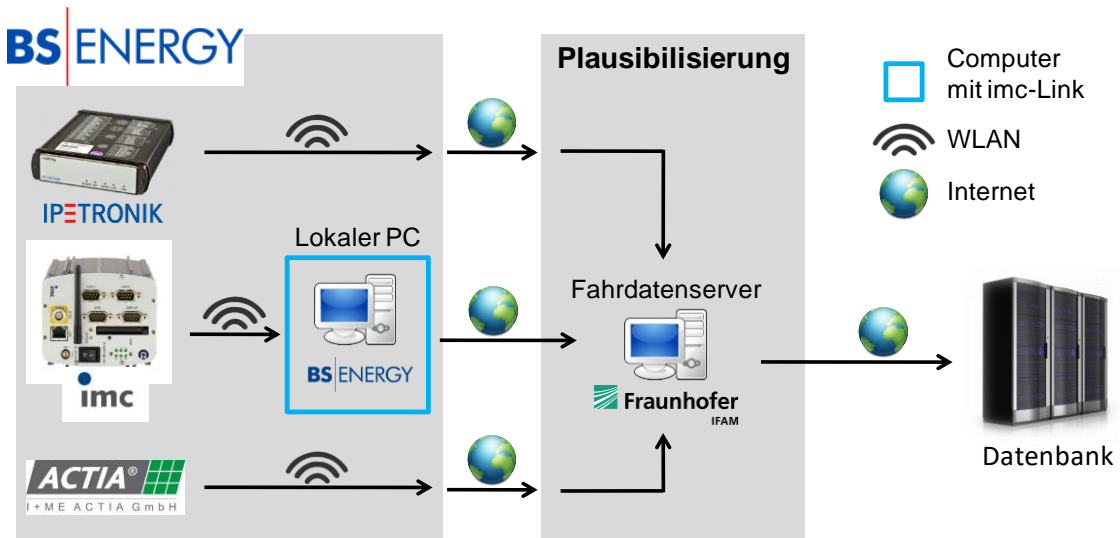


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Übertragungswege Datenlogger-Datenbank bei BSN

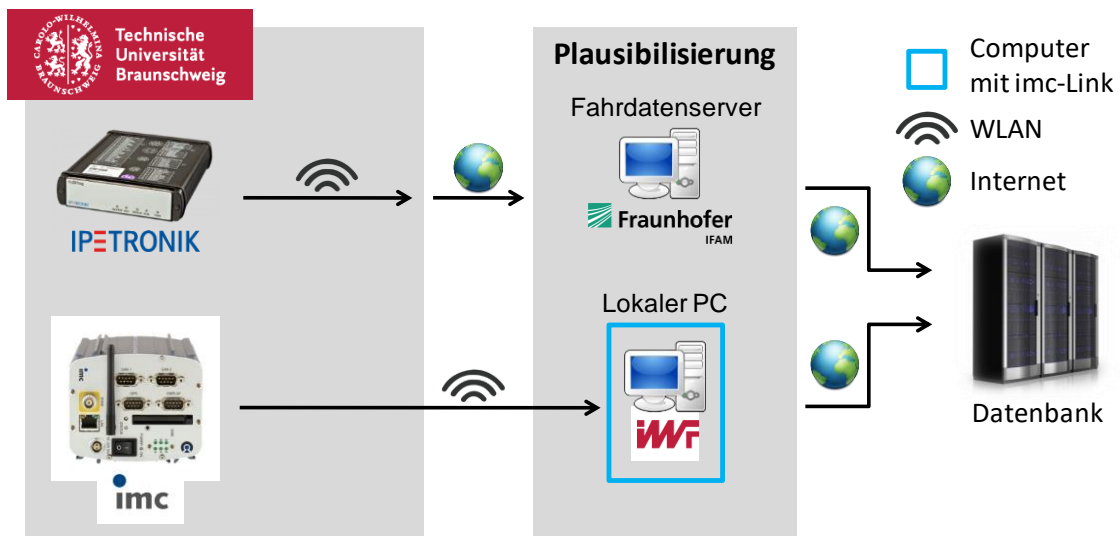


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Übertragungswege der Datenlogger bei LDD

Der Ladevorgang wurde, sofern möglich, bei den jeweiligen Ladesäulen datentechnisch erfasst und mit in die zentrale imcSearch-Datenbank übernommen. Die Standortverteilung der Ladepunkte ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Standortverteilung Ladepunkte

Anzahl Ladepunkte	Standort
9	BS ENERGY
2	elenia - Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen
2	Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

Die vorliegenden Daten wurden mittels eines imc-Importfilters in Famos eingelesen. Aus den Rohdatensätzen wurden ähnlich wie bei den Fahrten skalare Kenngrößen berechnet und der gesamte Ladevorgang einem Fahrzeug zugeordnet. Der gesamten Datensatz wurde anschließend in die imcSearch-Datenbank hochgeladen.

Die Fahrzeuge an der TUBS wurden außerdem mit Tablets ausgestattet, über die der Fahrer vor und nach jeder Fahrt an einer Befragung teilnehmen konnte. Die so entstandenen Daten wurden im Nachhinein den passenden Fahrten in der zentralen Datenbank zugeordnet. Die Umfragedaten enthielten Informationen über Fahrer, Fahrzeug, Startzeit, Endzeit, Ladezustand und weiteren Parametern.

Um die Fahrten genauer hinsichtlich witterungsbedingter Einflüsse analysieren zu können, wurden Wetterdaten an einer Wetterstation am Elenia aufgezeichnet. Die geloggteten Daten enthielten jeweils für einen Kalendermonat minütlich abgelegte Daten für

- Globalstrahlung,
- Luftfeuchtigkeit,
- Niederschlagsdauer,
- Niederschlagsmenge,
- Temperatur,
- maximale Windgeschwindigkeit,
- mittlere Windgeschwindigkeit und
- Windrichtung

Mittels eines implementierten Einlesefilters wurden die Daten in imcFamos eingelesen, in jeweilige abgetastete Datensätze konvertiert und in die imcSearch-Datenbank abgelegt. Dieser gesamte Prozess erfolgte ähnlich wie bei den Fahr-, Lade- und Befragungsdaten mittels imcFamos-Sequenzen.

### **Datenbankaufbau und -pflege**

Die erfassten Daten wurden zentral für alle Projektteilnehmer in der imcSearch-Datenbank abgelegt und zur Verfügung gestellt. Das Datenbankmanagementsystem basiert auf MySQL. In Abbildung 13 ist das Modell der Datenbank dargestellt. Es zeigt die zentralen Elemente der einzelnen Datenquellen (Fahrt, Ladesäule, Befragung, Wetterstation) und die Relationen untereinander.

Am Beispiel „Messung-Fahrt“ wird die Struktur kurz erläutert: Die Instanz einer Fahrt hat einen eindeutigen Namen (Name\_M) mit diversen Metadaten wie Messbeginn, Messende, Beschreibung sowie den berechneten Kenngrößen (Durchschnittsverbräuche, etc.). Diese Daten gehören fest zum Datensatz der Instanz. Nach dem gleichen Vorbild existieren Instanzen vom Typ Fahrzeug, nämlich die im Projekt vermessenen E-Fahrzeuge, Instanzen des Typs Befragung bzw. Tablet sowie Instanzen vom Typ Messkanal. Letztere beschreiben jeweils einen aufgezeichneten Datensatz mit den zugehörigen Attributen. Der Instanz „Messung-Fahrt“ werden diverse Relationen zugeordnet, welche ebenfalls als Attribute zur Instanz gehören (FK1, FK2, FK3, etc.). Sie verbinden die eigentliche Messung mit den zugehörigen Instanzen Fahrzeug, Befragung und den entsprechenden Messdatensätzen. Somit ist gewährleistet, dass eine Messfahrt einem Fahrzeug, einem Befragungsdatensatz (soweit vorhanden) und diversen Messkanälen zugeordnet werden kann.

Eine Suche in der Datenbank nach spezifischen Kriterien konnte anhand der Attribute einer Messung vorgenommen werden, also sowohl anhand der Metadaten als auch anhand der Instanzen auf die die Relationen zeigen.

Es gab im Wesentlichen zwei Schnittstellen zur Datenbank, um die dort abgelegten Messdaten abzurufen, siehe Abbildung 10. Über eine grafische, der Datenbank angepassten, Oberfläche konnte der Benutzer auf die Messdaten zugreifen, diese filtern und je nach Benutzerrecht auch editieren bzw. löschen. Bei Bedarf konnte sich der Benutzer einzelne von ihm ausgewählte Datensätze in den lokalen Famos-Client herunterladen und weitergehende Analysen durchführen. Ebenso wie beim WebFrontEnd erfolgte die Kommunikation verschlüsselt über HTTPS.

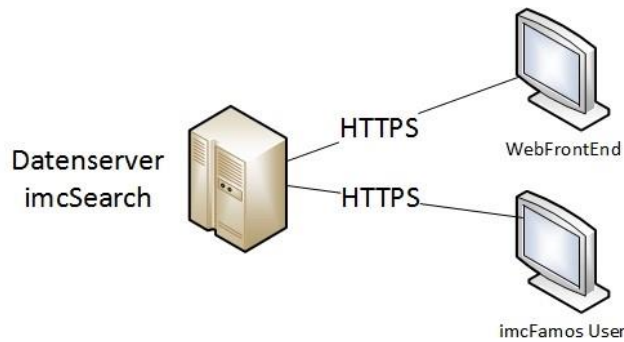


Abbildung 10: Benutzerschnittstelle Datenbank

Damit die Fahrzeugnutzer schnell und ohne Vorkenntnisse einzelne Fahrten auswerten und plausibilisieren konnten, hat das IFAM mit Unterstützung von IMC ein WebFrontEnd entwickelt (vgl. Abbildung 11). Mit Hilfe des WebFrontEnds war es den registrierten Benutzern möglich, einzelne Fahrten zu suchen, Messwerte einzusehen und ggf. herunterzuladen, siehe Abbildung 12.

Abbildung 11: Startseite Fleet Go Green-WebFrontEnd

Gesamtenergieverbrauch pro Fahrt (kWh)			
HV Batterie	3,0363	E-Maschine	2,71849
Nebenverbraucher	0,31781	PTC	0
EKK	0	NV-Bordnetz	0,10594

Durchschnittsenergieverbrauch pro 100 km (kWh/100km)			
HV-Batterie	11,83	E-Maschine	10,59
Nebenverbraucher	0,31781	PTC	0
EKK	0	Verbraucher NV-Bordnetz	0,41

Sonstige Daten			
Messbeginn	03.06.2014 11:08:03	Messende	03.06.2014 11:45:37
Gesamtzeit [hh:mm:ss]	00:37:34	Zurückgelegte Strecke [km]	25,68
Durchschnittsgeschwindigkeit [km/h]	41,0077	reine Fahrzeit (exkl. Standzeiten) [s]	1835
SOC Anfangswert [%]	97,5	SOC Endwert [%]	81

Abbildung 12: Beispiel für eine durchgeführte Fahrt

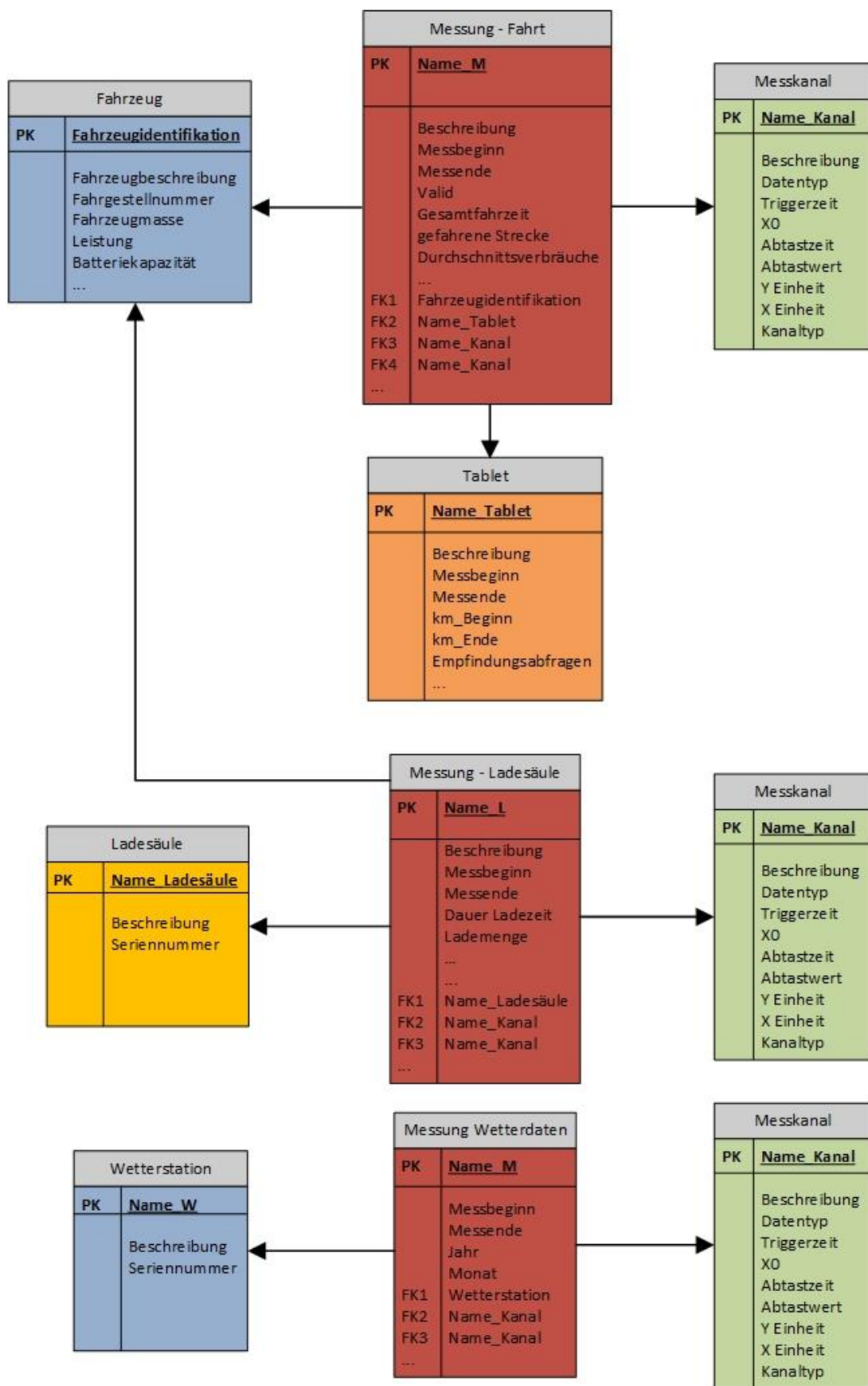


Abbildung 13: Datenbankmodell

## Datenauswertung

Obwohl die verbaute Messtechnik validiert wurde, mussten die Roh-Messdaten nach dem Import in die Datenbank plausibilisiert werden, um auszuschließen, dass die weiteren Auswertungen durch fehlerhafte Datensätze verfälscht wurden. Solche defekten Datensätze können beispielsweise durch einen fehlerinduzierten Neustart des Datenloggers während des laufenden Messbetriebes entstehen.

Für die Beurteilung der einzelnen Messsignale wurden mehrere Plausibilisierungskriterien erarbeitet und herangezogen:

- Zurückgelegte Strecke  
Abgleich der gefahrenen Strecke nach dem Kilometerstand des Fahrzeugs mit der aus dem aufgezeichneten Geschwindigkeitsprofil aufintegrierten Strecke
- Energiebilanzierung  
Ausschluss aller Fahrten mit einer lückenhaften Gesamtenergiebilanz bzgl. der relevanten elektrischen Energien
- Energieverbrauch  
Abgleich des Energieverbrauchs während der letzten Fahrt mit dem aktuellen Ladezustand (SoC) und dem Restenergieinhalt der HV-Batterie
- Gesamtfahrzeit  
Ausschluss aller Fahrten mit einer unplausibel langen Gesamtdauer (z.B. über >12 Stunden)
- Durchschnittsgeschwindigkeit  
Ausschluss aller Fahrten mit einer unplausibel geringen Durchschnittsgeschwindigkeit (z.B. < 5 km/h)

Die genannten Überprüfungsschritte wurden automatisch mit allen in die Datenbank importierten Messdatensätzen durchgeführt. Bei erfolgreich durchlaufener Plausibilisierung wurde der Marker „Messdaten plausibel“ gesetzt und der Datensatz so für die weiteren folgenden Auswertungen freigegeben. Im nachfolgenden Prozessschritt wurden mit Hilfe einer automatisierten Sequenz aus den transienten Messgrößen repräsentative skalare fahrtspezifische Kennwerte berechnet, wie in Abbildung 14 dargestellt. Anhand der beschriebenen Größen konnten die jeweiligen Fahrten genauer charakterisiert und beurteilt werden.

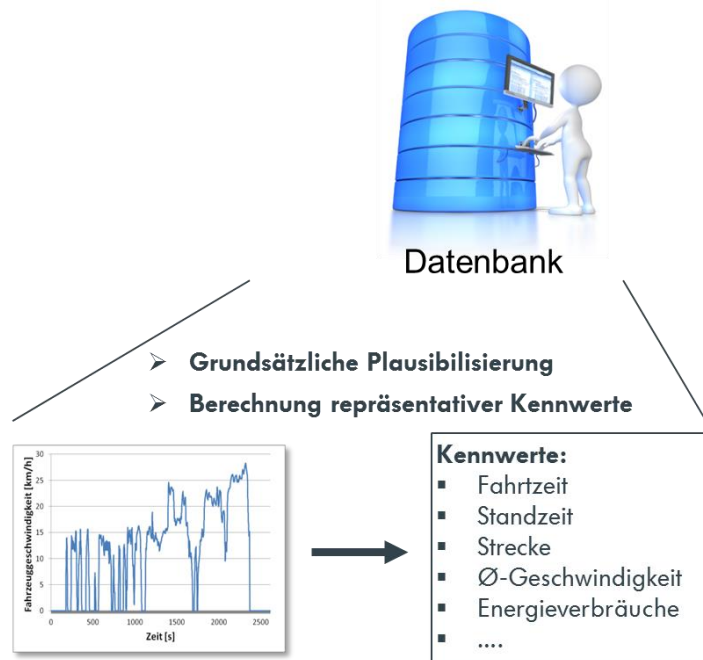
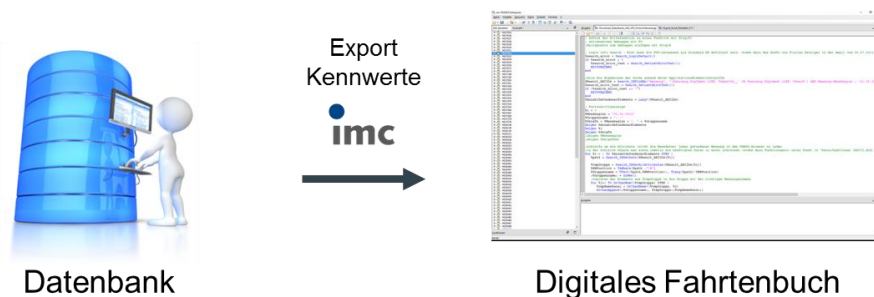


Abbildung 14: Daten-Plausibilisierung

Im nachfolgenden Schritt wurden die plausiblen Datensätze für eine Analyse der im realen Fahrzeugbetrieb aufgetretenen Energieverbräuche herangezogen. Aufgrund der komplexen Berechnungsalgorithmen und der großen Anzahl an Datensätzen konnte eine solche Verbrauchsauswertung nur mithilfe automatisierter Werkzeuge erfolgen. Eine zweistufige Toolkette bestehend aus imc Famos und Microsoft Excel/VBA wurde von VW aufgebaut.

In einem ersten Prozessschritt wurden für den selektierten auszuwertenden Berichtszeitraum sowie die selektierten Fahrzeuge die oben beschriebenen skalaren Messgrößen mit Hilfe eines imc Famos Skriptes automatisiert aus der zentralen Datenbank geladen. Diese Kenngrößen wurden aufbereitet und anschließend pro Fahrzeug in ein Microsoft-Excel-Dokument weiter exportiert, wobei die einzelnen Datensätze in der Tabelle zeilenweise pro Fahrt (definiert über den Zündungswechsel des Fahrzeugs) abgelegt wurden. Auf diese Weise wurde ein sogenanntes digitales Fahrtenbuch für jedes Fahrzeug für den zu betrachtenden Zeitraum erzeugt (siehe Abbildung 15).



vehicle_id	start_timestamp	end_timestamp	standby_time	duration	duration v>0	start_km	end_km	driven_km	speed_avg	BMS_SOC Start EGN	BMS_SOC StoppEGN	Ausstemtemp
			[h]:mm	s	s	km	km	km	km/h	%	%	°C
VZZAAZED90	01.07.2013 14:15:32	01.07.2013 14:43:36		1683.63	467.22	4945	4947	2.34	5.00	94.8	93.2	23.8
VZZAAZED90	01.07.2013 19:05:37	01.07.2013 19:46:02	4:22	2425.04	2052.75	4947	4977	29.62	43.97	96	80	24.4
VZZAAZED90	01.07.2013 21:02:39	01.07.2013 21:22:34	1:16	1194.82	998.76	4977	4985	8.01	24.12	80.8	76.4	22.8
VZZAAZED90	01.07.2013 21:37:16	01.07.2013 21:46:06	0:14	530.27	474.06	4985	4989	3.70	25.13	76.4	74.4	20.0
VZZAAZED90	02.07.2013 07:12:01	02.07.2013 07:52:24	9:25	2422.70	2110.45	4989	5018	29.60	43.98	74.8	58	19.3
VZZAAZED90	02.07.2013 08:37:01	02.07.2013 08:41:06	0:44	245.26	182.33	5018	5019	0.91	13.31	65.2	64.8	16.6
VZZAAZED90	02.07.2013 09:55:44	02.07.2013 09:59:39	1:14	235.19	208.35	5019	5020	0.95	14.49	63.6	63.2	18.1
VZZAAZED90	02.07.2013 18:42:06	02.07.2013 19:23:21	8:42	2474.86	1888.93	5020	5049	29.33	42.66	96	80	20.8
VZZAAZED90	02.07.2013 21:23:58	02.07.2013 21:36:04	2:00	726.38	595.65	5049	5053	4.15	20.56	80.8	78.4	23.0
VZZAAZED90	03.07.2013 07:23:27	03.07.2013 07:58:51	9:47	2124.21	1808.72	5053	5080	26.14	44.30	78.8	63.2	20.7
VZZAAZED90	03.07.2013 08:01:02	03.07.2013 08:22:10	0:02	1268.04	885.41	5080	5085	6.02	17.10	63.2	60	20.0
VZZAAZED90	03.07.2013 19:26:21	03.07.2013 20:04:42	11:04	2300.75	2023.34	5085	5115	29.79	46.61	67.2	49.6	20.3
VZZAAZED90	03.07.2013 20:30:30	03.07.2013 20:35:06	0:25	275.89	193.95	5115	5117	1.10	14.31	48.8	48.4	20.6
VZZAAZED90	03.07.2013 21:30:24	03.07.2013 21:39:16	0:55	532.14	445.47	5117	5119	2.29	15.51	48.8	47.2	20.5
VZZAAZED90	04.07.2013 07:11:30	04.07.2013 07:55:14	9:32	2624.03	2355.78	5119	5148	29.35	40.27	47.6	30.4	19.3
VZZAAZED90	04.07.2013 09:29:50	04.07.2013 09:35:33	1:34	342.75	216.28	5148	5149	0.90	9.49	42.8	42	18.1
VZZAAZED90	04.07.2013 10:02:51	04.07.2013 10:05:47	0:27	146.40	128.65	5149	5160	0.57	13.96	41.2	40.8	20.0

Abbildung 15: Fahrtenbuch

Im darauffolgenden zweiten Schritt wurden die einzelnen Fahrtenbücher der jeweiligen Fahrzeuge mit Hilfe eines VBA Makros in Microsoft Excel eingelesen. Hier wurde eine energetische Bilanzierung der einzelnen Fahrzeugkomponenten durchgeführt und die einzelnen Fahrten eines Fahrzeugs streckengewichtet zu einem Gesamtwert pro Zeitraum zusammengefasst. Anschließend wurden die Ergebnisse aller Fahrzeuge im Berichtszeitraum vergleichend gegenübergestellt und grafisch in Diagrammen aufbereitet.

Mit Hilfe der aufgebauten Toolkette wurde kontinuierlich über die Projektlaufzeit in einem Zwei-Wochen-Rhythmus die Energieverbräuche der im Projekt Fleets Go Green eingesetzten Fahrzeuge ausgewertet und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt.

Im Folgenden wird näher auf die Ergebnisse einzelner Fahrzeugmodelle eingegangen.

### Smart ED

Für die Verbrauchsauswertung der eingesetzten Smart ED wurde die Daten von insgesamt 13 Fahrzeugen genutzt (siehe Abbildung 16). Diese haben im betrachteten Zeitraum KW 01/2015 bis KW 32/2016 eine Gesamtstrecke von 49.169 km zurückgelegt. Hierbei ist zu beachten, dass u.a. aufgrund der oben beschriebenen Datenplausibilisierung und des damit verbundenen Ausschlusses einzelner Datensätze die tatsächliche Laufleistung der Fahrzeuge abweichen kann. Die Gesamtheit der plausib-

len und für die Auswertung heranzuziehenden Fahrten setzte sich aus insgesamt 6700 einzelnen Fahrten mit einer durchschnittlichen Streckenlänge von ca. 7,3 km zusammen. Die Durchschnittsgeschwindigkeit dabei betrug 25 km/h, was grundsätzlich aus dem überwiegenden innerstädtischen Betrieb der Fahrzeuge resultiert.

Der durchschnittliche Gesamtverbrauch der eingesetzten Smart ED betrug 15,1 kWh/100km. Zu beachten ist, dass dieser Verbrauch durch die Bilanzierung der Hochvolt-Batterie im Fahrzeug bestimmt wurde. Verluste durch die Wiederaufladung der Batterie blieben bei dieser Art der Bilanzierung unberücksichtigt.

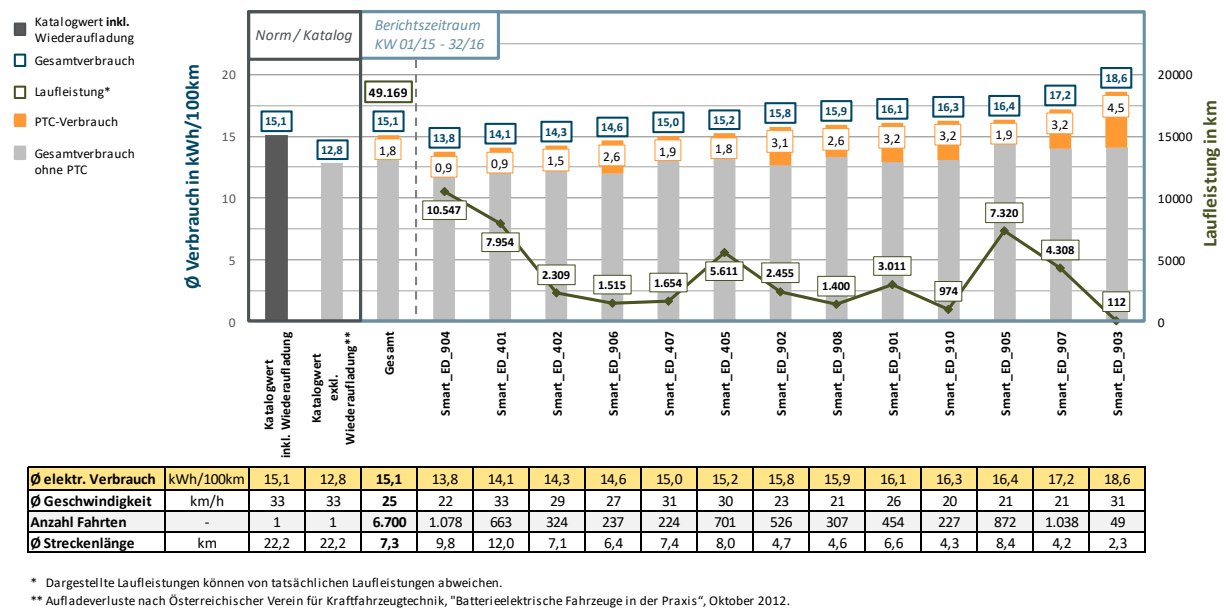


Abbildung 16: Verbrauchsauswertung Smart ED

Der Normverbrauch nach ECE R101a wird bestimmt, indem das E-Fahrzeug zweimal den NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) durchfährt und die dabei aus der Hochvolt-Batterie genutzte Energie anschließend am Stromnetz wiederaufgeladen wird. Aus dieser nachgeladenen Energie, die somit alle Verluste durch den Wiederaufladeprozess inkludiert, wird dann der Normverbrauch errechnet.

Damit beide Verbrauchsangaben miteinander verglichen werden konnten, mussten die Verluste durch die Wiederaufladung aus dem Normverbrauch rausgerechnet werden. Hierzu wurde eine Veröffentlichung des Österreichischen Vereins für Kraftfahrzeugtechnik herangezogen, welchen den Aufladewirkungsgrad beim Smart ED mit ca. 85 % angibt, (Geringer und Tober 2012).

Der vom Hersteller Smart für das im Projekt Fleets Go Green eingesetzte Modell kommunizierte Normverbrauch beträgt 15,1 kWh/100 km. Hiervon wurden auf beschriebenen Weg die Wiederaufladeverluste abgezogen, was zu einem korrigierten Normverbrauch von 12,8 kWh/100km (exkl. Wiederaufladung) führte. Dieser Wert konnte nun direkt mit den im Projekt ermittelten Verbrauchswerten verglichen werden.

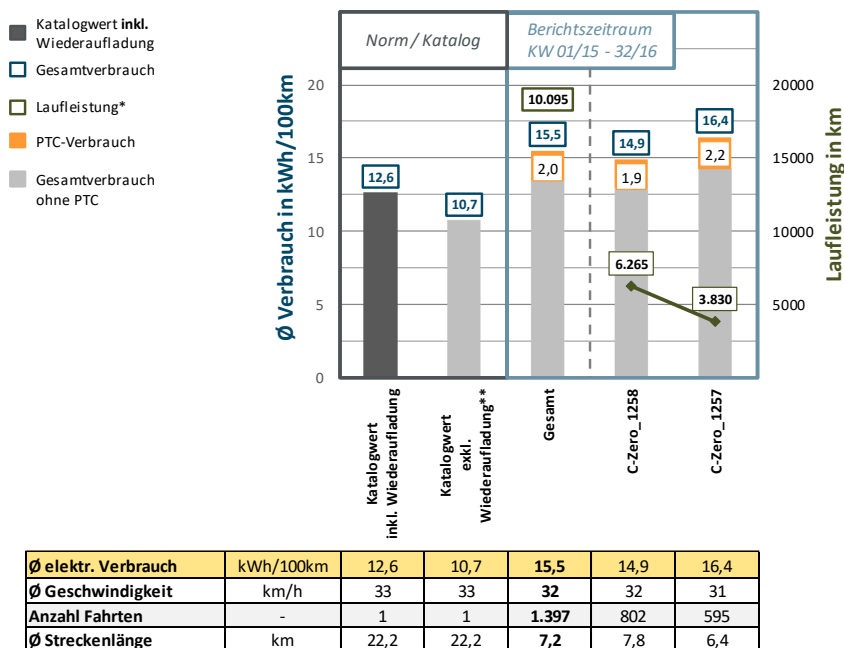
Die eingesetzten Smart ED weisen mit durchschnittlich 15,1 kWh/100km einen um ca. 18 % höheren Verbrauch als vom Hersteller angegeben auf (korrigierter Verbrauch: 12,8 kWh/100km). Die Abweichungen resultieren dabei weniger aus dem reinen Antriebsverbrauch, sondern vielmehr aus dem sogenannten Nebenverbrauch, welcher durch den Betrieb der Innenraumheizung/-klimatisierung und das 12 V-Bordnetz entstand. Diese Komfortverbraucher sind in der Verbrauchsermittlung nach ECE R101a nicht enthalten. Der Kurzstreckenbetrieb der Fahrzeuge (durchschnittliche Streckenlänge ca. 7,3 km) hat den Nebenverbrauch dabei zusätzlich leicht erhöht, da u.a. die energieintensive Konditionierung des Fahrzeuginnenraums (Aufheizen oder Klimatisieren) nach Fahrtbeginn einen hohen zeitlichen Anteil an der Gesamtfahrzeit hatte, verglichen mit einer Langstreckenfahrt.



Beim Vergleich der eingesetzten Smart ED untereinander fällt auf, dass die Gesamtverbräuche eine Spanne zwischen 13,8 kWh/100km (Smart ED 904) und 18,6 kWh/100km (Smart ED 903) aufweisen. Auch hier war weniger der reine Antriebsverbrauch, sondern vielmehr der Nebenverbrauch für das Delta ursächlich. Das große Delta bei den beiden benannten Fahrzeugen liegt u.a. in der Fahrzeugnutzung begründet. Der Smart ED 903 wurde ausschließlich im extremen Kurzstreckenbetrieb mit durchschnittlichen Streckenlängen von lediglich 2,3 km betrieben.

## Citroen C-Zero

Für die beiden im Projekt eingesetzten Citroen C-Zero war im Berichtszeitraum KW 01/2015 bis KW 21/2016 eine Gesamtleistung von 10.095 km zu verzeichnen (siehe Abbildung 17). Diese setzte sich aus 1397 Einzelfahrten mit durchschnittlich ca. 7,2 km Streckenlänge zusammen.



\* Dargestellte Laufleistungen können von tatsächlichen Laufleistungen abweichen.

\*\* Aufladeverluste nach Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugechnik, "Batterieelektrische Fahrzeuge in der Praxis", Oktober 2012.

**Abbildung 17: Verbrauchsauswertung Citroen C-Zero**

Der Normverbrauch der im Projekt genutzten Citroen C-Zero nach ECE R101a beträgt 12,6 kWh/100km, korrigiert um die beschriebenen Einflüsse aus der Wiederaufladung 10,7 kWh/100km (Aufladewirkungsgrad 85 %, (Geringer und Tober 2012)).

Im Projekt Fleets Go Green konnte ein durchschnittlicher Gesamtverbrauch von 15,5 kWh/100km ermittelt werden. Dieser weicht deutlich vom der Normangabe ab (+45 %). Ein möglicher Erklärungsansatz liegt auch hier im nutzerspezifischen Einsatz der Nebenverbraucher, welche einen Anteil von 2,0 kWh/100km am Gesamtverbrauch hatten. Ein weiterer Grund ist der Kurzstreckenbetrieb der beiden Fahrzeuge mit einer durchschnittlichen Streckenlänge von 7,2 km.

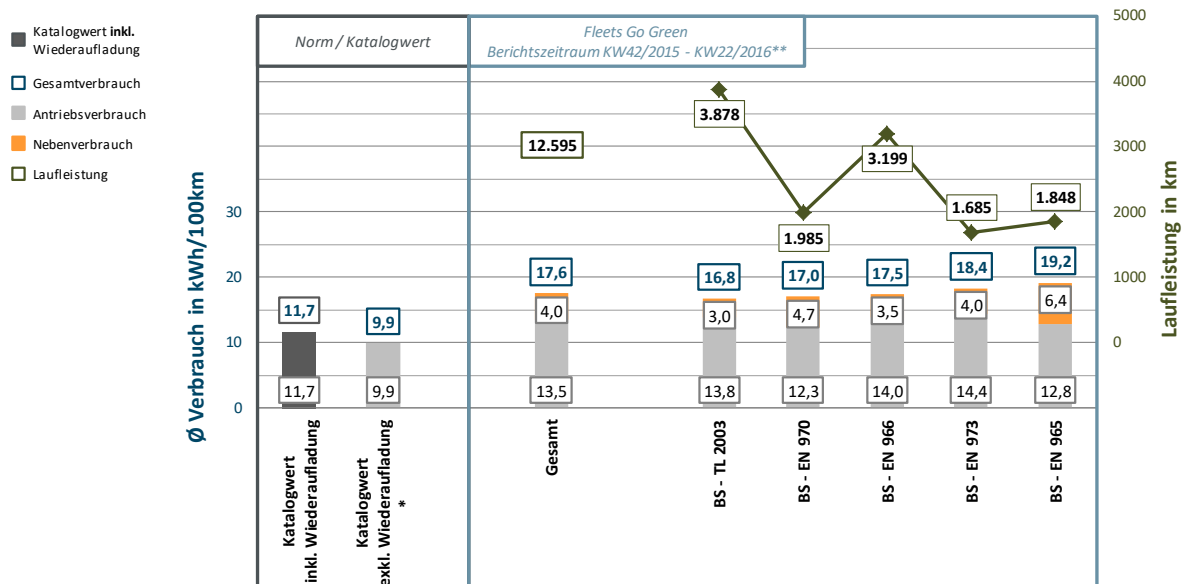
Im direkten Vergleich zeigte sich eine recht ähnliche Nutzung der beiden Fahrzeuge. So waren die Durchschnittsgeschwindigkeiten (32 km/h zu 31 km/h) ebenso vergleichbar wie die durchschnittlich zurückgelegten Strecken (7,8 km zu 6,4 km). Daraus resultierend wiesen auch die Gesamtverbräuche nur eine geringe Spanne auf (14,9 kWh/100km zu 16,4 kWh/100km). Auch beim Citroen C-Zero zeigte sich, dass das Fahrzeug 1257 (siehe Abbildung 17) aufgrund der leicht kürzeren durchschnittlichen Streckenlänge einen geringfügig erhöhten Verbrauch im Vergleich mit dem Fahrzeug 1258 aufwies.

## VW e-up!

Für die im Projekt eingesetzten VW e-up! wurde für den Berichtszeitraum KW 42/2015 bis KW 22/2016 ebenfalls eine Verbrauchsauswertung erstellt (siehe Abbildung 18). Im genannten Berichtszeitraum haben die fünf mit Messtechnik ausgerüsteten Fahrzeuge eine Gesamtdistanz von 12.595 km zurückgelegt. Diese Gesamtstrecke setzte sich aus 1245 Einzelfahrten mit einer durchschnittlichen Streckenlänge von 10,1 km zusammen.

Der Normverbrauch des VW e-up! beträgt gemäß Katalog 11,7 kWh/100km, um die Verluste aus der Wiederaufladung bereinigt 9,9 kWh/100km (Aufladewirkungsgrad 85 %, (Geringer und Tober 2012)).

Die fünf betrachteten Fahrzeuge weisen einen durchschnittlichen Gesamtverbrauch von 17,6 kWh/100km auf. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Berichtszeitraum KW 42/2015 bis KW 22/2016 vergleichsweise kurz ausfällt und nur einen reinen Winterbetrieb der Fahrzeuge umfasst. Da bei E-Fahrzeugen aufgrund des sehr effizienten Antriebsstranges, anders als bei konventionellen Fahrzeugen, kaum Abwärme für die Innenraumkonditionierung genutzt werden kann, muss die notwendige Energie in Form von Wärme mit Hilfe elektrischer Heizelemente (entsprechend ihres Wirkprinzips auch PTC genannt) erzeugt und dem Fahrgastraum zugeführt werden. Diese Art der Wärmebereitstellung ist im Allgemeinen vergleichsweise energieintensiv, wodurch auch der hohe Nebenverbrauch von 4,0 kWh/100km erklärt werden kann.



Ø elektr. Verbrauch	kWh/100km	11,7	9,945		17,6		16,8	17,0	17,5	18,4	19,2
Ø Geschwindigkeit	km/h	33,6	33,6		34,5		51,4	25,6	27,9	29,7	24,4
Anzahl Fahrten	-	1	1		1245		155	242	375	206	267
Ø Streckenlänge	km	22,2	160		10,1		25,0	8,2	8,5	8,2	6,9

\* Aufladeverluste nach Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik, "Batterieelektrische Fahrzeuge in der Praxis", Oktober 2012.

\*\* Dargestellte Laufleistungen können von tatsächlichen Laufleistungen abweichen, Berichtszeitraum nicht gleich Auslesezzeitraum der Fahrzeuge.

**Abbildung 18: Verbrauchsauswertung VW e-up!**

Beim direkten Vergleich der Fahrzeuge „BS-TL 2003“ und „BS-EN 965“ lassen sich zwei Effekte erkennen: Zum einen zeigte sich erneut der Einfluss der Streckenlänge auf den Nebenverbrauch. Das Fahrzeug „BS-EN 965“ legte eine durchschnittliche Strecke von 6,9 km pro Fahrt zurück, das Fahrzeug „BS-TL 2003“ hingegen 25 km. Erwartungsgemäß lag der Nebenverbrauch beim Fahrzeug „BS-EN 965“ mit 6,4 kWh/100km auch deutlich höher als beim Vergleichsfahrzeug (3,0 kWh/100km).

Zum anderen ließ sich der grundsätzliche Einfluss der Durchschnittsgeschwindigkeit auf den Antriebsverbrauch erkennen. Das Fahrzeug „BS-TL 2003“ wies eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 51,4 km/h auf, was auf einen hohen Überland- und Autobahnanteil schließen lässt. Der reine Antriebsverbrauch betrug 13,8 kWh/100km. Das Fahrzeug „BS-EN 965“ hatte eine Durchschnittsgeschwindigkeit

von nur 24,4 km/h, entsprechend war der Antriebsverbrauch mit 12,8 kWh/100km auch niedriger. Zusätzliche Effekte aus der Dynamik (häufige Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge) blieben in dieser Analyse unberücksichtigt.

### Fazit

Im Projekt Fleets Go Green wurde über die beschriebene Toolkette insgesamt eine Stichprobe von 20 Fahrzeugen verschiedener Hersteller, einer Gesamtleistung von über 70.000 km und über 9300 einzelnen Fahrten analysiert.

Dabei zeigte sich, dass die Fahrzeuge überwiegend im innerstädtischen Bereich eingesetzt wurden und dabei nur kurze Fahrstrecken zurücklegten. So hatten ca. 70 % aller Einzelfahrten eine Streckenlänge von unter 10 km und 99 % – also nahezu alle Fahrten – waren kürzer als 50 km (vgl. Abbildung 19).

Durch diesen Kurzstreckenbetrieb konnten die im Fahrzeugbetrieb festgestellten erhöhten Nebenverbraucher begründet werden. Auf der anderen Seite konnte anhand der Streckenverteilung gezeigt werden, dass die in der öffentlichen Wahrnehmung zu geringe Reichweite von batterieelektrischen Fahrzeugen unter den Anwendungsbedingungen des Projekts Fleets Go Green kaum eine Rolle gespielt hat. Eine elektrische Reichweite von 50 km können heutige E-Fahrzeuge auch unter realen Einsatzbedingungen (Kurzstreckenbetrieb, geringe Außentemperaturen etc.) gewährleisten.

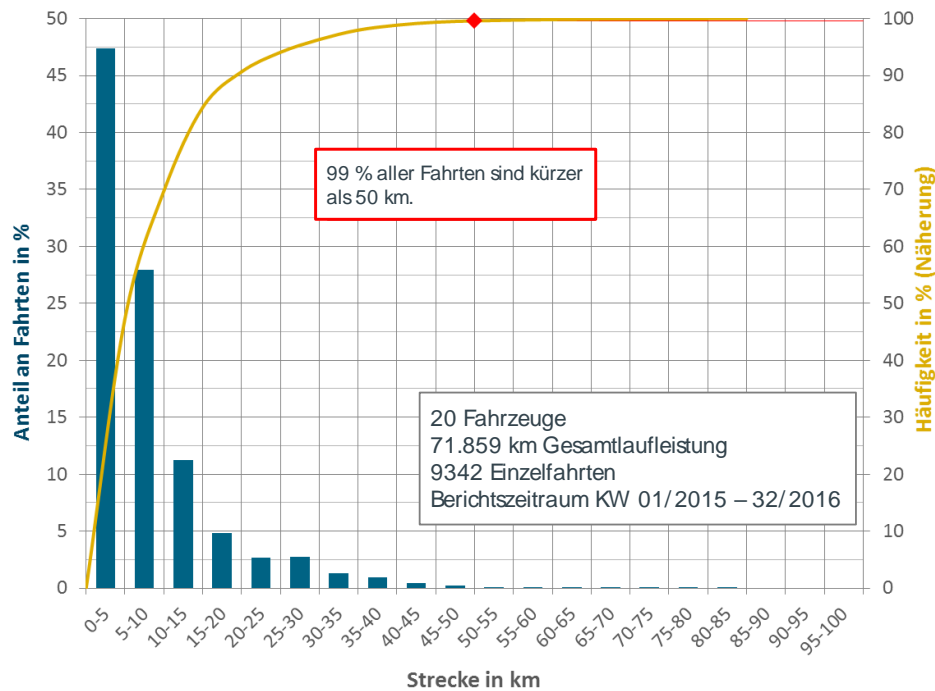
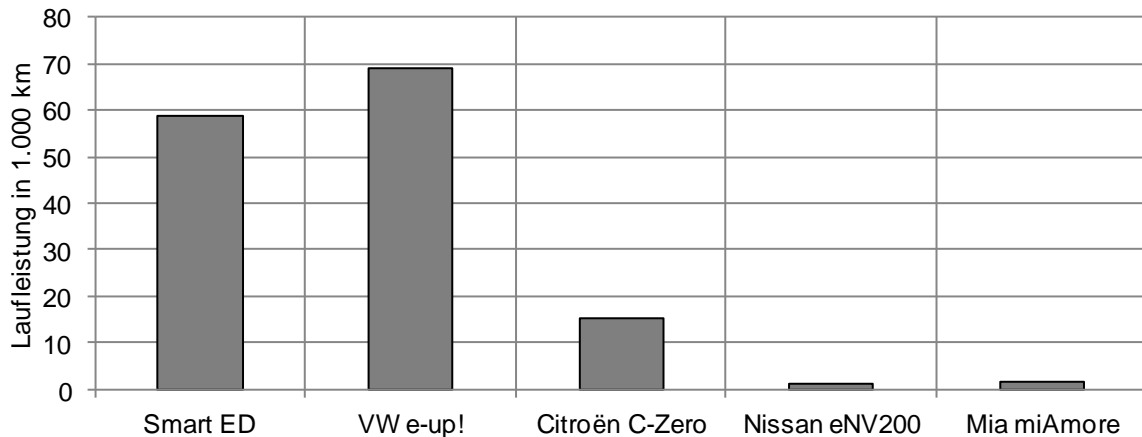


Abbildung 19: Histogramm der Streckenlängen für den Berichtszeitraum KW01/2015 – 32/2016

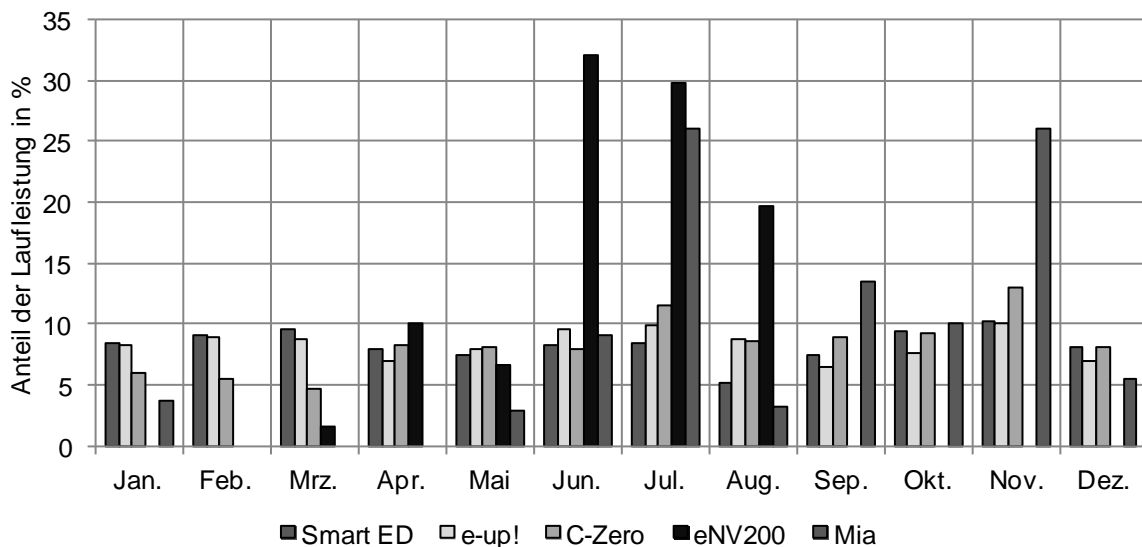
### Datenanalyse

Der auswertbare Datenbestand der verschiedenen Fahrzeugtypen unterscheidet sich nicht zuletzt aufgrund der unterschiedlichen Fahrzeuganzahl (zwischen einem und 13) erheblich. In Abbildung 20 sind die auswertbaren Laufleistungen dargestellt. Anzumerken bleibt an dieser Stelle, dass die Daten der VW e-up! dem VW-Portal „Car-Net“ entnommen wurden und hieraus eine geänderte Datenbasis im Vergleich zum Vorabschnitt „Datenauswertung“ resultiert. Aufgrund der begrenzten Anzahl an aufgezeichneten Datenpunkten im Car-Net konnten für die VW e-up! nicht alle der nachfolgenden Analysen durchgeführt werden. Bei Analysen, bei denen dies der Fall ist, wurde ein entsprechender Vermerk („ohne e-up!“) angefügt.



**Abbildung 20: Auswertbare Laufleistungen der verschiedenen Fahrzeugtypen**

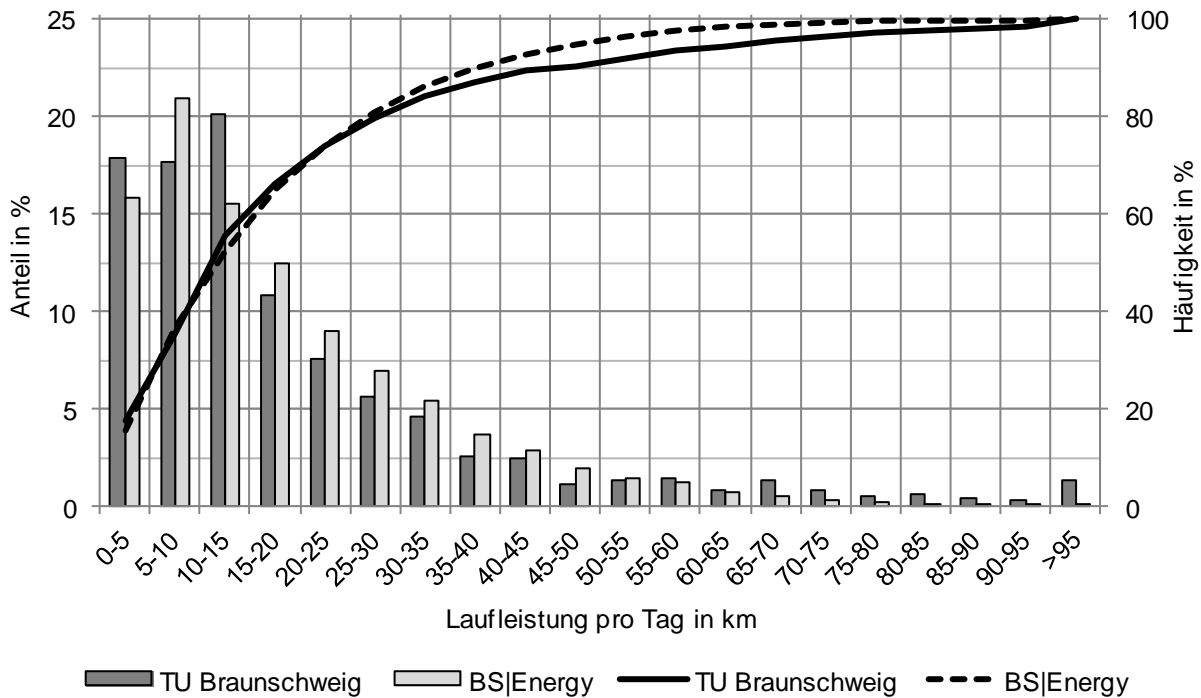
Während beim VW e-up! Laufleistungen von insgesamt ca. 69.000 km den durchgeführten Auswertungen zu Grunde liegen, sind es beim Nissan eNV200 lediglich rund 1.200 km. Vom Nissan eNV200 stand nur ein Fahrzeug zur Verfügung, von dem Daten aufgrund des späten Beschaffungszeitpunktes lediglich über einen Zeitraum von sechs Monaten (März bis August 2016) gesammelt werden konnten. Ebenfalls verdeutlicht dies die in Abbildung 21 dargestellte Verteilung der Laufleistung über die einzelnen Monate des Kalenderjahres.



**Abbildung 21: Verteilung der Laufleistung der einzelnen Fahrzeuge auf die Monate**

Bei der Betrachtung der Mia fällt auf, dass für diese insbesondere in den Wintermonaten eine sehr geringe, zum Teil sogar keine Laufleistung zu verzeichnen war. Ein Grund dafür könnte der ungenügende Komfort der Heizung sein, die über eine maximale Leistung von 1 kW verfügt, wodurch im Winter nur eine geringe Erwärmung der Innenraumluft erzielt werden konnte. Im Vergleich dazu verfügt der Smart ED bei vergleichbar großem Innenraum über eine Heizleistung von 4 kW.

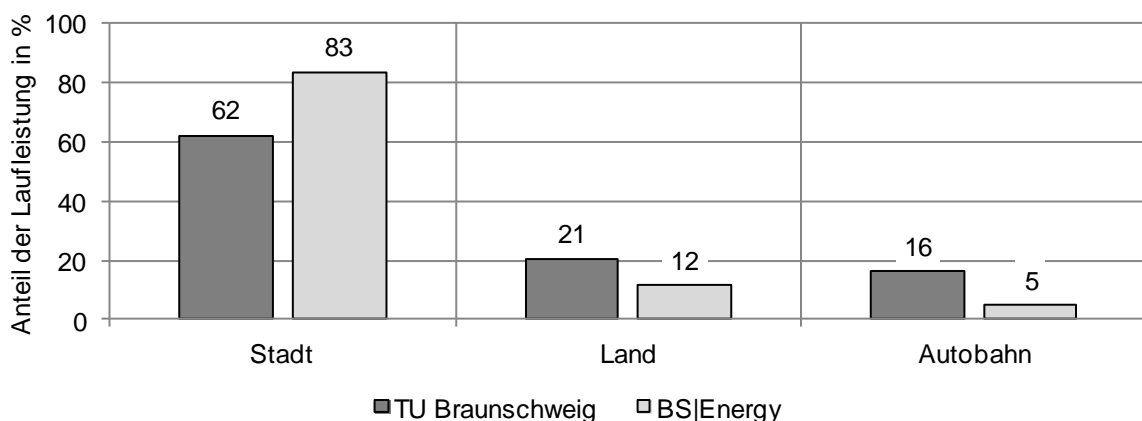
Für die beiden Anwendungsszenarien, das Poolkonzept an der TU Braunschweig und die Werksflotte von BS|ENERGY, wurden Nutzungsprofile abgeleitet. Diese setzen sich zusammen aus der täglichen Laufleistung der Fahrzeuge, den Nutzungszeiten und dem Lade- sowie Fahrverhalten. In Abbildung 22 ist die Verteilung der täglichen Laufleistung pro Fahrzeug für beide Szenarien dargestellt.



**Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der Laufleistung pro Tag für BS|ENERGY und TU Braunschweig**

Dabei zeigen sich Unterschiede zwischen den Fahrzeugen der TU Braunschweig und bei BS|ENERGY. Die Fahrzeuge an der TU weisen größere Anteile bei höheren Laufleistungen (>65km) auf. Sie legten in 90% der Fälle weniger als 50 km zurück, bei BS|ENERGY waren es weniger als 40 km. In beiden Szenarien war die tägliche Laufleistung aber eher gering. Das zeigt der Vergleich mit (WVI et. al. 2012), in welchem für gewerblich genutzte Pkw in Deutschland eine durchschnittliche Tagesfahrleistung von 72 km ermittelt wurde. Diese wurde in beiden Fällen deutlich unterschritten.

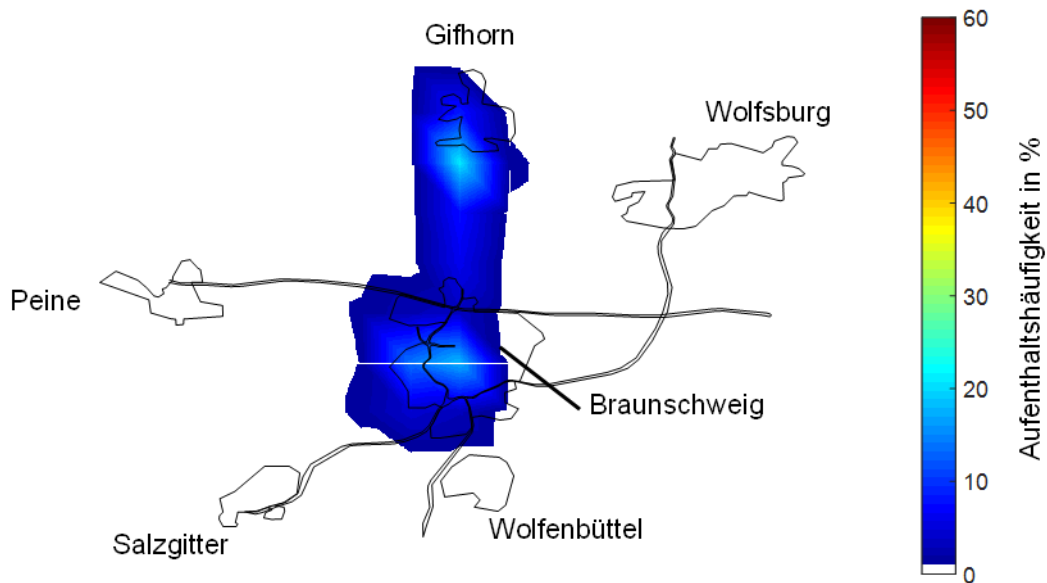
Erklärt werden können die unterschiedlichen Tagesfahrleistungen durch eine Nutzung auf längeren Strecken. Diese These wird unterstützt durch die in Abbildung 23 gezeigten Anteile verschiedener Straßentypen an der Laufleistung.



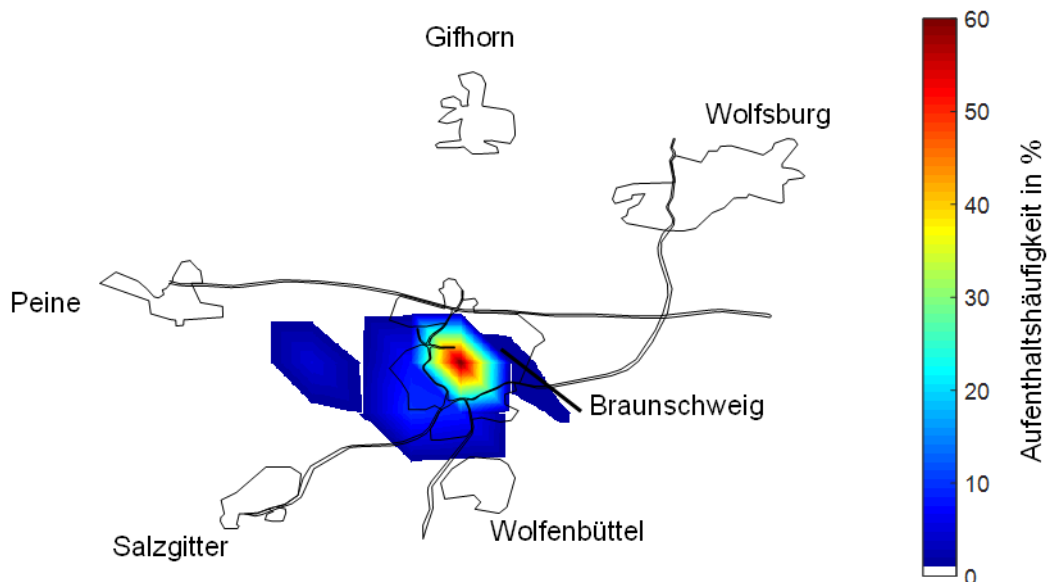
**Abbildung 23: Anteile der Fahrumgebungen Stadt, Land und Autobahn an der Laufleistung bei BS|ENERGY und der TU Braunschweig, ohne e-up!**

In beiden Szenarien werden die Fahrzeuge überwiegend in der Stadt genutzt, bei BS|ENERGY entfielen mehr als 80% der Fahrleistung auf eine städtische Fahrumgebung. Jedoch weisen die Fahrzeuge an der TU signifikant größere Anteile auf Landstraßen und Autobahnen auf. Dies spricht dafür, dass die Fahrzeuge auch genutzt wurden, um Fahrtziele außerhalb Braunschweigs zu erreichen. Ein Beispiel für ein solches Ziel ist der Mobile Life Campus in Wolfsburg, an dem einige TU-Institute einen zweiten

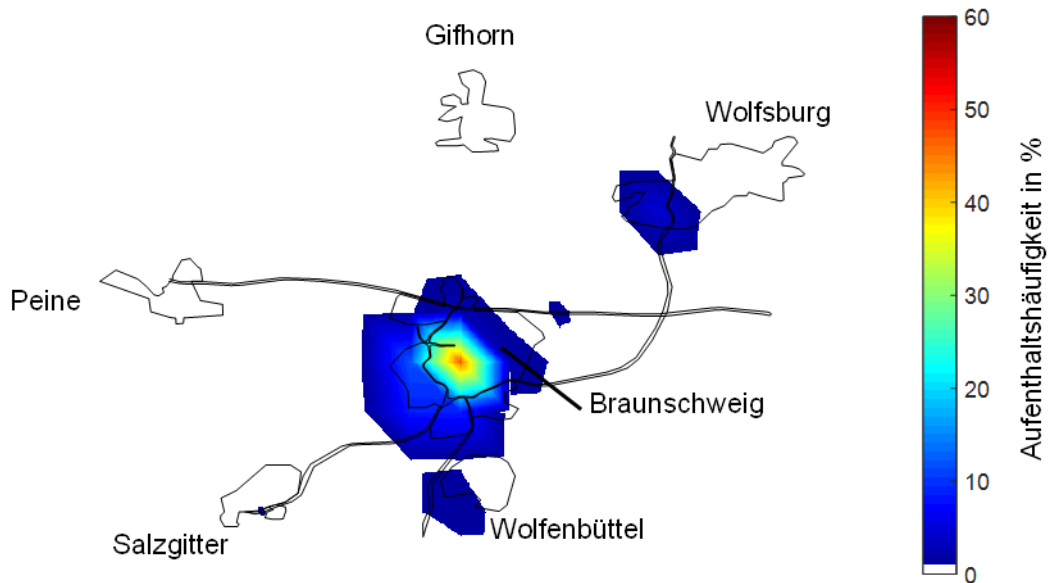
Standort haben. Demgegenüber ist das Versorgungsgebiet von BS|ENERGY räumlich stärker auf Braunschweig begrenzt bzw. es werden Fahrzeuge direkt an weiter entfernten Standorten eingesetzt. Ein Beispiel dafür ist ein Smart, der bei den zu BS|ENERGY gehörenden Stadtwerken Gifhorn eingesetzt wurde. Dadurch mussten seltener weiter entfernte Ziele angefahren werden. Dies verdeutlichen Abbildung 24 bis Abbildung 26, in welchen die Aufenthaltshäufigkeiten als Hotspots auf einer Kartendarstellung gezeigt sind.



**Abbildung 24: Aufenthaltshäufigkeit des Smart ED bei BSN, welcher teilweise in Gifhorn und teilweise in Braunschweig stationiert war**



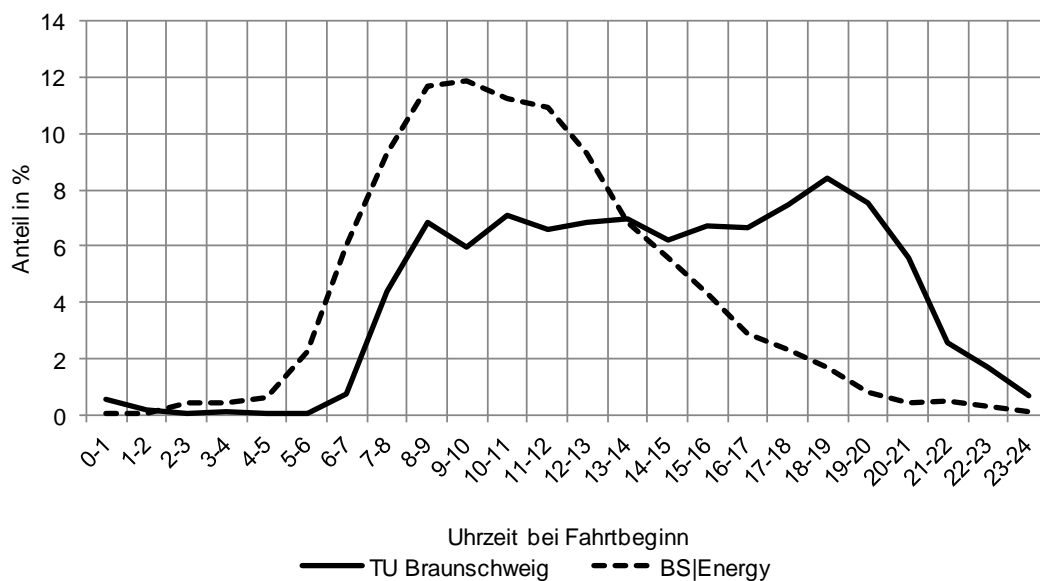
**Abbildung 25: Aufenthaltshäufigkeit der Smart ED bei BSN, welche in Braunschweig stationiert waren (ohne Fahrzeug aus Abbildung 24)**



**Abbildung 26: Aufenthaltshäufigkeit der Fahrzeuge an der TU Braunschweig**

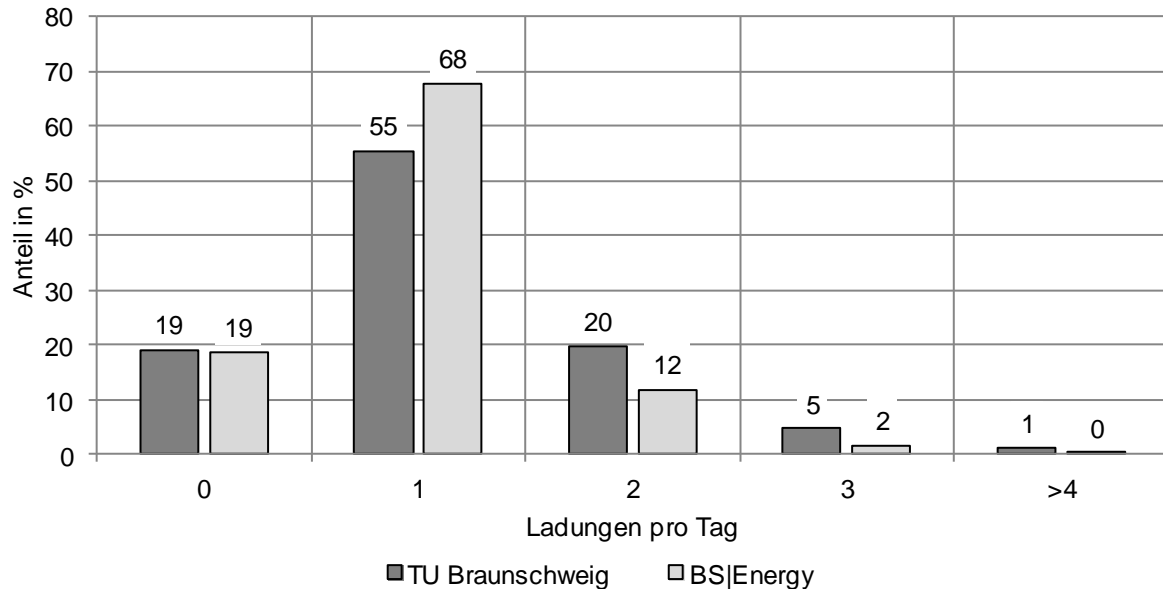
Die Fahrzeuge, welche bei BSN in Braunschweig eingesetzt wurden, weisen Hotspots im Stadtgebiet Braunschweigs auf (vgl. Abbildung 25). Bei dem Smart ED, welcher zeitweise bei den Stadtwerken Gifhorn genutzt wurde, zeigt Abbildung 24 dementsprechend größere Häufigkeiten in Gifhorn und Braunschweig. Demgegenüber weisen die Fahrzeuge an der TUBS (Abbildung 26) eine größere räumlich Verteilung auf. Auch diese Fahrzeuge wurden überwiegend in Braunschweig genutzt, es gab jedoch auch häufiger Aufenthalte in Wolfenbüttel und Wolfsburg.

Unterschiede zwischen den beiden Flottenszenarien zeigen sich auch in der Verteilung der Fahrten über den Tagesverlauf (vgl. Abbildung 27). Es wird deutlich, dass bei BS|ENERGY die meisten Fahrten zwischen 6 und 16 Uhr stattfanden, mit einem Maximum bei Fahrten zwischen 8 und 12 Uhr. Abends und nachts waren hingegen nur sehr wenige Fahrten zu verzeichnen. Demgegenüber ist die Verteilung der Fahrten an der TU Braunschweig tagsüber deutlich gleichmäßiger. Es gibt kein vergleichbar klar ausgeprägtes Maximum wie bei BS|ENERGY, stattdessen wurden zwischen 8 und 21 Uhr die Fahrten mit fast gleicher Häufigkeit angetreten. Auch am späten Abend und in der Nacht gab es bei den Fahrzeugen an der TU eine größere Fahrthäufigkeit als bei BS|ENERGY. Ein Grund dafür ist sicherlich, dass die Fahrzeuge an der TU von den Mitarbeitern auch privat genutzt werden konnten.



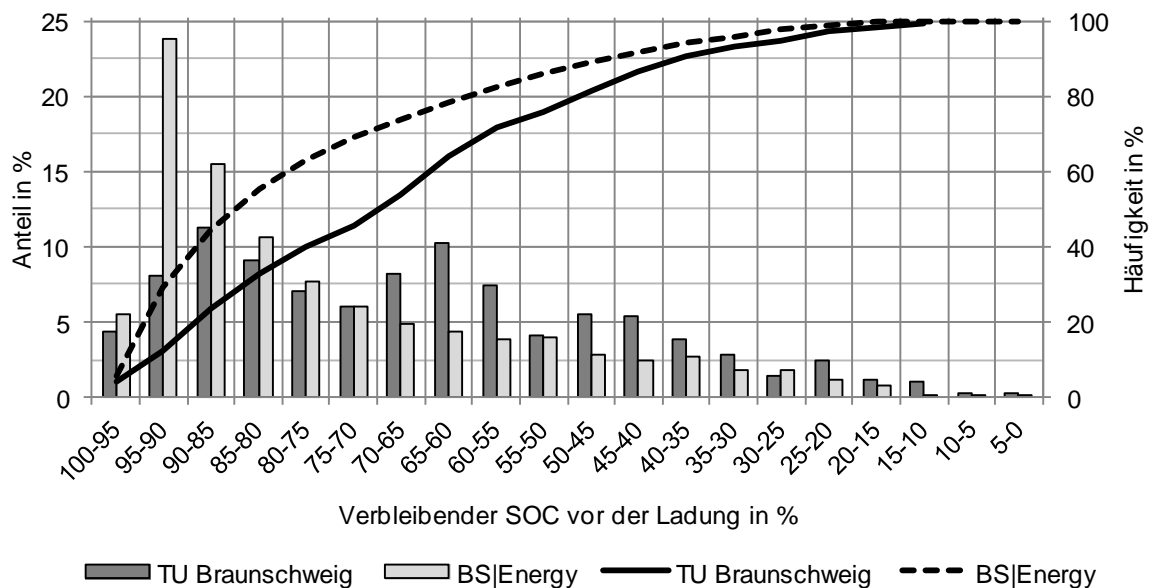
**Abbildung 27: Häufigkeitsverteilung der Uhrzeit bei Fahrtbeginn für BS|ENERGY und TU Braunschweig**

Abbildung 28 zeigt die Häufigkeit der durchgeführten Ladevorgänge pro Tag. Demnach wurden die Fahrzeuge in beiden Szenarien meistens einmal pro Tag geladen. An etwa 20% der Tage wurde nach einer Nutzung keine Ladung durchgeführt. Die Fahrzeuge an der TU wurden häufiger mehrfach pro Tag geladen. Die Häufigkeitsverteilung des SOC vor dem jeweiligen Ladebeginn zeigt Abbildung 29.



**Abbildung 28: Häufigkeit der Anzahl an Ladungen pro Tag (ohne e-up!)**

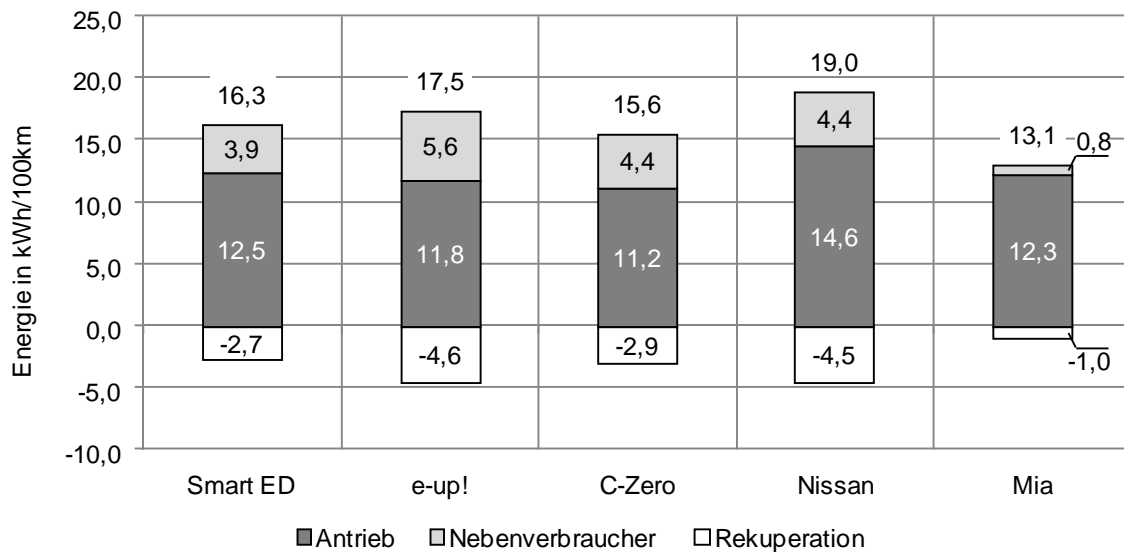
Die Fahrzeuge in beiden Szenarien wurden häufig bei relativ hohem SOC geladen. Insbesondere die Fahrzeuge von BS|ENERGY wiesen vor dem Ladebeginn einen SOC größer 80% auf. An der TU Braunschweig wurden die Fahrzeuge stärker entladen, nur in 50% der Fälle betrug der SOC mehr als 65%. Dies kann auch auf die größere Tageslaufleistung zurückgeführt werden.



**Abbildung 29: Häufigkeitsverteilung des verbleibenden SOC der Batterie vor der Ladung, ohne e-up!**



Der durchschnittliche Energieverbrauch durch den Antrieb (Fahrwiderstände und Verluste) und die Nebenverbraucher (insb. Klimatisierung) sowie die mittlere durch Rekuperation zurückgewonnene Energie über die Dauer der Vermessung ist in Abbildung 30 dargestellt.



**Abbildung 30: Mittlerer Energieverbrauch für Antrieb und Nebenverbraucher sowie durch Rekuperation zurückgewonnene Energie (an Batterie)**

Zwischen den Fahrzeugen gab es relativ große Unterschiede im Verbrauch zu verzeichnen. Während bei der Mia der Verbrauch mit ca. 13 kWh/100km am geringsten ausfiel, verbrauchte der Nissan eNV200 19 kWh/100km. Diese Differenz ist im Wesentlichen auf die unterschiedlichen Fahrzeugparameter zurückzuführen. Der eNV200 ist wesentlich schwerer (eNV200: 2220kg, Mia: 765kg) und die Stirnfläche ist wesentlich größer. Insgesamt zeigte sich, dass der Antriebsverbrauch bei allen Fahrzeugen des A-Segments vergleichbar war. Während VW e-up! und Citroën C-Zero ähnliche Fahrzeugparameter aufweisen und auch ähnliche Antriebsverbräuche erzielten, waren diese bei Smart ED und Mia höher, obwohl diese deutlich leichter sind. Insbesondere die Mia schneidet unter Berücksichtigung ihres geringen Gewichts und der geringen Antriebsleistung im Vergleich eher schlecht ab.

Bei der Betrachtung der rekuperierten Energie zeigt sich der große Einfluss der unterschiedlichen Antriebsstopologien. Smart ED, Citroën C-Zero und Mia besitzen einen Heckantrieb, wohingegen VW e-up! und Nissan eNV200 frontgetrieben sind. Da beim Bremsen an der Vorderachse größere Bremskräfte möglich sind als an der Hinterachse (aufgrund der Kraftschlussverhältnisse), kann die E-Maschine bei einem größeren Drehmoment bzw. einer höheren Leistung betrieben werden und dadurch mehr Energie zurückgewinnen.

Signifikante Unterschiede zwischen den Fahrzeugtypen zeigten sich in Bezug auf den Nebenverbrauch gemäß Abbildung 30. Dieser war bei der Mia am geringsten, was jedoch durch das Fehlen einer Klimaanlage sowie die sehr geringe Heizleistung bedingt war. Ferner zeigt Abbildung 21, dass gerade im Winter, in welchem der Nebenverbrauch stark ansteigt (siehe Abbildung 34), das Fahrzeug nur selten oder nicht genutzt wurde. Zwischen Smart ED, VW e-up! und Citroën C-Zero zeigten sich ebenfalls deutliche Unterschiede. Nicht zuletzt durch den kleineren Fahrgastraum und die dadurch bedingt geringeren thermischen Massen (Einbauten und Luftvolumen) war der Nebenverbrauch beim Smart ED am geringsten. Der VW e-up! wies den höchsten Nebenverbrauch auf. Im Fall des eNV200 muss ebenfalls beachtet werden, dass dieses Fahrzeug nicht im Winter betrieben wurde (vgl. Abbildung 21), sodass der Nebenverbrauch bei einem ganzjährigen Betrieb deutlich höher ausfallen wird.

Die Abbildung 31 bis Abbildung 33 zeigen die nach Monaten aufgeschlüsselten, gemittelten Energieverbräuche für die Smart ED, VW e-up! und Citroën C-Zero. Neben den Verbräuchen für Antrieb und Nebenverbraucher ist der Gesamtenergieverbrauch aufgeführt.

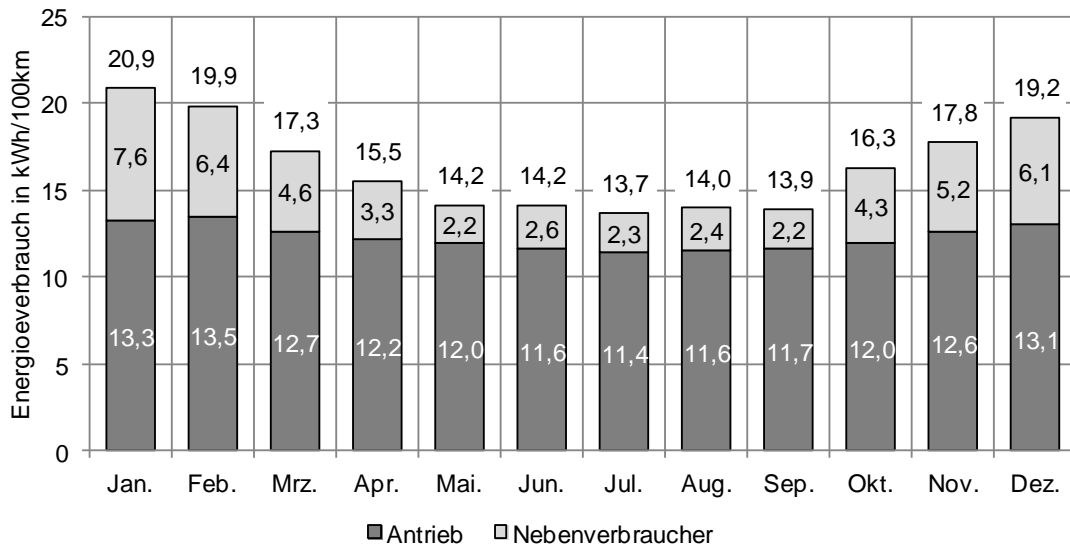


Abbildung 31: Energieverbrauch für Antrieb und Nebenverbraucher sowie Gesamtverbrauch des Smart ED aufgeschlüsselt nach Monaten

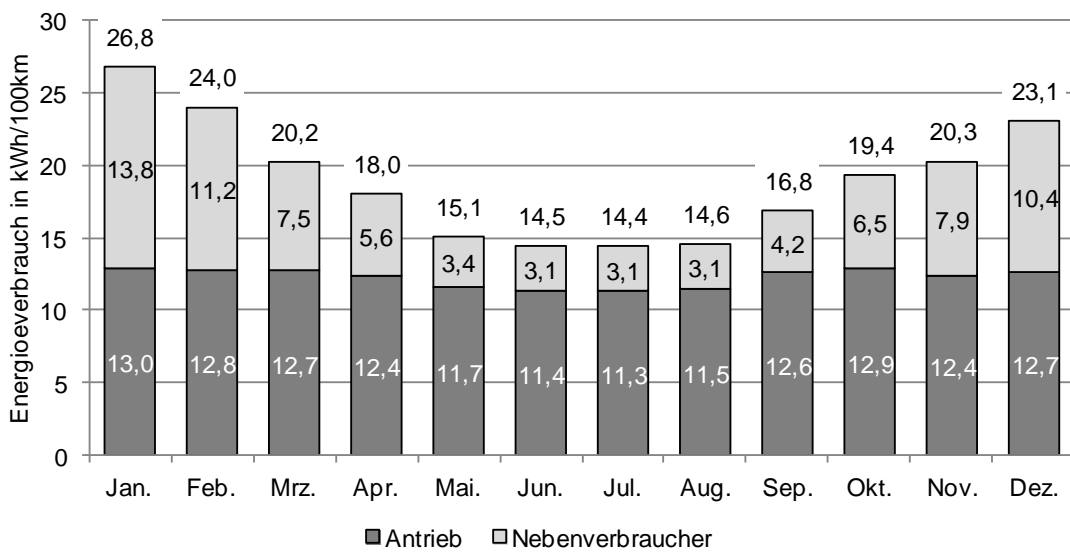
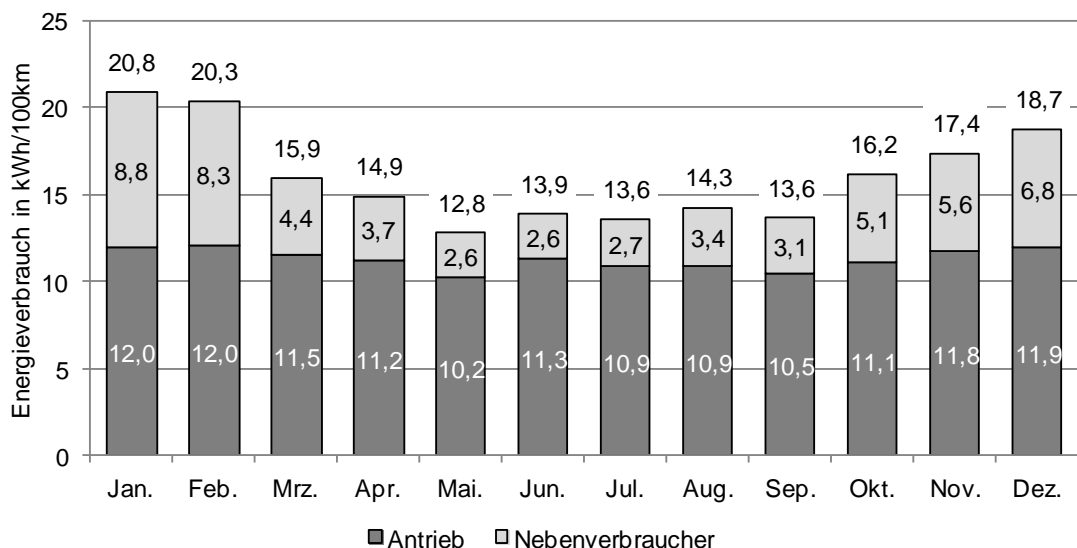
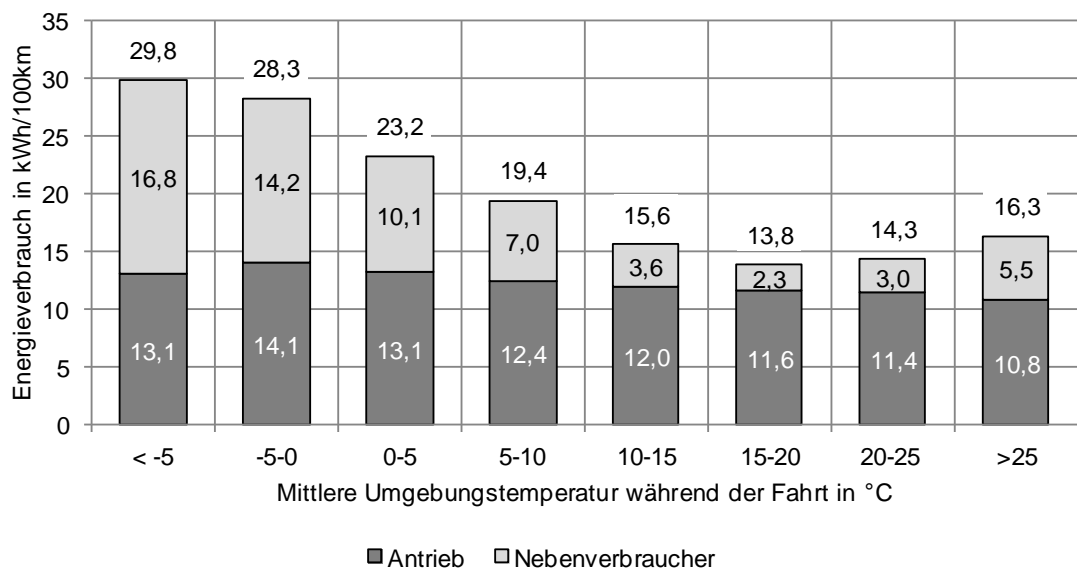


Abbildung 32: Energieverbrauch für Antrieb und Nebenverbraucher sowie Gesamtverbrauch des VW e-up! aufgeschlüsselt nach Monaten



**Abbildung 33: Energieverbrauch für Antrieb und Nebenverbraucher sowie Gesamtverbrauch des Citroën C-Zero aufgeschlüsselt nach Monaten**

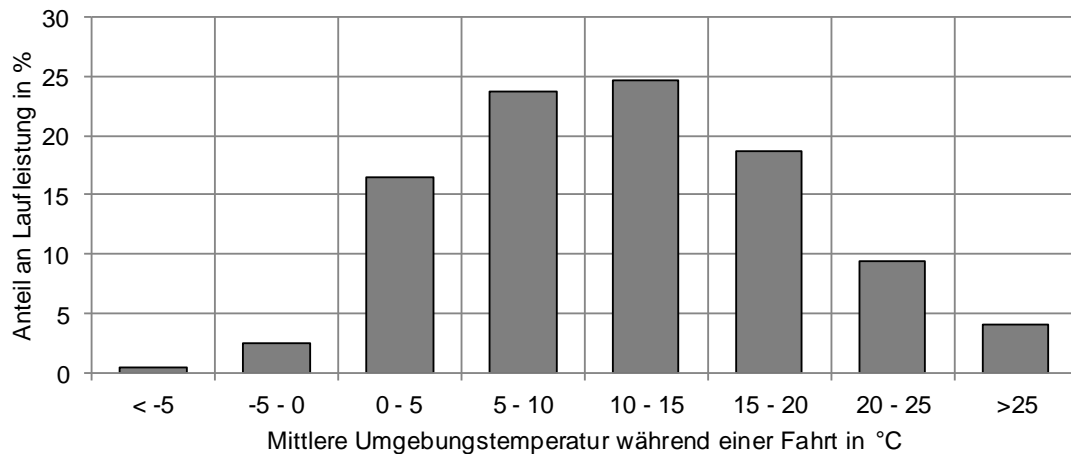
Der Vergleich der Antriebsenergieverbräuche zeigt, dass dieser bei allen Fahrzeugen zwischen den Monaten nur wenig variiert. Im Gegensatz dazu zeigt sich der große Einfluss der Jahreszeit bzw. der Umgebungstemperatur auf den Nebenverbrauch. Dieser war in den Wintermonaten wesentlich größer als im Sommer. Zwischen Dezember und Januar betrug der Anteil der Nebenverbraucher am Gesamtverbrauch zwischen ca. 36 und ca. 52%. Abbildung 34 verdeutlicht die Auswirkung der Umgebungstemperatur auf den Energieverbrauch exemplarisch für den Smart ED.



**Abbildung 34: Energieverbrauch für Antrieb und Nebenverbraucher des Smart ED bei unterschiedlichen mittleren Umgebungstemperaturen**

Unterhalb von 0°C lag der Anteil der Nebenverbraucher am Gesamtverbrauch bei über 50%. Mit steigender Temperatur sank der Verbrauch und erreichte zwischen 15 und 20°C seinen geringsten Wert. Oberhalb von 20°C erhöhte sich der Nebenverbrauch wieder. Insgesamt war der Nebenverbrauch bei geringen Temperaturen deutlich höher. Ein Grund dafür ist die deutlich größere Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Umgebung, welche einen höheren Wärmeverlust verursacht. Ein weiterer Grund liegt in der Technologie, welche zum Heizen bzw. Kühlen verwendet wird. Während zur Kühlung eine Kompressionskälteanlage verwendet wird, kommt zum Heizen ein elektrisches Heizelement zum

Einsatz. Durch eine geeignete Verschaltung der Kompressionskälteanlage kann diese auch als Wärmepumpe arbeiten. Dabei kann aus der Umgebung sowie den Komponenten des Antriebsstrangs Wärme gewonnen und damit der Innenraum beheizt werden. Wie (Jugert und Fischer 2014), (Milaković et. al. 2016) sowie (Suck und Spengler 2014) zeigten, führt eine Wärmepumpe zu einer signifikanten Energieeinsparung von bis zu 50%. Insbesondere bei Temperaturen zwischen 0 und 15°C kann diese hohe Einsparung erzielt werden. Wie Abbildung 35 zeigt, ist dieser Bereich auch besonders relevant, da beispielsweise die Smart ED von BSN den größten Teil (>60%) ihrer Laufleistung in diesem Temperaturbereich absolviert haben.



**Abbildung 35: Anteil der Laufleistung bei unterschiedlichen mittleren Umgebungstemperaturen für die Smart ED von BSN**

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in **AP 1.1** zeigt die folgende Tabelle 4.

**Tabelle 4: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 1.1**

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>IFAM</u>	Zuarbeit für Anforderungskatalog, der die für den Aufbau der Simulationsumgebung relevanten Größen beinhaltet; Auswahl und Beschaffung von Datenloggern; Recherche und Definition der am besten geeigneten fahrzeugseitigen Schnittstellen für die Integration der Messtechnik in die Fahrzeuge; Ableitung von Messstrategien zur Identifikation des Fahrerverhaltens im Flotten und Poolkonzept-Betrieb durch Ermittlung notwendiger Abstraten; Aufbau einer Datenbank zur Messdatenspeicherung und -visualisierung auf Basis vorhandener BEV-Daten; Entwicklung und Erprobung eines WebFrontEnds.
<u>IFF</u>	Mitarbeit bei der Erarbeitung des Anforderungskatalogs für die messtechnische Erfassung und die aufzuzeichnenden Signale sowie der Entwicklung einer abgestimmten prägnanten Namenskonvention zur präzisen Identifizierung von Mess- und Simulationskanälen; Konzeption und Integration der Messtechnik in fünf Fahrzeuge. Identifizierung von CAN-Bus-Signalen von zwei Fahrzeugtypen; Wartung der Messtechnik und Sicherstellung der Datenübertragung durch regelmäßige Überprüfung der Funktionsfähigkeit sowie Identifikation und Behebung von Fehlern. Vorbereitung der wöchentlichen Plausibilisierung mit allen Modul-Partnern; Umfangreiche Datenanalysen hinsichtlich des Nutzerverhaltens und Energieverbrauchs der Fahrzeuge. Bereitstellung der Daten an alle Projektpartner. Aufbereitung und Auswertung von Daten gemäß den Anforderungen aus weiteren Modulen, insb. Modul 3 und 4; Unterstützung bei der Erstellung von Software-Sequenzen zur automatisierten Übertragung. Plausibilisierung und Auswertung der Messdaten bei der Übertragung in die Datenbank.
<u>TLK</u>	Mitarbeit bei der Analyse und Bewertung der bei den Partnern bereits verfügbaren Fahrzeugdaten hinsichtlich der Verwertbarkeit innerhalb von Fleets Go Green; Definition der Erstellung eines Anforderungskatalogs der bei den Flottenversuchen aufzuzeichnenden Fahrzeugdaten. Entwicklung einer abgestimmten prägnanten Namenskonvention zur präzisen Identifizierung von Mess- und Simulationskanälen; Erarbeitung eines Konzepts für den Einbau der Hochvoltmesstechnik sowie Auswahl der notwendigen Messsensoren. Koordinierung des Einbaus. Erstellung der Messkonzeption für den Nissan eNV; Erarbeitung des Vorgehens zur Straßenzulassung für die detailliert zu vermessenden Fahrzeuge mit allen Beteiligten. Umsetzung des Zulassungsprozesses; Zusammenstellung von Kriterien zur Plausibilisierung und Validierung

	der Messdaten auf dem Datenserver, Erarbeitung von Skripten zur Datenumwandlung und plakativen Darstellung der GPS-Daten auf zoombaren Kartenhintergründen. Aufbau eines Prozesses für die Messdatenplausibilisierung sowie für die Messdatenauswertung. Unterstützung bei der regelmäßigen Datenplausibilisierung; Erzeugung und Plausibilisierung von Fahrdaten für die Validierung von Simulationsmodellen. Temporäre Aufnahme von Innenraumtemperaturen anhand standardisierter VDA-Temperaturmessstellen zur Validierung des Innenraummodells für die Gesamtfahrzeugsimulation. Durchführung und Auswertung von Lademessungen zur Bestimmung der Verluste in Abhängigkeit verschiedener Randbedingung wie z.B. der Ladeleistung.
<u>IMC</u>	Mitarbeit beim Erstellen eines Messkonzeptes für die auszurüstenden Fahrzeuge hinsichtlich digitaler und analoger Messdatengenerierung und Messdatenstruktur; Unterstützung beim Einbau und der Konfiguration der Messtechnik; Integration der imc-Hardware sowie Mithilfe bei der Integration fremder Messhardware in bestehende Netzwerkinfrastrukturen; Entwicklung und Einrichtung eines zentralen Datenbankservers; Erstellen eines Datenbankmodells zur zentralen Speicherung der aufgenommenen Messdaten sowie der berechneten Kenngrößen; Kontinuierliche Pflege und Erweiterung der Datenbank; Erstellen von Softwaresequenzen zur Installation einer verlässlichen automatisierten Prozesskette, um Messdaten von den Messgeräten zum Datenbankserver zu transferieren; Erstellen von Softwaresequenzen zur Analyse, Weiterverarbeitung und Plausibilisierung der Rohmessdaten; Erstellen eines messdatenbasierten WebFrontEnds in Zusammenarbeit mit dem IFAM sowie Unterstützung bei der Anbindung des Frontends an die Datenbank.
<u>IME</u>	Mitarbeit bei der Erstellung eines Anforderungskatalogs für die in Flottenversuchen aufzuzeichnenden Fahrzeuggrößen; Mitarbeit bei der Erstellung der Messtechnikkonzepte für die einzelnen Fahrzeugmodelle; Unterstützung bei der CAN-Bus-Identifikation; Einbau von Datenloggern in die beschafften Fahrzeuge; Softwareanpassung der Datenlogger für den Auswerteprozess; Unterstützung bei der regelmäßigen Datenplausibilisierung; Wartung der eingesetzten Messtechnik
<u>VW</u>	Mitarbeit bei der Erstellung eines Anforderungskatalogs für die in Flottenversuchen aufzuzeichnenden Fahrzeuggrößen; Mitarbeit bei der Erstellung der Messtechnikkonzepte für die einzelnen Fahrzeugmodelle; Erarbeitung eines Messtechnikkonzepts für die VW e-up!; Mitarbeit bei der Entwicklung einer abgestimmten Namenskonvention zur präzisen Identifizierung von Messkanälen; Erarbeitung von Kriterien für die Datenplausibilisierung und Unterstützung bei der Umsetzung in einem automatisiertem Skript; Unterstützung bei der Messdatenvalidierung; Erstellung einer automatisierten Energieverbrauchsauswertung und kontinuierliche Berichterstattung im Projekt

### 2.1.2. AP 1.2: Aufbau eines modularen Simulationsmodells

Das Ziel des **AP 1.2** war es, neben der Vermessung der Fahrzeuge zusätzlich ein modulares Simulationsmodell aufzubauen, um weitere Daten generieren sowie Parametervariationen durchführen zu können. Der modulare Systemaufbau sollte hierbei die schnelle Adaption auf verschiedene Antriebs- und Fahrzeugkonzepte und die Abbildung komponentenspezifischer Energieverbräuche ermöglichen. Das **AP 1.2** gliederte sich hierzu in die folgenden Arbeitsschritte:

- **AS 1.2.1** Aufbau von Komponentenmodellen
- **AS 1.2.2** Modellierung thermischer Systeme
- **AS 1.2.3** Aufbau Gesamtfahrzeugmodell
- **AS 1.2.4** Plausibilisierung des Gesamtfahrzeugverhaltens

Im Folgenden wird der Aufbau der wesentlichen Komponentenmodelle einschließlich der thermischen Systeme sowie der gekoppelten Gesamtfahrzeugsimulation dargestellt. Darüber hinaus wird auf die Plausibilisierung der Teilmodelle und des Gesamtfahrzeugmodells eingegangen.

#### **E-Maschinen-Modelle**

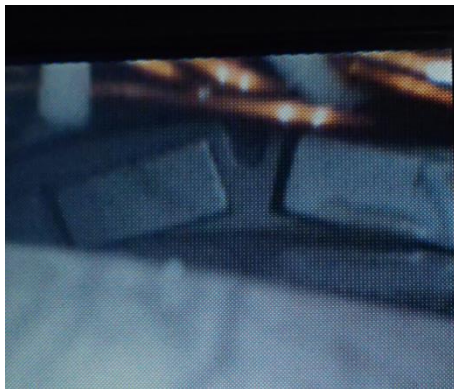
Vom IFAM wurden die Modelle der E-Maschinen erstellt. Die ausgewerteten Fahrzeuge in diesem Projekt verfügen alle über einen Zentralantrieb. Für die Komponentenmodelle sind die am häufigsten verbauten E-Maschinentypen – Asynchron- und Synchronmaschine – gewählt worden. Da die E-Maschine mit Abstand der größte Energieverbraucher im Fahrzeug ist, müssen mechanische Antriebsleistung und Verlustleistung möglichst genau bestimmt werden. Dazu bietet sich die Finite-Elemente-Methode (FEM)

an. Zunächst wurden mithilfe einer FEM-Software realitätsnahe Simulationsmodelle der in den Fahrzeugen verbauten Asynchron- bzw. Synchronmaschinen aufgebaut und über den gesamten Drehmoment-/Drehzahlbereich berechnet. Eines dieser Simulationsmodelle ist anhand der permanentmagneterregten Synchronmaschine (PMSM, siehe Abbildung 36) inklusive des Umrichters, welche für die Komponententests beschafft wurden, aufgebaut worden.



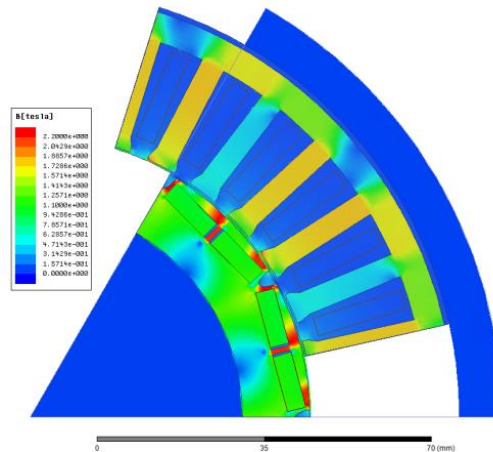
**Abbildung 36: Permanentmagneterregte Synchronmaschine (PMSM) der Fa. Bosch**

Für das Erstellen des FEM-Modells ist die Kenntnis des sogenannten Blechschnitts, d.h. die Rotor- und Statorgeometrie der elektrischen Maschine erforderlich. Diese Daten wurden von Bosch leider nicht zur Verfügung gestellt und konnten nicht alle der PMSM entnommen werden, da sich diese nicht zerstörungsfrei öffnen ließ. Die Rotorgeometrie konnte jedoch mithilfe von Endoskopie-Aufnahmen hinreichend genau ermittelt werden (siehe Abbildung 37).



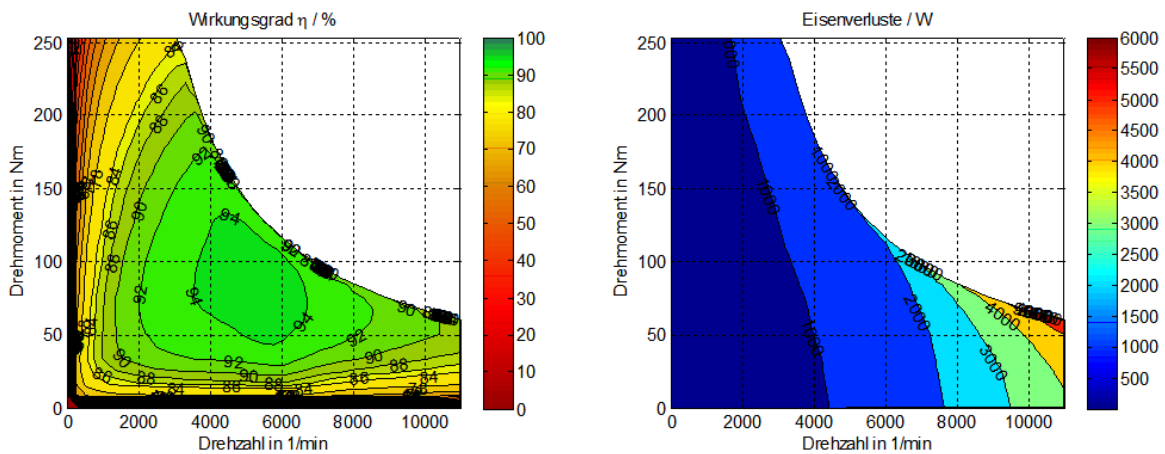
**Abbildung 37: Endoskopie-Aufnahmen zur Ermittlung der Magnet- und Polgeometrie des Rotors**

Die Statorgeometrie wurde unter Berücksichtigung der technischen Unterlagen des Motors sowie entsprechender Erfahrungswerte definiert. Das resultierende FEM-Modell ist erfolgreich aufgebaut und berechnet worden (siehe Abbildung 38).



**Abbildung 38: Magnetische Induktionsverteilung der Symmetrieeinheit des FEM-Modells**

Neben den Stromwärmeverlusten der Ständerwicklung im elektrischen Kreis konnten auch sehr genau die Verluste im magnetischen Kreis, wie Eisenverluste in den Elektroblechen oder auch Verluste durch induzierte Wirbelströme in den Permanentmagneten, temperaturabhängig vorausberechnet werden. Anschließend wurden diese Daten im Post-Processing mithilfe einer Matlab-Routine unter Berücksichtigung der entsprechenden Maschinengrenzen wie Spannung, Drehmoment, Drehzahl und Strom zu Kennfeldern generiert. Diese Berechnungsroutine für die Kennfelder berücksichtigt zusätzlich anfallende Verluste in der zum Betrieb benötigten Leistungselektronik durch parametrierbare Daten. Somit können diese einmalig berechneten Kennfelder auch auf andere Leistungsklassen des gleichen Maschinentyps skaliert werden, wobei die dadurch unvermeidliche Ungenauigkeit für diesen Zweck als hinreichend gering angenommen werden kann. Somit konnten mithilfe der Simulationsmodelle für die PMSM und ASM Kennfelder für alle Fahrzeugtypen im Projekt abgeleitet und bestimmt werden. Beispielhafte Kennfelder einer PMSM zeigt Abbildung 39.



**Abbildung 39: Beispielhafte Kennfelder einer PMSM**

Die ermittelten Kennfelder für Wirkungsgrad und Verluste wurden als Lookup-Table dem Simulationsmodell „Elektromotor“ unter Matlab/Simulink zur Verfügung gestellt. Weiterhin ist am IFAM das Simulationsmodell „DCDC-Wandler“ in der Matlab/Simulink Umgebung erstellt worden.

In einem transienten Temperaturmodell wird die zusätzliche Eigenerwärmung durch die intern anfallenden Verluste in den einzelnen Wärmezonen der E-Maschine wie u.a. im Wickelkopf, Zahn, Rotor und Gehäuse durch die Rückführung eines  $k_r$ -Faktors berücksichtigt. Damit unterliegt die Erwärmung der E-Maschine der z.B. im NEFZ hinterlegten zeitabhängigen Lastwechsel. Ein vereinfachtes Flussdiagramm zeigt Abbildung 40.

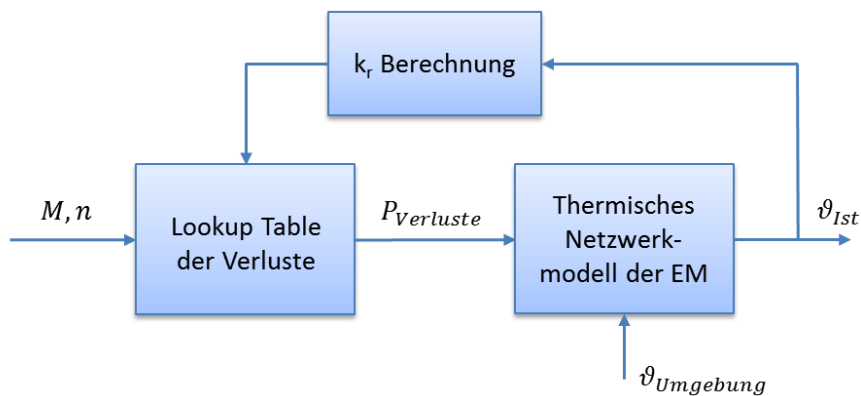


Abbildung 40: Flussdiagramm des thermischen Komponentenmodells der E-Maschine

### Getriebe- und Achsgetriebemodell

Das vom IFF erstellte Getriebemodell ist ein kennfeldbasiertes Modell, in welchem das Schlepptomment über ein Kennfeld ermittelt wird. Dabei werden fahrzeugspezifisch Kennfelder verwendet, um die unterschiedlichen Getriebeübersetzungen zu berücksichtigen.

Das Schlepptomment ist dabei abhängig von Drehzahl und Drehmoment am Getriebeeingang sowie der Temperatur des Ölsumpfes, so dass auch das thermische Verlustverhalten berücksichtigt ist. Die Kennfelder wurden mit Hilfe eines validierten Simulationsmodells für Getriebeverluste generiert, welches am IFF entwickelt wurde. Dieses berücksichtigt den geometrischen Aufbau des Getriebes (Achsabstände, Position der Zahnräder und Lager etc.), Verluste aus Lagerung, Verzahnung, Dichtungen und die Interaktion mit dem Getriebeöl (Seidel und Küçükay 2015, Inderwisch 2015).

Alle untersuchten Fahrzeuge besaßen zweistufige Ein-Gang-Getriebe mit integriertem Achsgetriebe. Für die Berechnung der Kennfelder wurde daher die Annahme getroffen, dass die Getriebe in Bezug auf Geometrie, Lagerung, Dichtung, Ölfüllung und Maße ähnlich sind. Somit wurden die Übersetzungen fahrzeugspezifisch variiert.

Für das thermische Verhalten wurde die Wärmeübertragung durch Konvektion, Wärmeleitung und Strahlung modelliert. Dabei wurde auch ein Wärmeaustausch zwischen EM und Getriebe berücksichtigt, da die Rotorwelle der EM zugleich die Getriebeeingangswelle ist. Bei der Modellierung des Getriebes wurde eine Unterteilung in drei thermische Massen (Öl, Gehäuse sowie Radsatz bestehend aus Wellen, Zahnrädern und Lagern) als Ansatz gewählt. Diese unterschieden sich hinsichtlich des Materials (Berücksichtigung der spezifischen Materialeigenschaften) und ihrer Masse. Dabei wurde die Parametrierung auf Basis eines bekannten Ein-Gang-Getriebes vorgenommen und diese ebenfalls als konstant für alle Fahrzeuge angenommen. Der schematische Aufbau des Modells ist in Abbildung 41 dargestellt.

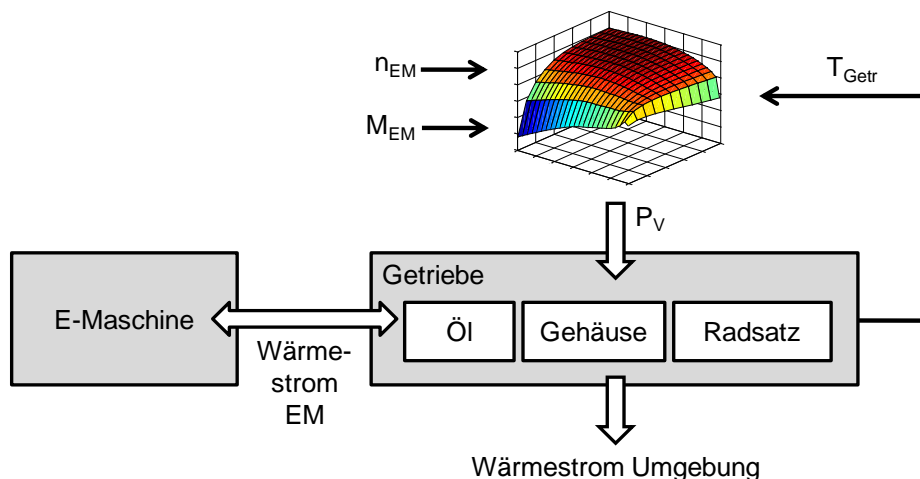


Abbildung 41: Struktur des Getriebemodells und der thermischen Bilanzierung



## Statistisches Fahrer- und Fahrumgebungsmodell

Am IFF wurde ein statistisches Fahrermodell erstellt, welches auf Basis der aufgezeichneten Messdaten das Verhalten der Fahrer repräsentativ abbildet. Grundlage stellt die am IFF entwickelte 3F-Methode dar, welche eine systematische Erfassung des Kundenbetriebs durch eine Einteilung in die Bereiche Fahrer, Fahrzeug und Fahrumgebung ermöglicht. Das Modell unterteilt sich in die Entscheidungs- und Handlungsebene.

In der Entscheidungsebene erfolgt die Bestimmung des Streckentyps und der Fahrgeschwindigkeit. Das Fahrumgebungsmodell ist der erste Bestandteil der Entscheidungsebene und bildet die Nutzung des Fahrzeugs auf unterschiedlichen Fahrstreckentypen ab. Auf Basis von Statistiken wird zunächst ein Straßentyp (Stadt, Land, Autobahn) ermittelt. Im nächsten Schritt wird die zurückgelegte Strecke auf diesem Typ bestimmt. Nachdem das Fahrzeug diese Strecke zurückgelegt hat, wird ein neuer Streckentyp ausgewählt. Dazu wurde ausgewertet, mit welcher Wahrscheinlichkeit welcher Streckentyp auf einen anderen folgt, beispielsweise ob sich an den Fahrumgebungstyp Stadt eher der Typ Land oder Autobahn anschließt. Für den neuen Streckentyp wird erneut eine Streckenlänge bestimmt und der Ablauf beginnt erneut. Im zweiten Teil der Entscheidungsebene wird nun in Abhängigkeit des Streckentyps eine Sollgeschwindigkeit ermittelt. Ausgehend von der Ist-Geschwindigkeit des Fahrzeugs wird eine neue Ziel- oder Orientierungsgeschwindigkeit generiert. Diese kann entweder größer oder kleiner sein, was ein Beschleunigungs- oder Verzögerungsmanöver zur Folge hat. Darüber hinaus wird eine Haltedauer für die Zielgeschwindigkeit bestimmt. Die Geschwindigkeiten und Haltedauern wurden ebenfalls aus den Messdaten extrahiert. Nach Ablauf der Haltedauer oder nach einem Fahrumgebungswechsel, wird jeweils eine neue Zielgeschwindigkeit ermittelt.

Ist- und Zielgeschwindigkeit sind die wesentlichen Eingangsgrößen der Handlungsebene. In dieser Ebene wird die Interaktion des Fahrers mit dem Fahrzeug abgebildet. Abhängig davon, ob die Ist-Geschwindigkeit größer, kleiner oder (ungefähr) gleich der Zielgeschwindigkeit ist, wird ein Beschleunigungs- oder Verzögerungsmanöver eingeleitet bzw. die Geschwindigkeit gehalten. Die hinterlegten Statistiken sind abhängig sowohl von der Ist- als auch von der Sollgeschwindigkeit. Für jede Kombination der beiden Geschwindigkeiten gibt es Häufigkeitsverteilungen, welche ebenfalls aus den Messdaten gewonnen wurden. Beispielsweise die Fahrpedalbetätigung für einen Sprung von 30 auf 50 km/h. Wenn die Ist-Geschwindigkeit die Zielgeschwindigkeit erreicht, wird die Geschwindigkeit gehalten. In dieser Phase wird auch berücksichtigt, dass ein realer Fahrer eine Geschwindigkeit nicht exakt konstant hält, sondern diese einer gewissen Schwankung unterliegt.

Abbildung 42 zeigt schematisch den Ablauf bei der Bestimmung der Fahrereingaben im statistischen Fahrermodell.

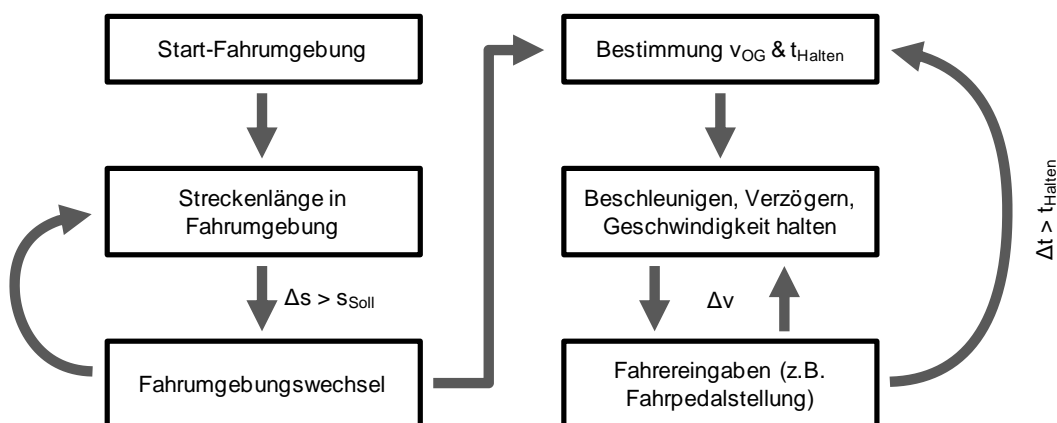


Abbildung 42: Schematische Darstellung der Bestimmung der Fahrereingaben im statistischen Fahrermodell

## Heiz-Klima-Modell

Das Heiz-Klima-System wurde von TLK unter Modelica/Dymola mittels der TIL-Modellbibliothek für thermische Komponenten und Systeme modelliert. Zwei verschiedene Systeme – eine konventionelle Widerstandsheizung (PTC) und eine Wärmepumpe mit CO<sub>2</sub> als Kältemittel – wurden modelliert, um verschiedene Heiz- und Kühlstrategien vergleichen und bewerten zu können.

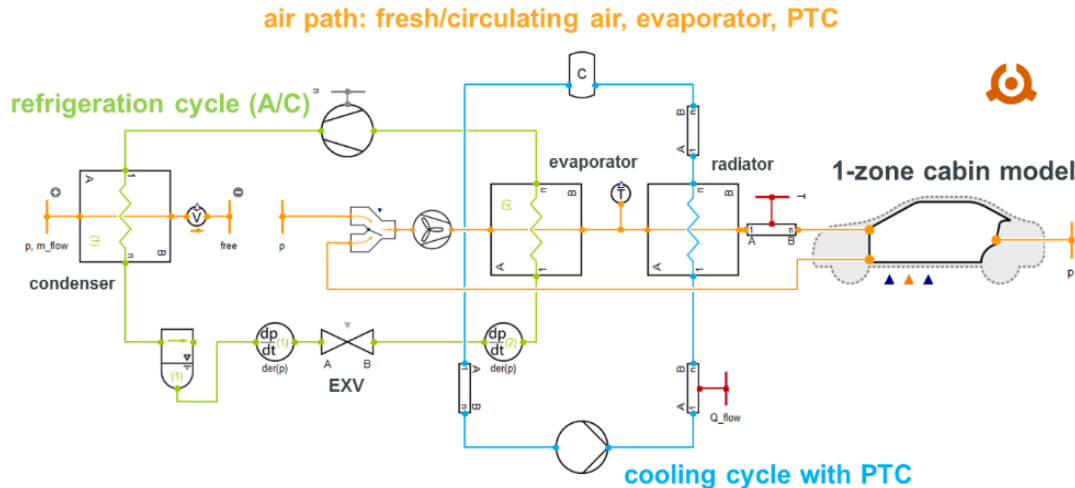


Abbildung 43: Heiz-Klima-System mit PTC

Das konventionelle Heiz-Klima-System mit einem PTC, dem Klimakreislauf, dem Kühlkreislauf und dem Luftpfad zum Innenraum ist in Abbildung 43 dargestellt. Der Klimakreislauf besteht aus einem Kompressor, einem Umgebungswärmeübertrager (Kondensator), einem Sammler, einem Expansionsventil und einem Verdampfer. Der Kühlkreislauf besteht aus einer Pumpe, dem PTC, einem Wärmeübertrager und einem Expansionsbehälter. Das Kälte- sowie das Kühlmittel fließen dabei in der Reihenfolge gemäß Aufzählung durch die Komponenten. Die Luft zum Fahrgastraum passiert die Frischluft-Umluft-Klappe, das Gebläse, den Verdampfer des Kältekreislaufs, den Gaskühler des Kühlkreislaufs und die Rohrleitungen des Heiz-Klimagerätes, bevor sie in den Fahrgastraum eingebracht wird.

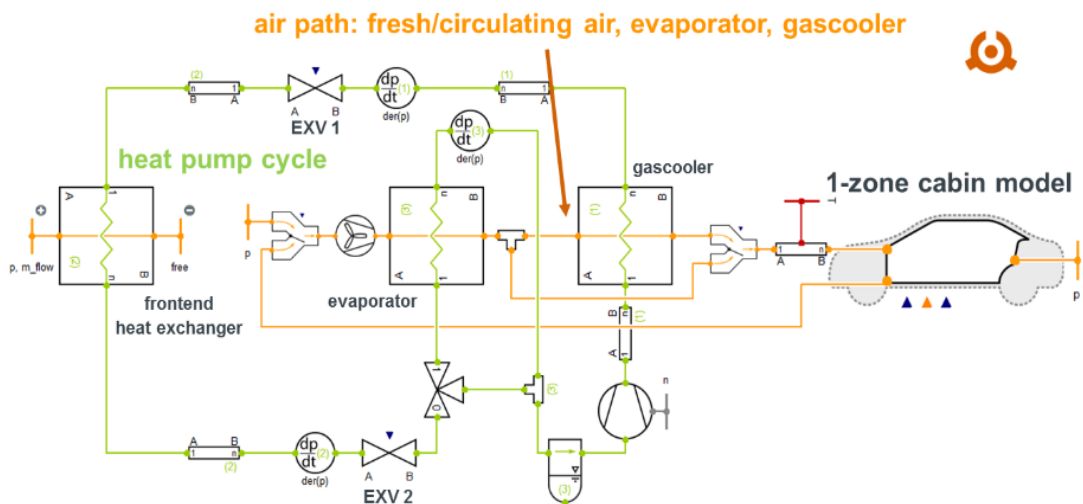


Abbildung 44: Heiz-Klima-System mit CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe

Abbildung 44 zeigt das Heiz-Klima-System, wenn eine CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe zum Heizen des Fahrgastraums genutzt wird. Die Wärmepumpe besteht aus einem Kompressor, einem Gaskühler, einem ersten Expansionsventil, einem Umgebungswärmeübertrager, einem weiteren Expansionsventil, einem 2/3-Wege-Ventil, einem Verdampfer und einem Sammler. Mithilfe des 2/3-Wege-Ventils können verschiedene Betriebsmodi eingestellt werden. Zum Heizen des Fahrgastraums wird das 2/3-Wege-Ventil so eingestellt, dass der Verdampfer gebypassed wird und das Kältemittel nur durch den Gaskühler und den

Umgebungswärmeübertrager geleitet wird. Dadurch kann der Umgebungsluft Energie entzogen werden, die danach auf einem höheren Temperaturniveau dem Fahrgastraum bereitgestellt wird. Wird das System zum Kühlen des Fahrgastraums genutzt, fließt das Kältemittel durch alle oben beschriebenen Komponenten. In diesem Fall wird im Luftpfad der Gaskühler gebypassed, um in den Fahrgastraum nur gekühlte Luft einzubringen. Abgesehen von dem Gaskühler-Bypass funktioniert der Luftpfad in der gleichen Weise wie oben für das konventionelle Klimatisierungssystem beschrieben.

### Komponententests

Gemäß gemeinsamer Absprache aller Projektpartner sollten die Komponentenmodelle E-Maschine und Traktionsbatterie anhand des Fahrzeugs Smart ED validiert werden. Daher wurden vom IFAM eine E-Maschine und eine Traktionsbatterie beschafft, die den technischen Daten der E-Maschine bzw. der Traktionsbatterie des Fahrzeugs entsprachen. Ein Bezug der Komponenten von Smart/Daimler war nicht möglich. Aus diesem Grund wurde eine Traktionsbatterie von der Firma e-Wolf (max. 350V, max. 55kW, Zellchemie LiMnNiCo, Kapazität 16kWh) und eine nahezu identische E-Maschine von der Firma Bosch (max. 420V, max. 80kW, max. 12.000U/min, Abbildung 36) beschafft.

Die Traktionsbatterie bestand aus zwei Batteriemodulen. Diese wurden zunächst in den Batterieprüfstand des IFAM eingebracht. Anschließend wurden die Module anhand der technischen Anleitungen miteinander verbunden (Abbildung 45). Es folgte eine aufwendige Parametrierung der Batterie, damit eine Kommunikation zwischen Prüfstandsrechner und Batteriemanagementsystem (BMS) der Batterie hergestellt werden konnte. Der sichere Betrieb der Batterie wurde dadurch ermöglicht.

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Versuche durchgeführt. Tabelle 5 zeigt den Versuchsplan für die Traktionsbatterie, welcher in Abstimmung mit den weiteren Projektpartnern in Modul 1 entwickelt und am IFAM durchgeführt wurde.

Es wurden während der Tests Strom und Spannung der Batterie aufgenommen. Weiterhin wurde aus diesen Daten der mittlere Innenwiderstand der Zellen berechnet. Für die Validierung des Batteriemodells wurden die Daten der Batterietests (gemäß Abbildung 46 und Abbildung 47) den Projektpartnern übergeben. Darauf aufbauend konnte das Batteriemodell optimiert und angepasst werden.

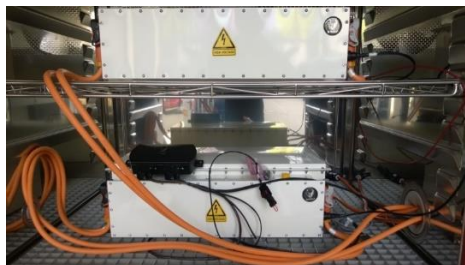


Abbildung 45: Zusammenschluss der zwei Batteriemodule

Tabelle 5: Versuchsplan der Traktionsbatterie-Tests

Umgebungstemperatur (°C)	SOC (%)	C-Rate	Umgebungstemperatur (°C)	SOC (%)	C-Rate
25	100...0	0,5	15	0...100	1
25	0...100	0,5	15	100...0	2
25	100...0	1	15	0...100	2
25	0...100	1	0	100...0	1
25	100...0	2	0	0...100	1
25	0...100	2	0	100...0	2
15	100...0	1	0	0...100	2

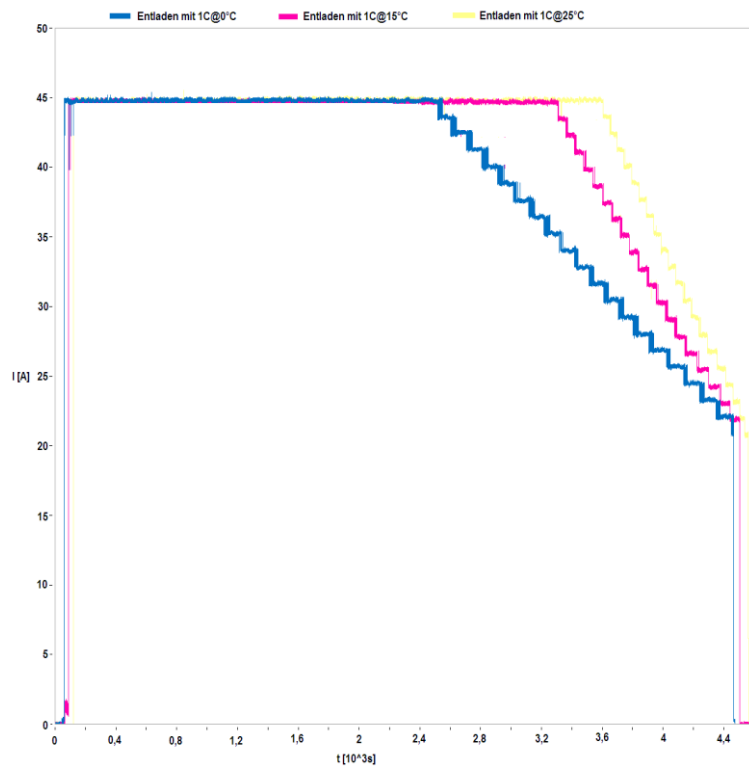


Abbildung 46: Zeitlicher Verlauf des Stroms bei Entladung der Traktionsbatterie mit 1C bei den Umgebungstemperaturen 0, 15 und 25°C

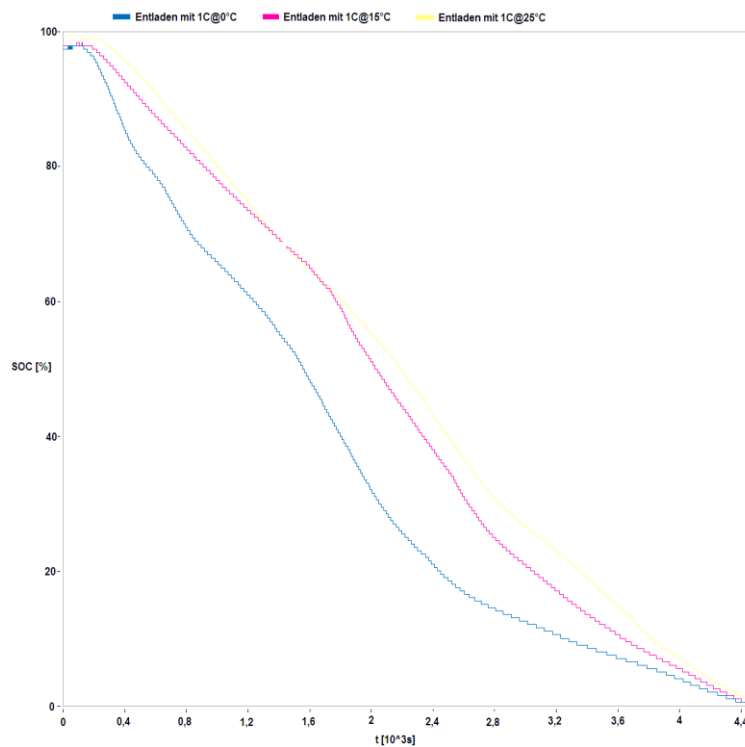


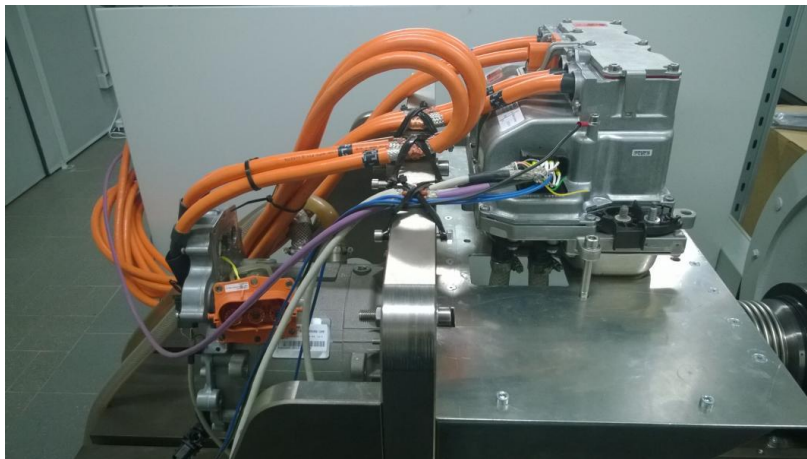
Abbildung 47: Zeitlicher Verlauf des SOC bei Entladung der Traktionsbatterie mit 1C bei den Umgebungstemperaturen 0, 15 und 25°C

Die Einheit „Elektrischer Antrieb“ bestand aus den Komponenten Elektromotor und einem dazugehörigen Frequenzumrichter. Zur Installation dieser Einheit wurden eine Steckwelle und eine Konsole (Abbildung 48) für den Umrichter gefertigt. Die E-Maschine wurde an einem Aufspannwinkel montiert (Abbildung 49), mittels Laser-Ausrichtgerät ausgerichtet und E-Motor/Umrichter am Kühlwassersystem

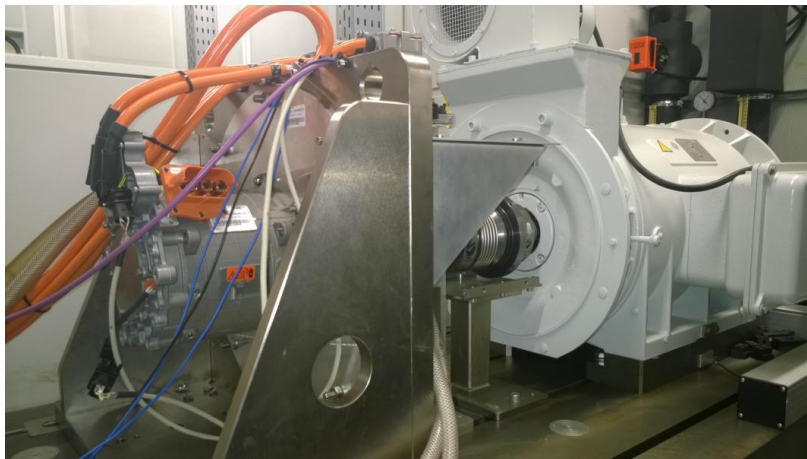
angeschlossen. Der erforderliche Kabelbaum ist am IFAM erstellt worden. Um den Umrichter in den aktiven Betrieb schalten zu können, wurde das Fahrzeugverhalten nachgebildet:

- CAN-Kommunikation (insb. Checksummenbildung)
- Zündung (Klemme 15)
- Zeitliche Zuschaltung der Traktionsspannung

Vor Prüfungsbeginn war es darüber hinaus erforderlich, die Einheit E-Maschine/Umrichter aufeinander einzustellen: Der permanenterregte E-Motor verfügt über einen Winkelsensor, der die Lage des Rotors dem Umrichter zur Verfügung stellt. Zum Einstellen des Winkelsensors ist eine vorgegebene Prozedur abzufahren. Der Umrichter wird über CAN-Botschaften in die Einstell-Betriebsart geschaltet. Die Lastmaschine des Prüfstands fährt die E-Maschine auf eine vorgegebene Drehzahl. Nachdem der Umrichter



**Abbildung 48: Konsole mit Frequenzumrichter**



**Abbildung 49: Aufspannwinkel mit Elektromotor**

via CAN-Kommunikation die erfolgreiche Einstellung meldet, können die Einstellungsdaten dauerhaft im Umrichter gespeichert werden.

Für die Plausibilisierung der E-Maschinen-Modellierung war es erforderlich, die realen Fahrzeugkomponenten zu vermessen. Vermessen wurden die Wicklungswiderstände und, entsprechend der Vorgaben aus der Simulation, Drehzahl- und Drehmomentenverläufe. Aus diesen Vorgaben wurden Lastdaten in einem für den Motorenprüfstand lesbarem Format erstellt. Während der Prüfung wurden die jeweiligen Last- und Drehzahlvektoren in die Software des Motorprüfstands importiert und automatisiert abgefahren. Im Anschluss wurden die aufgenommenen Messwerte in das Matlab-Format konvertiert und zur Auswertung und Plausibilisierung der E-Maschinen-Modellierung zur Verfügung gestellt. Tabelle 6 zeigt den Versuchsplan für die E-Maschinen-Tests.

**Tabelle 6: Versuchsplan der am Leistungsprüfstand des IFAM durchgeführte Messreihen an der E-Maschine der Fa. Bosch**

Drehmoment (Nm)	Drehzahl (min <sup>-1</sup> )
<b>50</b>	0 – 8000
<b>100</b>	0 – 8000
<b>150</b>	0 – 6000
<b>200</b>	0 – 4500

### **Gesamtfahrzeugmodell**

Für den Aufbau des Gesamtfahrzeugmodells wurde die Co-Simulation als zielführender Ansatz ausgewählt, als Software kam die Middleware TISC des Projektpartners TLK zum Einsatz. TISC stellt eine Co-Simulationsumgebung dar, mit deren Hilfe Berechnungsmodelle werkzeugübergreifend zu einem Gesamtsystem verbunden und simuliert werden können. Darüber hinaus bietet TISC über das TISC Center eine zentrale Bedienoberfläche für die Steuerung der Co-Simulation, die ein einfaches Hinzufügen, Entfernen oder Austauschen der beteiligten Teilmodelle ermöglicht.

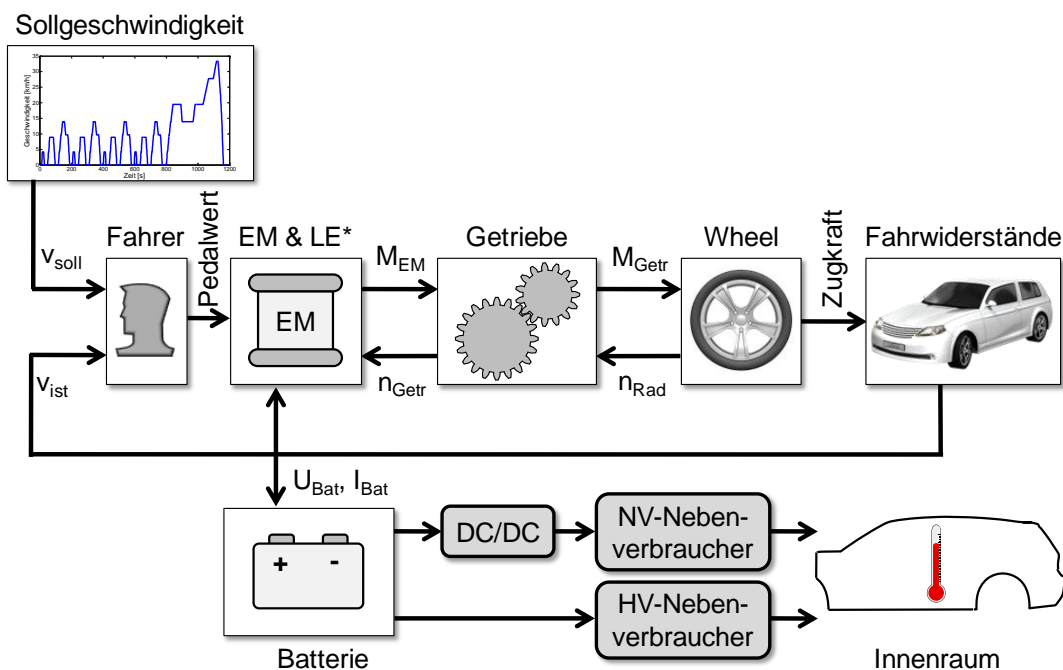
Die Teilmodelle wurden von den jeweils fachlich verantwortlichen Projektpartnern in den dort etablierten Simulationswerkzeugen modelliert und VW zur Verfügung gestellt. Zur Integration der Teilmodelle in eine Gesamtfahrzeugsimulation über die Middleware TISC wurden zunächst Schnittstellengrößen der Teilmodelle identifiziert und die Modelle entsprechend um diese erweitert. Ferner konnten über die zentrale Bedienoberfläche des TISC Centers globale Parameter vorgegeben werden, welche beispielsweise zur Parametrierung oder Initialisierung einzelner Teilmodelle verwendet werden können (Beispielsweise: Skalare Größen, wie die Umgebungstemperatur oder der Ladezustand der Traktionsbatterie zu Beginn der Simulation). Dies wurde durch Erweiterung der Teilmodelle um zusätzliche Schnittstellenelemente ermöglicht.

Zu den globalen Parametern zählen unter anderem Fahrwiderstandsparameter wie Fahrzeugmasse, Rollwiderstandsbeiwert, Reifenfülldruck sowie Luftwiderstandsbeiwert und Querspanntfläche des betrachteten Fahrzeugkonzeptes. Darüber hinaus können Initialwerte wie Komponententemperaturen, der Ladezustand der Traktionsbatterie sowie eine konstante, mittlere Nebenverbraucherleistung vorgegeben werden. Weitere Parameter waren Steuerungsgrößen wie die Simulationszeit. Diese richtet sich im Wesentlichen nach der zeitlichen Dauer des betrachteten Zyklus. Darüber hinaus können über das TISC-Center die numerischen Schrittweiten (sogenannte Makroschrittweiten) für die Kommunikation mit den Teilmodellen vorgegeben werden. Die Makroschrittweite definiert das Zeitintervall für den Datenaustausch. Es ist darauf zu achten, dass Modelle mit weniger dynamischen physikalischen Prozessen in der Regel einer höheren Schrittweite bedürfen als beispielsweise regelungstechnische Modelle mit einer hohen Dynamik.

Tabelle 7 zeigt eine Übersicht der in TISC eingebundenen Teilmodelle zur Simulation eines Elektrofahrzeugs. Zur Modellierung wurden in erster Linie Matlab/Simulink und Dymola/Modelica verwendet.

**Tabelle 7: Übersicht der Teilmodelle in der Gesamtfahrzeugsimulation für ein Elektrofahrzeug**

Teilmodelle
Elektrische Maschine (inkl. Leistungselektronik)
Motorsteuerung
Getriebe
Traktions- und Bordnetz
Motorkühlkreislauf u. Klimatisierung
Fahrzeuginnenraum
Fahrwiderstand
Rad u. Bremse
Fahrerregler
Zyklus



\*: E-Maschine & Leistungselektronik

**Abbildung 50: Schematische Darstellung des Signalfusses des Gesamtfahrzeugmodells als Vorwärtssimulation**

Das entstandene Gesamtfahrzeugmodell ist als Vorwärtssimulation ausgeführt, dessen Aufbau Abbildung 50 zeigt. Die Modelle des Antriebsstrangs bilden das mechanische, elektrische und thermische Verhalten der Komponenten ab. Das Fahrermodell bestimmt aus der Abweichung zwischen Soll- und Ist-Geschwindigkeit eine Fahr- und Bremspedalstellung. Alternativ kann das statistische Fahrermodell des IFF verwendet werden, welches das gemessene Fahrerverhalten statistisch wiedergibt. Auf dieser Basis der Pedalstellungen wird das Drehmoment der E-Maschine bestimmt, welches dann im Getriebe-Modell in das Radmoment gewandelt wird. Aus dem Radmoment wird die zur Verfügung stehende Zugkraft berechnet, mit welcher die Fahrwiderstände überwunden werden. Im elektrischen Zweig sind die Hochvolt-Batterie, der DCDC-Wandler sowie die elektrischen Klimatisierungskomponenten (PTC-Heizung und Kältemittelkompressor) modelliert. Diese interagieren mit dem Modell des Fahrgastraums über die Modelle des Heiz-, Kühl- und Kältekreislaufs. Die Modularität des Gesamtfahrzeugmodells

durch den Aufbau einzelner Komponentenmodelle mit definierten Schnittstellen ermöglichte den einfachen Austausch von Modellen. Dies betrifft zum Beispiel den Typ der E-Maschine (PMSM, ASM) oder das Heizsystem (PTC, Wärmepumpe).

Aufgrund der Vielzahl an Modellen sollen die einzelnen Schritte für die Berechnung eines Teilmodells in die Gesamtfahrzeugsimulation exemplarisch anhand des Modells für die Traktionsbatterie erläutert werden. Hierbei handelt es sich um ein elektrisches Ersatzschaltbildmodell zur Berechnung der Spannungslage beim Laden und Entladen des Batteriesystems in Abhängigkeit des Ladezustands, des Stroms und der Batterietemperatur. Das Ersatzschaltbildmodell bildet neben einer Gleichspannungsquelle zur Berechnung der Ruhespannung im Wesentlichen den Spannungsabfall am inneren Widerstand der einzelnen Zellen ab. Für das Teilmodell der Traktionsbatterie können folgende wesentliche Schnittstellengrößen identifiziert werden, welche über die Middleware mit der Kommunikationsschnittweite an das Traktionsbatterie-Modell gesendet werden müssen (vgl. Tabelle 8).

**Tabelle 8: Wesentliche Schnittstellengrößen des Traktionsbatterie-Modells (received variables)**

<i>Schnittstellengröße</i>	<i>Name</i>	<i>Datentyp</i>	<i>SI Einheit</i>
<i>Batteriestrom</i>	I_BatHV_A_sim	Double	A
<i>Umgebungstemperatur</i>	T_Umgebung_degC_sim	Double	°C
<i>Fahrzeuggeschwindigkeit</i>	v_Fahrzeug_kmh_sim	Double	km/h

Tabelle 9 stellt die wesentlichen Schnittstellengrößen dar, welche als berechnete Ausgangsgrößen vom Traktionsbatterie-Modell an TISC kommuniziert und mit der eingestellten Makroschrittweite an die entsprechenden Teilmodelle versendet werden.

**Tabelle 9: Wesentliche Schnittstellengrößen des Traktionsbatterie-Modells (sent variables)**

<i>Schnittstellengröße</i>	<i>Name</i>	<i>Datentyp</i>	<i>SI Einheit</i>
<i>Klemmspannung</i>	U_BatHV_V_sim	Double	V
<i>Ladezustand (SOC)</i>	SOC_BatHV_Prozent_sim	Double	%
<i>Mittlere Batterietemperatur</i>	T_BatHV_degC_sim	Double	°C
<i>Verlustleistung</i>	PVerlust_BatHV_W_sim	Double	W
<i>Batterieleistung</i>	P_BatHV_W_sim	Double	W

Darüber hinaus ist für eine fehlerfreie Berechnung die Berücksichtigung der physikalischen Einheiten von entscheidender Bedeutung. So wird in thermischen Modellen häufig in der Einheit Kelvin gerechnet, während in anderen Modellen (beispielsweise im Batteriemanagementsystem) Temperaturen in der Einheit Grad Celsius für die Berechnung verwendet werden.

Ein erstes exemplarisches Gesamtfahrzeugmodell des Citroën C-Zero wurde durch TLK aufgebaut. Auf Basis dieses Modells wurden vom IFF Modelle für VW e-up!, Mia und Nissan eNV200 sowie von TLK und IFF gemeinsam das Modell des Smart ED abgeleitet. Die Gesamtfahrzeugmodelle wurden von VW geprüft und insbesondere für den Antriebsstrang plausibilisiert.

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in AP 1.2 zeigt die folgende Tabelle 10.

**Tabelle 10: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 1.2**

<b>Partner</b>	<b>Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten</b>
<u>IFAM</u>	Recherchieren von Komponentenmodellen zur mathematischen Abbildung der in den zu beschaffenden Fahrzeugen vorhandenen Antriebstopologien; Recherche, Auswahl und Beschaffung von Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs (E-Motor samt Leistungselektronik, Traktionsbatterie samt BMS); vorbereitende Tätigkeiten am Testfeld zur Integration der Komponenten; Vorbereitungen zur Erstellung eines Simulationsmodells für elektrische Maschinen; Durchführung verschiedener Testreihen mit E-Motor und Traktionsbatterie auf dem IFAM Testfeld; Programmierung Simulationsmodell; Zusammenarbeit mit Entwicklern weiterer Simulationsmodelle, um Gesamtfahrzeugmodell zu erstellen.



<u>IFF</u>	Mitarbeit bei Konzeption der Gesamtfahrzeugsimulation; Koordination und Leitung der Arbeitsgruppe „Simulation“; Aufbau des Komponentenmodells für Getriebe und Achsgetriebe, Abbildung der mechanischen und thermischen Eigenschaften. Außerdem Aufbau eines statistischen Fahrer- und Fahrumgebungsmodells; Ableitung der Gesamtfahrzeugmodelle von VW e-up!, Mia und Nissan eNV200, Mitarbeit an Ableitung des Modells für Smart ED; Unterstützung beim Aufbau weiterer Teilmodelle.
<u>TLK</u>	Mitarbeit bei Konzeption der Gesamtfahrzeugsimulation, Einweisung in die Nutzung der Co-Simulationsplattform; Aufbau einer Grundkomponentenbibliothek inkl. thermischer Modelle als Basis für die Gesamtfahrzeugmodellierung. Aufbau einer Modellbibliothek unter Modelica/Dymola für verschiedene Heizungs-/Kühlungskomponenten sowie eines Basisfahrgastraummodells. Unterstützung bei der Integration der Schnittstellen. Neustrukturierung der Gesamtfahrzeugsbibliothek einschließlich Verbesserung der Parametrierbarkeit der Teilmodelle über die Co-Simulationsumgebung; Aufbau eines ersten Gesamtfahrzeugmodells für den C-Zero sowie Unterstützung beim Aufbau der weiteren Fahrzeugmodelle. Unterstützung bei der Nutzung der thermischen Modelle sowie der Kopplungsplattform.
<u>IMC</u>	Hinweis: Die Arbeitsschritte AS1.2.1 / AS1.2.3 wurden ressourcenneutral innerhalb des Moduls mit den Arbeitsschritten des IFAM AS 1.1.4 / 1.1.5 getauscht. (siehe auch AP 1.3)
<u>IME</u>	Unterstützung beim Aufbau des Batteriemodells, Bereitstellung von Batteriesystemparametern.
<u>VW</u>	Unterstützung bei der Schnittstellendefinition, Ableitungen zur notwendigen Detaillierungstiefe der Komponentenmodelle; Unterstützung bei Plausibilisierung der einzelnen Komponentenmodelle; Erstellung der Gesamtfahrzeugmodelle durch Kopplung der durch die Projektpartner zur Verfügung gestellten Komponentenmodelle; Plausibilisierung der Gesamtfahrzeugmodelle insbesondere in Hinblick auf den Antriebsstrang, Durchführung von Gesamtfahrzeugrechnungen auf Basis von gesetzlich definierten Fahrzyklen und auch realen Kundenzyklen.

### 2.1.3. AP 1.3: Validierung der Simulation

Ziel von AP 1.3 war die Validierung der Komponentenmodelle und Gesamtfahrzeugsimulation anhand von Messdaten sowie die simulatorische Untersuchung unterschiedlicher Fahrzeugkonfigurationen. Das Arbeitspaket gliederte sich in die folgenden beiden Arbeitspakete:

- **AS 1.3.1:** Modellvalidierung
- **AS 1.3.2:** Durchführung von Simulationstests

#### **E-Maschinen-Modell**

Für die Validierung der Komponentenmodelle des Antriebsstrangs hat das IFAM eine PMSM mitsamt Umrichter beschafft (vgl. Abschnitt 2.1.2). Auf dem institutseigenen Leistungsprüfstand ist die E-Maschine in Betrieb genommen und geprüft worden. Eine Auswahl der Messungen zeigen die folgenden Abbildungen. Dort sind die Ergebnisse der aus den FEM-Simulationen gewonnenen Daten mit den Prüfstandsmessungen für vier verschiedene Drehmomente bis  $8000 \text{ min}^{-1}$  gegenübergestellt.

Die simulierten Werte zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messdaten. Lediglich beim Maximaldrehmoment von 200 Nm weichen die Daten stärker voneinander ab. Dies kann darin begründet sein, dass bei sehr hohen Strömen der reale Umrichter weniger Verluste aufweist als der simulative Umrichter. Leider gab es von Bosch, wie schon bei der PMSM (s. oben), auch vom realen Umrichter keine Datensätze. Somit ist für die Simulation ein Umrichter aus Erfahrungswerten aufgebaut worden. Dennoch lassen die ausgewerteten Daten die Annahme zu, dass der simulative Umrichter hinreichend genau nachgebildet worden ist. Aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den Simulations- und Prüfstandsdaten kann die Validierung als erfolgreich eingestuft werden.

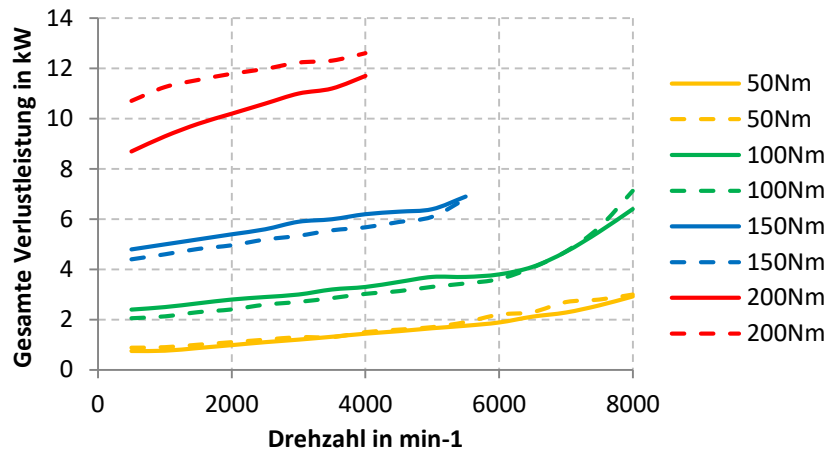


Abbildung 51: Vergleich der simulierten (durchgezogen) und gemessenen (gestrichelt) Gesamtverluste bei verschiedenen Drehmomenten und Drehzahlen

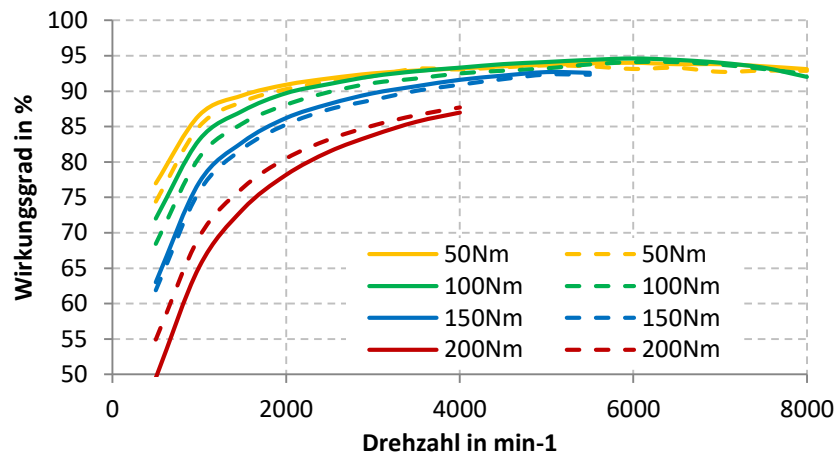


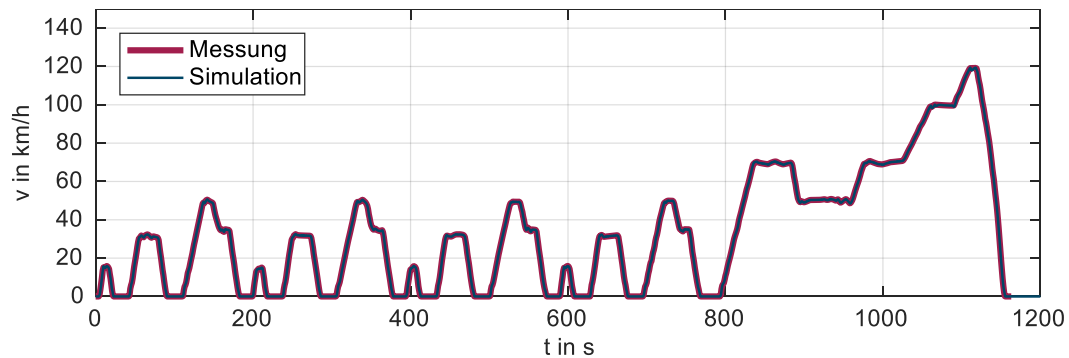
Abbildung 52: Vergleich der simulierten (durchgezogen) und gemessenen (gestrichelt) Gesamtwirkungsgrade bei verschiedenen Drehmomenten und Drehzahlen

### Validierung der Gesamtfahrzeugsimulation anhand eines gesetzlichen Zyklus

Für eine Validierung der Simulationsergebnisse sind Gesamtfahrzeugmessungen mit dem Volkswagen e-up! auf einem Flachbahnprüfstand unter fest definierten Randbedingungen durchgeführt worden. Als Zyklus wurde der Neue Europäische Fahrzyklus (NEFZ) gewählt. Zur Bewertung der Prognosegüte des reinen Antriebsverbrauchs wurden Strom und Spannung der 12V-Nebenverbraucher in der Simulation aus der betrachteten Messung vorgegeben. Nachfolgend sollen die Ergebnisse beginnend mit der Validierung des Fahrreglers zusammenfassend dargestellt werden. Der Fahrregler basiert auf einem sogenannten PI-Regler. Zur Plausibilisierung und Validierung der Prognosegüte des Fahrreglers wurden die in Abbildung 53 gezeigten Verläufe von Soll- und Ist-Fahrzeuggeschwindigkeit miteinander verglichen. Insgesamt zeigte sich eine Abweichung von ca. 0,02 % zwischen Soll- und Ist-Geschwindigkeit über den gesamten Zyklus. Es konnte damit festgestellt werden, dass die Regler-Parameter in ausreichender Genauigkeit bestimmt worden sind, um der Soll-Trajektorie zu folgen.

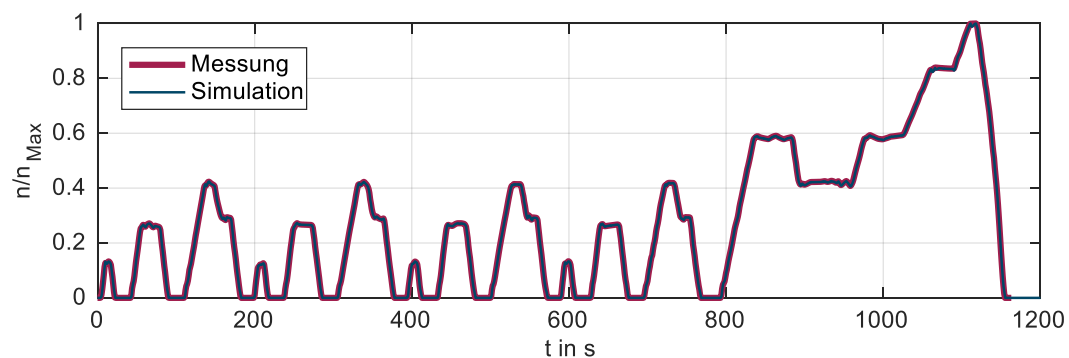
Zur Validierung der Modelle für die elektrische Maschine (inkl. Pulswechselrichter) und Motorsteuerung sind die transienten Verläufe von Drehmoment, Drehzahl sowie mechanischer und elektrischer Leistung herangezogen worden. Darüber hinaus wurden sowohl die mechanischen, als auch die elektrischen

Energieumsätze für den Zug<sup>1</sup>- und Schubbetrieb<sup>2</sup> aus Mess- und Simulationsdaten berechnet und mit-



**Abbildung 53: Validierung des Fahrreglers anhand von Soll- und Ist-Geschwindigkeit des Fahrzeugs**

einander verglichen. Insgesamt zeigte sich insbesondere im Zugbetrieb eine hohe Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Verläufen (vgl. Abbildung 54 bis Abbildung 57). So liegt die errechnete Abweichung der mechanischen und elektrischen Energie im Zugbetrieb bei ca. -4 % bzw. +2 %. Für den Schubbetrieb ergaben sich Abweichungen von +9,5 % bezogen auf den mechanischen Energieumsatz und von +12 % bezogen auf den elektrischen Energieumsatz. Der hohe Anteil zusätzlich rekuperierter Energie im Vergleich zur Messung konnte maßgeblich auf die ladezustandsabhängige Strombegrenzung bzw. -freigabe des Batterie Management-Systems (BMS) zurückgeführt werden. So ist der Ladestrom der Traktionsbatterie in der Messung aufgrund des hohen Anfangsladezustands beschränkt worden, um die Traktionsbatterie vor Überladung bzw. Überspannung zu schützen. Erst im Außerortsteil bei niedrigem Ladezustand ist zu erkennen, dass die gemessenen und berechneten Verläufe aufgrund des erhöhten Ladestroms eine höhere Übereinstimmung zeigen (siehe Abbildung 58).



**Abbildung 54: Drehzahl (elektr. Maschine) normiert auf  $n_{\max}$**

<sup>1</sup> Motorischer Betrieb bez. auf die elektrische Maschine

<sup>2</sup> Generatorischer Betrieb bez. auf die elektrische Maschine

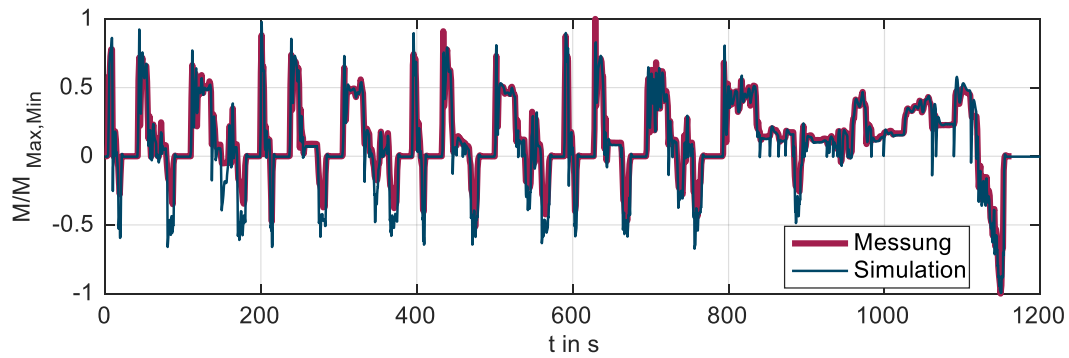


Abbildung 55: Drehmoment (elektr. Maschine) normiert auf  $M_{Max,Min}$

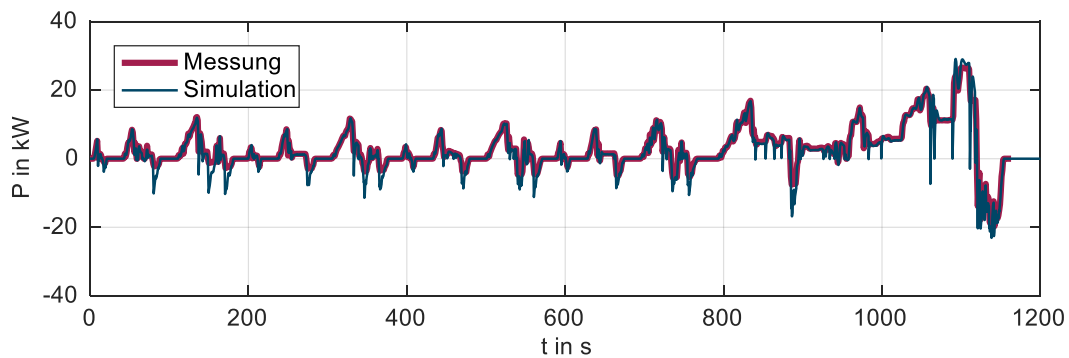


Abbildung 56: Mechanische Leistung (elektr. Maschine) normiert auf  $P_{Max,Min}$

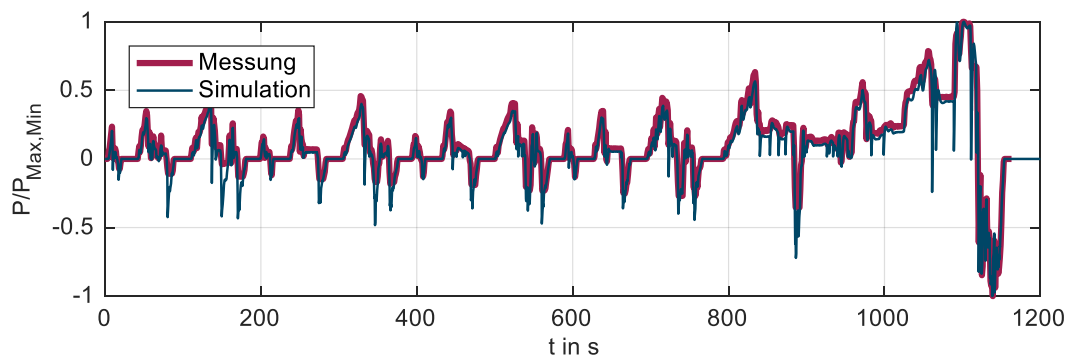


Abbildung 57: Elektrische Leistung (elektr. Maschine) normiert auf  $P_{Max,Min}$

Für die Validierung des Modells der Traktionsbatterie sind die maßgeblichen Berechnungsgrößen Strom, Spannung und Ladezustand betrachtet worden (vgl. Abbildung 58 bis Abbildung 60). Die Zell- bzw. Systemtemperatur der Traktionsbatterie konnte aufgrund des vergleichsweise geringen Betrachtungszeitraumes von ca. 1.200 s sowie der geringen Last und dem damit verbundenen geringen Wärmeeintrag im Vergleich zur hohen thermischen Kapazität des Batteriesystems vernachlässigt werden.

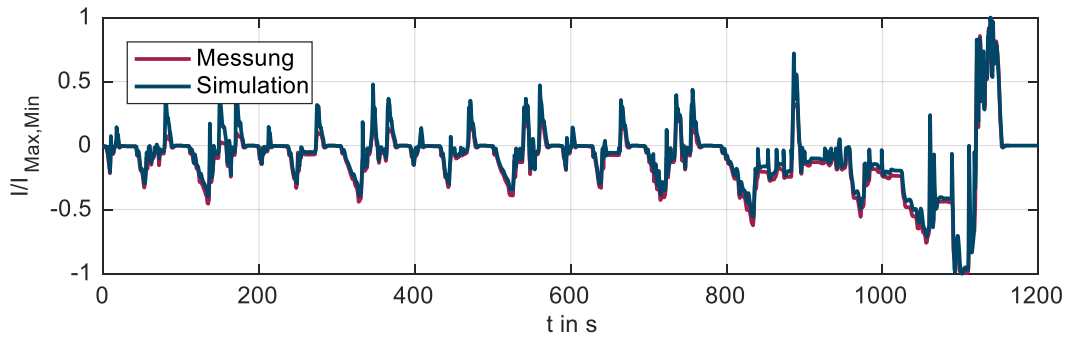


Abbildung 58: Strom (HV-Batterie) normiert auf  $I_{\max}$

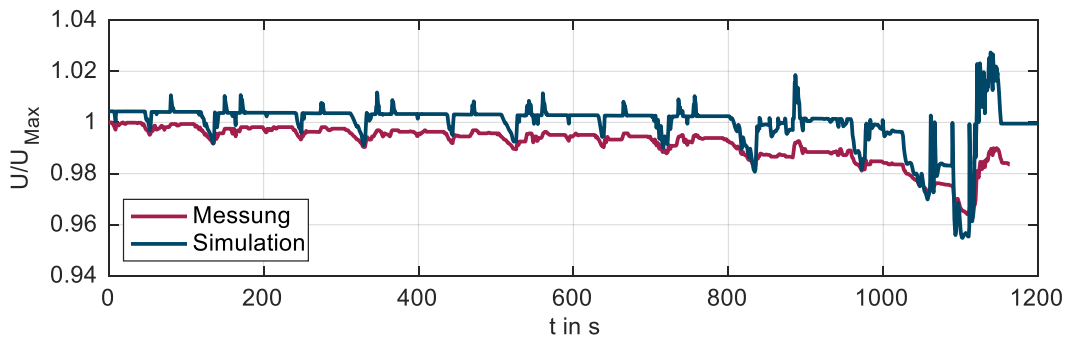


Abbildung 59: Spannung (HV-Batterie) normiert auf  $U_{\max}$

Abweichungen im Stromprofil zwischen Messung und Simulation der Traktionsbatterie ergeben sich aus den oben genannten Differenzen im Zug- und Schubetrieb (vgl. Abbildung 58). Abbildung 59 stellt die sogenannte Klemmspannung der Traktionsbatterie dar, die sich in Abhängigkeit des Lade- und Entladestroms sowie aufgrund des Ladezustands und der Batterietemperatur innerhalb des Modells berechnet. Die Gesamtdifferenz der berechneten Spannungslage ergibt sich sowohl aus der berechneten Ruhespannung, als auch aus einem abweichenden Gesamtinnenwiderstand des Batteriesystems. So ist zu erkennen, dass die Spannung zum Zeitpunkt  $t_0$  trotz gleichem Anfangsladezustands im unbelasteten Zustand oberhalb der gemessenen Spannung liegt. Weitere Differenzen bzgl. der Spannung sind auf den Lade- sowie Entladestrom sowie den Innenwiderstand zurückzuführen, welcher zu unterschiedlichen Über- bzw. Unterspannungen führt.

Bezogen auf den elektrischen Energieverbrauch des Gesamtfahrzeugs ergibt sich eine Abweichung gegenüber der Messung von -5,4 %. Der geringere elektrische Energieverbrauch resultiert maßgeblich aus der ladezustandsabhängigen Stromfreigabe des BMS und zeigt sich im Vergleich der Verläufe für den Ladezustand (SOC) der Traktionsbatterie (vgl. Abbildung 60).

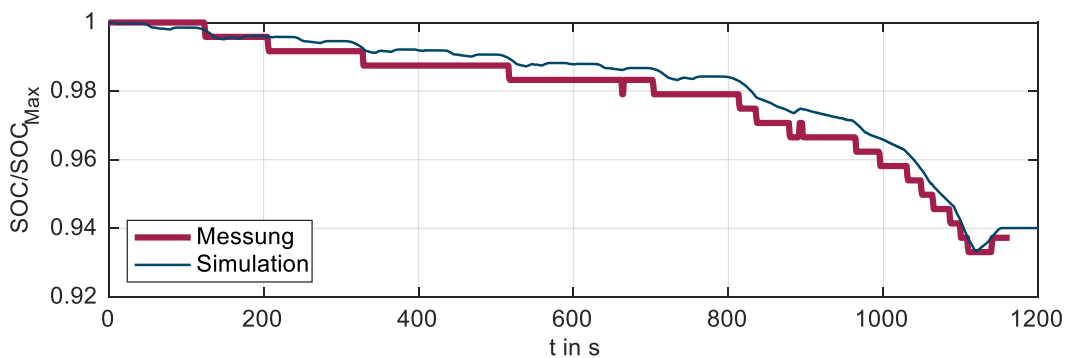


Abbildung 60: State of Charge (HV-Batterie) normiert auf  $SOC_{\max}$

Darüber hinaus ist eine weitere Validierung der Gesamtfahrzeugsimulation am Beispiel des Citroën C-Zero durchgeführt worden. Insgesamt zeigte sich für dieses zweite Fahrzeug eine Abweichung im Gesamtverbrauch von +1,4 %.

### Validierung der Gesamtfahrzeugsimulation anhand realer Fahrprofile

Die im Forschungsprojekt aufgenommenen Messdaten wurden verwendet, um die Gesamtfahrzeugsimulation zu validieren. Am Beispiel einer Messfahrt eines Citroën C-Zeros wird diese Validierung im Folgenden gezeigt. Die Fahrt wurde im Oktober 2014 durchgeführt und der Streckenverlauf, das Höhen-, und Geschwindigkeitsprofil sind in Abbildung 61 darstellt. Die Fahrt führte von Braunschweig aus in eine der umliegenden Ortschaften (Essehof) bei einer Umgebungstemperatur von etwa 17 °C.

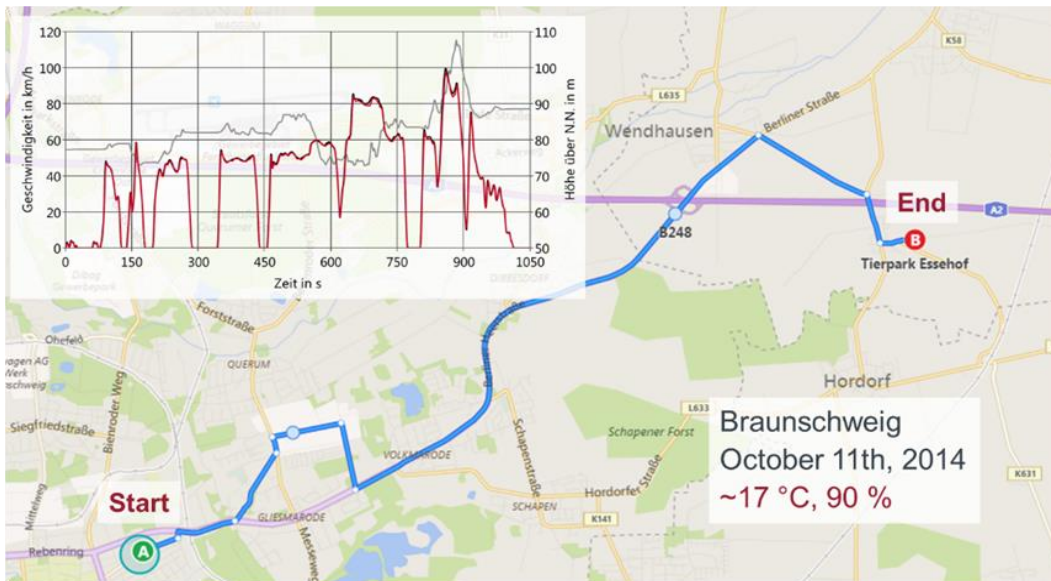


Abbildung 61: Strecke und Höhen- und Geschwindigkeitsprofil zur Validierung der Gesamtfahrzeugsimulation (Jugert und Fischer 2014)

Das anhand der im Fahrzeug verbauten Messtechnik aufgenommene Geschwindigkeitsprofil und die Umgebungsbedingungen wurden als Vorgabewerte für die Simulation verwendet. Abbildung 62 veranschaulicht die Ergebnisse und stellt das Geschwindigkeitsprofil sowie den gemessenen und simulierten Energieverbrauch dar, welche brauchbar übereinstimmen.

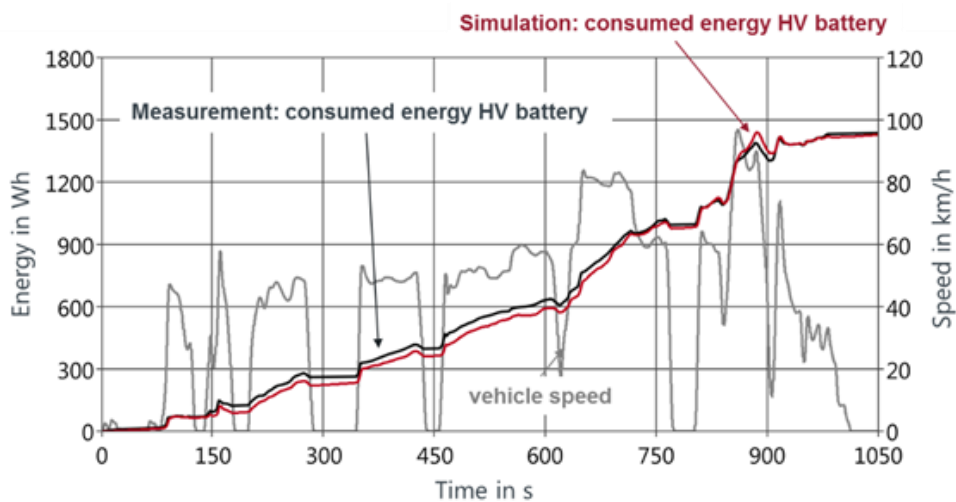


Abbildung 62: Geschwindigkeitsprofil und Energieverbrauch von Simulation und Messung (Jugert und Fischer 2014)

Eine vergleichbare Validierung wurde für alle im Projekt modellierten Fahrzeuge bei verschiedenen Umgebungsbedingungen durchgeführt. Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass die Simulationsmodelle in der Lage sind, den Energieverbrauch mit hinreichender Genauigkeit für die verschiedenen Fahrsituationen, wie z.B. Umgebungsbedingungen oder Fahrzeugkonfigurationen, abzubilden.

### **Simulationsstudien**

Mit Hilfe der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen validierten Gesamtfahrzeugsimulation wurden diverse Simulationsstudien durchgeführt. Von TLK wurden Simulationsstudien zur Beheizung des Fahrgastraums bei Verwendung verschiedener Heiz-Klima-Systeme durchgeführt. Aufgrund der vergleichsweise hohen Effizienz des Antriebsstranges von Elektrofahrzeugen, steht im Vergleich zu konventionellen verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugen nur noch wenig Abwärme zur Fahrgastraumbeheizung zur Verfügung. Die benötigte Heizenergie von Elektrofahrzeugen wird in der Regel direkt der Hochvoltbatterie entnommen, dem gleichen Energiespeicher, der auch die Antriebskomponenten für den Vortrieb versorgt. In den Wintermonaten können hohe Heizanforderungen demnach zu erheblichen Reichweiteinbußen führen. Daher wurden in diesem Projekt verschiedene Heiz-Klima-Systeme im Hinblick auf Heizleistung und Effizienz untersucht. Ein konventionelles Heizsystem mit PTC wurde einer CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe (R744) simulativ gegenübergestellt. Simulationen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen wurden durchgeführt (-15 °C, -10 °C, 0 °C, und 20 °C als Referenzfall).

In Abbildung 63 sind die mittlere Fahrgastraumtemperatur und die Einblastemperatur für PTC- und Wärmepumpen-System bei einer Umgebungstemperatur von -10 °C dargestellt. Das Wärmepumpensystem benötigt etwa 30 Sekunden, um dem Fahrgastraum die gewünschte Einblastemperatur von 60 °C bereitzustellen, während das PTC-System diese erst etwa 300 Sekunden erreicht. Mit dem Wärmepumpensystem wird eine Fahrgastraumtemperatur von 12 °C nach etwa 60 Sekunden erreicht, während das PTC-System etwa 210 Sekunden benötigt, um die gleiche Fahrgastraumtemperatur zu erreichen.

Die Ergebnisse der verschiedenen Simulationen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen werden in Abbildung 64 vergleichend dargestellt. Eine Simulation bei 20 °C Umgebungstemperatur ohne Heizung oder Klimatisierung wurde als Referenzfall verwendet, um die Energieverbrauchserhöhung bei Verwendung des PTC- oder Wärmepumpensystems bei -15 °C, -10 °C und 0 °C zu vergleichen. Der Energieverbrauch bei Nutzung des Wärmepumpensystems ist signifikant niedriger als bei Nutzung eines PTC unter allen betrachteten Randbedingungen. Gleichzeitig wird dem Fahrgastraum schneller und in Summe mehr Heizenergie zugeführt, was zu einem höheren Komfort führt. Mit der Nutzung eines Wärmepumpen-Systems kann die Energieverbrauchserhöhung von 34 % bei -15 °C bis zu 51 % bei 0 °C gegenüber der Nutzung eines PTC-Systems reduziert werden.

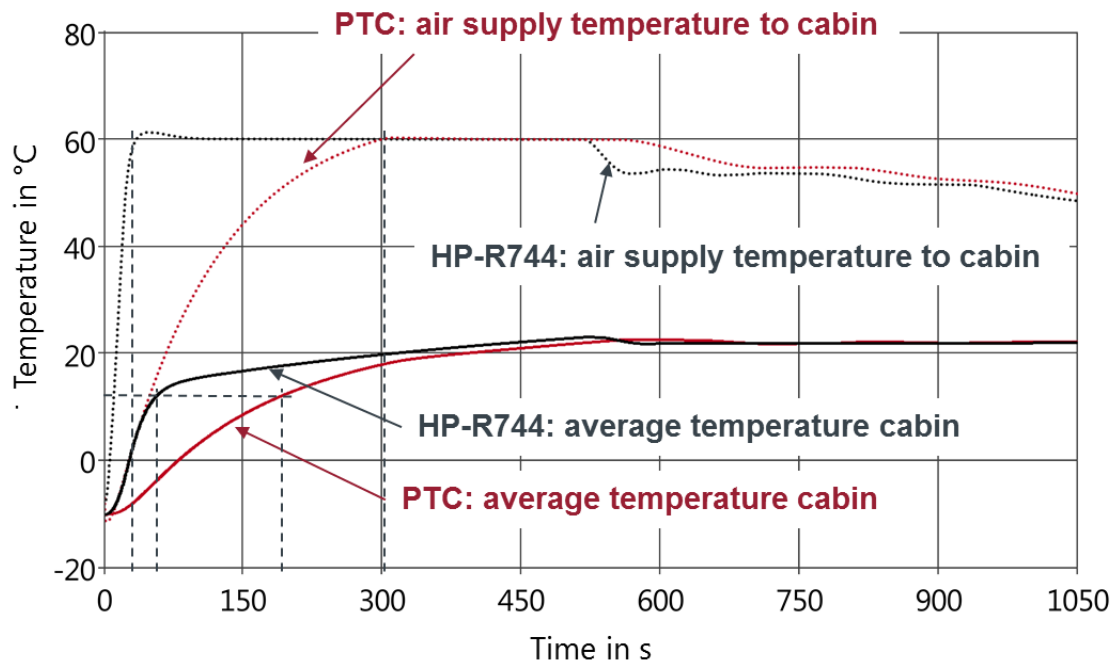


Abbildung 63: Mittlere Fahrgastraumtemperatur und Einblastemperatur für PTC- und Wärmepumpen-System bei einer Umgebungstemperatur von -10 °C (Jugert und Fischer 2014)

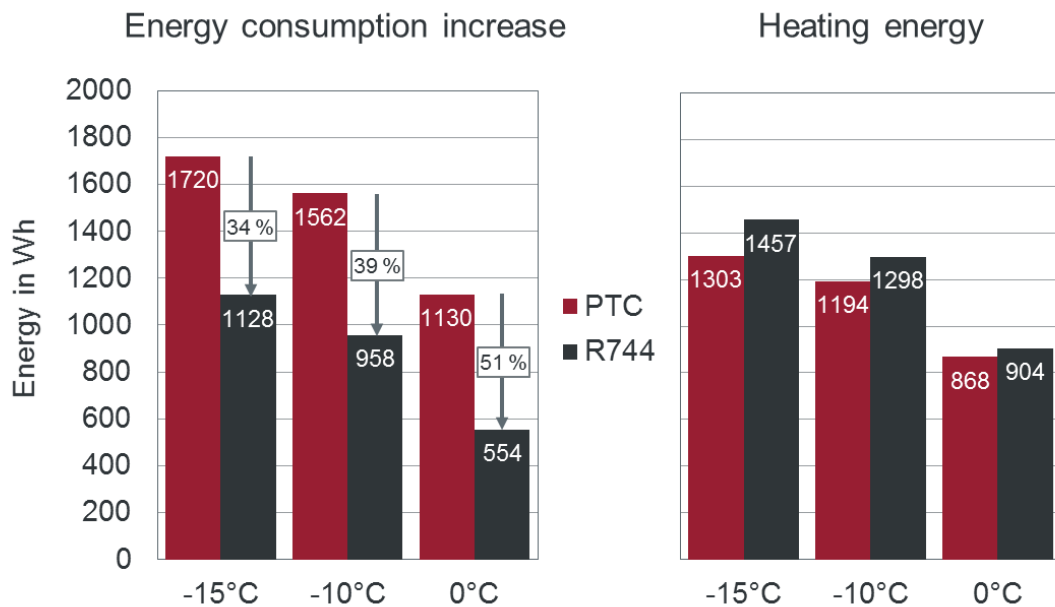


Abbildung 64: Energieverbrauchserhöhung (im Vergleich zu 20 °C Referenzfall) und dem Fahrgastraum zugeführte Heizenergie bei verschiedenen Umgebungstemperaturen (Jugert und Fischer 2014)

Vom IFF wurden Untersuchungen zum Einfluss der Umgebungstemperatur und Insassenzahl bzw. Be- ladung auf den Energieverbrauch durchgeführt. Dazu wurde aus den Messdaten ein repräsentatives Fahrprofil für eine städtische Nutzung abgeleitet. Das Geschwindigkeitsprofil zeigt Abbildung 65.



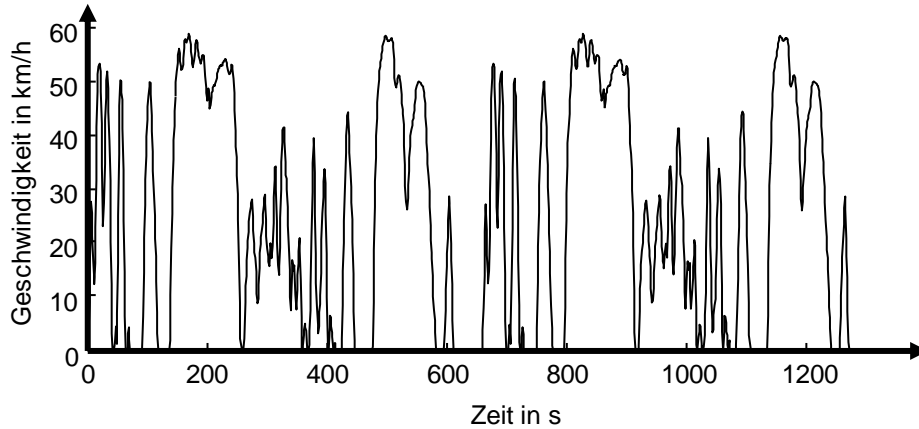


Abbildung 65: Geschwindigkeitsprofil des betrachteten repräsentativen Stadtzyklus

In Abbildung 66 sind die Ergebnisse der Simulation für Umgebungstemperaturen zwischen -10 und 30 °C sowie eine variierender Insassenzahl dargestellt.

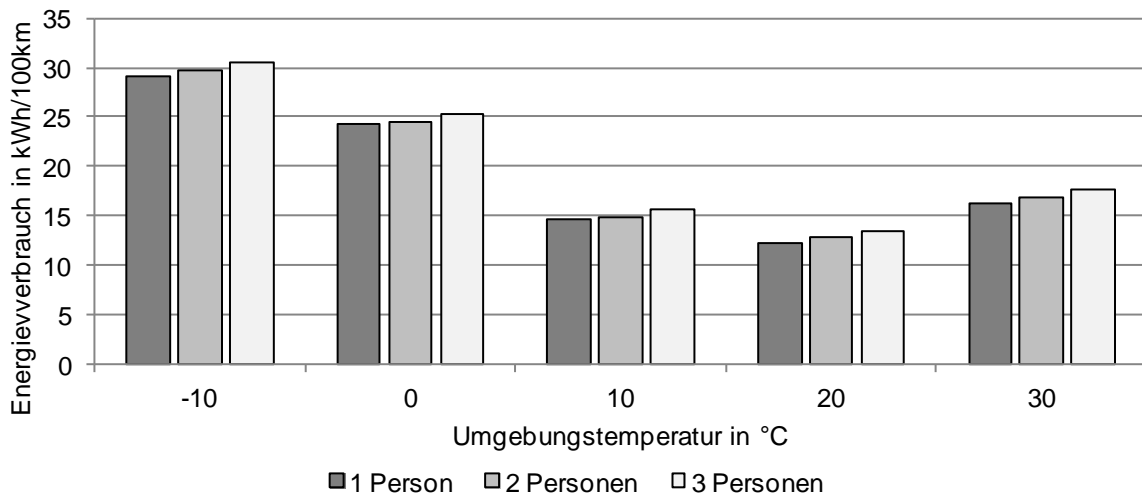


Abbildung 66: Einfluss der Anzahl der Insassen auf den Energieverbrauch des Fahrzeugs

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in die in Modul 5 entwickelte Flottensimulation eingeflossen, um dort die Änderung des Energieverbrauchs durch die variierten Randbedingungen zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 2.5.3).

Ein in der Fahrzeugentwicklung häufig verwendetes Hilfsmittel zur Abschätzung von Verbrauchspotentialen stellen Verbrauchskennzahlen dar, die von VW untersucht wurden. Sie geben das Verhältnis der differentiellen Verbrauchssteigerung bzw. -senkung bezogen auf die differentielle Änderung eines Fahrwiderstandsparameters (Masse  $m$ , Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$ , Querspanfläche  $A$ , Rollwiderstandsbeiwert  $f_R$ ) für einen spezifischen Fahrzyklus (NEFZ, WLTC, etc.) an und können über eine Sensitivitätsanalyse ermittelt werden (s. Gleichung 2.1).

$$EC_{p,Cy} = \lim_{\delta p \rightarrow p_{min/max}} \frac{[EC(p + \delta p) - EC(p)]}{\delta p} \quad (2.1)$$

<b>EC</b>	<b>Electric Energy Consumption</b>
<b>Cy</b>	<b>Cycle</b>
<b>p</b>	<b>Parameter</b>

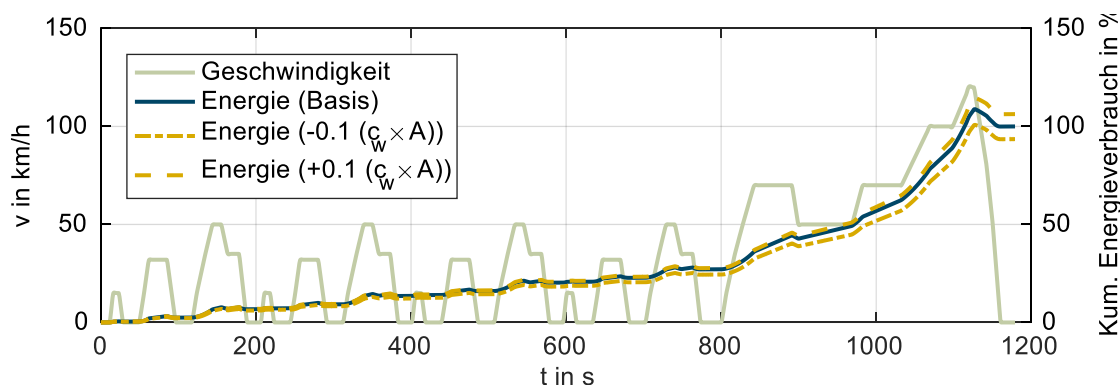
Die Sensitivitätsanalysen können sowohl über Gesamtfahrzeugmessungen, als auch über die Gesamtfahrzeugsimulationen erfolgen. In der Regel basiert die Ermittlung der Verbrauchskennzahlen auf einem

zweistufigen Prozess, bestehend aus der Ermittlung über die Simulation und der anschließenden Validierung über Gesamtfahrzeugmessungen. Im Rahmen dieses Projektes ist eine Sensitivitätsanalyse für den elektrischen Energieverbrauch im NEFZ über die vorab im relevanten Lastbereich validierte Gesamtfahrzeugsimulation für den Citroën C-Zero durchgeführt worden. Die Grundlage dieser Sensitivitätsanalyse bildete die Aufstellung einer geeigneten Variationsmatrix (vgl. Tabelle 11). Ausgehend von einem Basisfahrzeug mit einem Basisfahrwiderstand wurden die einzelnen Parameter jeweils in geeigneter Schrittweite und -anzahl variiert. Daran anschließend wurden die Parameter gemäß einer Variationsmatrix der Co-Simulation übergeben und die Simulationen durchgeführt. Die Sensitivitäten für den elektrischen Energieverbrauch  $EC_{p,NEFZ}$  für die unterschiedlichen Parameter  $p$  berechnen sich nach Gleichung 2.1.

**Tabelle 11: Variationsmatrix der Fahrwiderstandsparameter**

Parameter	Variation	Basis	Variation
Fahrzeuggewicht	$-\Delta m, EC_{-\Delta m}$	$m_{Basis}, EC_{Basis}$	$+\Delta m, EC_{+\Delta m}$
Rollwiderstandsbeiwert	$-\Delta f_R, EC_{-\Delta f_R}$	$f_{R,Basis}, EC_{Basis}$	$+\Delta f_R, EC_{+\Delta f_R}$
Luftwiderstandsbeiwert und Querspanfläche	$-\Delta(c_w \times A), EC_{-\Delta(c_w \times A)}$	$(c_w \times A)_{Basis}, EC_{Basis}$	$+\Delta(c_w \times A), EC_{+\Delta(c_w \times A)}$

Abbildung 67 zeigt exemplarisch die kumulierten Energieverbräuche im NEFZ für eine Parametervariation des Produkts von Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$  sowie der Querspanfläche  $A$  in einer Schrittweite von  $0.1 \text{ m}^2$  ausgehend von dem Basiswert des betrachteten Fahrzeugs. Aufgrund der quadratischen Abhängigkeit des Luftwiderstands von der Fahrzeuggeschwindigkeit ergeben sich die Abweichungen im Energieverbrauch insbesondere im Außerortsteil des Zyklus. Der Energieverbrauch erhöht bzw. verringert sich gemittelt ausgehend von einem Basis-Energieverbrauch um ca. 6 %.



**Abbildung 67: Parametervariation - Kumulierter Energieverbrauch für unterschiedliche Luftwiderstandsbeiwerte**

Nachfolgend werden die einzelnen Energieverbräuche je Parametervariation sowie die daraus resultierenden Verbrauchskennzahlen dargestellt (vgl. Tabelle 12 - Tabelle 14).

**Tabelle 12: Energieverbräuche der Variation für den Parameter Fahrzeuggewicht (Basis-Rollwiderstand:  $f_R = 8,0\%$ ) - Citroën C-Zero**

Parameter	$\Delta m = +200 \text{ kg}$	Basis	$\Delta m = -200 \text{ kg}$
Fahrzeuggewicht	136,5 Wh/km	127,25 Wh/km	118,27 Wh/km

**Tabelle 13: Energieverbräuche der Variation für den Parameter Rollwiderstandsbeiwert (Basisgewicht: 1000 kg) - Citroën C-Zero**

Parameter	$\Delta f_R = +1,0 \%$	Basis	$\Delta f_R = -1,0 \%$
Rollwiderstandsbeiwert	126,65 Wh/km	122,73 Wh/km	118,83 Wh/km

**Tabelle 14: Energieverbräuche der Variation für den Parameter Luftwiderstandsbeiwert und Querspanfläche - Citroën C-Zero**

Parameter	$\Delta(c_w \cdot A) = +0,1 \text{ m}^2$	Basis	$\Delta(c_w \cdot A) = -0,1 \text{ m}^2$
Luftwiderstandsbeiwert und Querspanfläche	134,24 Wh/km	127,25 Wh/km	119,32 Wh/km

Die gemittelten Fahrwiderstandssensitivitäten sind in Form von Verbrauchskennzahlen zusammenfassend in Tabelle 15 dargestellt.

**Tabelle 15: Finale Verbrauchskennzahlen für den NEFZ- Citroën C-Zero**

Parameter	Elektrischer Energieverbrauch
Fahrzeuggewicht ( $\Delta 100 \text{ kg}$ , bei $f_R = 8,0 \text{ ‰}$ )	4,5 Wh/km
Rollwiderstandsbeiwert ( $\Delta f_R = \pm 1 \text{ ‰}$ bei $m_{FZg} = 1000 \text{ kg}$ )	3,9 Wh/km
Luftwiderstandsbeiwert und Querspanfläche ( $\Delta(c_w \cdot A) = \pm 0,1 \text{ m}^2$ )	8,0 Wh/km

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in **AP 1.3** zeigt die folgende Tabelle 16.

**Tabelle 16: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 1.3**

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>IFAM</u>	Validierung und Optimierung des Simulationsmodells durch Abgleich mit Messwerten aus Testversuchen; Abschließende Zuarbeit für die Durchführung des Gesamtfahrzeugmodells; Anwendung der aufgebauten Modellsysteme unter Zugrundelegung realer Nutzerdaten.
<u>IFF</u>	Abgleich des Gesamtfahrzeugmodells des Nissan eNV200 und Smart ED mit Messdaten, Unterstützung bei Validierung des Modells für VW e-up!; Durchführung von Simulationsstudien unterschiedlicher Maßnahmen zur Reduktion des Nebenverbrauchs und der Auswirkungen von Änderungen der Randbedingungen auf den Energieverbrauch.
<u>TLK</u>	Abgleich Gesamtfahrzeugmodell mit Messdaten für C-Zero. Durchführung einer ersten Validierung einschließlich weiterer Plausibilisierung der Komponentenmodelle im Gesamtfahrzeugkontext. Durchführung von Simulationstests für E-Komponenten anhand eingespeister Nutzerdaten; Durchführung von Untersuchungen unterschiedlicher Klimatisierungssysteme sowie saisonale Untersuchungen auf Basis der Gesamtfahrzeugmodelle. Bewertung der Ergebnisse einschließlich Energiebilanzanalyse.
<u>IMC</u>	Hinweis: Der Arbeitsschritt AS1.3.1 wurde ressourcenneutral innerhalb des Moduls mit den Arbeitsschritten des IFAM AS 1.1.4 / 1.1.5 getauscht. (siehe auch AP 1.2)
<u>IME</u>	Unterstützung bei der Verifizierung des Batteriemodells
<u>VW</u>	Unterstützung bei der Identifizierung von wesentlichen Parametern für die Modellvalidierung; Durchführung der Gesamtfahrzeugmodell-Validierung für den Citroën C-Zero auf Basis von VW-internen NEFZ-Messungen und Realfahrten aus dem Projekt Fleets Go Green; Durchführung der Gesamtfahrzeugmodell-Validierung für den VW e-up! auf Basis von VW-internen NEFZ-Messungen; Unterstützung bei den durchgeführten Systemuntersuchungen durch simulative Bestimmung von verbrauchsbeeinflussenden Parametern

## 2.2. Modul 2: Nutzerverhalten

**Modul 2** hatte zum Ziel, die akzeptanz- und präferenzfördernden Einflussgrößen der Adoption elektromobiler Angebote zur Umsetzung eines markt- sowie ökologisch orientierten Betriebs von Poolkonzept- und Werksflotten zu ermitteln. Hierzu gliederte sich das Modul in folgende Arbeitspakete:

- **AP 2.1:** Treiber der Nutzerakzeptanz
- **AP 2.2:** Tatsächliches Nutzerverhalten
- **AP 2.3:** Effektivität von Anreizmechanismen

In **AP 2.1** wurden empirische Analysen zum Status Quo und zu den Treibern von Akzeptanz, Präferenz und weiteren relevanten Zielgrößen im Zusammenhang mit der Adoption elektromobiler Angebote im Fahrzeugflottenkontext ermittelt. Vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Anforderungsprofile erfolgte dabei eine differenzierte Betrachtung der Kernzielgruppen der Buying Center von Flotten, der eigentlichen Nutzer sowie der breiten Öffentlichkeit. In **AP 2.2** stand die Analyse des tatsächlichen Nutzerverhaltens im Mittelpunkt. Hierzu wurden die Erfolgsfaktoren und Barrieren eines aus ökologischer Sicht optimalen Nutzerverhaltens im Werksflotten- und Poolkonzept-Betrieb ermittelt und mit den Anforderungs- und Präferenzprofilen aus **AP 2.1** abgeglichen, um darauf aufbauend aus Nutzersicht optimierte Fahrzeugkonfigurationen zu entwickeln. Durch den Vergleich des intendierten mit dem tatsächlichen Nutzerverhalten wurden in **AP 2.3** schließlich Anreizmechanismen entwickelt, die im Sinne einer möglichst schnellen Marktdurchdringung zur Beseitigung der Akzeptanzbarrieren bzw. zur Schaffung von Präferenz elektromobiler Angebote sowie zum umweltbewussten Fahrverhalten in den kommerziellen Anwendungsfeldern Werksflotte und Poolkonzept beitragen.

### 2.2.1. AP 2.1: Treiber der Nutzerakzeptanz

Das Ziel von **AP 2.1** war die konzeptionelle Entwicklung und empirische Überprüfung von Untersuchungsmodellen zur Ermittlung der akzeptanz- und präferenzfördernden Einflussgrößen der Adoption elektromobiler Angebote. Hierzu gliederte sich das Arbeitspaket in folgende Arbeitsschritte:

- **AS 2.1.1:** Anforderungs- und Präferenzanalyse in organisationalen Beschaffungsprozessen von Fahrzeugflotten
- **AS 2.1.2:** Anforderungs- und Präferenzanalyse tatsächlicher Nutzer von Werksflotten- und E-Poolkonzept-Angeboten

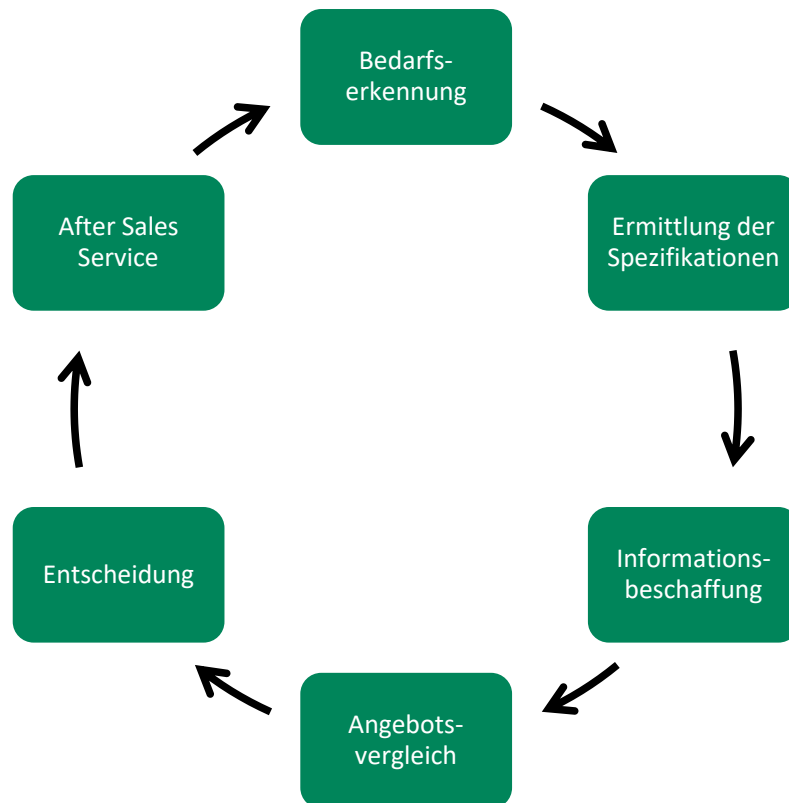
#### **Anforderungs- und Präferenzanalyse in organisationalen Beschaffungsprozessen von Fahrzeugflotten**

**AS 2.1.1** hatte zum Ziel die Anforderungen und Präferenzen von Flottenbetreibern, bzw. -beschaffern bezüglich der Integration von Elektrofahrzeuge zu identifizieren. Dazu wurde in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern (BSN, LDD, VW) im Rahmen eines Workshops ein Interviewleitfaden erstellt, in dem verschiedene Fragenblöcke festgelegt wurden. Diese Fragenblöcke beinhalteten Fragen zum Beschaffungsprozess, dem Buying Center, Kaufkriterien, der Fahrzeugflotte, Unternehmensprofil sowie zur Elektromobilität im Allgemeinen.

Teilweise wurden Kontakte durch die Projektpartner VW und LDD hergestellt, teilweise über Kaltakquise. Die Unternehmen wurden telefonisch kontaktiert. Insgesamt konnten 39 Interviewpartner aus 35 Unternehmen aus dem öffentlichen und privatwirtschaftlichen Bereich interviewt werden. Die durchschnittliche Interviewdauer betrug 30 Minuten.

Der Fahrzeugbeschaffungsprozess orientiert sich an den in Abbildung 68 dargestellten Faktoren. Die Bedarfserkennung resultiert aus drei Gründen: 1) ein neuer Mitarbeiter tritt in das Unternehmen ein, 2) der Leasingvertrag läuft aus, 3) die Fahrzeuge übertreten eine Altersgrenze. Die Ermittlung der Spezifikationen wird zumeist in der Car-Policy festgelegt, in der die Anforderungen, die an die Fahrzeuge gestellt werden, beschrieben werden. Dabei müssen zwischen den Anforderungen an Fahrzeuge in White Fleets und Fahrzeugen in User Chooser Fleets unterschieden werden. Bei White Fleets werden i.d.R. Anforderungen, wie gute Ein- und Ausstiegsmöglichkeiten, Ladeplatz, Größe, gestellt. Bei User Chooser werden z.T. Anforderungen, wie keine schrillen Farben, keine zweitürigen Fahrzeuge, keine Luxusmarken (bspw. Lamborghini, Bugatti, Porsche), gestellt. Anforderungen, die sowohl in User Chooser

ser als auch in White Fleet Flotten eine Rolle spielen sind in erster Linie der Preis und die Wirtschaftlichkeit des Fahrzeuges sowie die Unverlässlichkeit bzw. Reparaturanfälligkeit. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß spielt i.d.R. eine untergeordnete bzw. keine Rolle. Bei der Informationsbeschaffung werden entweder verschiedene Quellen zur Rate gezogen und/oder die Fahrzeuge werden Probegefahren. Die meisten Unternehmen haben bereits einen oder mehrere Vertragshändler bzw. Leasingpartner. Der Angebotsvergleich erfolgt aufgrund der Einfachheit des Beschaffungsprozesses und der Vergleich der angebotenen Fahrzeuge unter Zuhilfenahme von Entscheidungsmatrizen. Die Angebote werden i.d.R. nach dem Faktor Kosten untersucht, wobei das kostengünstigste i.d.R. den Zuschlag erhält. In User Chooser Flotten können die Dienstwagenberechtigten meistens ein höherwertiges Fahrzeug (z.B. bessere Innenausstattung) gegen höhere Beteiligung erwerben. Im After-Sales Service wird in erster Linie der Service, sowie die Reparaturanfälligkeit der Fahrzeuge evaluiert.



**Abbildung 68: Fahrzeugbeschaffungsprozess**

Die Unternehmen im Sample, die bereits Elektrofahrzeuge in ihren Flotten haben, sind überwiegend große Unternehmen. Die Verteilung der Flottengröße ist weitestgehend homogen. Elektrofahrzeuge scheinen nicht branchenspezifisch zu sein. Es fällt auf, dass im sozialen Bereich / Pflege eher wenige Unternehmen ein Elektrofahrzeug besitzen. Die Kaufkriterien von Flottenfahrzeugen finden sich in Abbildung 69 aufgelistet nach Unternehmen mit und Unternehmen ohne Elektrofahrzeugen. Die hohen Kosten, die kurze Reichweite und die lange Ladezeit sind die Hauptbarrieren bei der Beschaffung von Elektrofahrzeugen.

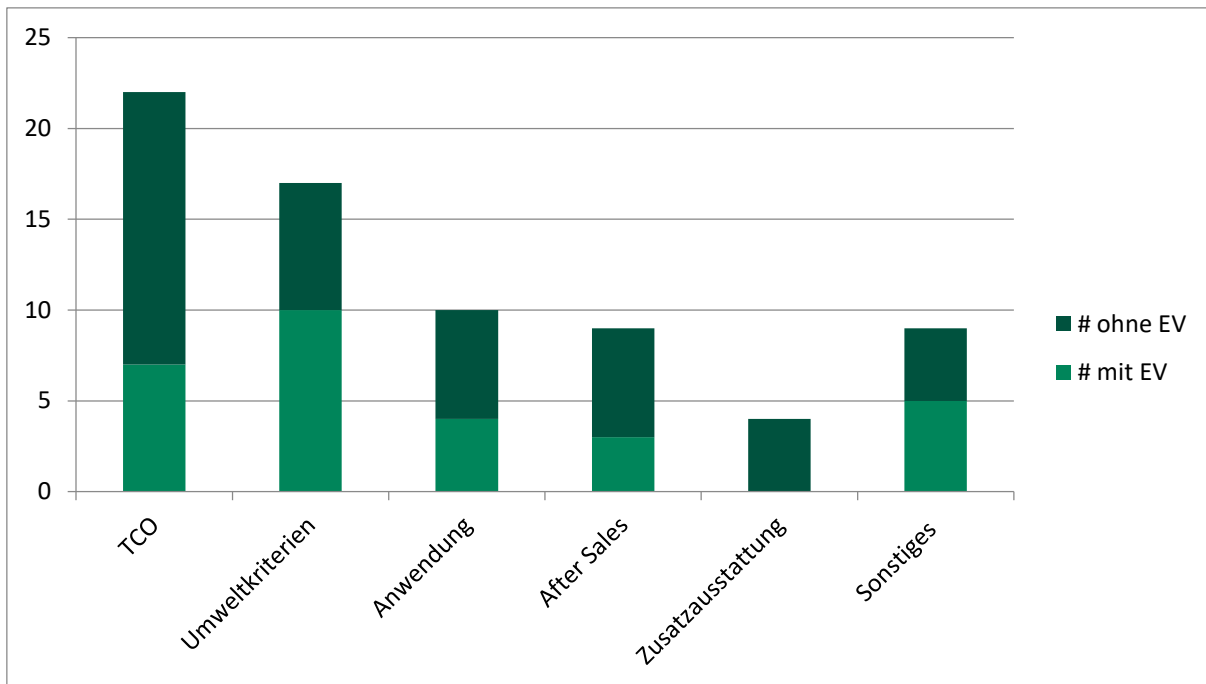


Abbildung 69: Kaufkriterien von Flottenfahrzeugen

Die Ergebnisse aus AS 2.1.1 wurden in Rahmen von Konferenzbeiträgen auf der European Marketing Conference in Istanbul (2013) sowie auf der Macromarketing Conference in London (2014) vorgestellt und sind Teil einer Dissertation, die voraussichtlich Mitte 2017 fertiggestellt wird.

#### Anforderungs- und Präferenzanalyse tatsächlicher Nutzer von Werksflotten- und E-Poolkonzept-Angeboten

Das Ziel von **AS 2.1.2** war die qualitative Analyse der Anforderungen und Präferenzen tatsächlicher Nutzer von Werksflotten- und E-Poolkonzept-Angeboten. Nach einer extensiven Literaturrecherche zu potenziellen Anforderungen und Präferenzen von tatsächlichen Nutzern von automobilen und elektro-mobilen Angeboten, wurde zusammen mit den Projektpartnern (BSN, LDD, TLK, VW) im Rahmen eines Workshops ein qualitativer Interviewleitfaden entwickelt, der stets weiter angepasst wurde.

Insgesamt wurden 8 Interviews mit insgesamt 10 Nutzern von Werksflottenangeboten durchgeführt. Die Akquise fand durch BSN, LDD und VW statt. Interviewteilnehmer mussten zudem bereits erste Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen gesammelt haben. Durch die Erreichung einer theoretischen Sättigung, d.h. dass die Durchführung und Auswertung weiterer Interviews keine neuen Erkenntnisse bringen wird, wird von der Durchführung weiterer Interviews abgesehen. Die durchschnittliche Dauer der Interviews dauerte ca. 29 Minuten.

Die Beschreibung des Samples kann Tabelle 17 entnommen werden.

IP	Bereich	Nutzungshäufigkeit (i.d.R.)	Fahrzeugtyp	Fahrtlänge	Fahrtziel (i.d.R.)	Gepäckmitnahme (i.d.R.)	Versuch häufig EV zu nutzen	E-Auto Fit
A&B	Büro	1x Woche	Pool	2,5-3 km	Innerstädtisch	Wenig	Ja	✓ ✗
C	Bau	5x Woche	Persönlich zugeordnet	-	Innerstädtisch	Viel	Nein	✓
D	Bau	3-4x Woche	Bereichsauto	3 km	Innerstädtisch	Wenig	Selten	✓
E	Büro	k.A.	Pool	-	Innerstädtisch	Wenig	Ja	✓
F&G	Bau	4-5x Woche	Bereichsauto	-	Innerstädtisch	Viel	Nein	✓
H	Vertrieb	5x Woche	Persönlich zugeordnet	>150km	Außerstädtisch	Wenig	Nein	✗
I	Vertrieb	4-5x Woche	Pool	-	Außerstädtisch	Wenig	Selten	✓ ✗
J	Büro	k.A.	Pool	40-150km	Außerstädtisch	Wenig	Nein	✓ ✗

**Tabelle 17: Beschreibung der Interviewpartner**

Die qualitativen Interviews wurden verschriftlicht und anschließend softwaregestützt mit Hilfe der Software MaxQDA und der Methodik der qualitativen Inhaltsanalyse analysiert. Dabei wurden folgende Anforderungen an Dienstfahrzeuge identifiziert.

- Komfort und Sicherheit, d.h. eine komfortable Sitzposition sowie ein hohes wahrgenommenes Sicherheitsgefühl im Fahrzeug.
- Fahrzeuggröße, d.h. die äußerlichen Abmessungen des Fahrzeugs.
- Standardfeatures, d.h. die serienmäßigen Ausstattungen im Fahrzeug wie Airbags, ABS und Klimaanlage
- Zusatzausstattungen, d.h. nicht serienmäßige Ausstattungen, wie z.B. das Navigationsgerät, Sitzheizung und Fahrassistenzsystem
- Motorleistung, d.h. die Beschleunigungsleistung im Fahrzeug
- Verfügbarkeit, d.h. das Vorhandensein und die Nutzbarkeit von Fahrzeugen in planbaren und nicht planbaren Situationen
- Verbrauch pro 100 Kilometer.

Die wichtigsten Anforderungen an Dienstfahrzeuge ergeben sich hauptsächlich aus dem Einsatzzweck und der im Auto verbrachten Arbeitszeit. Eine hohe Bedeutung schreiben alle Passungsgruppen den Anforderungen „Komfort und Sicherheit“ zu. Die Fahrzeuggröße wurde nur von Poolfahrzeugnutzern (Bereichswagen) genannt. Gelegentliche Langstreckenfahrer bevorzugen zudem Autos mit Zusatzausstattungen, während Poolfahrzeugnutzer mit Standardfeatures zufrieden sind.

Zudem nannten die Interviewpartner Aspekte, die Ihnen beim Fahren mit Dienstfahrzeugen wichtig erscheinen.

- Image, d.h. das Ansehen des Fahrzeugs und des eigenen Fahrverhaltens bei anderen Verkehrsteilnehmern
- Flexibilität, d.h. die spontane Nutzbarkeit der Fahrzeuge ohne vorherige Planung
- Beschleunigungsleistung
- Verhaltensänderung, d.h. die wahrgenommene Veränderung des eigenen Fahrverhaltens bei Gebrauch eines Elektrofahrzeugs.

Mitarbeiter sehen sich als Repräsentanten der Firma und fahren dementsprechend angepasst im Straßenverkehr. Die meisten Mitarbeiter gaben an, ihr Fahrverhalten bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen zu ändern. Ein Grund hierfür ist der Versuch die Reichweite durch angepasstes Fahren zu verlängern. Dies resultiert aus der Angst nicht an das Ziel zu gelangen bzw. liegen zu bleiben. Andere Nutzer än-

dernten ihr Beschleunigungsverhalten mit dem E-Fahrzeug einerseits aus Freude an der schnellen Beschleunigung und andererseits, weil der erhöhte Verbrauch als nicht belastend im Hinblick auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß empfunden wurde.

Bezüglich der Nutzung von Elektrofahrzeugen wurden folgende Aspekte genannt:

- Häufigkeit im Gebrauch von Elektrofahrzeugen
- Probleme beim Laden
- Zuverlässigkeit der Reichweitenanzeige
- Reichweitenängste
- Fahrgefühl

Buchungsbarrieren hemmen noch einige Nutzer Elektrofahrzeuge zu nutzen. Dagegen nutzen andere Fahrer die Elektrofahrzeuge so oft wie möglich. Einige Befragten hatten anfangs Probleme mit dem Laden bzw. Entriegeln des Steckers. Die Akkuanzeige wird als unzuverlässig empfunden. Reichweitenängste resultieren in der geringen Nutzung der E-Fahrzeuge. Fahren mit dem Elektrofahrzeug wird von einigen Befragten als Entspannung aufgrund der Geräuscharmheit angesehen. Dies steht jedoch im Widerspruch mit dem durch die Reichweitenangst hervorgerufenen Stress.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Elektrofahrzeuge größtenteils von den Nutzern als positiv angenommen werden, da auch die Fahrt mit einem Elektrofahrzeug als angenehm empfunden wird. Die Nutzungsbesonderheiten lassen sich mit den meisten Fahr- und Streckenprofilen der befragten Nutzer vereinbaren. Reichweitenängste und -unsicherheiten hemmen noch stets die ausgiebigere Nutzung von Elektrofahrzeugen. Die Ergebnisse wurden in Rahmen eines Workshops unter Beteiligung von BSN, LDD, VW und TLK diskutiert und beurteilt.

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in **AP 2.1** zeigt die folgende Tabelle 18 .

**Tabelle 18: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 2.1**

<b>Partner</b>	<b>Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten</b>
<u>AIP</u>	Literaturrecherche und -aufbereitung zum Nutzerverhalten und Akzeptanzforschung im Elektromobilitätskontext sowie zum organisationalen Beschaffungsverhalten insb. im Kontext von Fahrzeugflotten. Konzipierung und Gestaltung von Interviewleitfäden zur Befragung von Beschaffern von Flottenfahrzeugen und Nutzern von Elektrofahrzeugen. Hintergrundrecherche zu den Unternehmen und Aufgabenfeldern der jeweiligen Interviewpartner. Transkription und inhaltliche Auswertung der Interviews. Diskussion und Reflexion der Ergebnisse mit den Projektpartnern. Aufbereitung der Ergebnisse in Form von Powerpoint-Präsentationen.  Es wurden insgesamt 39 qualitative Tiefeninterviews mit Beschaffern von Elektrofahrzeugen sowie 8 qualitative Tiefeninterviews mit 10 Nutzern von Elektrofahrzeugen durchgeführt.
<u>BSN</u>	Unterstützung Leitfadenerstellung und Interpretation der Ergebnisse, sowie Teilnahme an qualitativen Interviews zur Ermittlung kaufentscheidender Faktoren und Anforderungen und Präferenzen tatsächlicher Nutzer.  Teilnehmerakquise für Nutzer von Elektrofahrzeugen.
<u>LDD</u>	Unterstützung Leitfadenerstellung und Interpretation der Ergebnisse, sowie Teilnahme an qualitativen Interviews zur Ermittlung kaufentscheidender Faktoren und Anforderungen und Präferenzen tatsächlicher Nutzer.  Teilnehmerakquise für Beschaffer von Elektrofahrzeugen.
<u>VW</u>	Unterstützung Leitfadenerstellung und Interpretation der Ergebnisse, sowie Teilnahme an qualitativen Interviews zur Ermittlung kaufentscheidender Faktoren und Anforderungen und Präferenzen tatsächlicher Nutzer.  Teilnehmerakquise für Beschaffer von Elektrofahrzeugen und Nutzer von Elektrofahrzeugen.
<u>TLK</u>	Unterstützung Leitfadenerstellung und Interpretation der Ergebnisse. Unterstützung bei der Entwicklung nutzungsspezifischen Trade-Off-Entscheidungen, die in den Leitfäden mit einfließen und als Diskussionsgrundlage in den qualitativen Interviews mit den tatsächlichen Nutzern einfließen.



## 2.2.2. AP 2.2: Tatsächliches Nutzerverhalten

Das Ziel von **AP 2.2** war die Ermittlung von akzeptanz- und präferenzfördernder Einflussgrößen der Adoption elektromobiler Angebote zur Umsetzung eines markt- sowie ökologisch orientierten Betriebs von E-Poolkonzept- und Werksflotten. Hierzu gliederte sich das Arbeitspaket in folgende Arbeitsschritte:

- **AS 2.2.1** Bestandsaufnahme des Nutzerverhaltens für Elektrofahrzeuge im Werksflotten- und E-Poolkonzept-Betrieb
- **AS 2.2.2** Empirische Analyse des Nutzerverhaltens im Kontext E-Poolkonzept
- **AS 2.2.3** Empirische Analyse des Nutzerverhaltens im Kontext Werksflotte
- **AS 2.2.4** Entwicklung von aus Nutzerperspektive optimalen Fahrzeugkonfigurationen

### **Bestandsaufnahme des Nutzerverhaltens für Elektrofahrzeuge im Werksflotten- und E-Poolkonzept-Betrieb**

Das Ziel von **AS 2.2.1** war die Aufbereitung der Literatur zum Nutzerverhalten in den beiden Untersuchungsfeldern. Zum Bearbeitungszeitraum lagen nur wenige Studien zum Thema Elektromobilität vor, dabei beschränkte sich die Literatur hauptsächlich mit dem Thema Privatkonsumenten und vernachlässigte gewerbliche Flotten. Diese Vernachlässigung ist jedoch erstaunlich, da Flotten prinzipiell als Schrittmacher von Innovationen angesehen werden (Nesbitt & Sperling 2001) und auch der Anteil an Neuzulassungen von Fahrzeugen im gewerblichen Sektor relativ hoch ist (2014: 62,8%) (KBA 2014). Mit Hinblick auf den Verkehrssektor lassen sich jedoch folgende Erkenntnisse ziehen:

- Es liegen unterschiedliche Definitionen und Einteilungen im Privat- und Geschäftssektor vor.
- Studien zum Gebrauch von Fahrzeugen sind unabhängig von der Antriebsart hauptsächlich im Privatkundensegment angesiedelt oder verschwimmen.
- Die Verkehrsleistung im Personenverkehr auf der Straße wächst zunehmend in Deutschland
- Der Verkehrssektor macht mit  $10^{15}$  Joule ca. 28% des Endenergieverbrauchs der Bundesrepublik aus.
- Die maximale Leistungskurve der Kraftwerke würde bereits heute bei einer Millionen Elektrofahrzeuge nicht erreicht werden.

Bezüglich des Fahrverhaltens zeigten Studien, dass im Durchschnitt 90% aller Fahrten unter 50 Kilometer pro Strecke sind. Tabelle 19 zeigt eine Übersicht der täglichen Fahrlängen der untersuchten Studien.

50% aller deutschen Fahrzeugnutzer parken ihr Fahrzeug, unabhängig von der Antriebsart, nachts in der Garage (Gnann et al. 2011). 90% aller Fahrzeuge stehen in den Nachtstunden von 00:00 bis 04:00 Uhr und mindestens 35 % zu allen Tageszeiten Zuhause. Der Anteil der am Arbeitsplatz abgestellten Fahrzeuge beträgt ca. 46% und erreicht das Maximum um 10Uhr vormittags. Nächsthäufigere Standorte sind Freizeitaktivitäten und Besuche anderer Personen. (Litzlbauer und Leitinger 2012) Diese erreichen jedoch einzeln zu keinem Zeitpunkt einen Anteil über 7 %.

**Tabelle 19: Studien zum Fahrverhalten**

<b>Studie</b>	<b>Ø Fahrlänge/ Tag</b>
(Franke & Krems 2013)	38 km
(Smart et al. 2013)	65,5 km *Range Extender
(Rolim et al. 2012)	40,6 km
(Litzlbauer und Leitinger 2012)	88% < 50 km 95% < 48 km;
(van Haaren 2011)	99% < 112 km (Einzelweg)
(Matthies et al. 2010)	70% der Europäer <40 km; 80% der Amerikaner <50 mi
(Herry et al. 2008)	95% < 50 km

Ein Drittel der Fahrzeugnutzer laden das Fahrzeug zu jeder Gelegenheit. Viele Nutzer wollen die häufigen Ladevorteile der PHEV's nutzen (Kurani et al. 2008). 20-30% der Fahrzeugnutzer laden das Fahrzeug jeden Tag in längeren Standphasen (meistens Abends). 29% der Befragten gaben an, dass sich das Laden der E-Fahrzeuge mit Kabel ab einer Parkdauer von einer Stunde rentiert (Papendick et al. 2011). Bei Flottenfahrzeugen wurde in einer Studie das Laden nach jeder Verwendung vorgeschrieben (Kurani et al. 2008).

Über 80% der Nutzer laden das EV zuhause oder am Arbeitsplatz, wenn eine Lademöglichkeit vorhanden ist (Kurani et al. 2008). Eine geringere Anzahl an Fahrzeugen wurde zusätzlich an wechselnden Orten geladen, wie z.B. Wohnorten von Freunden, während der Arbeitszeit besuchte Büros oder Hotels (Kurani et al. 2008). Ladekapazitäten im Freizeitbereich oder vor Einkaufsmöglichkeiten sind wahrscheinlich nicht rentabel (Litzlbauer & Leitinger 2012).

### Empirische Analyse des Nutzerverhaltens im Kontext Pool-Konzept

Das Ziel von **AS 2.2.2** war die Analyse des tatsächlichen und intendierten Verhaltens der Nutzer im Kontext Pool-Konzept. Anhand der Ergebnisse aus **AS 2.1.1**, **AS 2.1.2** und **AS 2.2.1** sowie mithilfe realer Daten aus AP 1.1 wurde innerhalb eines Workshops sowie nachfolgender Absprachen mit LDD, TLK und VW ein Fragebogen zur begleitenden Abfrage des Nutzerverhaltens entwickelt. Es wurde in einem Abstand von ca. drei Monaten Online-Fragebögen an die Nutzer verschickt. Aufgrund der geringen Teilnahmebereitschaft sowie hohen Reaktanz wurde die Verschickung nach drei Fragebogen eingestellt. Stattdessen wurde im Bereich des Pool-Konzepts eine qualitative Befragung durchgeführt. Aufgrund der ebenfalls geringen Teilnehmerzahl bei der Befragung der Werksflottenutzer aus AP 2.2.3 wurden die Ergebnisse beider Befragungen hier zusammengefasst, um eine genügend große Fallzahl für die Berechnung der signifikanten Unterschiede mittels t-Tests zu erlangen. Die Ergebnisse befinden sich in Abbildung 70, Abbildung 71 und Abbildung 72.

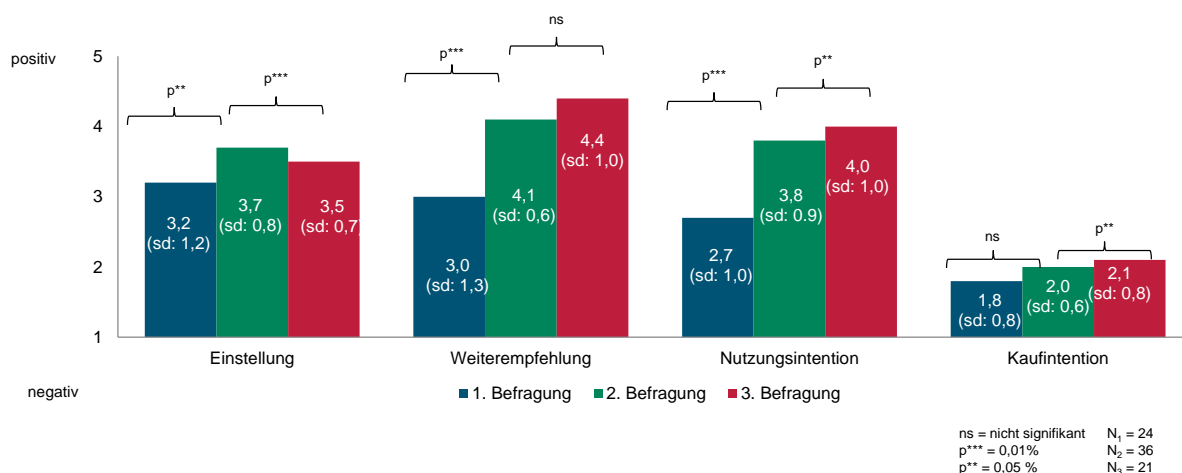
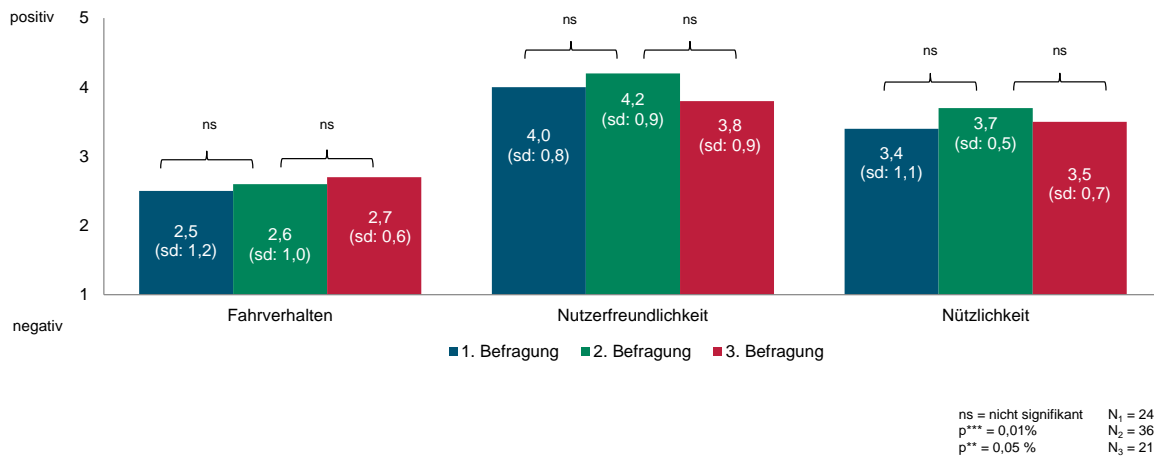
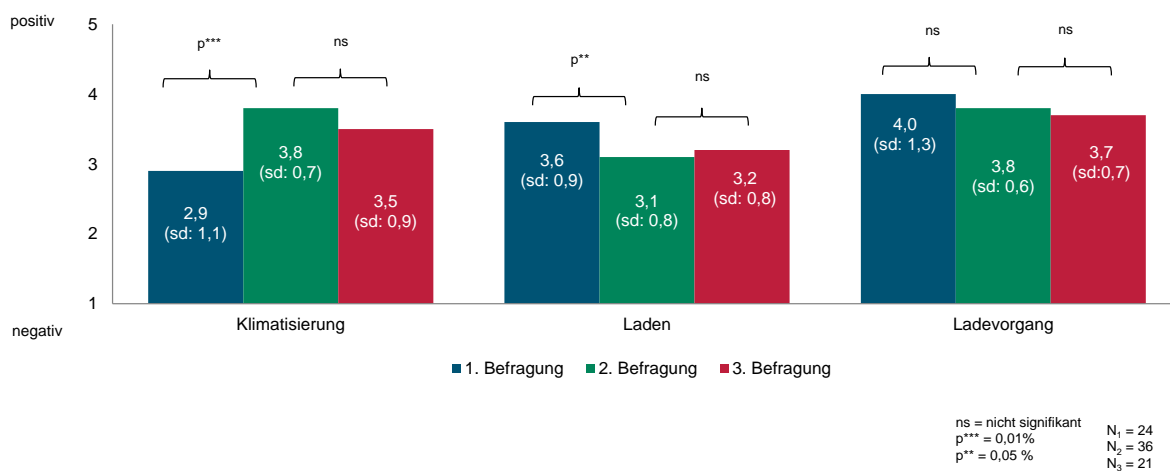


Abbildung 70: Ergebnisse zu Einstellung, Weiterempfehlung, Nutzungs- und Kaufintention



**Abbildung 71: Ergebnisse zu Fahrverhalten, Nutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit**



**Abbildung 72: Ergebnisse zu Klimatisierung, Laden und Ladevorgang**

Aufgrund der Angaben zur Nutzungshäufigkeit von konventionellen Dienstwagen und E-Fahrzeugen kann darauf geschlossen werden, dass die meisten Nutzer bei Bedarf auch ein E-Fahrzeug verwenden. Dabei wird der C-Zero doppelt so häufig genutzt, wie die Mia Electric. Die Einstellung gegenüber Elektrofahrzeugen hat sich von der ersten zur zweiten Befragung zwar signifikant verbessert, ist dann jedoch wieder gesunken. Dies kann jedoch auf einerseits unterschiedliche Befragungsteilnehmer und andererseits der Reaktanz gegenüber dem Fragenbogen zurückgeführt werden.

Die Weiterempfehlungsbereitschaft sowie die Nutzungsintention sind über die Befragungszeiträume hinweg signifikant gestiegen (siehe Abbildung 70). Das wahrgenommene Fahrverhalten mit Elektrofahrzeugen hat sich nicht signifikant verändert. Ebenso wenig haben sich die wahrgenommene Nützlichkeit und Benutzerfreundlichkeit der Elektrofahrzeuge geändert (siehe Abbildung 71). Trotz kälterem und nasserem Wetter im Vergleich zur 2. Befragung besteht kein signifikanter Unterschied zur Einstellung bezüglich der Klimatisierung, der Nutzerfreundlichkeit des Ladevorgangs oder der Einstellung bezüglich des Ladens (siehe Abbildung 72).

Demnach ist eine positive Einstellung zu beobachten, die sich im intendierten Verhalten widerspiegelt. Aufgrund des stark fluktuierenden Nutzungsverhaltens konnten keine Rückschlüsse auf die Veränderung der Nutzung und Akzeptanz der E-Fahrzeuge bei einzelnen Personengruppen betrachtet werden. Die folgende Tabelle zeigt die Arbeiten der einzelnen Partner.

Weiterführend wurde eine qualitative Befragung von Mitarbeitern eines Instituts der TU Braunschweig durchgeführt, die sowohl die E-Fahrzeuge als auch konventionelle Fahrzeuge dienstlich nutzen konnten. Dazu wurde mit Hilfe der Projektpartner LDD, TLK und VW ein Leitfaden konzipiert, der die bestehenden Erkenntnisse aus der quantitativen Befragung mitabbildete. Ziel hierbei war es fokussierter auf

die Treiber und Barrieren der Nutzung der E-Fahrzeuge eingehen zu können als bei einer quantitativen Befragung. Hier wurden insbesondere vier Faktoren identifiziert, die Einfluss auf die Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen haben. Dies betrifft zum einen den Mitarbeiter betreffende Faktoren und die Organisation betreffende Faktoren. Interne Faktoren sind die Funktionalität der Fahrzeuge, insbesondere ob die Nutzung der Fahrzeuge die tägliche Arbeitsweise behindert, sowie die eigene Einstellung gegenüber Elektrofahrzeugen, die einen hohen Einflussfaktor auf die wahrgenommene Nützlichkeit von Elektrofahrzeugen darzustellen scheint. Externe Faktoren betreffen die Implementierung von Elektrofahrzeugen in der Organisation, dies betrifft zum einen die Erklärung der Besonderheiten in der Nutzung und zum anderen die Benutzerfreundlichkeit des Buchungssystems. Ein weiterer externer Faktor bezieht sich auf die Wirkung der Fahrzeuge als solches. Insbesondere die Mia Electric wurde von den Nutzern als nicht vollwertiges Auto wahrgenommen und erhöhte die Skepsis gegenüber der Elektromobilität im Allgemeinen. Die Ergebnisse wurden im Anschluss mit den Projektpartner LDD, TLK und VW reflektiert.

### Empirische Analyse des Nutzerverhaltens im Kontext Werksflotte

Das Ziel von **AS 2.2.3** war die Analyse des tatsächlichen und intendierten Verhaltens der Nutzer im Kontext Werksflotte. Aufgrund der geringen Teilnehmerzahl wurden die Ergebnisse zusammen mit denen der Poolflotte ausgewertet. Eine Beschreibung der Ergebnisse finden Sie im vorigen Abschnitt zu **AS 2.2.2**.

Zudem wurde dem Fahrtenbuch ein Kurzfragebogen beigelegt, in dem einzelne Parameter mit folgenden Single-Items bewertet wurden. Dieser wurde mit den Projektpartner BSN, TLK und VW entwickelt. Der Fragebogen wurde von BSN in den Fahrzeugen hinterlegt, sodass Nutzer der Werksflotte diesen nach der Fahrt ausfüllen konnten.

- Die Temperatur im Fahrzeug war angenehm. (Temperatur)
- Ich fand das Elektrofahrzeug leicht zu handhaben. (Handhabung)
- Ich war mir stets über die noch fahrbare Reichweite im Klaren. (Klarheit Reichweite)
- Das Auto gab mir ein Gefühl der Sicherheit. (Sicherheit)
- Ich habe das Fahrgefühl heute sehr genossen. (Fahrgefühl)
- Dieses Elektrofahrzeug funktionierte heute so, wie ich es erwartet habe. (Erwartung)
- Der Ladevorgang war unter Berücksichtigung der Witterungsbedingungen komfortabel. (Ladevorgang)
- Die Positionierung des Fahrzeugs zum Laden war einfach. (Positionierung Laden).

Diese Parameter wurden hinsichtlich des Einflusses auf die Gesamtzufriedenheit mit Elektrofahrzeugen untersucht und in eine Performance-Impact-Matrix überführt (siehe Abbildung 73).

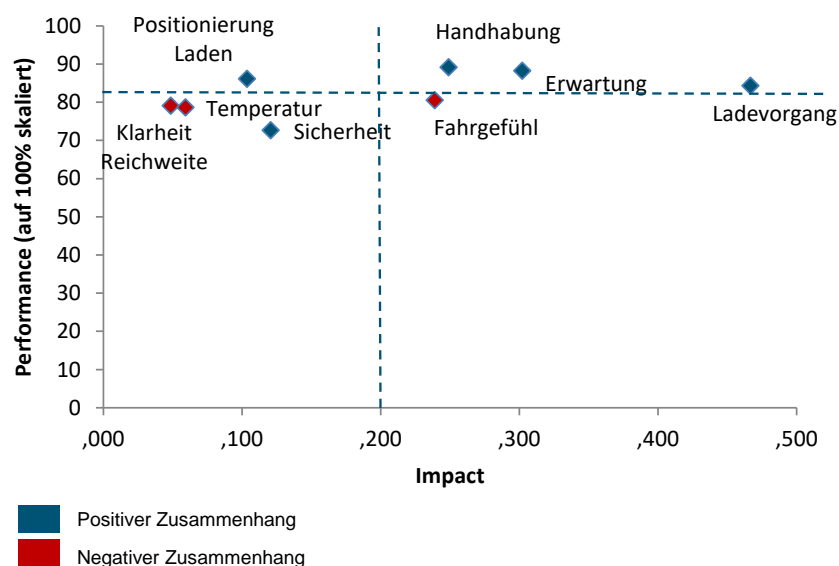


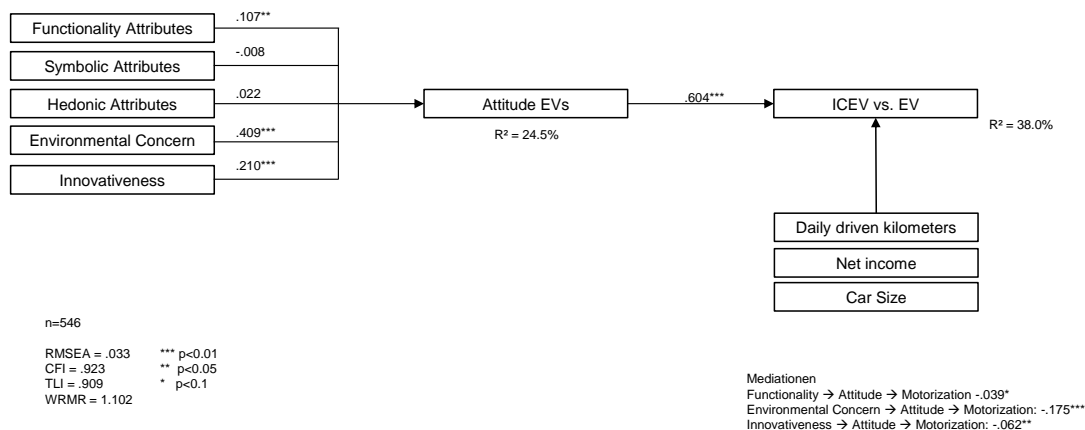
Abbildung 73: Performance-Impact-Matrix ausgewählter Parameter

Insgesamt liegt der Erklärungsbeitrag der Nutzungszufriedenheit bei 72,5%. Den höchsten Einfluss auf die Zufriedenheit mit Elektrofahrzeugen hat die Komfortabilität des Ladevorgangs, während die Klarheit bezüglich der Reichweite den geringsten Einflussfaktor darstellt. Prinzipiell kann man sagen, dass die Handhabung, die Erwartung sowie der Ladevorgang einen hohen Impact auf die Zufriedenheit haben, aber auch positiv bewertet werden. Das Fahrgefühl hat ebenfalls einen hohen Impact, wird aber negativ bewertet. Die Klarheit über die Reichweite, die Temperatur und das Sicherheitsgefühl haben einen geringen Impact und werden nicht gut bewertet. Die Positionierung beim Laden wird zwar gut bewertet, hat jedoch einen geringen Impact auf die Zufriedenheit. Die Ergebnisse wurden von den Projektpartnern BSN, TLK und VW reflektiert.

### Entwicklung von aus Nutzerperspektive optimalen Fahrzeugkonfigurationen

Das Ziel von **AS 2.2.4** war die Identifizierung von idealtypischen nutzenoptimalen Fahrzeugkonfigurationen. Hierzu wurde zunächst ein Fragenkatalog mit diversen Merkmalsausprägungen bei Fahrzeugen erarbeitet, der mit der Bitte um Ergänzung an die in **AS 2.2.4** beteiligten Projektpartner (IFAM, IFE, TLK, VW) verschickt und diskutiert wurde. Dieser Fragenkatalog diente als Grundlage für die Erstellung eines Forschungsdesigns, welches einen simulierten Forschungskonfigurator umfasst. Befragungsteilnehmer konnten sich Fahrzeuge hinsichtlich der Größe, Motorisierung, und Zusatzausstattung konfigurieren. Die Fragestellung war zudem, welche latenten Faktoren die Wahl eines elektrisch betriebenen Fahrzeugs beeinflussen. Befragt wurden insgesamt 546 Teilnehmerinnen mit einem Durchschnittsalter von 42 Jahren. Die durchschnittlich zurückgelegte Wegstrecke zur Arbeit betrug 33km. Am Wochenende wurden ca. 43km gefahren. Die Großzahl der Befragungsteilnehmerinnen wählte ein Fahrzeug aus der Kompaktklasse und fast die Hälfte der Befragten einen Ottomotor. Nur 21% der Befragten wählten ein Fahrzeug mit Elektromotor (rein elektrisch betrieben, Hybrid, Range Extender) aus.

Es konnte festgesellt werden, dass die Einstellung zu Elektrofahrzeugen ein wichtiger Mediator in der Beziehung zwischen den latenten Variablen: Funktionalität, Symbolik, Hedonismus, Umweltbewusstsein und Innovationsfreude ist. Insbesondere die Funktionalität, das Umweltbewusstsein sowie die Innovationsfreude haben signifikanten Einfluss auf die Einstellung gegenüber Elektrofahrzeugen, die wiederum einen positiven Einfluss auf die Konfigurationsentscheidung bezüglich eines elektrisch betriebenen Fahrzeugs hat. Abbildung 74 zeigt das konzeptionelle Modell der Wirkungszusammenhänge inklusive der Beta-Koeffizienten und Signifikanzniveaus.



**Abbildung 74: Forschungsdesign zur Identifizierung idealtypischer Fahrzeugkonfigurationen**

Mit Hilfe der latenten Faktoren wurde zudem eine Latent Class Analysis durchgeführt, in der eine Segmentierung der Probanden anhand der latenten Faktoren stattfand. Es wurden drei Klassen identifiziert, die in der Bedeutungsbeimessung der unterschiedlichen Faktoren unterschiedlicher Auffassung waren. So empfinden die Pragmatiker (blaue Linie) die Funktionalität eines Fahrzeuges am wichtigsten, während der Symbolcharakter des Fahrzeuges keine Rolle spielt (siehe Abbildung 75).

Tabelle 20 zeigt zudem weitere Unterschiede der unterschiedlichen Klassen.

Zusätzlich wurde eine Studie durchgeführt um den Einfluss des Fahrzeugdesigns auf die Einstellungs- und Präferenzbildung zu testen. Das konzeptionelle Design sowie der Fragebogen wurden mit Hilfe der

Projektpartner (IFAM, IFF, TLK, VW) entwickelt. Auf der einen Seite setzen Fahrzeughersteller auf ein konventionelles Design der E-Fahrzeuge, welches sich wenig bis gar nicht von bisher bekannten Fahrzeugdesigns unterscheidet (z.B. VW e-Golf, e-UP). Auf der anderen Seite zeigen Autohersteller radikal

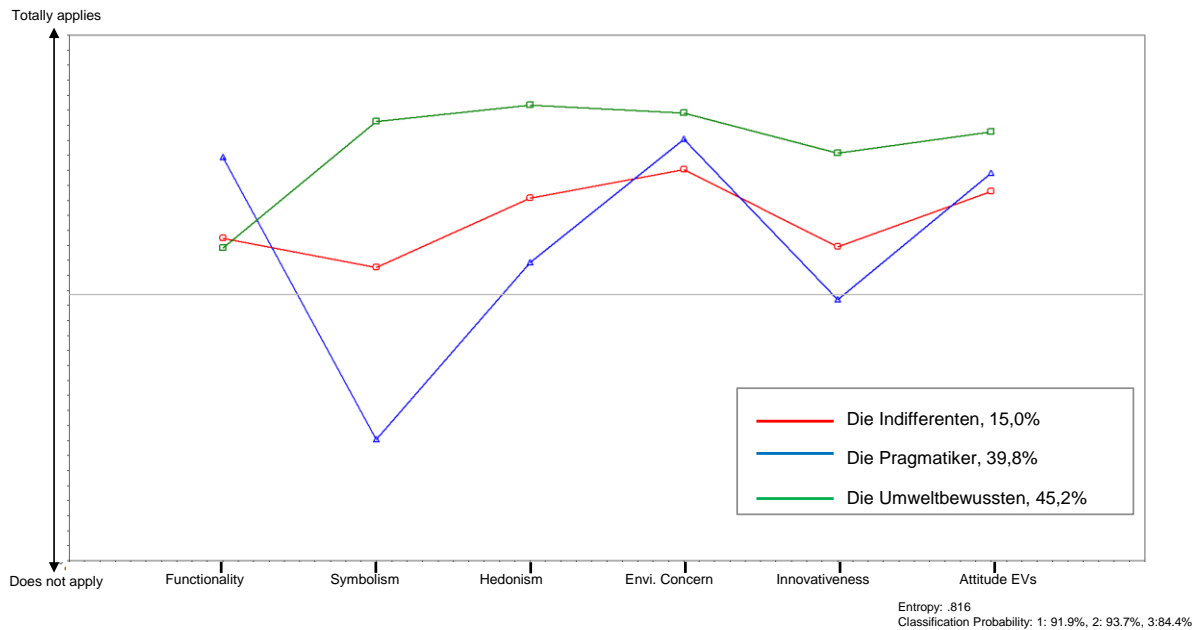


Abbildung 75: Segmentierung der Probanden auf Basis der Latent Class Analysis

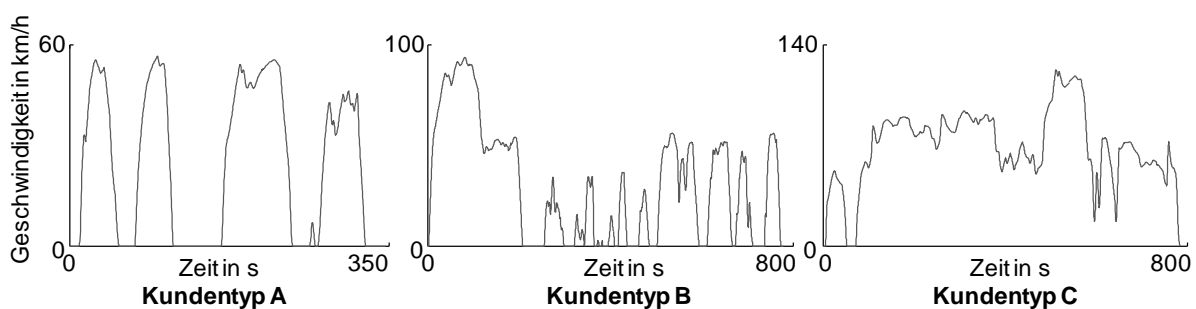
	Die Indifferenten	Die Pragmatiker	Die Umweltbewussten
<b>Age</b>	Ø 34.99 (13.74)	Ø 46.11 (13.81)	Ø 38.23 (13.35)
<b>Sex</b>	35.1% female 64.9% male	60.2% female 39.8% male	41.5% female 58.5% male
<b>Trips longer than 100km (on average per year)</b>	Daily: 23.4% 1-2x/week: 22.1% 3-4x/week: 18.2%	Daily: 5.6% 1-2x/week: 19.0% 3-4x/week: 12.5%	Daily: 11.5% 1-2x/week: 22.1% 3-4x/week: 13.0%
<b>Kilometers per year</b>	<10.000km: 18.2% <20.000km: 37.7% <30.000km: 20.8% <40.000km: 20.8% >40.000km: 2.6%	<10.000km: 41.2% <20.000km: 36.1% <30.000km: 13.0% <40.000km: 6.5% >40.000km: 3.2%	<10.000km: 27.7% <20.000km: 44.7% <30.000km: 17.0% <40.000km: 8.7% >40.000km: 2.0%
<b>Average Driving Distance to/from Work</b>	50.51km (74.73) Max: 500km	26.36km (30.16) Max: 210km	35.83km (49.82) Max: 500km
<b>Average Driving Distance at Weekends</b>	120.22km (140.58) Max: 888km	52.49km (68.03) Max: 600km	88.58km (106.51) Max: 600km
<b>Active experience with EVs (in %)</b>	Yes: 20.8% No: 79.2%	Yes: 9.7% No: 90.3%	Yes: 9.9% No: 90.1%
<b>Powertrain Choices (in %)</b>	ICEV: 76.6% EV: 23.4%	ICEV: 77.8% EV: 22.2%	ICEV: 80.6% EV: 19.4%

Tabelle 20: Unterschiede in den Klassen von Probanden

veränderte Fahrzeugdesigns, die sich radikal von üblichen „Designkonventionen“ abheben (z.B. BMW i3). Ziel der Studie besteht daher in der Untersuchung der (psychologischen) Wirkung dieser unterschiedlichen Designkonzepte auf die Konsumenten und deren Präferenzbildung. Zu diesem Zwecke erfolgte zunächst eine umfassende Aufbereitung der relevanten Literatur, gefolgt von einer repräsentativen Onlineumfrage. Zentrales Resultat dieser breit angelegten Studie ist die Erkenntnis, dass die unterschiedlichen Designstrategien einen signifikanten Einfluss auf die Einstellung bzw. Präferenzbildung

gegenüber Elektrofahrzeugen haben. Erklärt werden kann dieser Effekt durch verschiedene psychologische Mechanismen, welche bei den Konsumenten zu einer Art Kosten-Nutzen-Abwägung zwischen den verschiedenen Fahrzeugkonzepten führen. Konkret bedeutet dies, dass die Konsumenten einerseits eine hohe Funktionalität und einfache Handhabbarkeit bei einem konventionellen Fahrzeugdesign sehen und daraus auf einen geringen Lernaufwand (zur Inbetriebnahme des Fahrzeugs) schließen, allerdings durch die Wahl eines auffällig und radikal designten Fahrzeug die Chance sehen sich zu profilieren und einen Geltungsnutzen zu verschaffen. Die folgende Tabelle zeigt die Arbeiten der einzelnen Partner.

Vom IFF und AIP wurden auf Basis der Nutzerbefragungen und einer Analyse der Messdaten unterschiedliche Nutzerprofile identifiziert. Mit Hilfe der Gesamtfahrzeugsimulation wurden für diese vom IFF kundentypspezifische Antriebsstränge auf Basis des Citroën C-Zero identifiziert. Durch eine am IFF vorhandene Methodik wurden aus den Messdaten repräsentative Geschwindigkeitsprofile für ermittelt. Dazu wurden Wegabschnitte aus den Messdaten verwendet, die hinsichtlich des Energieverbrauchs und des Fahrverhaltens repräsentativ für diesen Kundentyp waren. Diese sind in Abbildung 76 zu sehen.



**Abbildung 76: Geschwindigkeitsprofile der identifizierten Nutzertypen**

Kundentyp A wies ein Profil mit kurzen Strecken ausschließlich in der Stadt auf. Bei Kundentyp B gab es neben einem Stadtanteil zusätzlich einen Überlandanteil. Dadurch waren die gefahrenen Strecken und die benötigte Zeit länger. Den kleinsten städtischen Anteil weist Kundentyp C auf, welcher einen sehr hohen Überland- bzw. Autobahnanteil hatte. Die Dauer des Zyklus ist vergleichbar zu der von Kundentyp B, jedoch ist die gefahrene Strecke länger. Insgesamt steigt die Durchschnittsgeschwindigkeit von Kundentyp A zu Typ C an.

Für Kundentyp A ergab sich, dass die Basiskonfiguration (50 kW E-Maschinenleistung, Getriebeübersetzung 6) hinsichtlich des Energieverbrauchs bereits sehr nah am Optimum im betrachteten Variationsraum lag. Geringe E-Maschinenleistung führten zu einem höheren Verbrauch, dies lässt sich durch die größere rekuperierbare Energie erklären. Durch die im Vergleich größeren und häufigeren Verzögerungen in der Stadt kann mehr Energie beim Bremsen zurückgewonnen werden, sodass der Energieverbrauch reduziert wird. Eine Erhöhung der Leistung brachte hingegen kaum noch eine Verbesserung. Dies gilt im Wesentlichen auch für Kundentyp B, für den die E-Maschine etwas leistungsstärker dimensioniert werden sollte (55kW), da dieser ein dynamischeres Fahrprofil mit größeren Verzögerungen aufweist. Eine größere Getriebeübersetzung wäre für die Fahrleistung aufgrund des größeren Radmoments vorteilhaft gewesen, jedoch negativ für den Energieverbrauch. Außerdem wurde neben der PMSM auch die Verwendung einer ASM untersucht, die jedoch für die Kundentypen A und B nicht vorteilhaft war. Demgegenüber ist für Kundentyp C eine ASM mit geringer Leistung (35 kW) von Vorteil. Durch den hohen Überland- bzw. Autobahnanteil sind die Verzögerungen seltener und kleiner, sodass hier das Rekuperationspotential geringer ist. Ferner sollte eine eher kleinere und damit längere Getriebeübersetzung (in diesem Fall 4) gewählt werden, um einerseits die Drehzahlen zu verringern und andererseits die Last zu erhöhen. Dadurch konnte die E-Maschine in besseren Wirkungsgradbereichen betrieben werden.

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in **AP 2.2** zeigt die folgende Tabelle 21.

Tabelle 21: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 2.2

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>AIP</u>	Literaturrecherche und -aufbereitung zum Nutzerverhalten im Kontext Mobilität; Sekundäranalyse (z.B. Internetrecherche) der bestehenden Märkte für Poolkonzept und Werksflotte; Aufbereitung der Ergebnisse; Anpassung und Verschickung von Fragebögen in festgelegten Intervallen. Auswertung der Mittelwerte sowie Mittelwertvergleiche (t-tests) der unterschiedlichen Intervalldaten. Aufbereitung der Daten und Bereitstellung der Ergebnisse auf dem Fleet Go Green-internen Server; Gestaltung, Konzipierung und Auswertung einer Design-Studie. Dazu extensive Literaturrecherche inkl. Recherche zu validierten Konstrukten und Items; Programmierung eines Fragebogens und Akquirierung von Teilnehmern. Auswertung mithilfe statistischer Methoden; Anpassung und Verschickung von Fragebögen in festgelegten Intervallen. Auswertung der Mittelwerte sowie Mittelwertvergleiche (t-tests) der unterschiedlichen Intervalldaten. Aufbereitung der Daten und Bereitstellung der Ergebnisse auf dem Fleet Go Green-internen Server; Gestaltung und Konzipierung eines Fragebogens zur Abfrage von nutzenoptimalen Fahrzeugkonfigurationen; Recherche zu bereits verwendeten Konstrukten sowie empirisch validierter Items; Begrenzung der Konfigurationsmerkmale auf Fahrzeuggröße, Motorisierung und Zusatzausstattung; Recherchearbeiten zur Identifikation realistischer Fahrzeugbilder im Hinblick auf Preis, CO2-Ausstoß, Reichweite und Verbrauch.
<u>LDD</u>	Unterstützung bei der Erstellung der Fragebögen insb. Überprüfung und Anpassung der Untersuchungskonzeptionen und Fragebogendesigns im Hinblick auf Vollständigkeit, Verständlichkeit und Praxisgängigkeit, sowie Teilnehmerakquise. Unterstützung bei der Interpretation und Analyse der Ergebnisse.
<u>IFAM</u>	Bereitstellung von Informationen aus nutzer- und marktorientierter Sichtweise, im Rahmen der Unterstützung bei der Fragebogenkonzeption und -design. Simulation der Antriebstopologien zur Ableitung idealtypischer Fahrzeugkonfigurationen je Nutzersegment. Unterstützung bei der Interpretation und Analyse der Ergebnisse.
<u>VW</u>	Unterstützung bei Fragebogenkonzeption und -design insb. Überprüfung und Anpassung der Untersuchungskonzeptionen und Fragebogendesigns im Hinblick auf Vollständigkeit, Verständlichkeit und Praxisgängigkeit. Unterstützung bei der Ableitung idealtypischer Fahrzeugkonfigurationen. Unterstützung bei der Interpretation und Analyse der Ergebnisse.
<u>TLK</u>	Unterstützung bei Fragebogenkonzeption und -design; Simulation der Antriebstopologien zur Ableitung idealtypischer Fahrzeugkonfigurationen je Nutzersegment. Unterstützung bei der Interpretation und Analyse der Ergebnisse.
<u>IFF</u>	Unterstützung bei Fragebogenkonzeption und -design. Simulation der Antriebstopologien zur Ableitung idealtypischer Fahrzeugkonfigurationen je Nutzersegment. Unterstützung bei der Interpretation und Analyse der Ergebnisse.
<u>BSN</u>	Unterstützung bei der Erstellung der Fragebögen insb. Überprüfung und Anpassung der Untersuchungskonzeptionen und Fragebogendesigns im Hinblick auf Vollständigkeit, Verständlichkeit und Praxisgängigkeit, sowie Teilnehmerakquise und Unterstützung bei der Datenerhebung. Unterstützung bei der Interpretation und Analyse der Ergebnisse.

### 2.2.3. AP 2.3: Effektivität von Anreizmechanismen

Das Ziel von **AP 2.3** war die Entwicklung operativer Maßnahmen zum Abbau von Akzeptanzbarrieren sowie Maßnahmen zum umweltbewussten Fahrverhalten in den Anwendungsfeldern Pool-Konzept und Werksflotten. Hierzu gliederte sich das Arbeitspaket in folgende Arbeitsschritte:

- **AS 2.3.1:** Entwicklung operativer Maßnahmen zum Abbau von Akzeptanzbarrieren der Nutzung mobiler Angebote in den Anwendungsfeldern Pool-Konzept und Werksflotte
- **AS 2.3.2:** Entwicklung operativer Maßnahmen zum Abbau von Akzeptanzbarrieren der Nutzung elektromobiler Angebote in den Anwendungsfeldern E-Poolkonzept und Werksflotten

#### **Entwicklung operativer Maßnahmen zum Abbau von Akzeptanzbarrieren der Nutzung mobiler Angebote in den Anwendungsfeldern Pool-Konzept und Werksflotte**

Das Ziel von **AS 2.3.1** war die experimentelle Überprüfung von Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung der Nutzung von Elektrofahrzeugen in den Kontexten Pool-Konzept und Werksflotte. Hierzu wurde ein



Workshop unter Beteiligung aller in **AS 2.3.1** beteiligten Projektpartner (VW, TLK) veranstaltet, um wichtige und geeignete Maßnahmen zum Abbau von Akzeptanzbarrieren zu identifizieren und um diese auf ihre Effektivität zu überprüfen. Im Workshop sowie aus den Ergebnissen der qualitativen Befragung aus **AS 2.1.1** kristallisierten sich die Faktoren Reichweite und Anschaffungspreis als treibende Faktoren auf die Kaufintention heraus, sodass diese in einem experimentellen Design manipuliert wurden. Sowohl Preis als auch Reichweite wurden von dem aktuellen eGolf beziehungsweise konventionell betriebenen Golf (Ottomotor) entnommen und auf Elektrofahrzeuge übertragen. So wurden entweder 18.000Euro oder 28.000Euro als Anschaffungspreis und 190km oder 600km als elektrische Reichweite genannt. Alle anderen Angaben variierten nicht. Zudem wurde als Kontrollszenario ein konventioneller Golf mit Ottomotor genannt. Ein beispielhaftes Szenario findet sich in Abbildung 77.

Sie stehen vor der Beschaffung eines neuen Fahrzeugs für die **Poolflotte** Ihres Unternehmens. Sie haben Angebote verschiedener Hersteller im Bereich der **Kompaktklasse** angefragt, dabei haben Sie angefordert, dass folgende Elemente im Fahrzeug vorhanden sind: Leichtmetallräder, Multifunktions-Lederlenkrad, Klimaanlage mit 2-Zonen Temperaturregelung, portables Navigations- und Infotainmentsystem. Sie baten außerdem um ein besonders umweltfreundliches Fahrzeug. Sie haben folgendes Angebot erhalten:

**Der Volkswagen e-Golf**  
**e-Golf 85kW (115 PS) 1-Gang Automatik**  
 Stromverbrauch kombiniert 12,7kWh/100km  
 CO2-Emissionen kombiniert 0 g/km  
 Effizienzklasse A+

Preis für die gewählte Ausstattungs- **€ 18.000,-**  
 variante und Motorisierung inkl.  
 Sonderausstattungen  
 Leasingrate (36 monatliche Raten à) **€ 200,-**

*Fahren Sie bis zu **600 km** lokal emissionsfrei. Danach können Sie Ihr Fahrzeug bequem an jeder Steckdose oder auch an einer bei uns erhältlichen Wallbox wieder aufladen.  
 Nicht teurer als ein vergleichbarer Diesel - jetzt zuschlagen!  
 Ihr Flottenkundenrabatt von -20% auf Elektrofahrzeuge ist bereits einberechnet.*



**Abbildung 77: Beispielhaftes Szenario zur Überprüfung von Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung**

Insgesamt konnten 107 BefragungsteilnehmerInnen gewonnen werden. Teilnahmevoraussetzung war eine Verantwortlichkeit im Beschaffungsprozess von Firmenfahrzeugen.

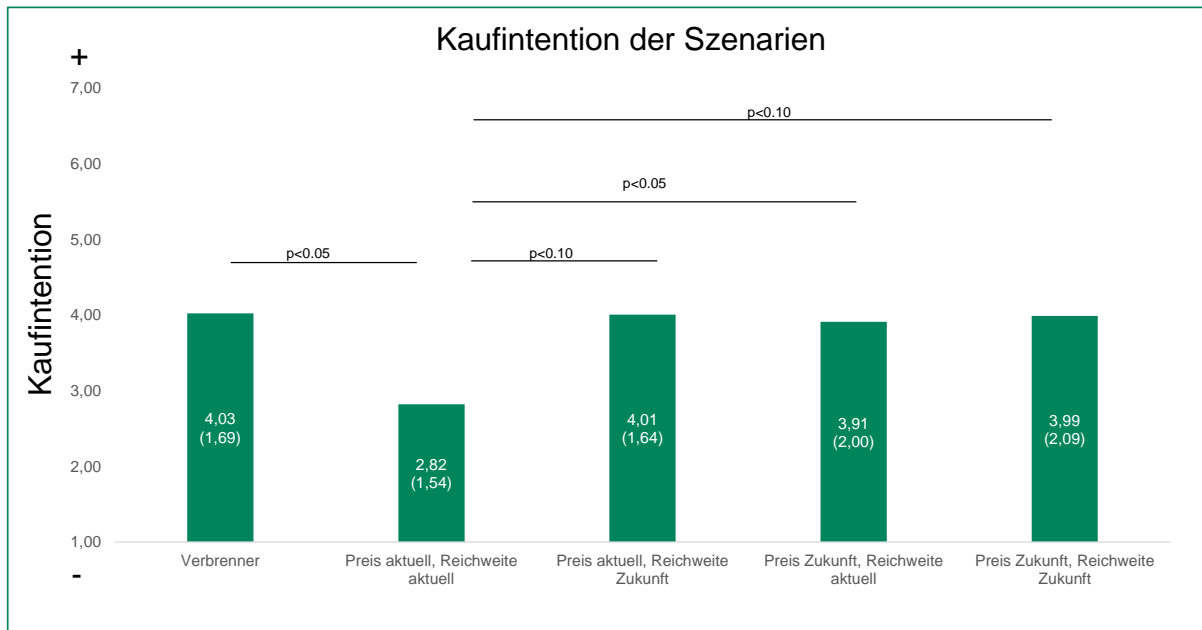
Es zeigte sich, dass die Kaufintention von heutigen Elektrofahrzeugen signifikant schlechter ist als bei Verbrennern. Eine höhere Kaufintention im Vergleich zum heutigen Elektrofahrzeug kann durch eine Verbesserung des Preises und/oder der Reichweite erzielt werden. Im direkten Vergleich scheint die Reichweite jedoch einen wichtigeren Einflussfaktor darzustellen als der Preis. Die Ergebnisse werden in Form eines Buchbeitrags veröffentlicht. Abbildung 78 veranschaulicht diese Ergebnisse.

### **Entwicklung operativer Maßnahmen zum Abbau von Akzeptanzbarrieren der Nutzung elektro-mobiler Angebote in den Anwendungsfeldern E-Poolkonzept und Werksflotten**

Das Ziel von **AS 2.3.2** war die Identifizierung von Anreizmechanismen zur Umsetzung eines unter ökologischen Gesichtspunkten optimierten Fahrverhaltens. Während des interaktiven Parts des letzten Gesamtprojekttreffens wurden die, während eines internen Workshops unter Beteiligung von AIP, LDD, TLK und VW, identifizierten Anreize zur Diskussion gestellt und weitere identifiziert. Eine umfangreiche Literaturrecherche wurde vorab durchgeführt.

Anhand dieser Maßnahmen wurde ein erster Entwurf zu möglichen Szenarien erstellt. Aufgrund der leichten und effizienten Umsetzbarkeit wurden Appelle empirisch getestet. Es wurden kalkulative, affek-

tive und normative Appelle auf ihren Einfluss der Verhaltensänderung getestet. Kalkulative Anreize wurden zudem in finanzielle Belohnung und finanzielle Bestrafung unterteilt. Die Appelle wurden so formuliert, dass sie auch als alleinstehend verständlich waren. Da die vorherigen Arbeitsschritte und weitere Literaturquellen ein niedriges Erfahrungslevel mit Elektrofahrzeugen in der Bevölkerung identifizierten, wurde aus Verständlichkeitsgründen nicht auf Fahrten mit Elektrofahrzeugen, sondern auf Fahren mit konventionellen Fahrzeugen fokussiert.



Nur signifikante Unterschiede eingetragen  
 Kontrolliert für: Anzahl Fahrzeuge gesamt, Anzahl Poolfahrzeuge, Finanzierung, Nutzungshäufigkeit, Kilometer-täglich; Strecken >100km; CO2-Vorgaben, Umweltfreundlichkeit Flotte, Umweltfreundlichkeit Unternehmen

Abbildung 78: Vergleich der Kaufintention der unterschiedlichen Szenarien

## Mögliche Anreize

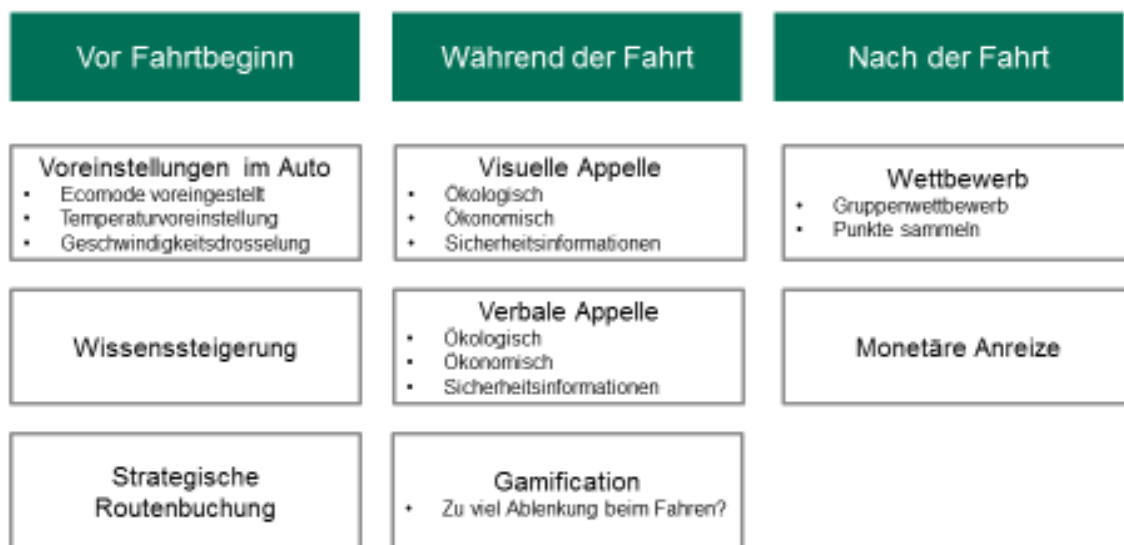


Abbildung 79: Mögliche Anreize hinsichtlich eines ökologischen Fahrverhaltens

Die Probanden mussten sich in folgendes Szenario hineinversetzen:

*Sie sind Angestellter im Vertriebs-/Außendienst der Firma Jojeca. Sie legen täglich mehr als 100 Kilometer mit Ihrem Firmenfahrzeug (VW Golf Variant 2.0 TDI) zurück, um zu Ihren Kunden zu gelangen. In Ihrem Unternehmen gibt es eine nicht vertraglich geregelte, **freiwillige Jahressonderzahlung**, bei der die MitarbeiterInnen am Gewinn beteiligt werden. Ihre Firma übermittelt Ihnen eine Nachricht, in der sie Sie auf die Energiekostenbilanz der Firmenwagen aufmerksam macht.*

*„Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter,*

*eine Auswertung der Energiekosten der Firmenfahrzeuge hat ergeben, dass der aktuelle Durchschnittsverbrauch bei **8,8 Liter Diesel/100km** liegt. Unabhängige Untersuchungen bspw. seitens des ADAC zeigen jedoch, dass der durchschnittliche Verbrauch eines Golf Variant 2.0 TDI bei **5,2 Liter Diesel** liegen kann.“*  
*(Tipps zum ökologischen Fahren)*

#### **Belohnung / Bestrafung**

*Jojeca möchte ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zum ökologischen Fahren animieren, in dem es ökologisches Fahren **belohnt/bestraft**. Sobald der Durchschnittsverbrauch des Unternehmens **unter/über 6,5 Litern Diesel / 100km** liegt, werden die eingesparten/zusätzlichen Verbrauchskosten auf die **Jahressonderzahlung aller** Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern umgelegt. So profitieren Sie alle von einer ökologischen Fahrweise.*

#### **Normativer Appell**

*Um einen Beitrag zum gesellschaftlichen Ziel des Umweltschutzes zu leisten, möchte Jojeca ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zum ökologischen Fahren animieren. Der Ausstoß von Abgasen durch den Straßenverkehr ist eine der größten Ursachen für den Klimawandel. Mittlerweile besteht überwiegend gesellschaftlicher Konsens darin, dass umweltbewusstes Fahren einen wertvollen Beitrag zur Reduktion von Abgasen wie CO<sub>2</sub> leisten kann. Jede/r Einzelne kann hierzu täglich durch eine angepasste Fahrweise einen kleinen Beitrag leisten und somit helfen, die **Umwelt für zukünftige Generationen in einem lebenswerten Zustand zu erhalten**. Vor diesem Hintergrund hat Jojeca das Ziel, den Durchschnittsverbrauch von derzeit 8,8 l Diesel/ 100km deutlich abzusenken.*

#### **Affektiver Appell**

*Um einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten, veranstaltet Jojeca unter allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern einen großen Wettbewerb, dabei werden monatlich tolle Preise unter den Fahrern mit dem geringsten Spritverbrauch pro 100 Kilometern verlost. Am Jahresende wird es zudem einen **Sonderpreis für den „ökologischsten“ Fahrer** geben. So versuchen wir, den Durchschnittsverbrauch von aktuell 8,8 l Diesel/100km abzusenken. **„Der Spaß am ökologischen Fahren steht für uns hierbei im Vordergrund“**, so Firmengründer Dieter Meyer.*

Die Kontrollgruppe erhielt lediglich die Tipps zum ökologischen Fahren und keine Appelle. Insgesamt konnten 1154 TeilnehmerInnen akquiriert werden. Teilnahmevoraussetzung war der Führerscheinbesitz sowie eine Erwerbstätigkeit.

Prinzipiell fiel die Verhaltensintention sehr hoch aus, d.h. über die Gruppen hinweg zeigte sich eine hohe Bereitschaft das eigene Fahrverhalten nach ökologischen Gesichtspunkten zu ändern. Die Einstellung zur Aktion wird durch eine Belohnung, gepaart mit einem affektiven oder normativen Appell signifikant erhöht. Appelle, die Bestrafungen involvieren, werden signifikant schlechter bewertet. Zudem wurden die kalkulativen Appelle in ihrem Einfluss sowohl als Gruppenbelohnung/-bestrafung als auch als individuelle Bestrafung/Belohnung untersucht. Es zeigte sich, dass die Verhaltensintention durch Gruppenbelohnung verbessert werden kann. Die Bestrafung bei schlechtem Fahrverhalten ist nur bei der Gruppenbestrafung signifikant schlechter. Daher sollten Unternehmen, die einen kalkulativen Appell einführen möchten, dies auf der Individualebene tun.

Die Ergebnisse zeigen die Existenz eines Intention-Action Gap - Während die Einstellungs- und Weiterempfehlungsvariablen signifikant durch die Appelle beeinflusst werden, ist der Einfluss bei der Verhaltensintention nicht signifikant. Jedoch scheint schon eine Information zum ökologischen Fahrverhalten eine positive Verhaltensintention auszulösen. Sofern ein Unternehmen Appelle nutzen will, sollte es

Appelle nutzen, die eine Belohnung mit einem affektiven Appell verbindet. Normative Appelle scheinen Dienstwagenfahrer nicht zu tangieren. Abbildung 80 veranschaulicht diese Ergebnisse.

Eine Übersicht über die Arbeiten der jeweiligen Partner zeigt die folgende Tabelle 22.

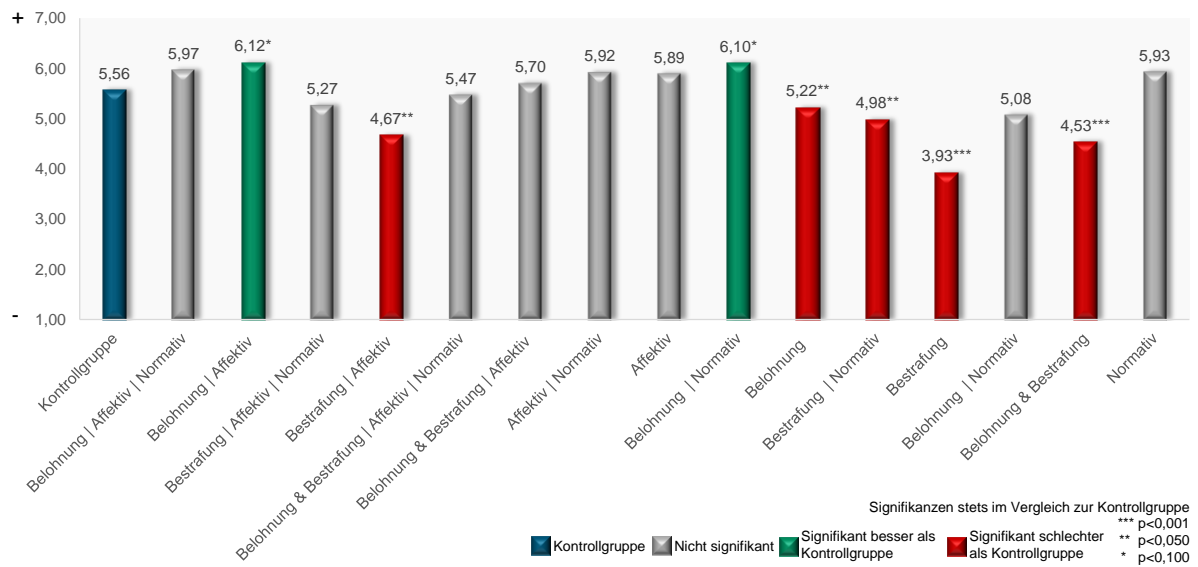


Abbildung 80: Ergebnisse der Signifikanz im Vergleich zur Kontrollgruppe

Tabelle 22: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 2.3

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>AIP</u>	Umfassende Literaturrecherche zu akzeptanzsteigenden Maßnahmen bei der Einführung von Elektrofahrzeugen in Flotten sowie zur Ermittlung unterschiedlicher Anreizmechanismen zur Umsetzung eines unter ökologischen Gesichtspunkten optimierten Fahrverhaltens; Durchführung eines Workshops zur Identifizierung geeigneter Maßnahmen. Entwicklung der Untersuchungsmodelle und Erstellung geeigneter Szenarien; Recherche zu bereits verwendeten Konstrukten sowie empirisch validierten Items; Gestaltung und Konzipierung eines Fragebogens zur Abfragung der Effektivität bestimmter Maßnahmen. Teilnehmerakquise; Auswertung der Studien mittels geeigneter statistischer Methoden. Aufbereitung der Ergebnisse sowie kritische Diskussion und Reflektion in Rahmen von Workshops.
<u>LDD</u>	Unterstützung bei der Entwicklung von Maßnahmen zum Abbau von Akzeptanzbarrieren. Teilnahme an Workshop und Mithilfe bei der Konzipierung der Studie, insb. im Bereich der Szenarientwicklung. Teilnahme an der kritischen Reflektion der Ergebnisse.
<u>VW</u>	Bereitstellung von Informationen zu kommunikationsbezogenen Maßnahmen beim Abbau von Akzeptanzbarrieren und zur Stimulierung ökologischen Fahrverhaltens. Unterstützung bei der Entwicklung von Maßnahmen zum Abbau von Akzeptanzbarrieren. Teilnahme an Workshop und Mithilfe bei der Konzipierung der Studie, insb. im Bereich der Szenarientwicklung. Teilnahme an der kritischen Reflektion der Ergebnisse.
<u>TLK</u>	Unterstützung bei der Entwicklung von produktbezogenen Maßnahmen zum Abbau von Akzeptanzbarrieren. Teilnahme an Workshop und Mithilfe bei der Konzipierung der Studie, insb. im Bereich der Szenarientwicklung. Teilnahme an der kritischen Reflektion der Ergebnisse.

### 2.3. Modul 3: Netzverhalten

Das Ziel des **Moduls 3** bestand darin, die Integration von Elektrofahrzeug-Flotten in das elektrische Verteilnetz zu verbessern und den Anteil an Energie aus erneuerbaren Energieträgern an deren Versorgung zu erhöhen. Hierzu gliederte sich das Modul in folgende Arbeitspakete:

- **AP 3.1** Analyse der Netzurückwirkungen der Flotten
- **AP 3.2** Entwicklung und Erprobung von Konzepten zur Reduktion von Lastspitzen
- **AP 3.3** Erprobung eines Konzepts für die lokale Versorgung einer Flotte mit Energie aus erneuerbaren Energieträgern
- **AP 3.4** Konzepte und Geschäftsmodelle zur verbesserten Integration nicht lokaler erneuerbarer Energieträger

In **AP 3.1** wurden zunächst von ELE die Netzurückwirkungen der Anwendungsszenarien Werksflotte und Poolkonzept berechnet. Aus den realen Nutzer- und den historischen Fahrzeugdaten, die von BSN bereitgestellt wurden, wurden Gleichzeitigkeitsfaktoren der Ladung für beide Anwendungsszenarien ermittelt. Dieser Faktor ist für die Netzinfrastrukturplanung wichtig und gibt an, wie hoch der Anteil gleichzeitig aktiver Verbraucher an der Menge aller Verbraucher ist. Im hier betrachteten Fall führte z.B. die gleichzeitige Ladung von vielen Elektrofahrzeugen einer Flotte zu einer Erhöhung der elektrischen Last im Verteilnetz. Bei einem hohen Verhältnis von zusätzlicher elektrischer Last zur durchschnittlichen Last wird von sogenannten Lastspitzen gesprochen. Verteilnetzkomponenten wie Transformatoren, Sicherungen und Leitungen müssen auf die maximal auftretende Last und somit die Lastspitzen ausgelegt werden. Weiterhin erhöhen Lastspitzen die Belastung und somit die Alterung der Betriebsmittel. In **AP 3.2** wurden daher Konzepte zur Reduktion der Lastspitzen entwickelt und bewertet. In **AP 3.3** wurde die lokale Versorgung der Flotten durch Energie aus erneuerbaren Energieträgern evaluiert. In **AP 3.4** wurde die Möglichkeit untersucht, das Management der Ladestationen zur Einbindung weiterer erneuerbarer Energieträger in das Stromnetz einzusetzen. Hierbei besteht die Möglichkeit die Ladezeitpunkte und -dauer zu variieren. Im Gegensatz zu Individualkunden entfiel in der Betrachtung des Flottenbetriebs die Schwierigkeit, unterschiedliche Anbieter miteinander kommunizieren zu lassen. Dies bietet die Möglichkeit, Prognoseabweichungen und Erzeugungsschwankungen im Angebot erneuerbarer Energieträger wie Photovoltaik- und Windanlagen zu reduzieren. Auf diese Weise wird der Netzbetrieb unterstützt und die Integration zusätzlicher erneuerbarer Energieträger, über die reine Versorgung der Flotte hinaus, erleichtert. Der Ausgleich dieser Schwankungen kann z.B. über die Bereitstellung von Systemdienstleistungen erfolgen. Um das Lastverschiebungspotenzial zu nutzen, wurden daher in Abstimmung mit Modul 2 Anreizsysteme für den Nutzer zur Teilnahme entwickelt. Der große Vorteil in der angewandten Vorgehensweise liegt in der Möglichkeit, Kundenbedarfe im Flottenbetrieb zu ermitteln, über die messtechnische Begleitung zu verifizieren und die Auswirkungen unterschiedlicher Ladekonzepte simulativ zu evaluieren.

#### 2.3.1. AP 3.1: Analyse der Netzurückwirkungen der Flotten

Das Ziel von AP 3.1 war die Analyse der Netzurückwirkungen der Fahrzeugflotten. Hierzu gliederte sich das Arbeitspaket in die folgenden Arbeitsschritte:

- **AS 3.1.1** Analyse der Netzurückwirkungen der Werksflotte
- **AS 3.1.2** Analyse der Netzurückwirkungen der E-Poolkonzept-Flotte

Nachfolgend sind die jeweiligen Arbeiten und Ergebnisse dargestellt.

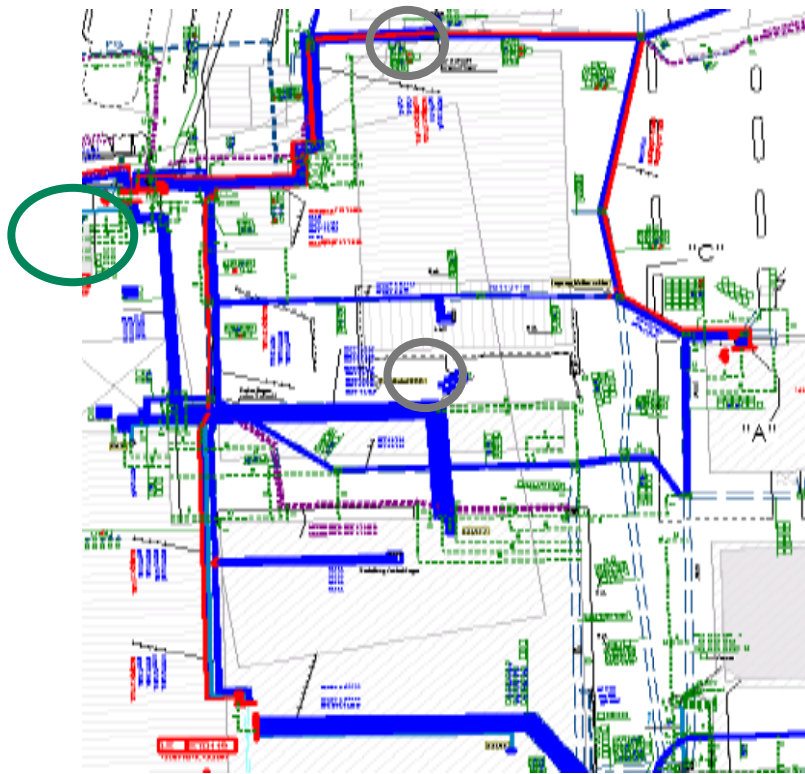
##### **Analyse der Netzurückwirkungen der Werksflotte**

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Netzberechnungen zur Analyse der Rückwirkungen einer Elektrofahrzeugflotte auf das Netz „Taubenstraße“ durchgeführt. Im ersten Schritt wurden von ELE dafür die betreffenden Netzgebiete modelliert. Die Daten der Netze wurden von BSN bereitgestellt. In Abbildung 81 sind die Transformatoren für das Netzgebiet Lagerhof (grün=) sowie für das Netzgebiet Rampe (rot) dargestellt. Beide Netzgebiete werden aktuell von jeweils zwei parallel betriebenen 630 kVA Transformatoren gespeist. Die grauen Markierungen zeigen die möglichen Anschlussorte der Ladepunkte an.

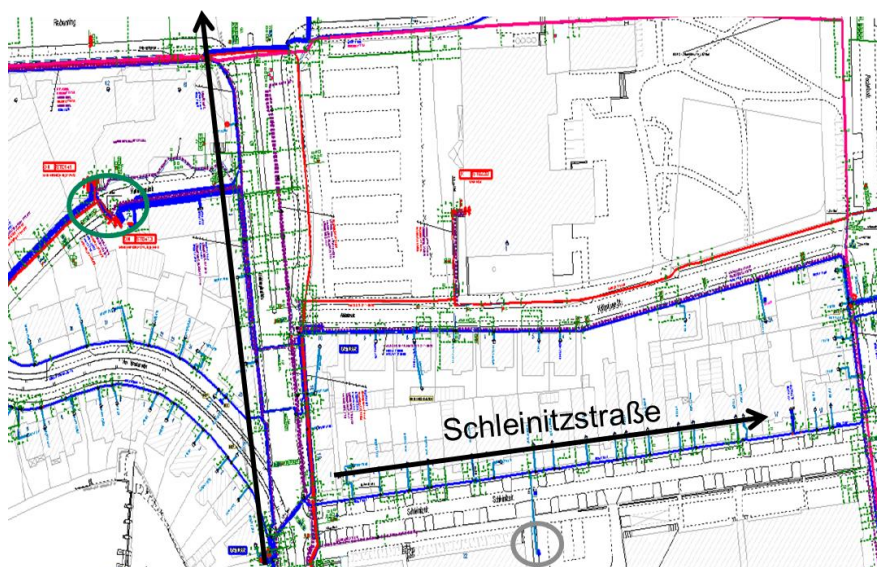
Nach der Modellierung erfolgte die Berechnung der Netzurückwirkungen. Hierfür wurde zuerst die Auslastung der Transformatoren in den beiden Netzgebieten ermittelt. Anschließend erfolgten die Berechnung der Spannungsqualität an den Übergabestellen (Klemmleisten) sowie die Berechnung der Auslastung der Kabel an den Anschlussstellen für die potentiellen Ladestationspunkte.

## Analyse der Netzurückwirkungen der Pool-Konzept-Flotte

In **AS 3.1.2** wurden von **ELE** Netzberechnungen zur Analyse der Rückwirkungen einer Elektrofahrzeugflotte auf das Netz „Schleinitzstraße“ durchgeführt. Im ersten Schritt wurde dafür das betreffende Netzgebiet modelliert. Auch hier wurden die Daten von **BSN** bereitgestellt. In **Abbildung 82** ist der Transformator für das Netzgebiet in Grün dargestellt. Die grauen Markierungen zeigen die möglichen Anschlussorte der Ladepunkte an.



**Abbildung 81: Betrachtetes Netzgebiet für Werksflotte**



**Abbildung 82: Betrachtetes Netzgebiet für Poolflotte**

Unter Berücksichtigung der Fahr- und Nutzungsprofilen sowie des Gesamtenergiebedarfes wurden von ELE die Auswirkungen auf das elektrische Verteilnetz für **AS 3.1.1** und **AS 3.1.2** untersucht. Die Netzauswirkungen wurden hinsichtlich der Spannungsqualität, der Betriebsmittelauslastung sowie der entstehenden Oberschwingungen erfasst. Abschließend erfolgte die Betrachtung des Lastverschiebepotentials, welches die Grundlage für gesteuertes Laden darstellt.

Die Analyse der Werksflotte zeigt, dass bei diesem Typ Flotte ein hoher Gleichzeitigkeitsfaktor besteht. Unter Berücksichtigung hoher Ladeleistungen mit bis zu 22 kW ist mit NetZRückwirkungen zu rechnen. Gerade bei stärker ausgelasteten Betriebsmitteln besteht die Gefahr der Überlastung und der Überschreitung zulässiger Grenzwerte. Speziell bei dieser Untersuchung bilden nur vereinzelte Anschlussleitungen Schwachstellen. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass das Betriebsgelände eines Energieversorgungsunternehmens einen besonderen Fall darstellt. Bei Betriebsgeländen anderer Unternehmen sind die Netzverknüpfungspunkte oft bedarfsgerecht ausgebaut und bieten keine großen Reservekapazitäten. Auch die Überschreitung der vertraglich zulässigen Leistungsspitzen ist ein wirtschaftlich zu berücksichtigender Faktor. Um auf eine kostenintensive Nachrüstung der Zuleitungen zu verzichten, bildet das gesteuerte Laden eine wirtschaftlich interessante Alternative.

Die Analyse der Poolflotte zeigt, dass bei einer geringen Anzahl von zwei Fahrzeugen pro Standort keine beeinträchtigen der Spannungsqualität auftritt. Allerdings ist festzustellen, dass durch die Elektrofahrzeuge der Poolflotte Oberschwingungsströme entstehen, die entsprechend der Normungsvorhaben zukünftig zu berücksichtigen sind. Maßnahmen zur Berücksichtigung sind auf Fahrzeug- oder Ladinfrastrukturseite möglich.

Die beschriebene Untersuchung der NetZRückwirkungen zeigen deutlich, dass Ladesteuerung notwendig ist. Speziell die Auslastung der Anschlussleitungen erfordert eine Verschiebung der Last. Bei Betrachtung des Tageslastganges eines Transformators im betreffenden Netzgebiet ist zu erkennen, dass zwar ein kontinuierlicher Lastbedarf besteht, in den frühen Morgen- und späten Abendstunden aber ausreichend Lastreserve zur Lastverschiebung zur Verfügung stehen. (Mummel et al. 2013b)

Eine Übersicht über die Arbeiten der beteiligten Partner in **AP 3.1** zeigt folgende Tabelle 23.

**Tabelle 23: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 3.1**

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>BSN</u>	Theoretische Prüfung der Ladestationspunkte für das steuerbare Laden auf Basis von Infrastrukturplänen und Klärung mit den relevanten Fachverantwortlichen. Auswahl des Versorgungsgebietes und der Netzanschlussstellen; Aufbereitung und Bereitstellung der Realnetzdaten gemäß Antrag; Unterstützung bei der Vorplanung und Netzprüfung sowie Auswahl des Versorgungsgebietes und der Netzanschlussstellen; Aufbereitung und Bereitstellung der Realnetzdaten gemäß Antrag.
<u>ELE</u>	Abstimmung mit <u>BSN</u> für die Auswahl des Versorgungsgebietes und der Netzanschlussstellen; Nutzung der bereitgestellten Netzdaten für die Modellierung des Versorgungsnetzes der Werksflotte und der E-Sharing-Flotte in der Netzberechnungssoftware PowerFactory; Integration der Nutzerverhaltens- und Gesamtenergiebedarfsdaten; Erfassung der Netzauswirkungen hinsichtlich Spannungsqualität und Betriebsmittelauslastungen anhand computergestützter Simulationen auf Grundlage des entwickelten Realnetzmodells; Bestimmung von Gleichzeitigkeitsfaktoren bezüglich des Ladeverhaltens der Werksflotte und der E-Sharing-Flotte sowie Ermittlung des Potenzials zur Lastverschiebung hinsichtlich der Ladevorgänge

Im Projekt stand neben der Vermeidung von Lastspitzen die technische und wirtschaftliche Integration von erneuerbaren Energien im Fokus der Untersuchung. Hierfür wurde von ELE unter Berücksichtigung des ermittelten Lastverschiebepotentials das dynamische Lademanagement in den **AP 3.2** und **AP 3.3** weiterentwickelt.

Für die Kopplung des Ladevorganges mit erneuerbaren Energien bietet sich die Verschiebung der Ladevorgänge an. Die bisher nicht betrachteten kurzen Standzeiten zwischen zwei Fahrten werden im weiteren Projektfortschritt berücksichtigt. Hierdurch bietet sich so eine optimale Verknüpfung des Ladevorganges mit erneuerbaren Energien wie Photovoltaik an.

Zusätzlich werden mit Windkraftanlagen und Blockheizkraftwerken mit Biogas weitere erneuerbare Energieträger berücksichtigt. Auch die Kombination mit Zwischenspeichern bietet die Möglichkeit der Erhöhung des Ladestroms mit erneuerbaren Energien.

### 2.3.2. AP 3.2: Entwicklung, Erprobung von Konzepten zur Reduktion von Lastspitzen

Insbesondere für das Anwendungsszenario Werksflotte wurde ein hoher Gleichzeitigkeitsfaktor erwartet. Diese Annahmen bestätigen die Ergebnisse aus **AP 3.1**. Daher war das Ziel von **AP 3.2** die Reduzierung der auftretenden Lastspitzen durch die Integration von lokalen erneuerbaren Energien sowie gesteuerten Ladevorgängen. Hierzu gliederte sich das **AP 3.2** in folgende Arbeitsschritte:

- **AS 3.2.1** Konzept für den Einsatz eines elektrischen Energiespeichers zur Reduktion von Lastspitzen
- **AS 3.2.2** Entwicklung und Erprobung eines Konzeptes zum Lastmanagement der Ladestationen und Analyse der Rückwirkungen auf das Nutzerverhalten
- **AS 3.2.3** Lokale Kopplung der Ladestationen mit dezentralen Versorgungseinheiten
- **AS 3.2.4** Auswertung und Vergleich der Konzepte

Es wurden von ELE drei Konzepte zur Reduzierung der tatsächlich auftretenden Lastspitzen erarbeitet: Erstens sollte ein stationärer elektrischer Energiespeicher so ausgelegt werden, dass eine moderate Ladeleistung während der Betriebszeit der Flotte ausreicht, um die Spitzenlast der mobilen Speicher während der Ladung zu reduzieren. Zweitens sollte durch eine Ansteuerung der Ladestationen ein hoher Gleichzeitigkeitsfaktor verhindert und die Lastspitze so reduziert werden. Drittens sollte eine lokale Stromerzeugungseinheit während der auftretenden Spitzenlasten betrieben und die erzeugte Leistung die vom Stromnetz bezogene Spitzenlast reduziert werden.

#### **Konzept für den Einsatz eines elektrischen Energiespeichers zur Reduktion von Lastspitzen**

Im **AS 3.2.1** wurde von ELE ein Konzept zur Lastspitzenvermeidung durch den Einsatz eines Energiespeichers entwickelt. Hierfür wurden im ersten Schritt die historischen Daten der Werksflotte herangezogen. Bei alleiniger Betrachtung der Werksflotte kann der Speicher auf die Größe der zu vermeidenden Lastspitze dimensioniert werden. Dies ist allerdings nicht sinnvoll, da so von einer eventuell einmaligen statischen Größe ausgegangen wird. Im Falle von mehreren auftretenden Lastspitzen, welche bei einer Veränderung des Fahrprofils auftreten können, würde das Ziel der Lastspitzenvermeidung nicht mehr erreicht. Der Energiespeicher kann zusätzlich für eine Erhöhung der lokalen erneuerbaren Energien am Ladestrom beitragen.

Um schon frühzeitig, bei der Planungsphase zu unterstützen, wurde ein Modell entwickelt, welches die Ladeinfrastruktur, die Dimensionierung des Energiespeichers sowie die Art und Größe lokaler erneuerbarer Energien berücksichtigt.

Das entwickelte Modell soll eine strategische Planung der Lade- und lokalen Energieinfrastruktur für Elektrofahrzeuge unterstützen. Unternehmen erhalten so eine Entscheidungsunterstützung mit dem Fokus auf Vermeidung von Treibhausgasemissionen. Langfristig wird das System weiterentwickelt, sodass eine strategische Planung zusätzlich mit entscheidungsrelevanten Kosten und den bereits erfassten ökologischen Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus abgebildet werden kann.

Das Modell ist untergliedert in drei Module, die eine vielfältige Variation der Randbedingungen ermöglichen. Durch die Kombination von Unternehmenslastgängen, lokalen Erzeugungsanlagen sowie Fahrzeugflotten können unterschiedliche Szenarien für individuelle Anwendungsfälle erstellt werden. Die Parameter der Unternehmenslastgänge, Erzeugungsanlagen sowie Fahrzeugflotten setzen sich aus gemessenen (reelle Profile) und synthetischen Daten zusammen (z.B. Standardlastprofile).

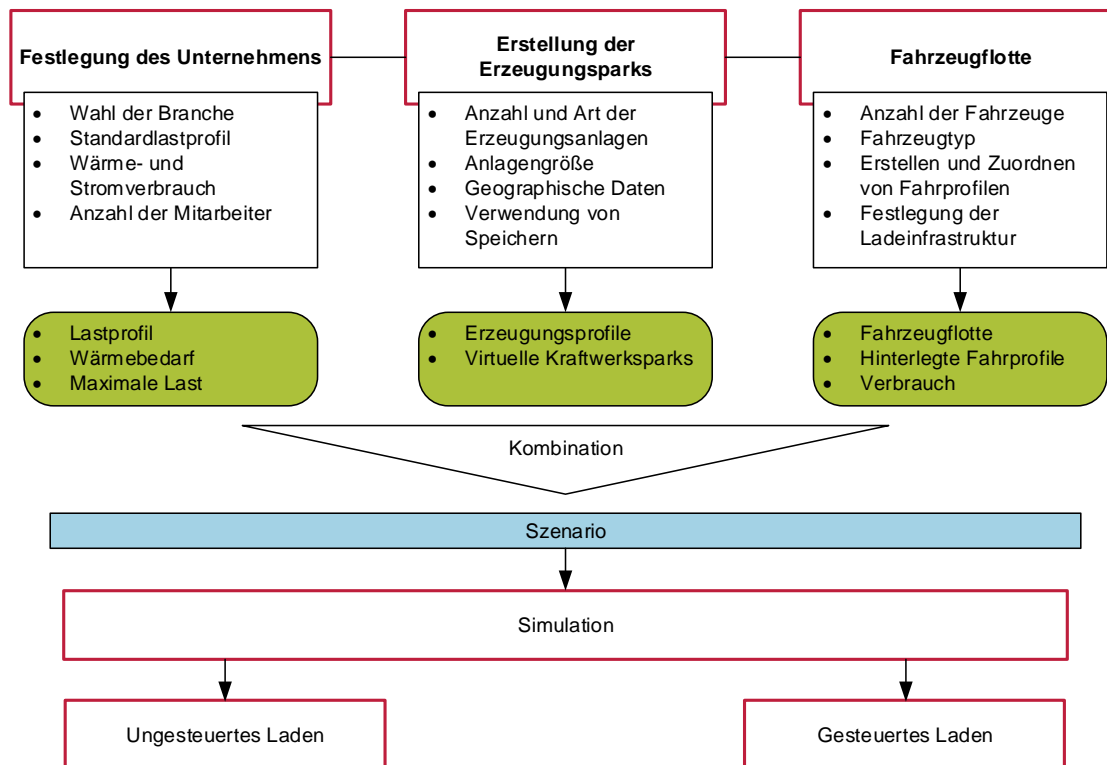
Der Szenarien-Aufbau erfolgt innerhalb der in Abbildung 83 dargestellten Toolkette. Zunächst werden die Art und die wichtigsten Eigenschaften des betrachteten Unternehmens festgelegt. Diese umfassen beispielweise Branche, Mitarbeiteranzahl, elektrische und thermische Lastprofile.

Anschließend werden Art und Größe lokaler Erzeugungsanlagen definiert. Mit diesen Eingangsgrößen werden Last- und Erzeugungsprognosen für den Simulationszeitraum erzeugt. Zuletzt wird eine Fahr-



zeugflotte konfiguriert und den einzelnen Fahrzeugen Fahrprofile, Fahrzeiten sowie Fahrtstrecken zugeordnet. Das Simulationsszenario wird durch die Kombination der erzeugten Datensätze erstellt, welches abschließend für den gesamten Betrachtungszeitraum simuliert wird.

Zur Erprobung des Modells wurden fünf Elektrofahrzeuge als Teil der Flotte simuliert. Ausgewählt wurden die Fahrzeuge, die im Arbeitsschritt 3.2.2 das gesteuerte Laden erproben. Für die Auswahl einer geeigneten Erzeugungsanlage wurden je eine 10 kWp, 20 kWp und 40 kWp Anlage simuliert. Die Simulationen zeigen, dass lokale erneuerbare Erzeugungseinheiten einen gezielten Beitrag zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen im gewerblichen Verkehrssektor bilden können. Dabei trägt die Dimensionierung der Anlagengröße einen entscheidenden Anteil am Energiedeckungsbeitrag sowie am



**Abbildung 83: Ablaufdiagramm der Simulationsumgebung**

Eigenverbrauch der Anlage. Während kleinere Anlagen einen hohen Eigenverbrauchsanteil aufweisen, bieten größere Anlagen die Möglichkeit, einen hohen Energiedeckungsbeitrag zu erzielen. Die überschüssige Energiemenge muss allerdings in das vorgelagerte Netz eingespeist werden, welches wiederum zu einer Netzbelastung führen kann. Ein Verbrauch der überschüssigen Energie innerhalb des Unternehmens bietet sich ebenfalls an, um die lokalen Erzeugungsanlagen noch besser auszunutzen. Die geeignete Wahl der Erzeugungseinheiten ist stark abhängig von den Fahrprofilen der Flotten. Um aussagekräftige Ergebnisse über geeignete Erzeugungsarten zu liefern, ist es daher wichtig, dass ausreichend Informationen die betrachtete Flotte vorliegen. Eine Zusammenfassung der Simulation bildet die Tabelle 24. (Mummel et al. 2016)

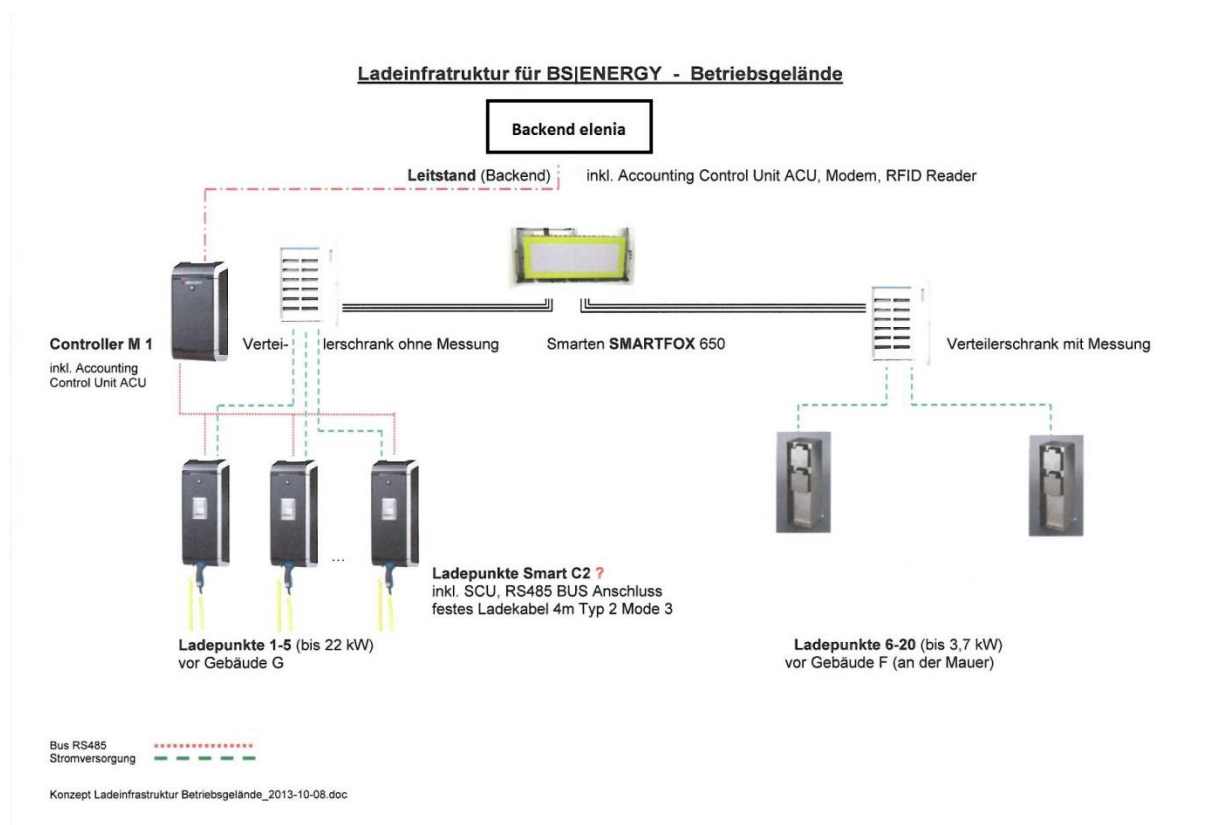
**Tabelle 24: Simulationsergebnisse PV Anlagen 10, 20, 40 kWp**

		Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3	
		ungesteuert	gesteuert	ungesteuert	gesteuert	ungesteuert	gesteuert
PV Anlage in kWp		10	10	20	20	40	40
Verbrauch	BEV [kWh]	2862,38	2844,69	2856,23	2834,29	2849,37	2826,88

<i>Einsparung [kg]</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	433,77	841,19	649,98	954,85	846,74	1027,8
<i>Deckungsbeitrag</i>		24,56%	47,93%	36,88%	54,60%	48,16%	58,93%
<i>Eigenstromverbrauch</i>		7,86%	15,23%	5,89%	8,65%	3,83%	4,65%
<i>Mobilitäts-</i>		97,98%	97,69%	98,27%	97,69%	98,26%	97,68
		10	10	20	20	40	40
		2862,38	2844,69	2856,23	2834,29	2849,37	2826,88

### Entwicklung und Erprobung eines Konzeptes zum Lastmanagement der Ladestationen und Analyse der Rückwirkungen auf das Nutzerverhalten

Das Ziel von **AS 3.2.2** war die Reduzierung der Lastspitzen durch gezieltes Lastmanagement. Für ein gezieltes Lastmanagement wurde intelligente Ladeinfrastruktur benötigt. Daher wurden die dafür benötigte Messtechnik sowie die steuerbare Ladeinfrastruktur von **BSN** aufgebaut. Ein Überblick über die Umsetzung ist in Abbildung 84 dargestellt. Seitens **ELE** wurde das benötigte Informations- und Kommunikationskonzept zum Steuern der Ladeinfrastruktur entwickelt.

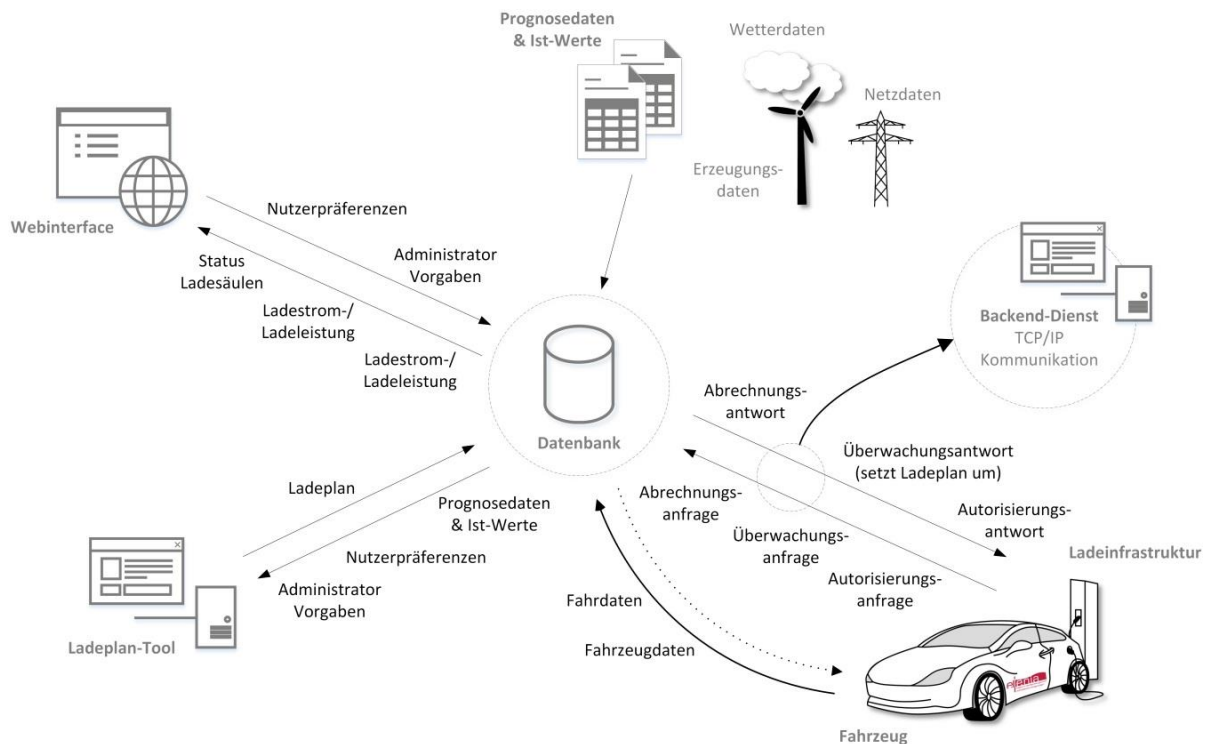


**Abbildung 84: Aufbau der Ladeinfrastruktur BS|ENERGY Betriebsgelände, eigen Abbildung, Bildquellen: (MENNEKES Elektrotechnik GmbH & Co.KG , 2017) (Smarten GmbH, 2017)**

Das Informations- und Kommunikationskonzept bildet die Basis für das entwickelte Lade- und Energiemanagementsystem - elias. In diesem Konzept wird dem Ladeinfrastrukturbetreiber über ein Webinterface die Möglichkeit gegeben, statisches und dynamisches Lademanagement zu betreiben. Beim statischen Lademanagement wird dem Backend über ein Webinterface ein maximal zur Verfügung stehender Ladestrom für alle Ladepunkte mitgeteilt. Dieser wird anhand verschiedener Algorithmen, die ebenfalls über das Webinterface ausgewählt werden können, auf die einzelnen Ladepunkte verteilt. Beim Prozess der dynamischen Ladesteuerung werden Mobilitätsbezugsinformationen und aktuelle Lastgänge des Unternehmens berücksichtigt. Diese werden in einer Datenbank gespeichert, worauf das

Backend für die Erstellung des Ladeplans zugreift. Abbildung 85 veranschaulicht das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten.

Im Rahmen des Projektes wurden von ELE drei Algorithmen als Konzept zur Lastspitzenvermeidung entwickelt, um ein statisches Lastmanagement durchzuführen. Im ersten Algorithmus wird der verfügbare Ladestrom gleichmäßig auf alle Fahrzeuge verteilt (Equal). Im zweiten und dritten Algorithmus wird der Ladestrom priorisiert verteilt. Ein vorher festgelegter Maximalstrom (Priorisierungs-koeffizient) wird je nach Algorithmus dem ersten (First Come First Served) oder dem letzten Fahrzeug (Last Come First Served) angeboten. Der restliche Ladestrom wird wieder gleichmäßig auf die anderen Fahrzeuge verteilt. Insgesamt stehen den beiden Ladepunkten am Standort 20 A Ladestrom zur Verfügung. Diese Einstellung wurde vorab über das Webfrontend des Ladesystems elias (elenia-Ladeinfrastruktur-, Informations- und Anwendungssystem) getroffen. Nach erfolgreicher Autorisierung eines Fahrzeuges wird der Ladestrom zuerst auf 6 A reduziert. Im Anschluss wird der Ladealgorithmus einmal durchlaufen. Dem Fahrzeug werden von Infrastrukturseite nach dem ersten Durchlauf des Algorithmus die verfügba-



**Abbildung 85: Informations- und Kommunikationskonzept zur Ladesteuerung (Mummel et al. 2013a)**

ren 20 A Ladestrom zur Verfügung gestellt, da kein weiteres Fahrzeug aktuell angeschlossen ist. Der verfügbare Ladestrom wird allerdings nicht komplett genutzt. Nach der Zuschaltung des zweiten Fahrzeuges (rote Kurve) wird der verfügbare Strom auf 10 A begrenzt, sodass dem zweiten Fahrzeug ebenfalls 10 A Ladestrom zur Verfügung stehen. Nach Beendigung des Ladevorganges vom ersten Fahrzeug stehen dem zweiten Fahrzeug wieder die vollen 20 A zur Verfügung (grüne Kurve). Abbildung 86 und Abbildung 87 zeigen den zeitlichen Ladeerlauf des ungesteuerten Ladens und zum Fall des gesteuerten Ladens mit dem Equal-Algorithmus.

### Ladeverlauf von zwei Fahrzeugen im ungesteuerten Fall (a)

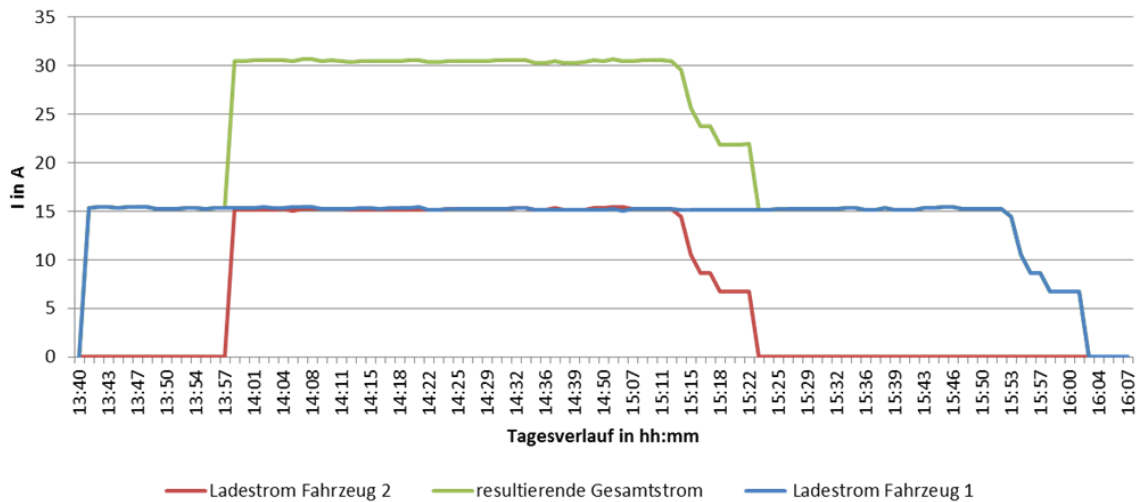


Abbildung 86: Ladeverlauf bei ungesteuertem Laden

### Ladeverlauf von zwei Fahrzeugen (b)

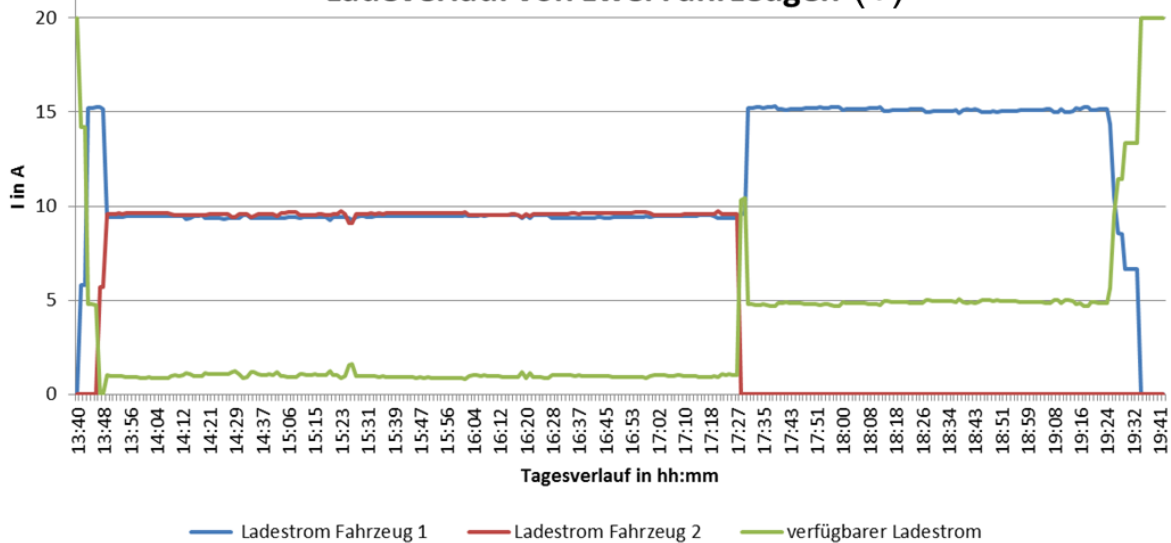


Abbildung 87: Ladeverlauf bei statischem Lademanagement

Das entwickelte Konzept zum Lastmanagement hat gezeigt, dass mögliche Lastspitzen vermieden werden können, ohne dass Einschränkungen für den Nutzer entstehen. (Mummel et al. 2014)

#### Lokale Kopplung der Ladestationen mit dezentralen Versorgungseinheiten

Das Lademanagement wurde von ELE in **AS 3.2.3** um die Randbedingung lokale Erzeugung, hin zum dynamischen Lademanagement, erweitert. Hierbei werden neben den aktuellen Lastgängen die aktuellen Erzeugungskapazitäten der lokalen erneuerbaren Energiequellen berücksichtigt.

Durch die lokale Kopplung von erneuerbaren Energien in Verbindung mit dem gesteuerten Laden können die Elektrofahrzeuge an sonnigen Tagen komplett autark geladen werden. Abbildung 88 zeigt den Energiedeckungsbeitrag dreier unterschiedlicher PV-Anlagen am Ladestrom der Elektrofahrzeuge an einem Tag (Simulationszenarien aus Abschnitt 2.3.2).

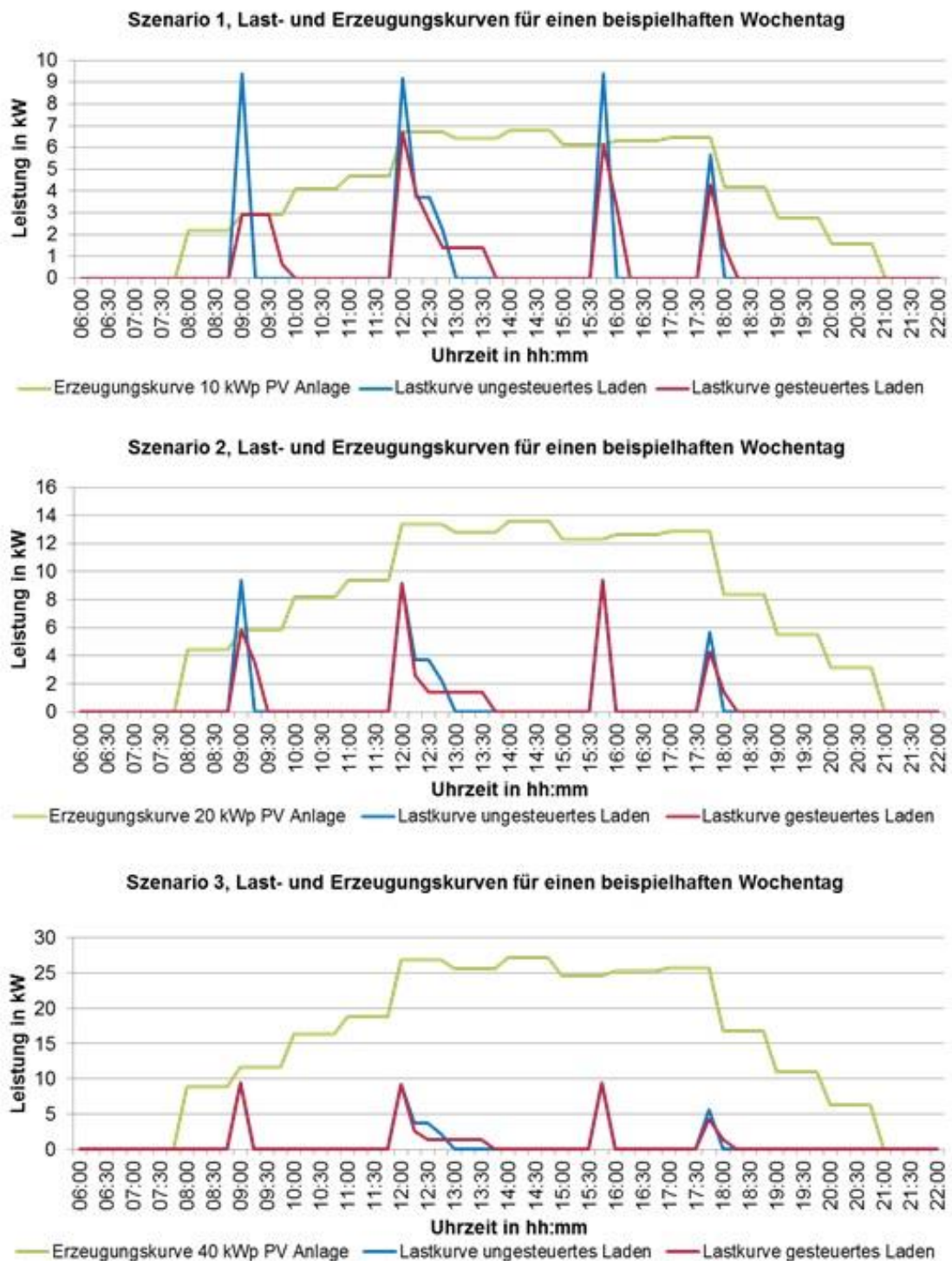


Abbildung 88: Energiedeckungsbeitrag der simulierten Szenarien beim ungesteuerten und gesteuerten Laden von Elektrofahrzeugen (Mummel et al. 2016)

Eine Übersicht über die Arbeiten der beteiligten Partner in **AP 3.2** zeigt folgende Tabelle 25.

**Tabelle 25: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 3.2**

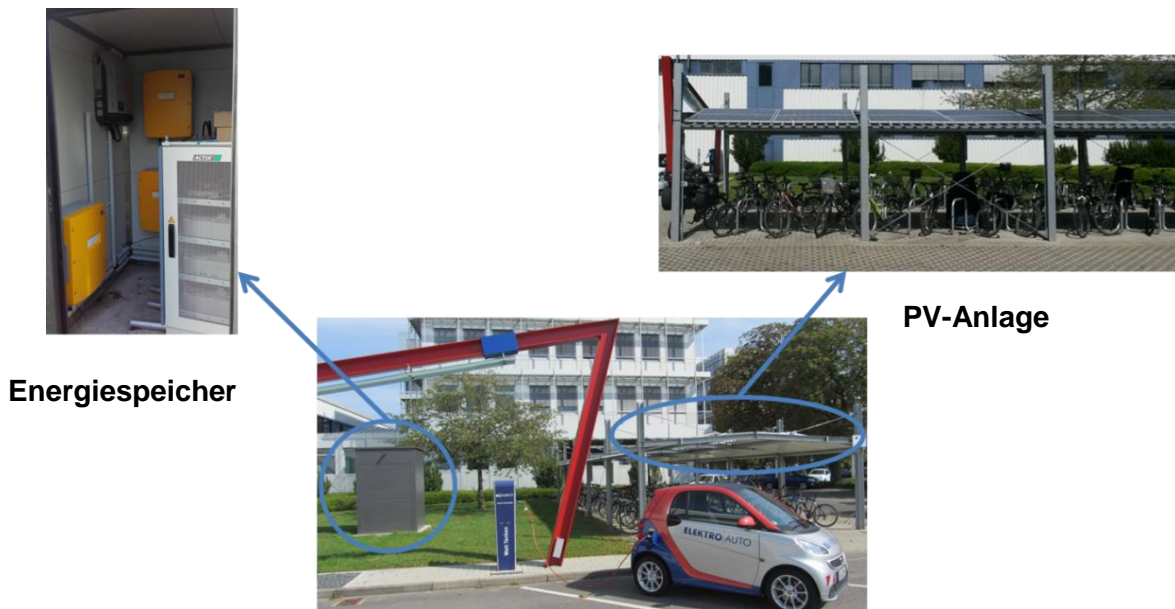
Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>ELE</u>	Entwicklung eines Konzeptes für den Einsatz eines elektrischen Energiespeichers auf Basis der in AP 3.1 ermittelten Lastspitzen; Dimensionierung der Energiespeichers bzgl. der benötigten Leistung und Kapazität; Entwicklung eines Konzeptes zur Vermeidung von Lastspitzen durch die Einbindung lokaler erneuerbarer Energien, Simulation der Auswirkungen des Speichers und der lokalen erneuerbaren Energien auf die Auslastung der Betriebsmittel, Entwicklung eines Infrastrukturkonzeptes sowie eines statischen und dynamischen Lastmanagements
<u>BSN</u>	Errichtung der Messtechnik sowie der Ladeinfrastruktur

2.3.3. AP 3.3: Erprobung eines Konzepts für die lokale Versorgung einer Flotte mit Energie aus erneuerbaren Energieträgern

Das Ziel von **AP 3.3** war die Erprobung der Konzepte zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Ladestrom der Flotte durch die Kopplung lokaler erneuerbarer Erzeugungseinheiten. Hierzu gliederte sich das Arbeitspaket in folgende Arbeitsschritte:

- **AS 3.3.1** Auslegung eines Konzeptes zur Versorgung der Werksflotte
- **AS 3.3.2** Auslegung eines Konzeptes zur Versorgung der Poolkonzept-Flotte
- **AS 3.3.3** Erprobung der lokalen Versorgung der Werksflotte

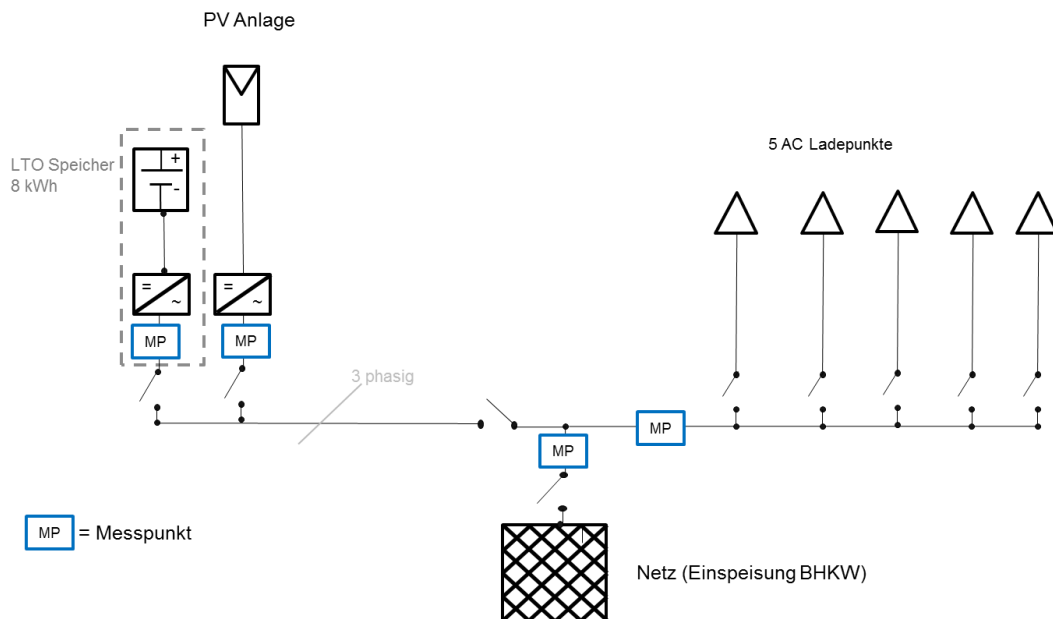
Im Projekt wurde zunächst das Konzept zur Versorgung der Werksflotte durch ELE und BSN erstellt. Hierzu gehörten die elektrische Planung der PV-Anlage, die Erstellung eines Umsetzungsplanes und die Implementierung am Standort. Nach der Erstellung des Konzeptes errichtete BSN eine PV-Anlage zur lokalen Versorgung der Teilelektrofahrzeugflotte. Zur Umsetzung und Erprobung des in **AS 3.3.1** entwickelten Konzeptes wurde von IME ein geeigneter Batteriespeicherprototyp geplant und die notwendige Leistungselektronik in der Testumgebung integriert. Nach Errichtung der beiden Anlagen erfolgte der Feldtest. Hierbei wurden Betriebsdaten bezüglich der Energieflüsse gesammelt und visualisiert und zur weiteren Verarbeitung durch ELE aufbereitet. Die Abbildung 89 zeigt die aufgebaute Infrastruktur zum Laden der Teilflotte.



**Abbildung 89: Lokale Infrastruktur zum Laden der Elektrofahrzeuge**

Die Auswahl der Hardwarekomponenten erfolgte nach technischen und wirtschaftlichen Aspekten. Demnach wurde als Batteriespeicher ein 8 kWh Lithium Titanat Oxid-Speicher (LTO) gewählt. Technische Kriterien hierbei waren eine gute Verfügbarkeit der Zellen, eine hohe Lebenserwartung der Chemie sowie die Ladefähigkeit bei kalten Temperaturen. Diese Anforderungen werden von dem ausgewählten

LTO-Speicher erfüllt. Der Batteriespeicher wurde netzseitig angeschlossen, sodass dieser sowohl von den PV Anlagen als auch von einem BHKW geladen werden kann. Der technische Anschluss ist in Abbildung 90 dargestellt.



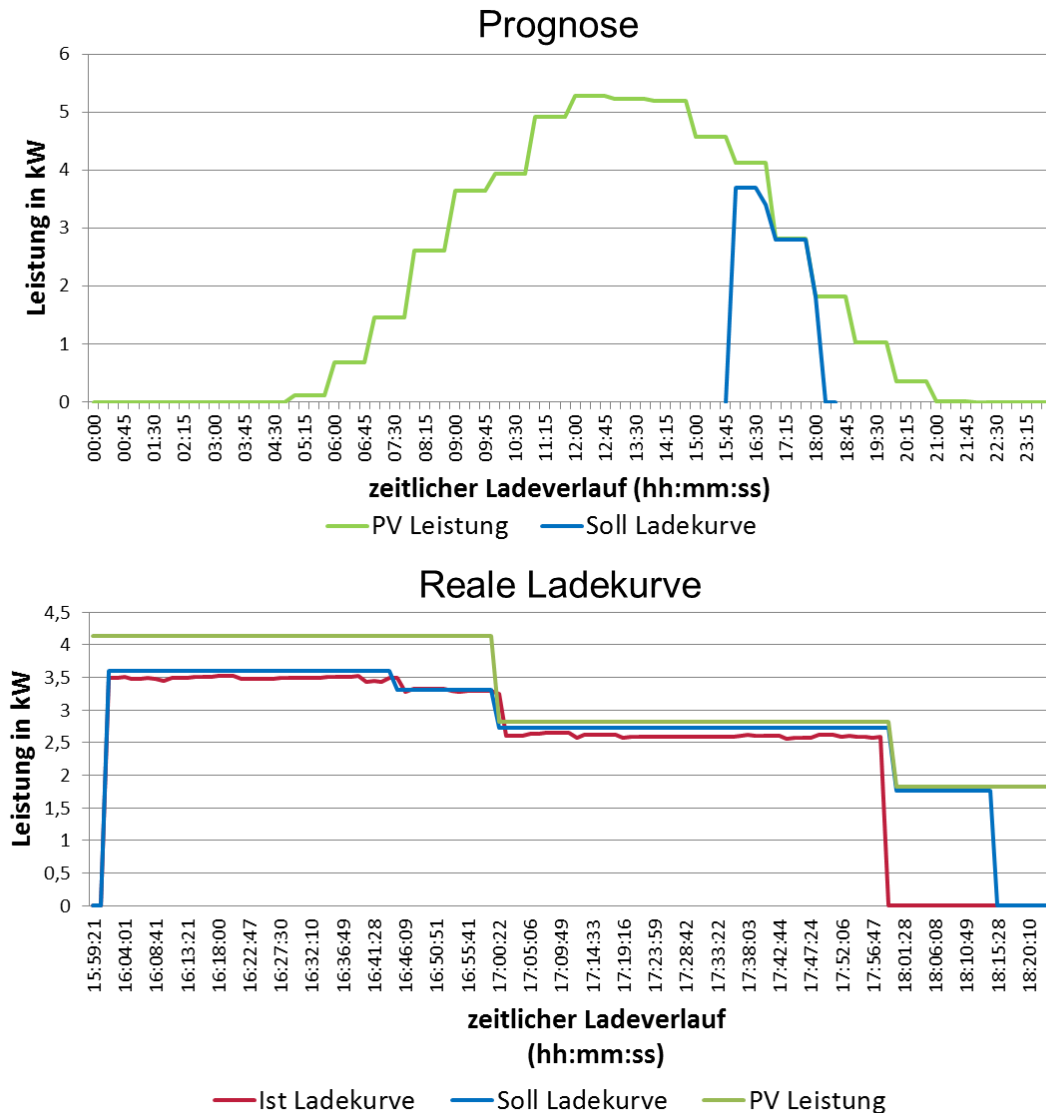
**Abbildung 90: Technischer Anschluss des Energiespeichers, der PV-Anlage und der Ladepunkte ans Netz**

Nach Errichtung der Anlage begann Anfang Q2/2017 die Erprobungsphase. Hierbei wurde das Zusammenspiel zwischen Erzeugung (PV-Anlage, virtuellen BHKW) und Last (Elektrofahrzeuge) sowie die Kopplung des Energiespeichers als „Bindeglied“ untersucht. Durch den Einsatz des Speichers konnte der Anteil lokal erzeugter Energie am Ladestrom der Elektrofahrzeuge erhöht werden. Weiterhin konnten durch den Energiespeicher mögliche Lastspitzen vermieden werden, da die hohe Auspeicherleistung eine kurzfristige hohe Ladeleistung erlaubte ohne Auswirkungen auf das Netz zu haben. Die Abbildung 91 zeigt die prognostizierte Ladekurve und die tatsächliche Ladekurve im Fall des dynamischen Ladens. Die prognostizierte Ladekurve wurde unter Berücksichtigung der Erzeugungs- und Fahrprognose des ausgewählten Fahrzeuges berechnet. Die geringe Abweichung zwischen dem Soll- und Istverlauf der Ladekurve kann auf eine veränderte Routenführung oder auf einen abweichenden Energieverbrauch zurückzuführen sein.

Eine Übersicht über die Arbeiten der beteiligten Partner in **AP 3.3** zeigt folgende Tabelle 30.

**Tabelle 26: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 3.3**

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>BSN</u>	Ermittlung der besonderen Randbedingungen die sich aus den Standorten der Ladestationen an öffentlichen Orten ergeben; Planung und Aufbau der PV-Anlage. Kopplung der PV-Anlage mit dem Energiespeicher und Ermittlung sowie Errichtung der notwendigen Messpunkte, Aufnahme der Messdaten und Bereitstellung an ELE
<u>IME</u>	Planung, Bau und Anbindung eines stationären Batteriespeicherprototyps für die lokale Versorgung der Werksflotte. Hierbei wurde anhand der im Rahmen der Konzeptionierung durchgeführten Ertragsprognose und Anlagendimensionierung der Energiespeicher technisch ausgeplant.
<u>ELE</u>	Erstellung eines Konzeptes zur Integration der PV-Anlage und des Energiespeichers in das entwickelte Ladesystem elias; Unterstützung von BSN bei der Planung der PV-Anlage und der Messpunkte sowie Unterstützung von IME bei der Konzeptionierung des Energiespeichers; Koordination des AS 3.3.3; Auswertung der bereitgestellten Messdaten und Übertragung in Simulationsmodell



**Abbildung 91: Prognostizierte Ladekurve im Vergleich zur realen Ladekurve**

#### 2.3.4. AP 3.4: Konzepte und Geschäftsmodelle zur verbesserten Integration nicht lokaler erneuerbarer Energieträger

Das Ziel von **AP 3.4** war die Entwicklung eines Systems zur verbesserten Integration nicht lokaler erneuerbarer Energieträger. Das Arbeitspaket gliederte sich in folgende Arbeitsschritte:

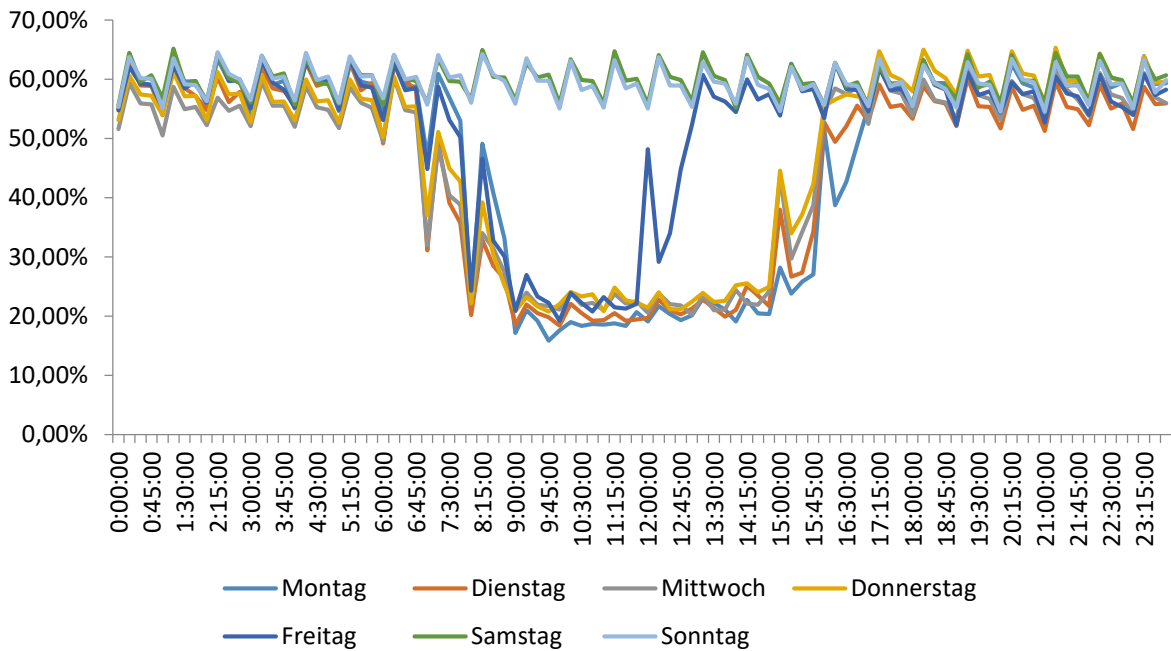
- **AS 3.4.1** Potentialanalyse der Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch die Werksflotte zur verbesserten Integration erneuerbarer Energieträger
- **AS 3.4.2** Potentialanalyse der Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch die Poolkonzept-Flotte zur verbesserten Integration erneuerbarer Energieträger
- **AS 3.4.3** Entwicklung eines Konzeptes zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch die Flotten und Auswirkungen auf die Nutzerakzeptanz

#### **Potentialanalyse der Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch die Werksflotte zur verbesserten Integration erneuerbarer Energieträger**

In **AS 3.4.1** wurde zunächst von ELE das technische Potential ermittelt. Dafür wurden die vorliegenden Fahr- und Standzeiten sowie die Ladezeiten der Flotte analysiert. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen eine beispielhafte Auswertung eines Fahrzeuges bei BSN. In der Abbildung 92 sind die Standzeiten eines Fahrzeuges prozentual pro Tag dargestellt. Der Betrachtungszeitraum beträgt ca. 18 Monate. In

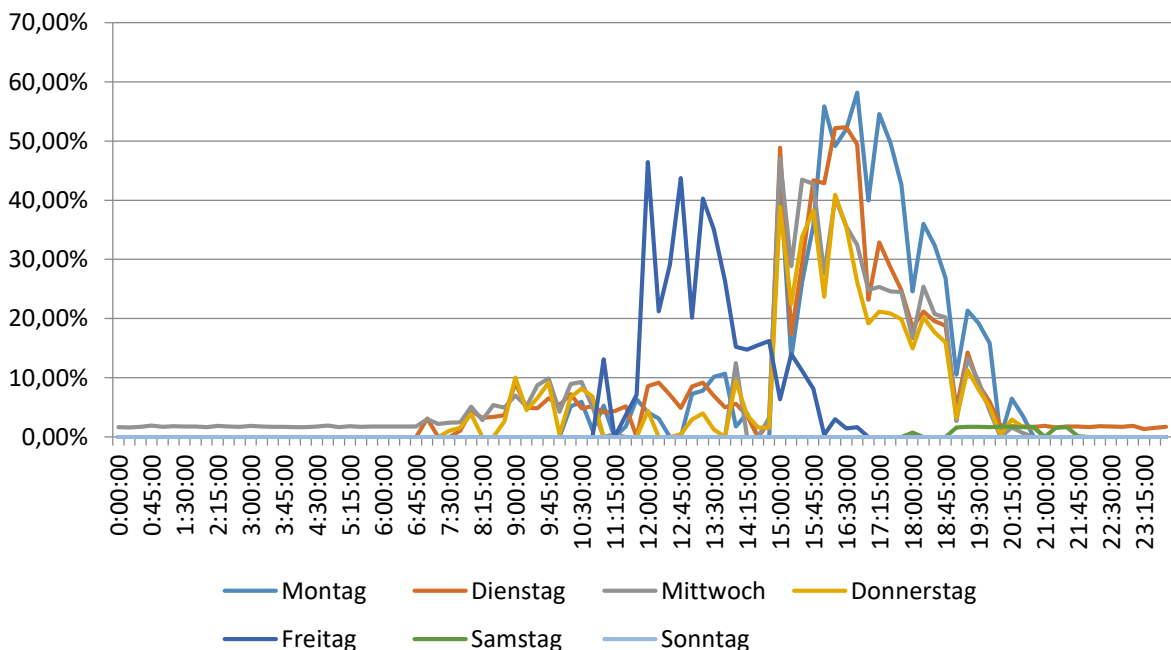


der Abbildung ist gut zu erkennen, dass das Fahrzeug tagsüber unterwegs und ab den Nachmittagsstunden an der Ladestation angeschlossen war.



**Abbildung 92: Prozentualer Anteil der Standzeit im Betrachtungszeitraum**

Die Abbildung 93 bildet die tatsächlichen Ladezeiten ab. In der Abbildung ist zu erkennen, dass das Fahrzeug überwiegend nach Dienstschluss direkt geladen wurde. Während der Dienstzeit fanden kaum Ladungen statt. Es ist festzuhalten, dass in einem Einschichtbetrieb Potential besteht die Ladezeit zu variieren, um auf Preissignale vom Strommarkt zu reagieren bzw. am Regelenergiemarkt teilzunehmen.



**Abbildung 93: Prozentualer Anteil der Ladezeit zur Standzeit über einen Tag**

## Potentialanalyse der Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch die Poolkonzept-Flotte zur verbesserten Integration erneuerbarer Energieträger

Für das Poolkonzept wurde von ELE analog zu **AS 3.4.1** eine Potentialanalyse zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen durchgeführt. Auch hier besteht ein hohes Potential zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen. Die Abbildung 94 zeigt, dass die Standzeiten wesentlich größer als die Ladezeiten sind. Die angegebenen Zeiten sind die Mittelwerte der der Stand- und Ladzeiten der betrachteten vier Poolfahrzeuge über einen Zeitraum von knapp 18 Monaten.

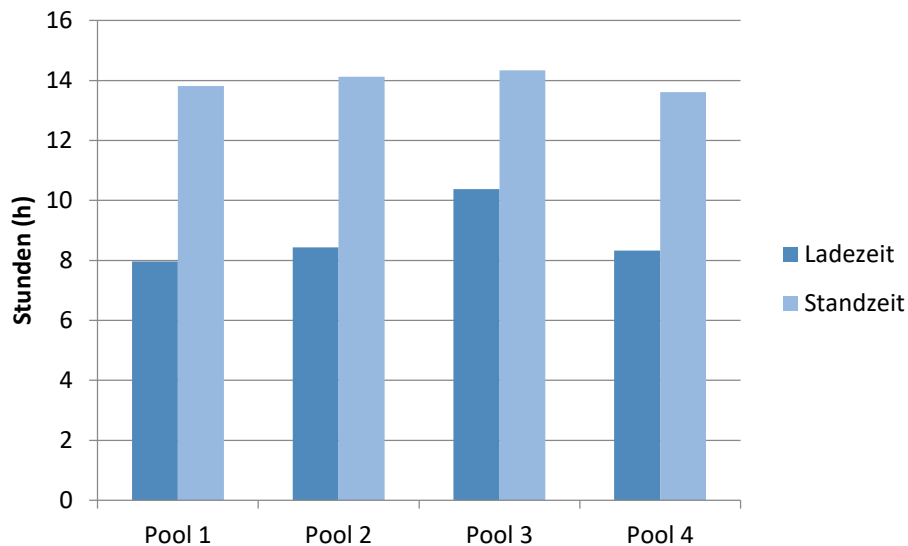


Abbildung 94: Stand- und Ladezeiten der Poolflotte

Neben dem technischen Potential wurde die Bereitschaft des Nutzers ermittelt. Die Ergebnisse der Nutzerakzeptanz wurden von **Modul 2** geliefert (vgl. Abschnitt 2.2).

Vor diesem Hintergrund fand durch AIP eine Literaturrecherche zum Thema Nutzerakzeptanz von Systemdienstleistungen insbesondere vor dem Kontext des E-Poolkonzepts statt. Hier konnten diverse Einflussfaktoren auf die Nutzerakzeptanz identifiziert werden:

- Ladezeit: Dauer, Zeitpunkt, Ort
- Ladeinfrastruktur: Ladestationsbetreiber, Auffindbarkeit, Verfügbarkeit, Form der der Abstellstandorte, Zugang
- Abrechnungsvorschriften
- Grad der Integration neuer Medien
- Datensicherheit und -schutz
- Form der Nutzung: Spontanbuchung, Vorausbuchung

Des Weiteren konnten diese Einflussfaktoren nach Akteursgruppen (Nutzer, Betreiber Poolkonzept, Betreiber Stromnetz) klassifiziert werden (siehe Abbildung 95).

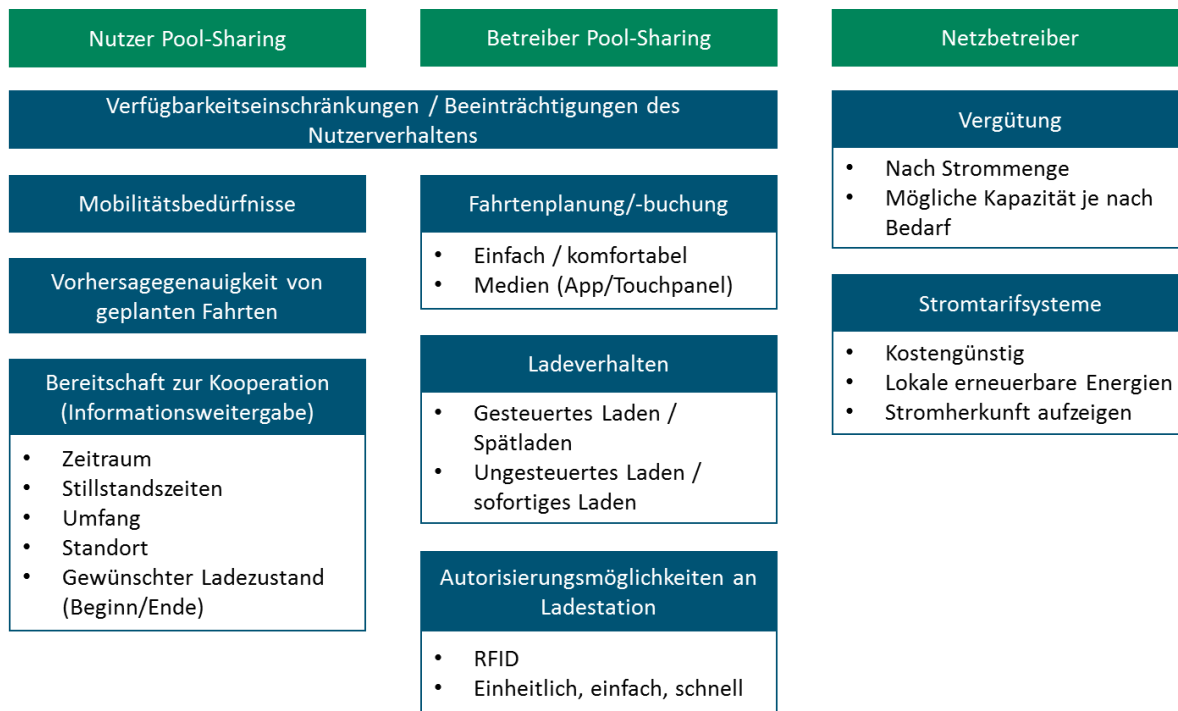


Abbildung 95: Einflussfaktoren auf die Akzeptanz von Systemdienstleistungen

#### Entwicklung eines Konzeptes zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch die Flotten und Auswirkungen auf die Nutzerakzeptanz

Das bestehende Simulationskonzept aus **AS 3.2.1** wurde um eine externe Schnittstelle „Variable Preise“ erweitert. Durch den kontinuierlichen Ausbau erneuerbarer Energien steigt die Volatilität im Energieversorgungssystem. Ein Baustein zur Sicherung der Versorgung ist die Erbringung von Systemdienstleistungen durch die Übertragungsnetzbetreiber. Eine Art der Systemdienstleistung bildet die Frequenzhaltung, bei der z. B. überschüssige Energie aus dem System genommen wird. Elektrofahrzeuge können diese Energie aufnehmen und so das System stabilisieren. Die Preise für die abgenommenen Energiemengen sind variabel, je nach aktuellem Angebot- und Nachfragezustand. Diese Preisvariabilität wird bei der Simulation berücksichtigt.

Durch die Möglichkeit, die Fahrzeuge zeitversetzt zu laden, beispielsweise bei einem Überschuss von erneuerbaren Energien, können die Kosten für das Laden der Fahrzeuge weiter gesenkt werden.

Basierend auf derselben Flotte, wie in den Simulationsberechnungen zu den **AS 3.2.1** und **AS 3.2.2**, wurde eine Simulation mit variablen Netzbezugspreisen durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass die Ladekosten im gesteuerten Fall um 25 % gesenkt werden konnten. Ähnlich verhielt sich die Kostenentwicklung im ungesteuerten Fall. Der Anteil lokaler erneuerbarer Energien am Ladestrom bleibt im gesteuerten Fall bei knapp 48 %. Durch die Bereitstellung von Systemdienstleistungen können variable Strompreise an den Nutzer weitergegeben werden.

Eine Übersicht über die Arbeiten der beteiligten Partner in **AP 3.4** zeigt folgende Tabelle 27.

Tabelle 27: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 3.4

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>ELE</u>	Analyse des Potenzials der Werksflotte zur Bereitstellung von Regelleistung im elektrischen Energienetz bzw. Teilnahme am Strommarkt (Reaktion auf Preissignale)
<u>AIP</u>	Bereitstellung der Daten aus Modul 2 sowie umfangreiche Literaturrecherche und Konzeptarbeit zur Nutzerakzeptanz von Systemdienstleistungen.

## 2.4. Modul 4: Ökobilanz

Das Ziel des **Moduls 4** war die projektbegleitende ökobilanzielle Bewertung der in den **Modulen 2, 3** und **5** erarbeiteten Konzepte und Strategien, so dass in diesen Modulen frühzeitig und zielgerichtet ökologische Aspekte bei der Lösungsfindung berücksichtigt werden konnten. Die durchgeführten LCAs (Life Cycle Assessments, Ökobilanzen) erlaubten eine Bewertung der Umwelteffizienz von Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeugen in der Alltagsnutzung am Beispiel des Flottenbetriebs und lieferten so wichtige Ergebnisse für die in **Modul 5** entwickelte Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement. Die Ökobilanzen wurden auf Grundlage von Energie- und Stoffstrommodellen (im Folgenden: Stoffstrommodelle) berechnet, deren Entwicklung die Kernaufgabe innerhalb des **Moduls 4** (insbesondere **AP 4.2**) darstellte. Die Ergebnisse aus den **Modulen 1 bis 3** und **5** flossen im Laufe des Projektes sukzessive in ein Stoffstrommodell ein, das so von einer ersten groben Abbildung der Lebenswege verschiedener Elektrofahrzeuge ausgehend Schritt für Schritt verfeinert und erweitert wurde. In der ersten Iterationsschleife zielte die Stoffstrommodellierung darauf, einen Überblick über den gesamten Lebensweg der verschiedenen Elektrofahrzeuge (Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzung, Recycling/Entsorgung) zu geben. Es wurden bereits erste generelle Erkenntnisse zum Energiebedarfsverhalten von Komponenten und Gesamtfahrzeug (**AS 1.1.1**) abgebildet. In der zweiten Schleife erlaubte der Projektfortschritt bereits die Integration detaillierter Erkenntnisse aus der Fahrzeugsimulation (**Modul 1**) sowie aus der Datenaufnahme im realen Flottenbetrieb der beiden Anwendungsszenarien Werksflotte und E-Poolkonzept (Flottenzusammensetzung, Nutzerverhalten, Nutzungsmuster, **Module 2** und **5**). In einer letzten Schleife flossen zur weiteren Verfeinerung der Modellierung der Nutzungsphase die Ergebnisse aus **Modul 3** in Form von Strategien zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erzeugter erneuerbarer Energie ein. Mit diesem Schritt wurde die Abbildung der Fahrzeug-, Nutzer- und Netz-Interaktion im Stoffstrommodell komplettiert. Als Ergänzung zum Stoffstrommodell, das nicht primär geeignet war, dynamische Zusammenhänge abzubilden, wurden in **AP 4.3** die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten der unterschiedlichen Elemente mit Einfluss auf die Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen in einem Modell abgebildet. Dieses Modell unterstützte die Auswertung der Ergebnisse des Stoffstrommodells beispielsweise durch die Identifikation kritischer Einflussfaktoren.

Der Ökobilanz-Methodik nach ISO 14040 folgend, gliederte sich das **Modul 4** in die folgenden drei Arbeitspakete:

- **AP 4.1:** Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen
- **AP 4.2:** Energie- und Stoffstrommodellierung
- **AP 4.3:** Wirkungsabschätzung und Auswertung

### 2.4.1. AP 4.1: Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen

Das Ziel von **AP 4.1** war die Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens für die ökobilanzielle Bewertung des realen Anwendungsszenarios der Werksflotte von BSN, vom E-Poolkonzept von LDD und von Strategien zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erzeugter erneuerbarer Energie. Entsprechend gliederte sich das Arbeitspaket in folgende Arbeitsschritte:

- **AS 4.1.1** Ziel und Untersuchungsrahmen Anwendungsszenario Werksflotte
- **AS 4.1.2** Ziel und Untersuchungsrahmen Anwendungsszenario E-Poolkonzept
- **AS 4.1.3** Ziel und Untersuchungsrahmen für Strategien zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erzeugter erneuerbarer Energie

Durch IWF und IPO wurde ein Workshop für alle Projektpartner zur Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen sowohl inhaltlich als auch organisatorisch vorbereitet und die möglichen Rahmenbedingungen (Zielvorgaben der Partner, Zielgruppen für die Ergebnisse, Datenverfügbarkeit, Betrachtungsumfang und -grenzen etc.) exemplarisch erarbeitet. Die Ziele des Untersuchungsrahmens, die im Workshop mit dem Projektteam diskutiert wurden, sind in einem der folgenden Abschnitte dargestellt.

Das Ziel dieser Ökobilanz war zunächst die Abbildung und Bewertung der ökologischen Auswirkungen der elektrischen Fahrzeugflotten (Werksflotte und Poolkonzept) im Vergleich zu einer entsprechenden herkömmlich angetriebenen Flotte. Der Fokus lag dabei mit dem Betrieb im Lebenszyklus der Fahr-

zeuge auf der Nutzungsphase. Ausgehend von den Ergebnissen der Ökobilanzen wurden Handlungsempfehlungen für politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger zum Flottenbetrieb erstellt sowie Schwachstellen der elektrischen Werksflotte identifiziert und Verbesserungspotentiale identifiziert und bewertet. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Ökobilanzierung sind durch eine Entscheidungsmatrix in die Entwicklung der ökonomisch-, ökologisch- und nutzerorientierten Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement eingeflossen (vgl. Abschnitt 2.5.3).

Der Untersuchungsrahmen schloss 23 Fahrzeuge der Elektroflotte (13 Smart Electric Drive und 10 VW E-Up!) von BSN und 4 Fahrzeuge der Elektroflotte von LDD (1 Nissan eNV200, 2 Citroen C-ZERO und 1 Mia miAmore) ein. Es wurden für beide Flotten die Rohstoffgewinnung, die Produktion, die Nutzung und das Recycling betrachtet. Das jeweilige Fahrzeug wurde bis auf die Komponentenebene modelliert. Der Fokus der Studie lag auf der detaillierten Betrachtung der Nutzungsphase und des Einflusses der jeweiligen Interaktionen zwischen Fahrzeug, Nutzer und Netz auf die Umweltauswirkungen des Produktsystems. Für diesen Bereich wurden daher eigene Messungen durchgeführt. Die betrachteten Prozesse schlossen die Gewinnung der Rohstoffe aus der Lagerstätte, die folgenden Produktionsschritte, Nutzung und Recycling bzw. finale Entsorgung ein. Hierfür wurden Literaturwerte und bestehende Datenbanken (Ecolnvent) eingesetzt. Im Allgemeinen orientierten sich Bilanzierungsgrenzen daher an der verwendeten Datenbank.

Es wurde davon ausgegangen, dass die Fahrzeuge fünf Jahre im Besitz der Flottenbetreiber bleiben und anschließend an den Leasinggeber zurückgegeben werden. Angenommen wurde eine gesamte Lebensdauer von 8 Jahren mit einer gesamten Laufleistung von 150.000 km. Es wurde geprüft, welcher Ansatz, zum Beispiel anteilig an der Gesamtleistung oder dem Wertverlust, entsprechend für die Gutschriften für die Restnutzung und anschließendes Recycling am geeignetsten war.

In einer weiteren Ökobilanz wurde untersucht, wie groß das Emissionsreduzierungspotenzial durch gesteuertes Laden, Lastspitzenreduktion und die Einbindung lokaler erneuerbarer Energien ist. Ziel und Untersuchungsrahmen für die netzspezifischen Alternativen zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erneuerbarer Energien wurden in weiteren Workshops erarbeitet und dokumentiert. Hierbei wurde ein besonderer Fokus auf die unterschiedlichen Systemgrenzen bei lokaler und nicht lokaler Energieerzeugung gelegt. Das Ziel dieser Ökobilanz war die Abbildung und Bewertung der ökologischen Auswirkungen verschiedener Steuerungen des Ladevorgangs der elektrischen Fahrzeugflotte von BSN im Vergleich zum ungesteuerten Laden. Aufbauend auf den erstellten Analysen wurden weitere Handlungsempfehlungen für politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger erstellt.

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in **AP 4.1** zeigt die folgende Tabelle 28.

**Tabelle 28 Arbeiten der Partner in AP 4.1**

<b>Partner</b>	<b>Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten</b>
<u>BSN</u>	Fragebogen- und Interviewbasierte Erhebung der <u>BSN</u> -internen Anforderungen an die LCA im Hinblick auf ein ökologisch orientiertes Flottenmanagement (z.B. Art der benötigten Kennzahlen, einzubeziehende/auszugrenzende Prozesse, besondere Interessen bzgl. der von der LCA zu beantwortenden Fragestellungen etc.); Erhebung der <u>BSN</u> -internen netzintegrationspezifischen Anforderungen an die LCA sowie diesbezügliche Anforderungen an die LCA aus den anderen Modulen, insbesondere <b>Modul 3</b> .
<u>IPO</u>	Organisation, inhaltliche Vor- und Nachbereitung sowie Dokumentation des Workshops gemeinsam mit <u>IWF</u> ; Erstellung Formulare zur Abfrage der Anforderungen und Rahmenbedingungen und eine Übersicht zu verfügbaren Datenquellen für die LCA. Die Erstellung der Goal- und Scope-Definition in Kooperation mit dem <u>IWF</u> und in Abstimmung (fachliche Rahmenbedingungen) mit den Industriepartnern.
<u>IWF</u>	Organisation; inhaltliche Vor- und Nachbereitung sowie Dokumentation des Workshops gemeinsam mit <u>IPO</u> ; Zusammenstellung der Rahmenbedingungen eines E-Poolkonzepts an der Technischen Universität Braunschweig (organisatorisch, infrastrukturell, voraussichtliche Nutzergruppen etc.), die Vorbereitung der Entscheidungsfindung hinsichtlich Foreground / Background System, Systemgrenzen, Szenarien etc.)
<u>VW</u>	Bewertung der <u>BSN</u> -internen Anforderungen an ein ökologisch orientiertes Flottenmanagement hinsichtlich volkswageninterner Kriterien und ggf. Erweiterung der Systembetrachtung zur Darstellung allgemeingültiger Erkenntnisse im Projekt. Zusammenstellung der Anforderungen an die LCA unter Berücksichtigung der variierenden und differierenden Nutzungsmöglichkeiten im E-Poolkonzeptbetrieb.

<u>LDD</u>	Fragebogen- und Interviewbasierte Erhebung der <u>LDD</u> -internen Anforderungen an die LCA im Hinblick auf ein ökologisch orientiertes Flottenmanagement (z.B. Art der benötigten Kennzahlen, einzubeziehende/auszugrenzende Prozesse, besondere Interessen bzgl. der von der LCA zu beantwortenden Fragestellungen etc.)
<u>ELE</u>	Unterstützung der inhaltlichen Workshopvorbereitung (insbesondere Vorbereitung möglicher Szenarien). Erarbeitung eine Überblickspräsentation über die relevanten Zustandsgrößen und Parameter, die die zu entwickelnden Strategien und Konzepte beschreiben, und visualisiert und dokumentiert die zu erwartenden Veränderungen an / Einflüsse auf technische Anlagen etc. sowie die Abhängigkeiten und Zusammenhänge der Parameter untereinander.

#### 2.4.2. AP 4.2: Energie- und Stoffstrommodellierung

Im **AP 4.2** wurden aufeinander aufbauende Energie- und Stoffstrommodelle erarbeitet, mit deren Hilfe Sachbilanzen (Life Cycle Inventories, LCI) für die in AP 4.1 definierten Ziele und Untersuchungsrahmen berechnet werden konnten. Hierfür teilte sich das **AP 4.2** in folgende Arbeitsschritte auf:

- **AS 4.2.1** Basismodelle für Elektrofahrzeuge
- **AS 4.2.2** Modell Anwendungsszenario Werksflotte
- **AS 4.2.3** Modell Anwendungsszenario E-Car-Sharing
- **AS 4.2.4** Teilmodelle zur Abbildung von Strategien zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erzeugter erneuerbarer Energie

Die Stoffstrommodellierung zur Sachbilanzerstellung stellte aufgrund der notwendigen Datenrecherchen und Modellierungsarbeiten im Rahmen einer Ökobilanz den mit Abstand zeit- und ressourcenintensivsten Arbeitsschritt dar. Federführend war das IWE, das gemeinsam mit IPO an der Modellierung gearbeitet hat und bei batteriespezifischen Fragestellungen zusätzlich von IME unterstützt wurde. Die Life Cycle Inventories stellten die Grundlage für die in **AP 4.3** erfolgende ökologische Bewertung der Umwelteffizienz von Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeugen in der Alltagsnutzung am Beispiel des Flottenbetriebs dar. Zur Stoffstrommodellierung wurden die in **AP 1.2** und **AP 1.3** erstellten Simulationsmodelle (Gesamtfahrzeug- und Komponentenmodelle) herangezogen, um die Energieverbräuche verschiedener Topologie Konzepte zu identifizieren und für die Abbildung im Stoffstrommodell aufzubereiten.

#### **Basismodelle für Elektrofahrzeuge**

Für die Energie- und Stoffstrommodellierung wurden zunächst Basismodelle für Elektrofahrzeuge in der Software „Umberto“ erstellt. Um die ökologische Modellierung der Lebenswege von Elektrofahrzeugen verschiedener Antriebstopologien konkret berechnen zu können, wurde anschließend bei verschiedenen Zulieferern im Automobilsektor durch IPO um eine Datenfreigabe für Sachbilanzdaten von Fahrzeugkomponenten gebeten. Insgesamt wurden 53 Kunden von IPO (Hersteller und Lieferanten aus dem IMDS-Bereich der Automobilbranche) als relevant eingestuft und für die Befragung ausgewählt. Den Unternehmen wurde das Projekt vorgestellt und den interessierten Firmen ein detaillierter Ablauf der organisatorisch und datentechnisch notwendigen Prozesse vorgeschlagen. Letztlich konnten zehn Firmen für das Projekt gewonnen werden. Mit diesen Unternehmen wurden weitere erforderliche Details geklärt (Aufwandsabschätzung, zu erwartende Ergebnisse, Vorteile für die Firmen, Datenschutz). Daraufhin wurden von IPO die technischen Vorbereitungen zur sicheren Übertragung der Firmendaten getroffen. Hierfür war die Erstellung neuer Soft- und Hardware erforderlich. Für den Datenaustausch (IMDS-Stücklisten verschiedener Bauteile) mit den Firmen wurden spezielle Schnittstellen entwickelt, die auf den einzelnen kundeninternen Systemen installiert wurden. Über eine speziell hierfür angefertigte Schnittstelle konnten die Daten abgefragt und in einer Datenbank bei IPO gespeichert werden (iPoint Compliance Agent, siehe Beispiel in Abbildung 96). Für die Projektzwecke wurden die Daten anonymisiert und generalisiert.

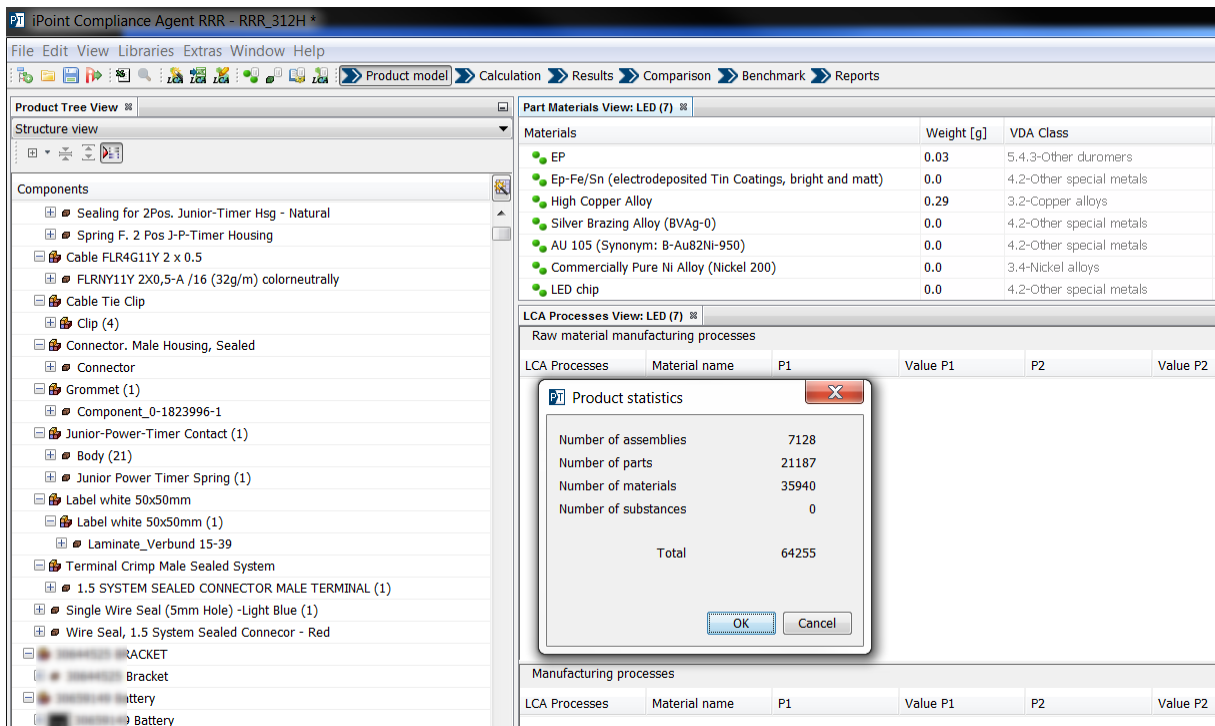
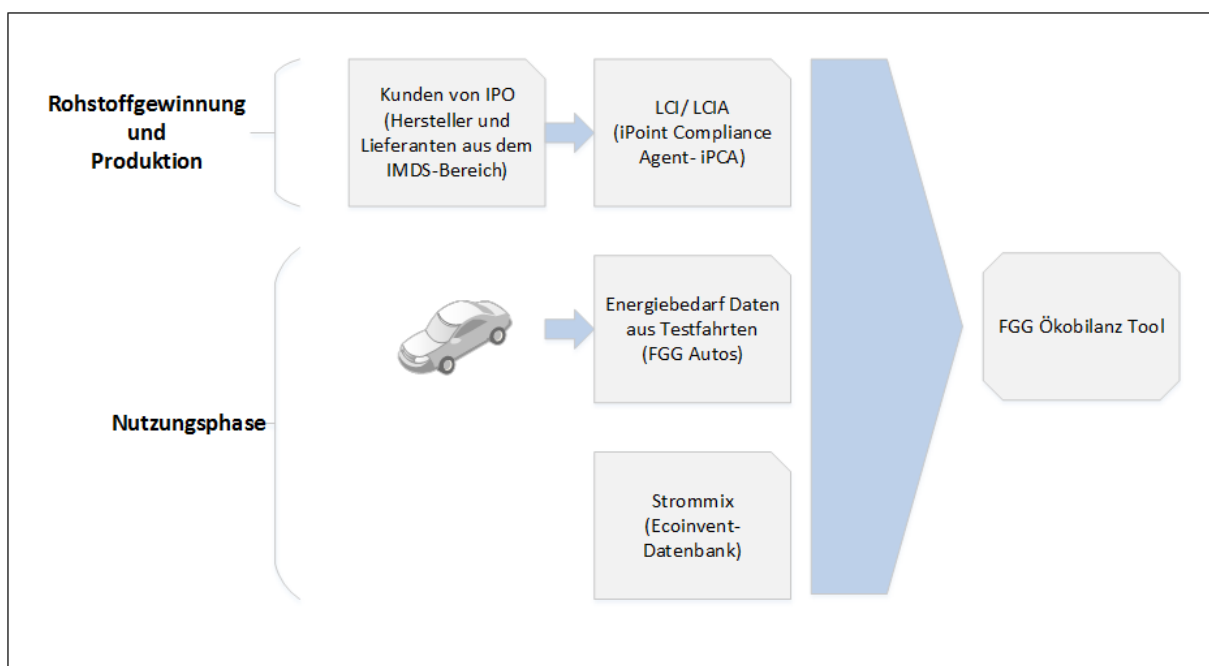


Abbildung 96: Die Schnittstelle des IPCA-IMDC-Moduls

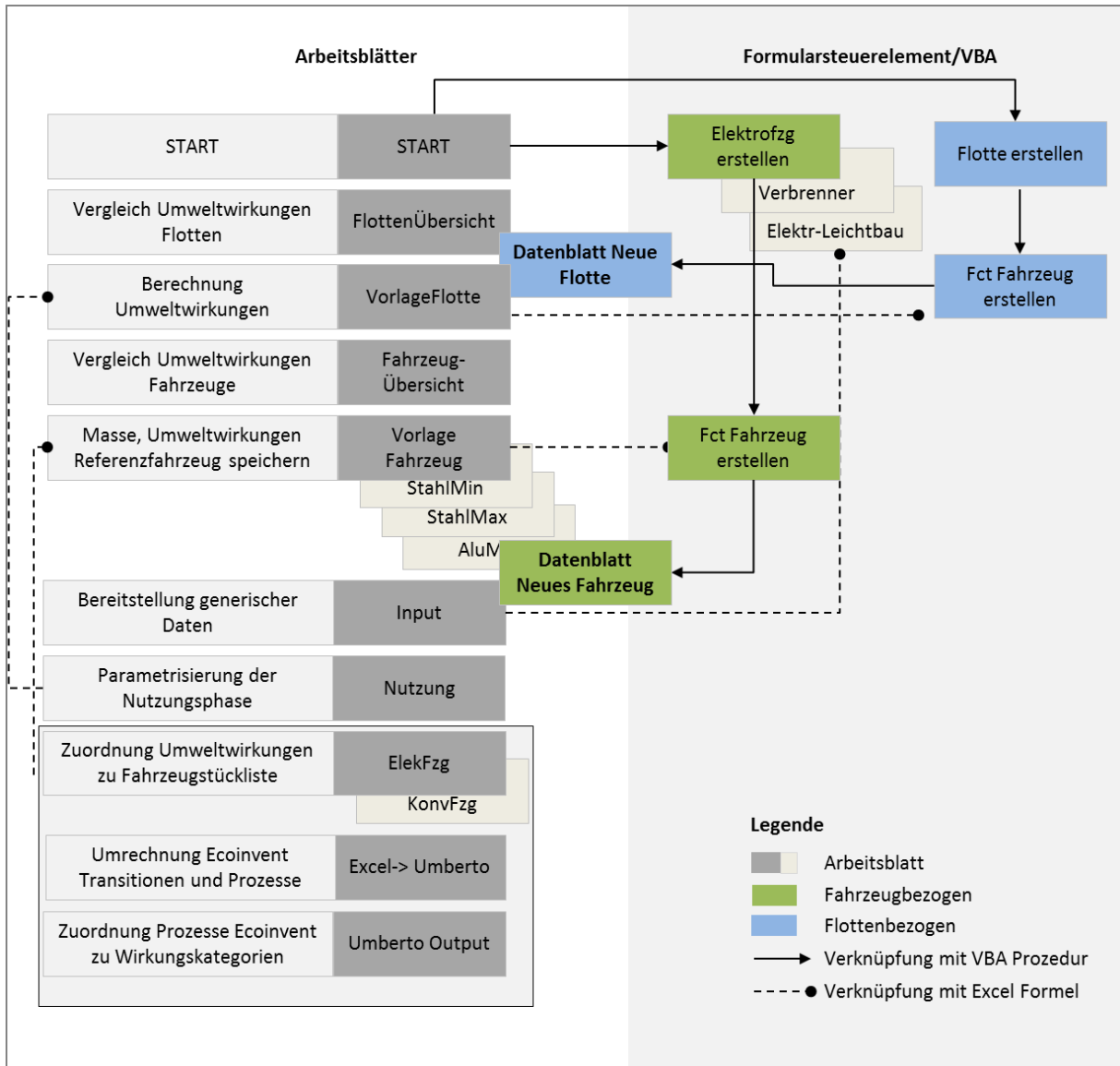
## Modellierung Anwendungsszenario Werksflotte und Modellierung Anwendungsszenario E-Car-Sharing

Die Dateien aus der IPO-Datenbank wurden mit Messdaten zum Energiebedarf aus den Testfahrten sowie allgemeinen Daten zum Strommix aus der Ecoinvent-Datenbank angereichert, um die Nutzungsphase der verschiedenen Anwendungsszenarien zu modellieren. Diese Modellierung erfolgt mittels eines auf Basis von Microsoft Excel implementierten, im Rahmen des Projekts neu entwickelten Werkzeugs (siehe Abbildung 97). Mit dieser Anwendung wurde die Ökobilanz von Fahrzeugen und Fahrzeugflotten für Fleets Go Green erstellt, es steht jedoch auch für zukünftige Projekte und Bilanzierungen zur Verfügung. Die Schritte der Modellierung werden anhand des Werkzeugs im Folgenden vorgestellt. Die Ergebnisse dieser Modellierung werden in Abschnitt 2.4.3 dargestellt.



**Abbildung 97: Struktur des Ökobilanztools aus Fleets Go Green**

Das Werkzeug bietet die Möglichkeit, Vergleiche zwischen Elektro- und Verbrennerfahrzeugen vorzunehmen sowie unterschiedliche Fahrzeugflotten zu konfigurieren und hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen zu bewerten. Es deckt insbesondere die Schritte der Sachbilanzerstellung und der Wirkungsabschätzung einer Ökobilanz ab und unterstützt bei der Definition des Untersuchungsrahmens. Enthalten sind Daten und Berechnungsmethoden zu allen Lebenszyklusphasen von Elektrofahrzeugen und Verbrennerfahrzeugen. Abbildung 98 gibt eine Übersicht über die Funktionen der einzelnen Arbeitsblätter und Formularsteuerelemente in Microsoft Excel und zeigt die wesentlichen Verknüpfungen untereinander auf.



**Abbildung 98: Modell der Arbeitsblätter und Formularsteuerelemente sowie ihrer wesentlichen Funktionen in der bestehenden Ökobilanzierungsanwendung**

Das Arbeitsblatt START bildet den Einstieg in die Anwendung. Der Nutzer hat über ein Formularsteuerelement die Wahl, entweder ein Fahrzeug oder eine Fahrzeugflotte zu erstellen. In der Abbildung 98 ist der Weg für die Fahrzeuge grün dargestellt und für die Flotte in blau. Möchte der Nutzer ein Fahrzeug erstellen, kann er zwischen den Fahrzeugtypen „Elektrofahrzeug“, „Verbrennerfahrzeug“ und „Elektro-Leichtbaufahrzeug“ wählen. Wählt der Nutzer eine der Optionen aus, öffnet sich ein neues Formularsteuerelement zur Fahrzeugdateneingabe (siehe Abbildung 99). Der Nutzer kann die Daten manuell eingeben oder auf bereits erstellte Fahrzeuge desselben Typs zurückgreifen und die Daten editieren. In der Abbildung ist zu Demonstrationszwecken das Fahrzeug „Test“ geladen worden. Das



Formularsteuerelement besteht aus einem Kopfbereich und einem Baugruppenbereich. Der Kopfbereich dient der Auswahl der Berechnungsmethode, der Eingabe der Massen von Fahrzeug und Batterie sowie der Eingabe weiterer Fahrzeugdaten wie Verbrauch und Lebensdauer von Fahrzeug, Batterie und Reifen. Der Nutzer wählt entweder ein vorhandenes Fahrzeug aus und lädt dessen Werte für den Kopfbereich oder erstellt ein neues Fahrzeug über das Feld Name und entsprechende Eintragungen in allen Kopffeldern.

Antriebsbatterie (Li-Ion-Akku)	500	Fahrzeugausstattung (allg.)	20	Motorsteuerungs- und Regelungselektronik Räder und Bereifung	16
Antriebsstrang	14	Flüssigkeiten und Öle allg.	20	Scheiben	118
Audio / Media	3	Generic Processes	79	Sitze	51
Beleuchtung / Scheinwerfer	11	Karosserie - Innenraum	62	Türen	41
Bremssystem	39	Karosserie-Rohbau	269	Verbindungsmaterial (allg.)	38
Cockpit	17	Klima / Lüftung	11	Verkabelung	16
e-Motor (Synchronmaschine)	90	Kupplung	32		2
Fahrgestell, Federung	38	Lenkung (Servo)	13		

Abbildung 99: Formularsteuerelement mit Eingabemaske für Fahrzeugdaten

Der Baugruppenbereich stellt die Massen der einzelnen Baugruppen der Fahrzeuge dar. Diese werden über eine VBA-Prozedur in die Felder des Formularsteuerelementes geladen. Die Massen werden mit einer weiteren Prozedur auf Grundlage der Eingaben des Nutzers zu Fahrzeugmasse und Batterie-masse anhand eines Referenzfahrzeuges berechnet. Da zur Demonstration ein vorhandenes Fahrzeug geladen wurde, können Änderungen über die Schaltfläche „Fahrzeug verändern“ in der Anwendung gespeichert werden. Wurde ein neues Fahrzeug erstellt, verändert sich die Schaltfläche zu „Fahrzeug erstellen“. Eine Prozedur kopiert die passende Vorlage für den Fahrzeugtyp, überträgt alle Massenangaben, versieht das kopierte Arbeitsblatt mit dem Fahrzeugnamen und überträgt die Fahrzeugmassen in das Arbeitsblatt „Fahrzeugtypen“. Damit wird ein neues Fahrzeug erstellt, das unter dem entsprechenden Arbeitsblatt eingesehen und editiert werden kann sowie zur Auswahl in Fahrzeugflotten zur Verfügung steht.

In der bestehenden Anwendung sind bereits eine Vielzahl von Fahrzeugtypen enthalten. Dazu gehören neben den Vorlagen für Elektro- und Verbrennerfahrzeuge mehrere Elektro-Leichtbaufahrzeuge auf Basis verschiedener Werkstoffe. Die Fahrzeugdatenblätter enthalten die eingegebenen Verbrauchs- und Lebensdauerdaten sowie die berechneten Baugruppenmassen. Anhand der Baugruppenmassen werden für die Umweltwirkungskategorie Treibhauseffekt Umweltwirkungen für Rohstoffgewinnung, Produktion und Lebensende berechnet. Die spezifischen Umweltwirkungswerte je Kilogramm Baugruppen-masse werden über eine Excel-Funktion aus den Datenblättern zur Ermittlung der Umweltwirkungswerte bezogen. Darüber hinaus enthalten die Fahrzeugdatenblätter Angaben zu Wartung und einsetzbaren Batterietypen.

Insgesamt dienen drei Arbeitsblatttypen der Ermittlung der Umweltwirkungswerte. Den aufgeschlüsselten Baugruppen werden Prozesse zur Rohstoffgewinnung und Lebensendverwertung sowie ein oder mehrere Produktionsprozesse zugewiesen. Für jeden der Prozesse wird über eine Excel-Formel der spezifische Umweltwirkungswert aus dem Arbeitsblatt „Excel-> Umberto“ ermittelt. In dem Arbeitsblatt „Excel-> Umberto“ wurden die Prozesse, die in der Ecoinvent 3 Notation vorliegen, den Entsprechungen

in Ecoinvent 2 Notation zugewiesen. Der jeweilige spezifische Umweltwirkungswert der Wirkungskategorie Treibhauseffekt wurde über eine weitere Excel-Formel aus dem Arbeitsblatt „Umberto Output“ bereitgestellt. Dieses stellt einen Auszug aus der Ecoinvent-2-Datenbank dar und enthält Umweltwirkungswerte zur Versauerung (Land und Wasser), Treibhauseffekt, Eutrophierung (Land und Wasser), Humantoxizität, Ionisierende Strahlung, Landnutzung, Bildung von Photooxidantien, Erschöpfung abiotischer Ressourcen und Ozonabbau, Ökotoxizität (Land und Wasser) und Atemwegserkrankungen (anorganisch).

Alle bestehenden und neu erstellten Fahrzeuge können im Arbeitsblatt „FahrzeugÜbersicht“ verglichen werden. In dem Arbeitsblatt stehen Vergleichstabellen zur Verteilung der Umweltwirkungen der Fahrzeuge auf die Lebenszyklusphasen zur Verfügung. Dazu kann der Nutzer eine Break-Even-Analyse über die Umweltwirkungen im Lebenszyklus verschiedener Fahrzeug durchführen.

Vergleichbar kann der Nutzer auf Basis der einzelnen Fahrzeuge anschließend Flotten über die Arbeitsmappe START und das Formularsteuerelement „Fahrzeug-Flotten-Generator“ erstellen. Das Formularsteuerelement wird in Abbildung 100 gezeigt und gliedert sich in die drei Bereiche „Fahrzeug“, „Transport“ und „Nutzungsphase“. Im Bereich Fahrzeug kann der Nutzer zwischen den Antriebsformen Elektromotor und Verbrennermotor wählen sowie bestehende Fahrzeuge der entsprechenden Typen einschließlich einer entsprechenden Batterie auswählen. Dann gibt der Nutzer Verbrauch und Lebensdauer des Fahrzeuges, der Batterie und der Reifen ein. Im Transportbereich werden die Distanz und das Transportmittel des Fahrzeuges bei Auslieferung an den Nutzer festgelegt. Im Bereich Nutzungsphase kann der Nutzer Daten zu Nutzungsdauer, Energiemix, Außen- und Innenraumtemperatur sowie Fahrstil, Fahrumgebung, Zusatzgewicht, Bremsenergieerückgewinnung und geographische Lage eingeben.

Abbildung 100: Formularsteuerelement Fahrzeug-Flotten-Generator

## Teilmodelle zur Abbildung von Strategien zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erzeugter erneuerbarer Energie

Zusätzlich den Modellierungen der Fahrzeuge und Flotten wurde eine Sachbilanzierung einer Photovoltaikanlage einschließlich eines stationären Speicher durchgeführt, um die ökologische Bewertung von verschiedenen Strategien zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erzeugter erneuerbarer Energie zu evaluieren. Nach analogem Vorgehen von IWF und IPO zu Wirkungsabschätzung und Untersuchung der Belastbarkeit der Ergebnisse, wie in den vorangegangenen Arbeitsschritten erläutert, wurden diese bei der Auswertung in Form einer Matrix aufbereitet. Die Matrix gab Aufschluss darüber, welche Strategien (Lastmanagement, Speicher) in Abhängigkeit von der Flotte mit ihren spezifischen Eigenschaften (Technologiemix, Nutzungsmuster) und von der Art der lokalen Energieerzeugung mit welchen Umweltwirkungen verbunden waren. Im Ergebnis liegen Wirkungsindikatorergebnisse (zum Beispiel CO<sub>2</sub>-Äquivalente) für die verschiedenen Strategien vor. Diese Ergebnisse konnten zur Unterstützung der Auswahl ökologisch optimierter Strategien des Flottenbetriebs herangezogen werden.

Kritische Faktoren bei der Erstellung der Sachbilanz von Photovoltaikanlagen waren die Modellierung der Siliziumbestandteile und deren Qualität, die Allokation der Siliziumqualitäten bei der Materialaufbereitung, der zu bilanzierende Energiemix sowie prozessspezifische Emissionen (vgl. auch (Jungbluth und Tuchschnid)). Berücksichtigt wurden darüber hinaus alle erforderlichen Bauteile, der Energiebedarf für die Installation, der Transport der Materialien und Personen zur Baustelle sowie die voraussichtliche Entsorgung der Bauteile nach Nutzung.

Der durch die Photovoltaikmodule dezentral erzeugte Strom wurde in einer stationären Lithium-Titanat-Batterie mit 8 kWh zwischengespeichert und bei Bedarf via drei Ladesäulen an Elektrofahrzeuge abgegeben. Bei der Modellierung der Umweltauswirkungen wurden Lade- sowie Endladeverluste des stationären Speichers mit 20 % berücksichtigt. Auch ein zweimaliger Austausch des Speichers im Laufe des 25-jährigen Lebenszyklus wurde in der Bilanz berücksichtigt. Darüber hinaus umfasste die Ökobilanz die finale Montage der Batterie, die Herstellung aller Bauteile wie Gehäuse, Isolierung und Batteriemagementsystem, die Herstellung der Elektroden (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> und LiC<sub>6</sub>) sowie die Herstellung des Elektrolyts.

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in **AP 4.2** zeigt die folgende Tabelle 29.

**Tabelle 29 Arbeiten der Partner in AP 4.2**

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>IFAM</u>	Aufbereitung allgemeiner Zusammenhänge des Verhaltens vollelektrischer Fahrzeuge sowie der elektrischen Komponenten (z.B. Zusammenspiel von Gesamtfahrzeug und Komponenten basierend auf Module 1) hinsichtlich der Darstellung von Energieflüssen (mechanisch, elektrisch, thermisch) bei verschiedenen Nutzungsszenarien. Anwendungsspezifische Ankopplung der Simulation vollelektrischer Fahrzeuge (Verhalten des vollelektrischen Antriebstrangs in verschiedenen Fahrzeugen bei verschiedenen Nutzerprofilen (Fahrprofilen) aus dem Anwendungsszenarien)
<u>IFF</u>	Aufbereitung allgemeiner Zusammenhänge des Fahrzeugverhaltens sowie der mechanischen Triebstrangkomponenten.
<u>IME</u>	Aufbereitung allgemeiner Zusammenhänge des Batterieverhaltens vollelektrischer Fahrzeuge, die Beschreibung und Ableitung von Abhängigkeiten und Abweichungen der Batterie in Hinblick auf das Systemverhalten (Ströme, Spannungen, SOC, SOF).
<u>IPO</u>	Screening der Lebenswege der betrachteten Elektrofahrzeuge von der Rohstoffextraktion bis zum Entsorgungsprozess; Dafür wurden die In- und Outputs jedes notwendigen Prozesses, der Phasen Materialstoffextraktion, Verarbeitung, Nutzungsphase und Entsorgung (jeweils inklusive Transport) betrachtet; Erste Abschätzung der Umweltwirkungen über den gesamten Lebensweg mithilfe des „Compliance Agent LCA“ Moduls.
<u>IWF</u>	Erstellung der Stoffstrombasismodelle für Elektrofahrzeuge in Umberto aufbauend auf den durch IFAM, IFF, IME und IPO erarbeiteten Informationen, d.h. Modellierung der Basislebenswege für die verschiedenen beschafften Fahrzeuge. Schrittweise Modellentwicklung gemeinsam mit IPO, Stoffstrommodellierung in einem Microsoft-Excel-basierten Tool, d.h. Modellierung des Anwendungsszenarios für die verschiedenen beschafften Fahrzeuge unter Verwendung der realen Fahrdaten und der Energiebedarfsaufschlüsselung auf die einzelnen Komponenten aus <b>Modul 1</b> .

<u>ELE</u>	Unterstützung der Modellentwicklung und Plausibilitätsprüfung der Stoffstrommodelle hinsichtlich der entwickelten Strategien (Prüfung der getroffenen Annahmen und Modellierungsansätze hinsichtlich Vollständigkeit, Repräsentativität und Nachvollziehbarkeit auf Grundlage eigener Erfahrungswerte zum Netzverhalten und zur Netzintegration).
<u>TLK</u>	Abbildung der Stoff- und v.a. Energieströme des Werksflottenbetriebs mit Fokus auf Klimatisierung und Thermomanagement.
<u>VW</u>	Bewertung und Voranalyse des Energiebedarfsverhaltens im Gesamtfahrzeug für die im Flottenbetrieb befindlichen Fahrzeuge in Abhängigkeit vom Antriebskonzept und den fahrwiderstandsbeschreibenden Fahrzeugparametern für gleiche Betriebszustände/Fahraufgaben.

### 2.4.3. AP 4.3: Wirkungsabschätzung und Auswertung

Ziel von **AP 4.3** war die Bewertung der Umwelteffizienz von Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeugen in der Alltagsnutzung am Beispiel des Flottenbetriebs. Das Arbeitspaket gliederte sich in folgende Arbeitsschritte:

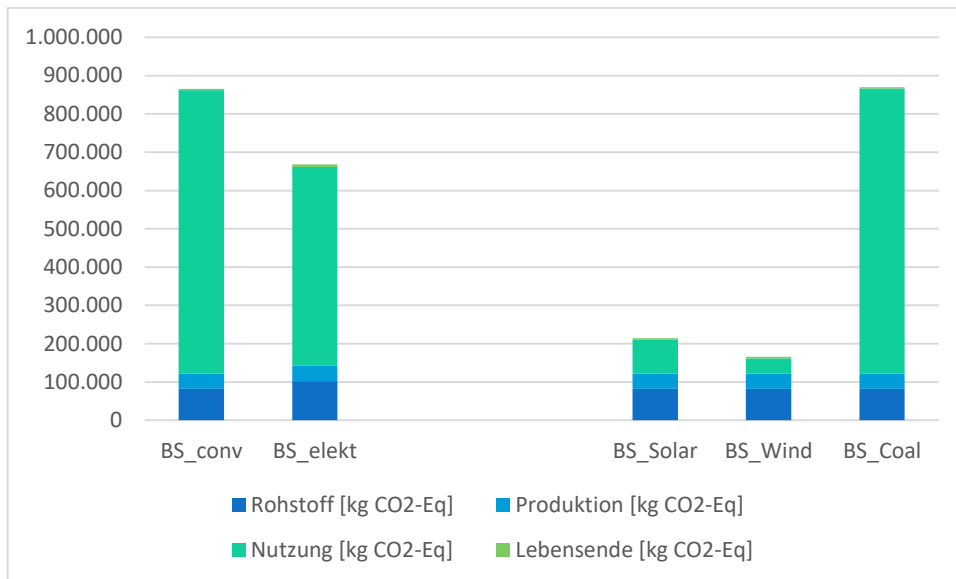
- **AS 4.3.1** Erstellung eines systemdynamischen Modells zur Darstellung der Fahrzeug-Nutzer und Netzwechselwirkungen
- **AS 4.3.2** Wirkungsabschätzung und Auswertung für das Anwendungsszenario Werksflotte
- **AS 4.3.3** Wirkungsabschätzung und Auswertung für das Anwendungsszenario E-Car-Sharing
- **AS 4.3.4** Wirkungsabschätzung und Auswertung für die Strategien zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erzeugter erneuerbarer Energie

#### **Erstellung eines systemdynamischen Modells zur Darstellung der Fahrzeug-Nutzer und Netzwechselwirkungen**

In **AS 4.3.1** wurden die Ergebnisse aus den **Modulen 1 bis 5** in ein Modell zur Darstellung der Fahrzeug-, Nutzer- und Netz-Wechselwirkungen im Flottenbetrieb überführt. Für die Ermittlung der relevanten Parameter wurde zunächst gemeinsam mit Partnern von TLK, IFF, ELE, AIP und IWF ein Brainstorming nach der Methode 6-3-5 durchgeführt. So erhält jeder Teilnehmer die Möglichkeit, aufbauend auf den Notizen der anderen neuen Ideen zu generieren. Diese Methode wurde jeweils für den Bereich Fahrzeug, Nutzer und Netz durchgeführt. Für die Abbildung der Wechselwirkungen war anschließend eine systemdynamische Darstellung geplant. Im Rahmen der Überführung der Ergebnisse wurde deutlich, dass ein systemdynamisches Modell nur teilweise oder nur für ausgewählte Aspekte geeignet war. Daher wurde schließlich eine zeitdiskrete Simulation gewählt. Dabei wurden relevante Parameter wie z.B. die Flottengröße variiert und deren Einfluss auf Wartezeit, ökonomische und ökologische Auswirkungen bestimmt. Die Erkenntnisse hieraus sind in **Modul 5** eingeflossen.

#### **Wirkungsabschätzung und Auswertung für das Anwendungsszenario Werksflotte sowie Wirkungsabschätzung und Auswertung für das Anwendungsszenario E-Car-Sharing**

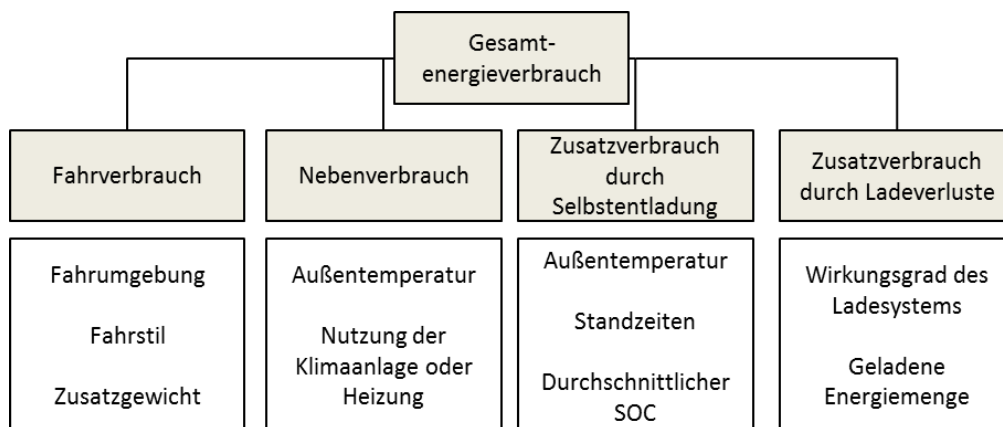
Aufbauend auf den in Abschnitt 2.4.1 und 2.4.2 dargelegten Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen sowie der erfolgten Modellierung mittels des FGG-Ökobilanztools erfolgte schließlich die Wirkungsabschätzung und Auswertung der im Rahmen des Projekts betriebenen Fahrzeuge und Flotten. Die Auswertung der BSN-Flotte (siehe Abbildung 101) zeigte mögliche Vorteile der elektrischen Fahrzeuge im Vergleich zu Verbrennerfahrzeugen (BS\_conv) in Abhängigkeit vom Strommix. So war eine mit dem deutschen Strommix (BS\_elekt), mit Solarenergie (BS\_Solar) oder mit Windenergie (BS\_Wind) betriebene Flotte ökologisch vorteilhafter als die zuvor bestehende Flotte. Eine Flotte, die ausschließlich mit Strom aus Braunkohle (BS\_Coal) betrieben würde, würde hingegen schlechter abschneiden.



**Abbildung 101: Ökologische Bewertung der Werksflotte**

In der Nutzungsphase der Flotten waren Energieverbrauch und Wartung die Treiber von Umweltwirkungen. Die Wartung umfasste zusätzlich benötigte Batterien und Reifen. Ein großer Anteil der Umweltwirkungen für Elektrofahrzeuge entsteht durch den Verbrauch elektrischer Energie. Abhängig davon, in welcher Umgebung und von welchen Personen die Elektrofahrzeuge bewegt, abgestellt und geladen werden, muss der Flottenmanager mit unterschiedlich hohen Energiekosten rechnen. Anhand der vorliegenden Nutzerdaten werden Nutzerprofile erstellt. Die Parameter zur Identifizierung der Nutzerprofile orientieren sich dabei an den Einflussfaktoren auf den Gesamtenergieverbrauch von Elektrofahrzeugen.

Der Gesamtenergieverbrauch eines Elektrofahrzeuges setzt sich aus Fahrenergieverbrauch, Verbrauch der Nebenaggregate, Selbstentladung der Batterie und Zusatzverbrauch durch Verluste während des Ladevorganges zusammen. Abbildung 102 zeigt die betrachteten Einflussfaktoren auf den Gesamtenergieverbrauch.



**Abbildung 102: Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch von Elektrofahrzeugen (Del Duce et al. 2013)**

Die Fahrdaten von **Modul 1** wurden entsprechend ihres Energieverbrauchs für beide Anwendungsszenarien gruppiert, um den Einfluss der Nutzer auf die ökologische Bewertungen abzuschätzen. Zu diesem Zweck wurden Fahrdaten als „Eco“ und „Sport“ (nach Fahrstil) und „Land“, „Stadt“, „Autobahn“, „Gemischt“ (nach Fahrumgebung) zu verschiedenen Profilen zusammengestellt. Basierend auf verschiedenen Fahrstilen und Fahrumgebungen wurden die Fahrverbräuche von variierenden Fahrprofilen betrachtet (siehe Tabelle 30) und in Hinblick auf verschiedene Außertemperaturen und unterschiedliche Nutzung von Klimaanlage oder Heizung verschiedene Nutzerprofile gegenübergestellt (siehe Tabelle 31).

**Tabelle 30 Fahrverbrauch verschiedener Fahrprofile**

Fahrprofil	Fahrverbrauch [kWh/100km]	Fahrumgebung	Fahrstil
<b>Effizienzprofil</b>	11,69	Alle Fahrumgebungen	Fahrstil eco
<b>Dynamikprofil</b>	13,49	Alle Fahrumgebungen	Fahrstil sport
<b>Gewöhnliche Nutzung</b>	12,27	Alle Fahrumgebungen	Alle Fahrstile
<b>Best Case</b>	11,61	Stadt	Fahrstil eco
<b>Worst Case</b>	14,50	Autobahn	Fahrstil sport

**Tabelle 31: Nebenverbrauch verschiedener Nutzerprofile**

Nutzerprofil	Nebenverbrauch [kWh/100km]	Temperaturbereich	Nutzung	Klimaanlage
<b>Effizienzprofil</b>	1,50	Alle Temperaturbereiche	Klimatisierung sparsam	
<b>Frostbeulenprofil</b>	15,43	Alle Temperaturbereiche	Klimatisierung intensiv	
<b>Gewöhnliche Nutzung</b>	5,43	Alle Temperaturbereiche	Alle Nutzungen	
<b>Best Case</b>	1,08	T (°C) 15 +/- 2,5	Klimatisierung sparsam	
<b>Worst Case</b>	28,75	T (°C) < -2,5	Klimatisierung intensiv	

Die Höhe der einzelnen Verbrauchskomponenten wurde dabei von den Fahr- beziehungsweise Nutzerprofilen beeinflusst. Je effizienter ein Fahrzeug genutzt wurde, desto geringerer Energieverbrauch wurde in der Nutzungsphase verursacht. Abhängig vom eingesetzten Energiemix änderte sich damit die durch die Nutzung verursachten Umweltwirkungen.

Für die normierten Vergleichsflotten Werksflotte und E-Poolkonzept sowie den später im Projekt integrierten Transporter wurden signifikante Aspekte zu den Umweltwirkungen Treibhauseffekt, Bildung von Photooxidantien und Versauerung (Land und Wasser) aufgezeigt. Die Flotten wurden mit den Nutzungsprofilen Effiziente Nutzung, Gewöhnliche Nutzung und Fordernde Nutzung in der Ökobilanzierungsanwendung angelegt. Als Referenzwert diente eine Verbrennerflotte.

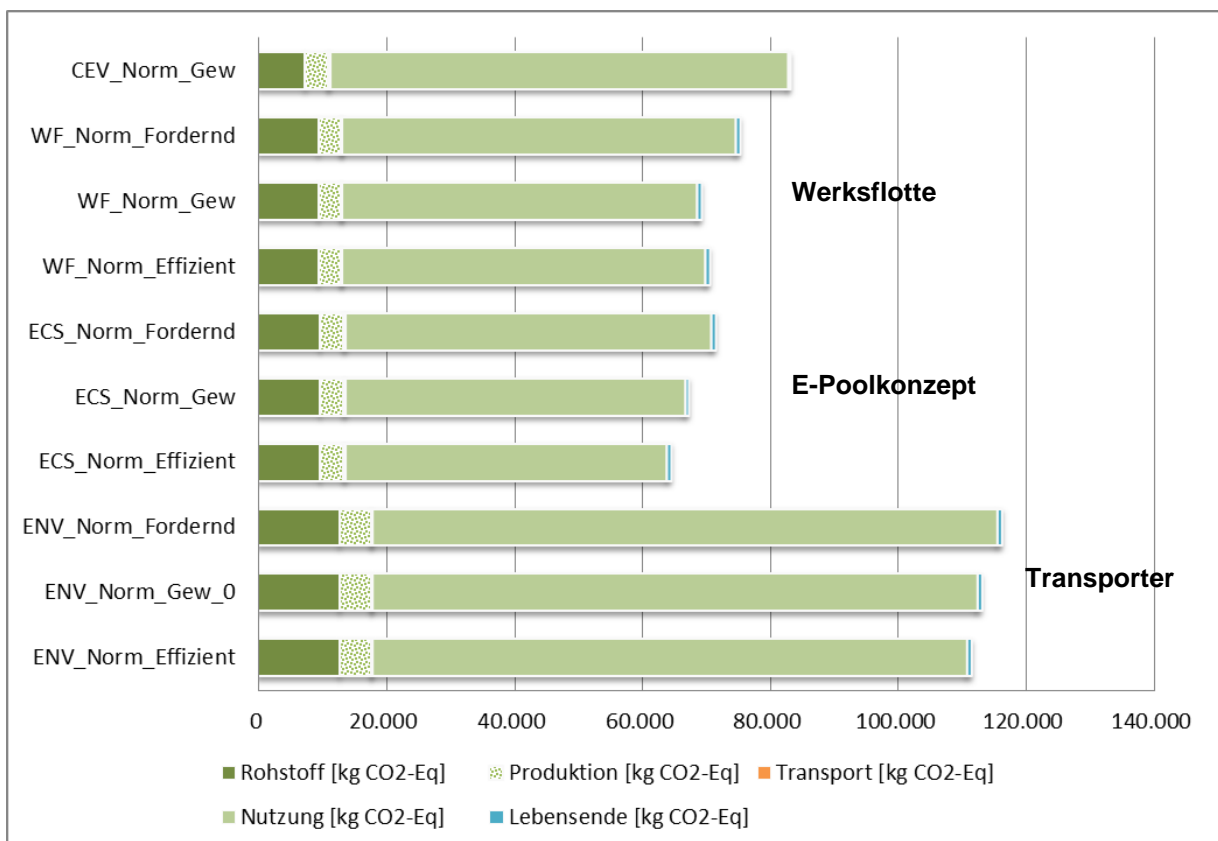
Es wurde gezeigt, dass die unterschiedlich intensive Nutzung der Elektrofahrzeuge für eine große Spannweite an Umweltwirkungen verantwortlich sein kann. Bisher wurden die Gesamtnutzungsprofile für die effiziente, gewöhnliche und fordernde Nutzung herangezogen. In der Praxis kann es jedoch vorkommen, dass ein Fahrzeugnutzer beispielsweise sehr intensiv heizt, aber ansonsten das Fahrzeug entsprechend eines gewöhnlichen Nutzerprofils einsetzt. Um diese Einflüsse zu untersuchen, wurden im Folgenden die Profile eines Verbrauchsteils jeweils als variabler Parameter betrachtet. In der Ökobilanzierungsanwendung wurde der variable Parameter sowohl mit effizienter als auch fordernder Nutzung eingegeben, während die übrigen Nutzungsprofile fest mit gewöhnlicher Nutzung eingestellt wurden. Anschließend wurden die ermittelten Verbrauchswerte als Vergleichsflotten angelegt und die Umweltwirkungen in der Kategorie Treibhauseffekt exemplarisch verglichen.

**Tabelle 32** zeigt die Verbrauchswerte für die Fahrprofile als variables Nutzerprofil. Klimatisierung, Selbstentladung und Ladeverluste waren jeweils mit dem gewöhnlichen Nutzungsprofil eingestellt. Dann wurden die Verbrauchswerte der Fahrprofile Effizienzprofil, Gewöhnliche Nutzung und Dynamikprofil ermittelt. Mit diesen Verbrauchswerten wurden Vergleichsflotten erstellt, die in Abbildung 103 dargestellt sind. WF steht dabei für Werksflotte, ECS für E-Poolkonzeptflotte und ENV für die Transporterflotte. Die Abkürzung „Norm“ steht für normiert und weist darauf hin, dass die dargestellte Flotte jeweils zwei Fahrzeuge enthielt. Die Abkürzungen Gew, Dyn und Eff stehen für die Nutzungsprofile Gewöhnliche Nutzung, Fordernde Nutzung und Effiziente Nutzung.

**Tabelle 32: Verbrauch der Fahrzeugflotten: Fahrprofil als variabler Parameter**

Flotte	Fahrzeug	Verbrauch Effizient [kWh/100km]	Verbrauch gewöhnlich [kWh/100km]	Ge- Verbräuchernd [kWh/100km]	For-
<b>Werksflotte (WF)</b>	Smart ED	23,37	24,06	25,49	
	VW e-up	24,98	25,67	27,12	
<b>E-Poolkonzept (ECS)</b>	2 Citroen CZero	21,16	22,41	24,27	
<b>Transporter</b>	2 Nissan e-NV200	39,78	40,45	41,89	
	2 Nissan e-NV200 mit 700kg Zuladung	46,49	47,48	49,63	
<b>Vergleichs CEV</b>	VW Fox		5,0 L/100km		
	VW Polo		6,1 L/100km		

Bei der Werksflotte war der Unterschied zwischen effizientem und gewöhnlichem Fahren sehr gering. Bei dynamischem Fahren war der Einfluss auf den Treibhauseffekt während des Lebenszyklus etwa 6% größer als bei gewöhnlicher Nutzung. Bei der E-Poolkonzept Flotte beträgt die Spanne der Auswirkungen der unterschiedlichen Fahrprofile zwischen effizientem und forderndem Fahrprofil 10%. Anhand der Messdaten aus dem Projekt Fleets Go Green konnte gefolgert werden, dass eine dynamischere Fahrweise bei gleichbleibenden Nutzerprofilen kurzfristig zu einem erhöhten Energieverbrauch und höheren Umweltwirkungen führen, über den Lebenszyklus jedoch die Unterschiede zwischen den auf Basis der Messdaten ermittelten Fahrprofilen einen geringen Einfluss auf die Ökobilanz der Flotte haben.



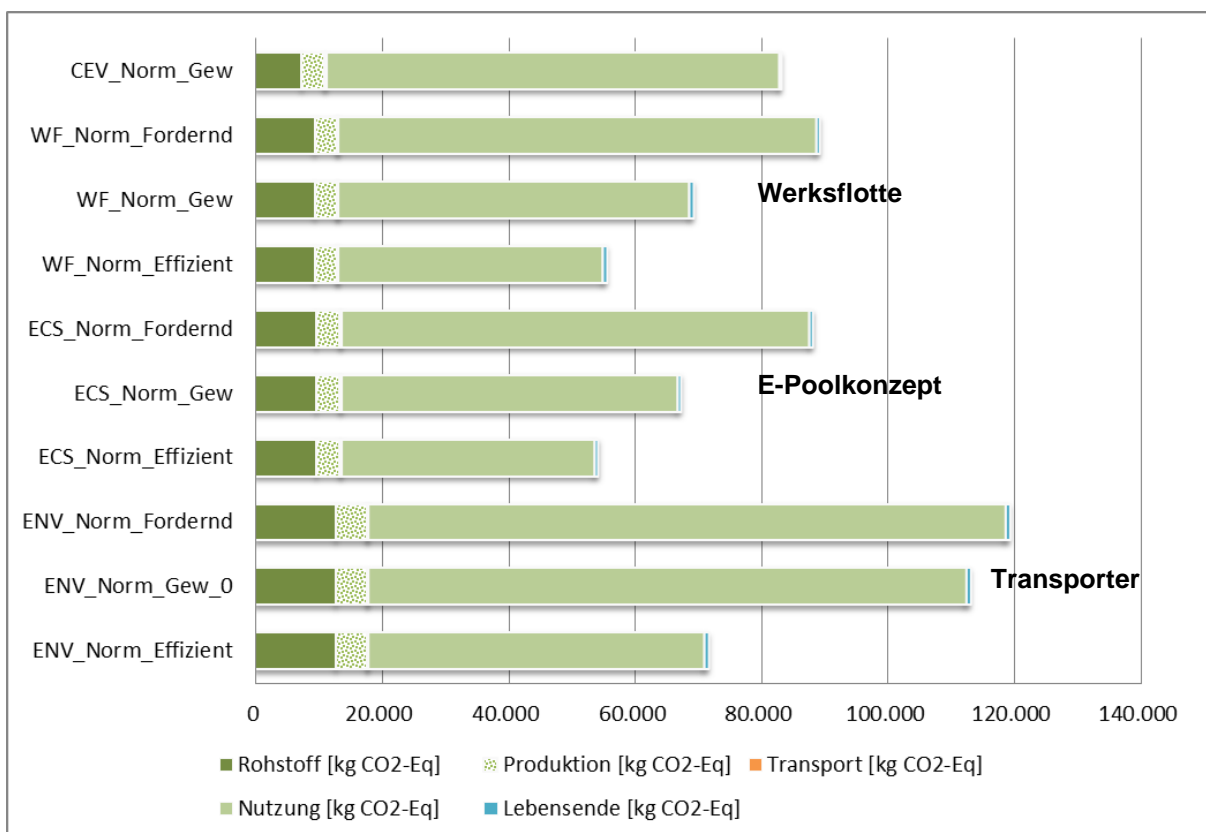
**Abbildung 103: Fahrzeugflotten im Vergleich von Fahrprofilen in der Umweltwirkungskategorie Treibhauseffekt**

Die Untersuchung der Klimatisierungsprofile als variablem Parameter in Tabelle 33 zeigt dagegen eine deutlich größere Spanne zwischen den Verbrauchswerten. Sowohl die Nutzer der Werksflotte als auch

des E-Poolkonzepts und des Transporters hatten durch ihre Wahl der Klimatisierung einen hohen Einfluss auf den Verbrauch und die Umweltwirkungen der Flotten in der Nutzungsphase. Bei intensiver Kühlung und Heizung übertrafen die Elektroflotten leicht die Umweltwirkungen der Verbrennerflotte. Andererseits konnte bei effizienter Nutzung im Falle der Werksflotte und des E-Poolkonzepts ein um 20-22% geringerer Einfluss auf den Treibhauseffekt gegenüber gewöhnlicher Nutzung erzielt werden (siehe Abbildung 104). Die Spanne von effizienter Nutzung zu fordernder Nutzung betrug sogar 37-39%. Die Klimatisierung war insbesondere im Kontext des Flottenmanagements relevant, da sie direkt reichweitenwirksam war. Das Nutzerprofil hatte somit nicht nur einen hohen Einfluss auf die ökologische Bewertung der Flotte, sondern auch auf operative Aspekte wie Reichweite und Verfügbarkeit für Fahraufträge oder Kunden.

**Tabelle 33: Fahrzeugflotten Verbrauch: Klimatisierungsprofil als variabler Parameter**

Flotte	Fahrzeug	Verbrauch Effizient [kWh/100km]	Verbrauch gewöhnlich [kWh/100km]	Verbrauch Fordernd [kWh/100km]
<b>Werksflotte (WF)</b>	Smart ED	16,88	24,06	33,26
	VW e-up	18,03	25,67	31,79
<b>E-Poolkonzept (ECS)</b>	2 Citroen CZero	16,56	22,41	31,75
<b>Transporter</b>	2 Nissan e-NV200	21,93	40,45	43,24
<b>Vergleichs CEV</b>	VW Fox		5,0 L/100km	
	VW Polo		6,1 L/100km	



**Abbildung 104: Fahrzeugflotten im Vergleich der Auswirkungen von Klimatisierungsprofilen in der Umweltwirkungskategorie Treibhauseffekt**

Im Falle der Klimatisierung waren Klima, Energiemix, Komfortbedürfnis der Nutzer sowie die Heiz- und Kühlungseffizienz des verbauten Klimatisierungssystems die wesentlichen Einflussfaktoren. Die Verbesserung der Heizeffizienz aktueller Elektrofahrzeuge war nicht in hohem Umfang möglich und das



Klima war für bestehende Flotten nicht beeinflussbar. Damit stand dem Flottenmanager im Falle aktueller Elektrofahrzeuge nur der Einsatz von elektrischer Energie aus erneuerbarer Erzeugung oder eine bedachte Nutzung der Heiz- und Klimatisierung Systeme durch den Nutzer als Verbesserungsoption zur Verfügung.

### Wirkungsabschätzung und Auswertung für die Strategien zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erzeugter erneuerbarer Energie

Im nun folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der ökologischen Bewertung von verschiedenen Strategien zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erzeugter erneuerbarer Energie dargestellt. In Abbildung 105 werden die Gesamtemissionen ausgewählter Wirkungskategorien der Photovoltaikanlage dargestellt, wobei drei stationären Speicher im Laufe des 25-jährigen Lebenszyklus sowie eine lineare Abschwächung der Photovoltaikmodule um 20 % über 25 Jahre einkalkuliert wurden.

Das Treibhauspotential der gesamten Anlage betrug 14902 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente, wobei die Photovoltaikmodule mit 11263 kg ca. 68 % verursachten. Die stationären Speicher verursachten mit 2444 kg CO<sub>2</sub> und damit ca. 15 % den zweitgrößten Anteil der Emissionen. Die Produktion des Wechselrichters lag mit 1130 kg CO<sub>2</sub> und 7 % nahezu gleichauf mit der Produktion der Modulhalterungen mit 1345 kg CO<sub>2</sub> und 8 %. Die Installation der Anlage war mit 350 kg CO<sub>2</sub> und einem Anteil von 2 % der Emissionen fast zu vernachlässigen.

Das Versauerungspotential, ausgedrückt in kg SO<sub>2</sub>-Äquivalenten, betrug in Summe 139,7 kg. Diese teilte sich auf in 71,4 kg für die Photovoltaikmodule, 32,5 kg für die stationären Speicher, 15,4 kg für die Produktion des Wechselrichters und 11,1 kg sowie 9,2 kg für die Produktion der Modulhalterungen sowie die Installation der Anlage.

Das Eutrophierungspotential, ausgedrückt in kg PO<sub>4</sub>-Äquivalenten betrug insgesamt 26,1 kg. Dies teilte sich mit 8,75 kg und 8,58 kg zu gleichen Teilen auf die Photovoltaikmodule sowie die stationären Speicher auf. Die Produktion des Wechselrichters war mit 4,8 kg ebenfalls nicht unerheblich und verursachte ca. 18,6 % der Emissionen. Die Produktion der Modulhalterungen lag mit 0,73 kg und 2,8 % im zu vernachlässigenden Bereich, die Installation der Anlage nimmt hingegen mit 3,17 kg und 12,2 % einen nicht zu unwesentlichen Teil der Emissionen ein.

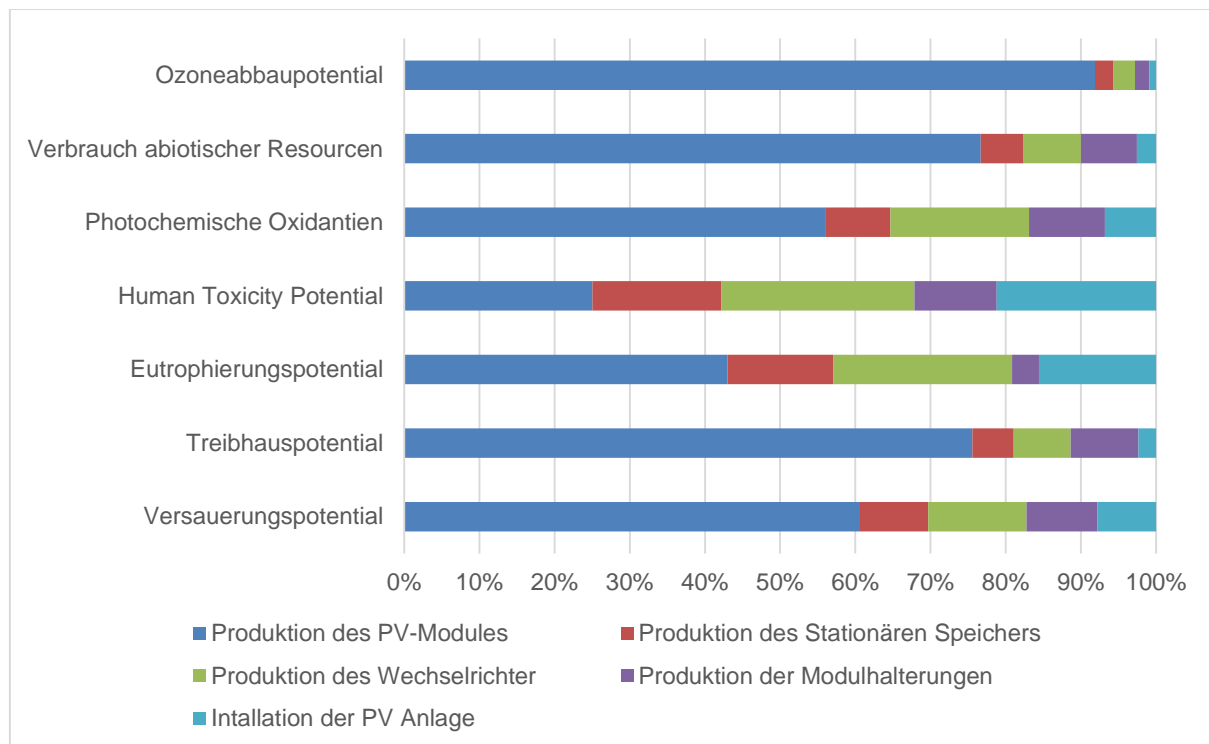


Abbildung 105 Gesamtemissionen des Systems zur lokalen Produktion erneuerbarer Energie

Das Ozonabbaupotential gemessen in kg CFC-11-Äquivalenten betrug 4,3 g. Diese wurden zu 87,5 % durch die Photovoltaikmodule verursacht und zu 7,1 % durch die Produktion der Speicher. Die Produktion des Wechselrichters, der Modulhalterungen sowie die Installation der Anlage waren im Vergleich vernachlässigbar.

Die Photochemischen Oxidantien, ausgedrückt in kg Ethylen-Äquivalenten betragen insgesamt 7,23 kg, wobei ca. 47,7 % auf die Photovoltaikmodule, 22,2 % auf die stationären Speicher, 15,7 % auf den Wechselrichter, 8,6 % auf die Modulhalterungen und 5,8 % auf die Installation der Anlage zurückzuführen waren.

Der Verbrauch abiotischer Ressourcen wurde in kg Antimon ausgedrückt. Insgesamt wurden für die Anlage 119,36 kg Antimon benötigt, wobei sich auch hier herauskristallisierte, dass die Photovoltaikmodule mit 69 % und die stationären Speicher mit 15,4 % den maßgeblichen Anteil aufweisen. Der Wechselrichter sowie die Modulhalterungen waren in etwa gleich auf. Der durch die Installation der Anlage verursachte Anteil war mit 2,3 % wie in fast allen Wirkungskategorien gering.

Das Human Toxicity Potential, ausgedrückt in kg 1,4-Dichlorbezol-Äquivalenten, betrug 31707,11 kg. Die Photovoltaikmodule verursachten mit 5909,93 kg ca 18,6 % der Emissionen. Die drei stationären Speicher verursachten mit 12133,06 kg ca. 38,3 %. Der Wechselrichter lag mit 6073,85 kg und 19,2 % über den Werten der Modulhalterungen mit 2576,11 kg und 8,13 % sowie der Installation der Anlage mit 5008,16 kg und 15,8 %.

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in **AP 4.3** zeigt die folgende Tabelle 34.

**Tabelle 34 Arbeiten der Partner in AP 4.3**

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>IPO</u>	Das <u>IPO</u> hat die Definition notwendiger Sensitivitätsanalysen und die für deren Modellierung notwendige Datenrecherche, Ableitung von Empfehlungen und Dokumentation der Ergebnisse erarbeitet.
<u>IWF</u>	Im Rahmen der Wirkungsabschätzung (LCIA) führte <u>IWF</u> unter Einsatz der Software Umberto sowie Microsoft Excel die Schritte der Klassifizierung (Zuordnung der Input-/Outputströme der Sachbilanz zu den unterschiedlichen Umweltwirkungskategorien) und Charakterisierung (Quantifizierung von deren Beitrag zu den Umweltwirkungskategorien wie Treibhauseffekt, Versauerung, Photosmog, etc.) durch. Die Dokumentation der Ergebnisse sowie Ableitung von erfolgte für die spezifischen Stoffstrommodelle und Ergebnisse des Szenarios mit den Strategien zur Lastspitzenreduktion und zur Maximierung des Anteils regional erzeugter erneuerbarer Energie.

## 2.5. Modul 5: Anwendungsszenario Flottenbetrachtung

Das Ziel von **Modul 5** war die Integration der Ergebnisse und Daten aus den Modulen 1 bis 4 zu einer ökonomisch-, ökologisch- und nutzerorientierten Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement der Fahrzeuge. Ausgehend von identifizierten Flottentypen sollte eine geeignete Zuordnung von Fahrzeug- zu Flottentypen bzw. Einsatzszenarien in Flotten unter Berücksichtigung von Fahrzeug-, Nutzer- und Netzverhalten ermöglicht werden.

Das Modul 5 gliederte sich in 4 Arbeitspakete.

- **AP 5.1:** Flottenbeschaffung und -betrieb
- **AP 5.2:** Kategorisierung flottenspezifischer Eigenschaften
- **AP 5.3:** Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement
- **AP 5.4:** Validierung der Modelle und Ableitung von Handlungsempfehlungen

In **AP 5.1** erfolgte die Flottenbeschaffung und der Flottenbetrieb in den Anwendungsszenarien Werksflotte BS|ENERGY und Poolkonzept Technische Universität Braunschweig. **AP 5.2** diente der Kategorisierung differenzierter Flottentypen als Basis für die Zuordnung von Flottenfahrzeugen zu Flottentypen. In **AP 5.3** erfolgte die Integration der Module 1 bis 4 sowie der kategorisierten Flottentypen aus **AP 5.2**

zu einer simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement. Sie dient der Unterstützung zukünftiger Entscheidungen über den Fahrzeugmix einer Flotte (für unterschiedliche Flottentypen) sowie deren Nutzung hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte. In **AP 5.4** wurden die Modelle und Methoden aus den Modulen 1 bis 4 und die Entscheidungsunterstützung aus **AP 5.3** mit Hilfe der im Projekt gewonnenen Daten validiert und adaptiert. Zudem konnten Handlungsempfehlungen hinsichtlich des Einsatzes von Elektrofahrzeugen in betrieblichen Flotten abgeleitet werden. Nachfolgend sind die Ergebnisse und durchgeführten Arbeiten der einzelnen Partner detailliert dargestellt.

#### 2.5.1. AP 5.1: Flottenbeschaffung und -betrieb

Das Ziel von **AP 5.1** war die Beschaffung und der Betrieb geeigneter batterieelektrischer Fahrzeuge für die Anwendungsszenarien Werksflotte BS|ENERGY und Poolkonzept Technische Universität Braunschweig. Hierzu gliederte sich das Arbeitspaket in drei Arbeitsschritte:

- **AS 5.1.1** Beschaffung von Fahrzeugen für das Anwendungsszenario Werksflotte BS|ENERGY
- **AS 5.1.2** Beschaffung von Fahrzeugen für das Anwendungsszenario E-Poolkonzept Technische Universität Braunschweig
- **AS 5.1.3** Flottenbetrieb und Sicherstellung des iterativen Forschungsansatzes

#### **Beschaffung von Fahrzeugen für die Anwendungsszenarien Werksflotte BS|ENERGY und E-Poolkonzept Technische Universität Braunschweig**

Insgesamt wurden für beide Anwendungsszenarien 31 Fahrzeuge beschafft und erfolgreich in die betrieblichen Flotten integriert. Für die Werksflotte BS|ENERGY wurden durch BSN die Fahrzeugtypen Smart Fortwo Electric Drive, VW e-up! beschafft (**AS 5.1.1**). Zudem dienten ein von Volkswagen zur Verfügung gestellter Golf Blue-e-motion und ein VW e-Caddy (jeweils Vorserienfahrzeuge) der Ableitung erster Erkenntnisse zur Nutzbarkeit und Betriebstauglichkeit von Elektrofahrzeugen in der Werksflotte. Für das Anwendungsszenario Poolkonzept Technische Universität Braunschweig wurden durch LDD die Fahrzeugtypen Mia Electric Drive, Citroen C-Zero und Nissan e-NV 200 beschafft (**AS 5.1.2**). Zudem wurde ein VW e-up! außerhalb der Förderung beschafft. Eine Übersicht über die den Anwendungsszenarien zugeordneten Fahrzeugen, Nutzungszeiträume und Beschaffungsarten ist in Tabelle 35 dargestellt.

**Tabelle 35: Übersicht über beschaffte Fahrzeuge im Projekt Fleets Go Green**

Anwendungsszenario	Fahrzeugtyp	Anzahl	Nutzungszeitraum	Beschaffungsart
Werksflotte BS ENERGY	Smart Fortwo Electric Drive	4	12/12 – 08/16	Leasing
	Smart Fortwo Electric Drive	8	11/13 – 08/16	Leasing
	Smart Fortwo Electric Drive	1	12/13 – 08/16	Leasing
	VW e-up!	6	02/14 – 08/16	Leasing
	VW e-up!	4	03/14 – 08/16	Leasing
	VW e-Caddy (Vorserienfahrzeug)	2	11/13 – 12/15	Partnerüberlassung
	<b>Gesamt</b>	<b>25</b>		
Pool-Konzept Technische Universität Braunschweig	Mia Electric Drive	2	02/13 – 08/16	Kauf
	Citroen C-Zero	2	02/13 – 08/16	Kauf
	Nissan e-NV 200	1	02/16 – 08/16	Kauf
	Volkswagen e-up! (außerhalb der Förderung)	1	12/15 – 08/16	Kauf

Im Vorfeld der Anschaffung der Fahrzeuge erfolgten Abstimmungen mit allen Beteiligten, in Bezug auf die Auswahl und Beschaffung von Fahrzeugen, die zukünftigen Einsatzszenarien, das Laden der Fahrzeuge und den Aufbau geeigneter Ladeinfrastruktur. Auch wurden Vorgespräche mit Fahrzeugherstellern und Lieferanten geführt, um den Einbau von Dataloggern und die Nutzung zusätzlicher Fahrzeugdaten zu klären. Durch die Einbindung der ersten Fahrzeuge in die betriebliche Nutzung ab Dezember 2012 konnten bereits frühzeitig Erkenntnisse bzgl. des Nutzungsverhaltens von batterieelektrischen Fahrzeugen gewonnen werden. Da sich die Fahrzeugbeschaffung insgesamt vor allem bedingt durch Lieferschwierigkeiten seitens der Lieferanten verzögert hat, wurde für das betreffende Teilprojekt eine Verlängerung des Bewilligungszeitraums um zwölf Monate bewilligt.

### Flottenbetrieb und Sicherstellung des iterativen Forschungsansatzes

Der Betrieb und das Management der beschafften Flotten in den Anwendungsszenarien Werksflotte BS|ENERGY und Pool-Konzept Technische Universität Braunschweig erfolgte in **AS 5.1.3**. Hierfür wurden alle Fahrzeuge messtechnisch ausgerüstet (vgl. auch **AS 1.1.2**), sodass die für das Projekt relevanten Nutzer-, Fahrt-, Fahrzeug- und Umgebungsdaten erfasst werden und eine Parametrierung der Modelle und die Validierung von modellbasierten Ergebnissen aller Module erfolgen konnten. Die messtechnische Ausstattung der VW e-up! s erfolgte hierbei durch die IAV. Dies war notwendig, da diese vom VW-Vorstand einschließlich freizugebender CAN-Daten als Dienstleister für die Ausstattung vorgeschrieben waren (Zugang zu dbc).

Während dieser Datengenerierungsphase erfolgte die kontinuierliche Betreuung der in den Fahrzeugen verwendeten Messtechnik durch die Partner IFAM, IFF, IMC, IME, VW und TLK. Dies beinhaltete neben der regelmäßigen Wartung, die Weiterentwicklung der eingesetzten Messtechnik aufgrund sich im Projektverlauf ergebender neuer Erkenntnisse und Anforderungen (z.B. hinsichtlich der Abtastrate der Messdatenaufzeichnung). Die Sicherstellung des iterativen Forschungsansatzes erfolgt mit Hilfe eines durch IWF erarbeiteten Schnittstellenkatalogs zum Abgleich von Datenanforderungen mit den im Projekt erhobenen Daten (vgl. Tabelle 36). Der Excel-basierte Katalog beinhaltete die mittels Kurzbeschreibung, benötigter Kenngröße, geforderter Genauigkeit und Bezugsgröße beschriebenen Datenanforderungen und stellt diese den tatsächlich aufgezeichneten, gespeicherten und aufbereiteten fahrt- und fahrzeugbezogenen Daten gegenüber. Hieraus konnten Änderungsbedarfe hinsichtlich notwendiger Anpassungen von Messstrategien abgeleitet werden.

**Tabelle 36: Exemplarische Darstellung des Schnittstellenkataloges**

Änderungsbedarf	Datenanforderungen					
	Modul (Bedarf)	Kurzbeschreibung der Datenanforderung	Benötigte Kenngröße	Geförderte Genauigkeit	Bezug	Sonstige Anmerkungen
Kein Änderungsbedarf	Modul 5	Benötigt wird der zusätzliche Energieverbrauch pro 100km in Abhängigkeit des zusätzlichen Gewichtes für verschiedene Fahrzeugkonzepte (Mini, Kompakt, Kleinwagen, Mittelklasse, Städtischer Lieferwagen) in unterschiedlichen Einsatzszenarien (Stadt, Land, Kombiniert, Autobahn) ohne Nebenverbraucher	Mehrverbrauch pro kg Mehrgewicht für unterschiedliche Szenarien	Durchschnittswert	pro Fahrt	keine
<b>Aufzeichnung, Speicherung und Aufbereitung der fahrt- und fahrzeugbezogenen Daten</b>						
	Modul (Quelle)	Relevante aufgezeichnete Messgrößen	Erhebungsstrategie	Abtastrate	Genauigkeit	
	Modul 1	Batteriestrom, Batteriespannung, Geschwindigkeit	Berechnet aus Messgrößen	1 Hz	Zeitlicher Signalverlauf	

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in **AP 5.1** zeigt die folgende Tabelle 37.

**Tabelle 37: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 5.1**

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
---------	--

<u>IFF</u>	Kontinuierliche Anpassung der Messstrategien für die großflächige Messdatenerfassung; Dokumentation der umzusetzenden Änderungen der Messstrategien; Abstimmung der Umsetzung von Änderungen mit den Partnern <u>IMC</u> , <u>TLK</u> , <u>IFAM</u> und <u>VW</u> ; Gemeinsame Umsetzung in Abstimmung mit den genannten Partnern.
<u>IMC</u>	Anpassung der Messstrategie für die von <u>IMC</u> bereitgestellten Logger einschließlich Anpassung der Sequenzen für die Messdatenverarbeitung. Durchführung von Logger-Wartungen, sowie Anpassung der Loggerkonfiguration (Abstrakte) zur Verfeinerung der Datenbasis auch im Hinblick auf den Vergleich zu den Simulationsergebnissen.
<u>BSN</u>	Festlegen von Anforderungen, Beschaffung o.g. Fahrzeuge für die Werksflotte BSIENERGY auf Basis detaillierter Untersuchungen im Hinblick auf die wirtschaftliche und betriebliche Eignung
<u>LDD</u>	Festlegen von Anforderungen, Beschaffung o.g. Fahrzeugen für das Pool-Konzept Technische Universität Braunschweig, Bereitstellung einer Buchungsplattform mithilfe eines externen Dienstleisters, Betrieb der Fahrzeuge im Poolkonzept an der TU Braunschweig.
<u>IWF</u>	Unterstützung bei Fahrzeugauswahl und -beschaffung, Erarbeitung und Umsetzung eines Nachnutzungskonzepts für die mia electric, Abgleich der Aufzeichnung, Speicherung und Aufbereitung der fahrt- und fahrzeugbezogenen Daten aus den Flotten mit den Datenanforderungen aus den Modulen 1 bis 4; Entwicklung und Verfolgung eines Schnittstellenkataloges; Abstimmung des Katalogs mit IFF zur Ableitung von Anpassungen der Messstrategien.
<u>IFF</u>	Kontinuierliche Anpassung der Messstrategien für die großflächige Messdatenerfassung; Dokumentation der umzusetzenden Änderungen der Messstrategien; Abstimmung der Umsetzung von Änderungen mit den Partnern <u>IMC</u> , <u>TLK</u> , <u>IFAM</u> und <u>VW</u> ; Gemeinsame Umsetzung in Abstimmung mit den genannten Partnern. Unterstützung bzgl. der Festlegung zusätzlicher Arbeiten im Zusammenhang mit der Datenaufzeichnung und -auswertung für den Nissan e-NV sowie des Aufbaus und der Verifizierung des virtuellen Gesamtfahrzeugmodells (vgl. AP 1).
<u>TLK</u>	Umsetzung der von IFF erarbeiteten angepassten Messstrategien durch Anpassung der in den Fahrzeugen integrierten Messtechnik mit Fokus auf der Ermittlung thermischer System- und Umgebungseigenschaften sowie insbesondere des Komforts im Fahrgastraum. Bspw. ist im Rahmen der Plausibilisierung aufgefallen, dass Messtechnik auf der Niedervolt-Seite zur Bilanzbildung fehlt. Erweiterung der Niedervolt-Messtechnik veranlasst, Unterstützung bzgl. der Festlegung zusätzlicher Arbeiten im Zusammenhang mit der Datenaufzeichnung und -auswertung für den Nissan e-NV sowie des Aufbaus und der Verifizierung des virtuellen Gesamtfahrzeugmodells (vgl. AP 1), Unterstützung bei der Datenplausibilisierung. Erstellung eines Programms zur Abspeicherung der Daten aus der Car-Net Plattform. Plausibilisierung der Car-Net Daten.
<u>VW</u>	Umsetzung der von IFF erarbeiteten angepassten Messstrategien durch Anpassung der in den Fahrzeugen integrierten Messtechnik mit Fokus auf dem Gesamtfahrzeugverhalten.

### 2.5.2. AP 5.2: Kategorisierung flottenspezifischer Eigenschaften

Das Ziel von **AP 5.2** war die Ableitung differenzierter Flottentypen hinsichtlich eines aus ökologischer und ökonomischer Sicht optimierten Fahrzeugmixes einer Flotte sowie deren Nutzung für unterschiedliche Anwendungsszenarien. Hierzu gliederte sich das Arbeitspaket in zwei Arbeitsschritte:

- **AS 5.2.1** Allgemeingültige Kategorisierung flottenspezifischer Eigenschaften
- **AS 5.2.2** Ableitung differenzierter Flottentypen für die Anwendungsszenarien Werksflotte und E-Poolkonzept

#### Allgemeingültige Kategorisierung flottenspezifischer Eigenschaften

Das Ziel von **AS 5.2.1** war die Identifikation und systematische Aufbereitung von Einflussparametern, die die ökonomische und ökologische Eignung eines Fahrzeugmixes für die unterschiedlichen Flotten und Fahrsituationen beeinflussen. Durch BSN, IWF, LDD und VW wurde hierzu ein Kategorisierungsschema für Flottentypen im deutschen Raum in Form einer morphologischen Matrix (in MS Excel) erarbeitet (vgl. Abbildung 106). Im Rahmen eines Workshops, an dem alle an AS 5.2.1 beteiligten Partner teilgenommen haben, wurden die wesentlichen Differenzierungsmerkmale identifiziert und die entsprechenden Ausprägungen der Merkmale charakterisiert. Dies wurde nach mehreren Feedbackschleifen durch die Partner BSN, LDD und VW durch IWF aufgearbeitet und in das bestehende Kategorisierungsschema überführt.

Morphologische Matrix zur Charakterisierung generischer Flottentypen							
Merkmalsgruppe	Merkmale	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4	Ausprägung 5	Ausprägung 6
Einsatzzweck	Platzbedarf (Personal)	1 Person	1-2 Personen	3-5 Personen	6-12 Personen	13-20 Personen	21-45 Personen
	Platzbedarf (Material)	<100 l	100 - 290 l	300-790 l	800l-1900l	2000l - 4500l	4600l - 9000l
Nutzung (Person)	Anzahl der Nutzer/Fahrzeug (Tag)	1 Person	1-2 Personen	3-5 Personen	5-9 Personen	> 10 Personen	
	Anzahl der Nutzer/Fahrzeug (Jahr)	1 Person	1-2 Personen	3-5 Personen	5-9 Personen	10-49 Personen	50-99 Personen
Nutzung (Zeit)	Durchschnittliche Dauer pro Fahrt	< 5 min	5-10 min	11 - 20 min	21 - 30 min	31 - 40 min	41 - 60 min
Nutzung (Strecke)	Anzahl Fahrten pro Tag	1	1 - 2 Fahrten	3 - 6 Fahrten	7 - 10 Fahrten	11 - 20 Fahrten	21 - 30 Fahrten
	Durchschnittliche Strecke pro Fahrt	< 1 km	1,1 - 2,5 km	2,6 - 5 km	5 - 7,5 km	7,6 - 10 km	10,1 - 15 km
	Max. Strecke pro Fahrt	< 1 km	1,1 - 2,5 km	2,6 - 5 km	5 - 7,5 km	7,6 - 10 km	10,1 - 15 km
	Durchschnittliche Tages-km-leistung	< 2,5 km	2,6 - 5 km	5,1 - 10 km	10,1 - 30 km	30,1 - 50 km	50,1 - 100 km
	Maximale Tages-km-leistung	< 2,5 km	2,6 - 5 km	5,1 - 10 km	10,1 - 30 km	30,1 - 50 km	50,1 - 100 km
	Durchschnittliche Jahres-km-leistung	< 2.000 km	2.000,1 - 5.000 km	5.000,1 - 10.000 km	10.000,1 - 20.000 km	20.000,1 - 30.000 km	30.000,1 - 50.000 km
	Maximale Jahres-km-leistung	< 2.000 km	2.000,1 - 5.000 km	5.000,1 - 10.000 km	10.000,1 - 20.000 km	20.000,1 - 30.000 km	30.000,1 - 50.000 km
Einsatzbereich	Aktionsradius	Stadtzentrum	Stadt	Stadtgrößbereich	Umland	Region	Bundesland
	Einsatzverkehr	Punktverkehr	Streckenverkehr	Flächenverkehr			
	Vorhersehbarkeit der Route	schlecht (<25%)	mittel (25-49%)	gut (50-74%)	sehr gut (>75%)		
	Einsatzregion	Flachland	welliges Flachland	Mittelgebirge	Hochgebirge		
	Einsatzklima	Polare	Subpolare	Seeklima	Übergangsklima	Landklima	Mittlermeerklima
Standzeiten	Standzeit Tag (kumuliert)	< 10 min	11 - 30 min	31 - 60 min	1 - 2,5 h	2,6 - 5 h	5 - 8 h
	Standzeit Nacht (kumuliert)	< 2 h	2,1 - 5 h	5,1 - 8 h	8,1 - 12 h	> 12 h	
	Anzahl der Standzeiten (Tag)	0 - 1	2-4	5-7	8 - 10	11 - 20	21 - 40

Abbildung 106: Morphologische Matrix zur Beschreibung von Flottentypen (Mennenga 2014, S.94)

### Ableitung differenzierter Flottentypen für die Anwendungsszenarien Werksflotte und E-Poolkonzept

Ausgehend von der erarbeiteten morphologischen Matrix erfolgte in **AS 5.2.2** die Charakterisierung der für das Projekt relevanten Flottentypen durch die Zuweisung von Ausprägungen der Einflussparameter in der Matrix. Die Einordnung in die Flottentypisierung erfolgte durch **IWF** basierend auf den empirischen Nutzerdaten aus dem Projekt.

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in **AP 5.2** zeigt die folgende Tabelle 38.

Tabelle 38: Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten in AP 5.2

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>AIP</u>	Teilnahme am Brainstorming; Einbringung interner Kategorisierungsansätze in die Diskussion; Diskussion zu Relevanz und Notwendigkeit bestimmter Flotteneigenschaften der Flottentypen; Durchführung mehrerer Feedbackschleifen zu Mindmap und Kategorisierungsschema aus der Perspektive von <u>BSN</u> , d.h. hinsichtlich destäglichen Arbeitsalltags eines Netzversorgers.
<u>BSN</u>	Unterstützung bei der Erarbeitung des Kategorisierungsschemas durch Einbringung von Erfahrungswissen aus dem Betrieb eigener Flotten; Teilnahme am Brainstorming; Einbringung interner Kategorisierungsansätze in die Diskussion; Diskussion zu Relevanz und Notwendigkeit bestimmter Flotteneigenschaften der Flottentypen; Durchführung mehrerer Feedbackschleifen zu Mindmap und Kategorisierungsschema aus der Perspektive von <u>BSN</u> , d.h. hinsichtlich destäglichen Arbeitsalltags eines Netzversorgers.
<u>IWF</u>	Analyse verfügbarer Daten der Flottenprofile der Technischen Universität Braunschweig aus dem Projekt Campus Mobility; Durchführung eines strukturierten Brainstormings (im Rahmen eines Workshops) zur Identifikation von Einflussparametern der ökonomischen und ökologischen Eignung eines Fahrzeugmixes für unterschiedliche Flotten und Fahrtsituationen; Zusammenfassung der Ideen und Erkenntnisse in einer Mindmap; Im Ergebnis wurde ein Kategorisierungsschema für Flottenanwendungen als morphologische Matrix in Excel als Erstentwurf ausgearbeitet. Anschließend wurden mehrerer Feedbackschleifen zu Mindmap und Kategorisierungsschema via Email initiiert und durchgeführt, Einordnung der beiden Anwendungsszenarien des Projektes in das erarbeitete Kategorisierungsschema für Flottenanwendungen; Prüfung und Erfassung der Eigenschaften der jeweiligen Flottenanwendungen, z.B. hinsichtlich der Nutzungsdauer, Streckenlänge oder der beför-derten Personenanzahl.
<u>LDD</u>	Unterstützung bei der Erarbeitung des Kategorisierungsschemas durch Einbringung von Erfahrungswissen aus dem Betrieb eigener Flotten; Teilnahme am Brainstorming; Einbringung interner Kategorisierungsansätze in die Diskussion; Diskussion zu Relevanz und Notwendigkeit bestimmter Flotteneigenschaften der Flottentypen; Durchführung mehrerer Feedbackschleifen zu Mindmap und Kategorisierungsschema aus der Perspektive von <u>LDD</u> , d.h. hinsichtlich des täglichen Arbeitsalltags eines Poolkonzept-Betreibers.

<u>VW</u>	Unterstützung bei der Erarbeitung des Kategorisierungsschemas durch Einbringung von Erfahrungswissen aus dem Betrieb eigener Flotten und aus der Betreuung von Großkunden; Teilnahme am Brainstorming; Einbringung interner Kategorisierungsansätze in die Diskussion; Diskussion zu Relevanz und Notwendigkeit bestimmter Flotteneigenschaften der Flottentypen; Durchführung mehrerer Feedbackschleifen zu Mindmap und Kategorisierungsschema aus der Perspektive von <u>VW</u> , d.h. hinsichtlich der im täglichen Arbeitsalltag eines Fahrzeugherstellers und Werksflottenbetreibers relevanten Eigenschaften.
-----------	---

### 2.5.3. AP 5.3: Entscheidungsunterstützung für das Flottenmanagement

Das Ziel von AP 5.3 war die Entwicklung einer simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement. Hierzu gliederte sich das Arbeitspaket in zwei Arbeitsschritte:

- **AS 5.3.1** Entwicklung einer simulationsbasierten multikriteriellen Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement
- **AS 5.3.2** Iterative Verbesserung der Entscheidungsunterstützung

#### **Entwicklung einer simulationsbasierten multikriteriellen Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement**

Das Ziel von **AS 5.3.1** war die Entwicklung der simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement. Hierzu wurde durch IWF und VW mit Unterstützung aller weiteren beteiligten Projektpartner zunächst ein Konzept entwickelt. Das Konzept beinhaltete die Zieldefinition, einzusetzende Methoden und Werkzeuge, die Darstellung der Zusammenhänge von Zielgrößen der Entscheidungsunterstützung, benötigte Inputdaten aus den Modulen 1 bis 4 sowie Bewertungskriterien und ergänzende Berechnungsmodule. Das Konzept ist in Abbildung 107 dargestellt.

Auf der Grundlage des Konzepts erfolgte durch IWF in Zusammenarbeit mit VW die Entwicklung einer ersten Excel-basierten ökologischen und ökonomischen Potentialabschätzung von Elektrofahrzeugkonzepten für Fahrzeugflotten. Die Potentialabschätzung erlaubt die anforderungsgerechte Bewertung und Auswahl von Fahrzeugkonzepten für definierte Flottenanwendungen auf der Grundlage der in **AP 5.2** durchgeführten Kategorisierung flottenspezifischer Eigenschaften. Die ökonomische Bewertung basiert auf der Abschätzung der Total Cost of Ownership verschiedener Fahrzeuge, u.a. mit Hilfe von öffentlich zugänglichen Daten aus der ADAC Autodatenbank (ADAC 2013). Die ökologische Potentialabschätzung resultiert aus der Betrachtung von CO<sub>2</sub>-Gesamt-Emissionen einschließlich Fahrzeugherstellung und Energiebereitstellung.

Abbildung 108 zeigt exemplarisch das entwickelte Vorgehensmodell für die Potentialabschätzung, das im Excel-Werkzeug als Hauptmenü dient und auf dem allgemeinen Planungsprozess basiert.

Hierauf aufbauend wurde durch IWF ein Konzept zur Unterstützung der Flottenplanung mit alternativ angetriebenen Fahrzeugkonzepten entwickelt und prototypisch umgesetzt (Mennenga, 2014). Kernstück ist eine innovative Umgebung zur Konfiguration verschiedenster Fahrzeugkonzepte (z.B. Elektrofahrzeuge), Flottenanwendungen (z.B. Poolfahrzeugflotte) und Randbedingungen (z.B. Strompreise) sowie eine sich anschließende Simulation des Flottenbetriebs. Als methodischer Lösungsansatz dient eine Kombination aus den lebenszyklusorientierten Bewertungsmethoden nachfrageorientierte Lebenszyklusrechnung (TCO) und Ökobilanzierung (LCA) und der agentenbasierten Flottensimulation. Die Konzeptstruktur ist in Abbildung 109 dargestellt.

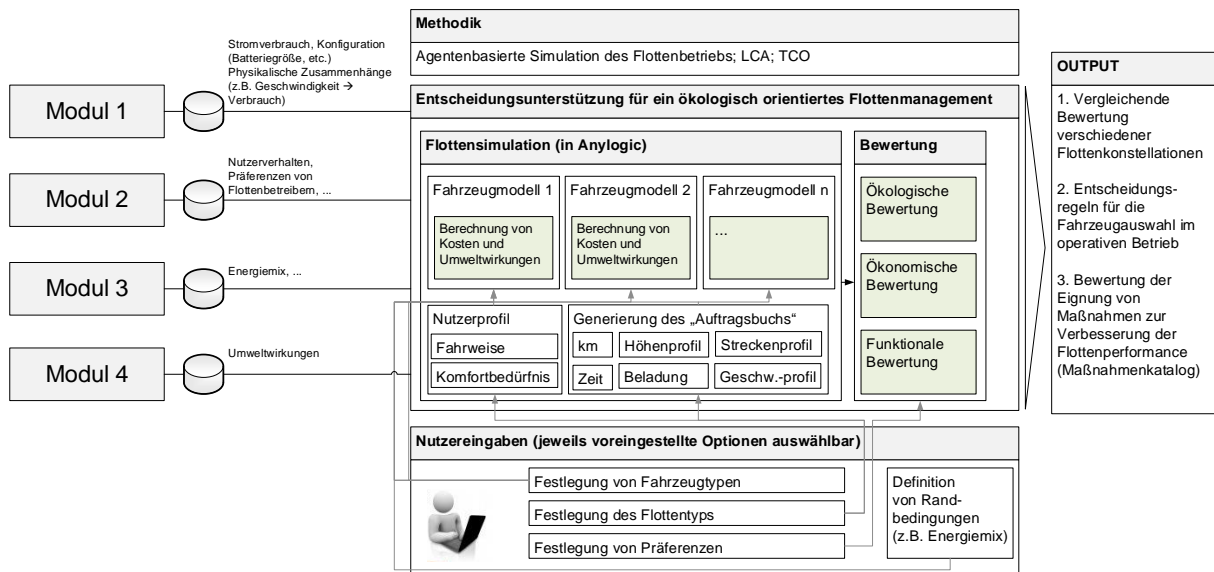


Abbildung 107: Konzeptabbildung für die simulationsbasierte Entscheidungsunterstützung

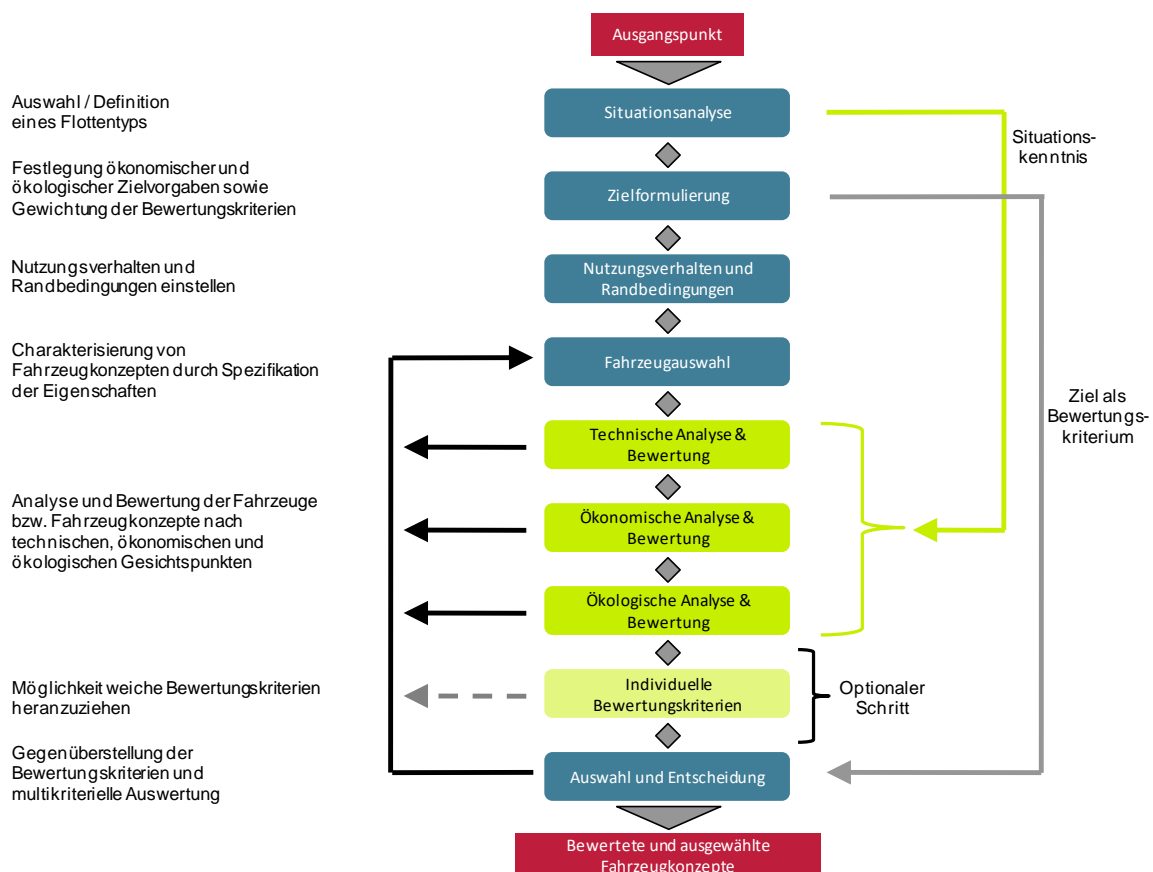
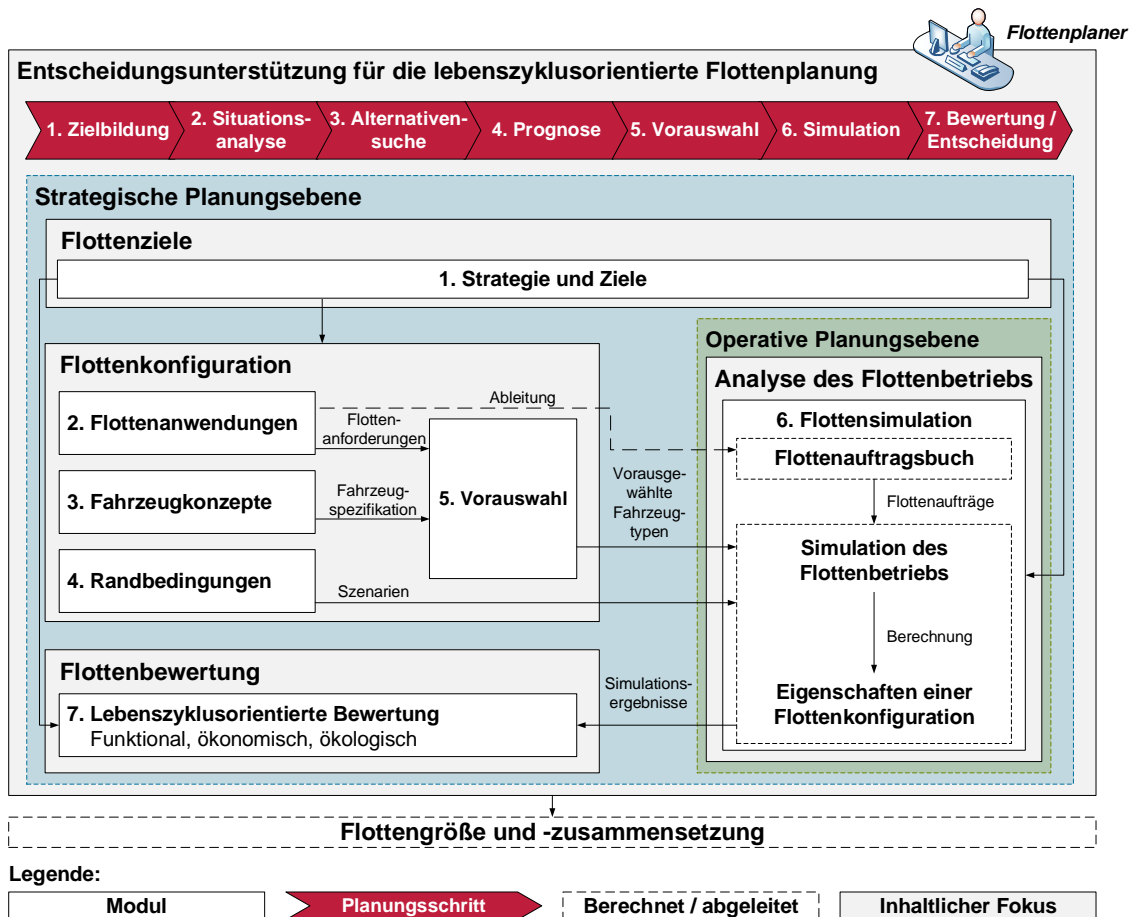


Abbildung 108: Vorgehensmodell und Nutzeroberfläche der excelbasierten Potentialabschätzung




**Legende:**  

Modul

Planungsschritt

Berechnet / abgeleitet

Inhaltlicher Fokus

**Abbildung 109: Konzeptstruktur zur Unterstützung der Flottenplanung (Mennenga 2014, S. 87)**

Basis sind die sieben Schritte des allgemeinen Planungsprozesses, die einem Flottenplaner als Leitfaden dienen. Für die strukturierte Unterstützung besteht das Konzept aus sieben Modulen: *Strategie und Ziele*, *Flottenanwendungen*, *Fahrzeugkonzepte*, *Randbedingungen*, *Vorauswahl*, *Flottensimulation* sowie *Lebenszyklusorientierte Bewertung*. Während das Modul Flottensimulation der Analyse des Flottenbetriebs dient und der operativen Planungsebene zugeordnet ist, gehören die weiteren Module der strategischen Planungsebene an.

Die Entscheidungsunterstützung ist als Expertensystem in einer kombinierten Excel- und Anylogic-Umgebung umgesetzt (vgl. Abbildung 110). Hierbei dient die Konzeptstruktur als Hauptmenü und erlaubt mittels interner Verknüpfungen den Zugriff auf die Teil-Module des Konzepts. Die Verknüpfung erfolgt unter Nutzung der Programmiersprache Visual Basic.

Exemplarisch zeigen Abbildung 111 und Abbildung 112 die Umsetzung der Module Flottensimulation und Fahrzeugkonzepte. Die Module sind mittels VBA-Programmierung als intelligente Formulare umgesetzt. Sie erlauben die Konfiguration eines Flottenanwendungsfalls und stellen einem Nutzer diejenigen Informationen und Eingabemöglichkeiten bereit, welche in Abhängigkeit seiner Einstellungen benötigt werden. Hinterlegte Stammdaten können unterstützend genutzt werden. Im Modul Fahrzeugkonzepte (Abbildung 112) können technische Eigenschaften sowie die mit einem Flottenfahrzeug verbundenen Kosten definiert werden. Die Nutzeroberfläche der Flottensimulation (vgl. Abbildung 111) dient der Live-Auswertung eines Simulationslaufs für eine definierte Flottenkonfiguration. Auf Einzelfahrzeug- sowie Gesamtflottenebene werden Informationen zum Betrieb der simulierten Flottenkonfiguration und zu ihren Eigenschaften bereitgestellt. Dies umfasst u.a. zu erwartende Lebenszykluskosten und -umweltwirkungen sowie Kennzahlen zur Funktionalität des Flottenbetriebs (z.B. Flottenauslastung, Auftragswartezeiten).

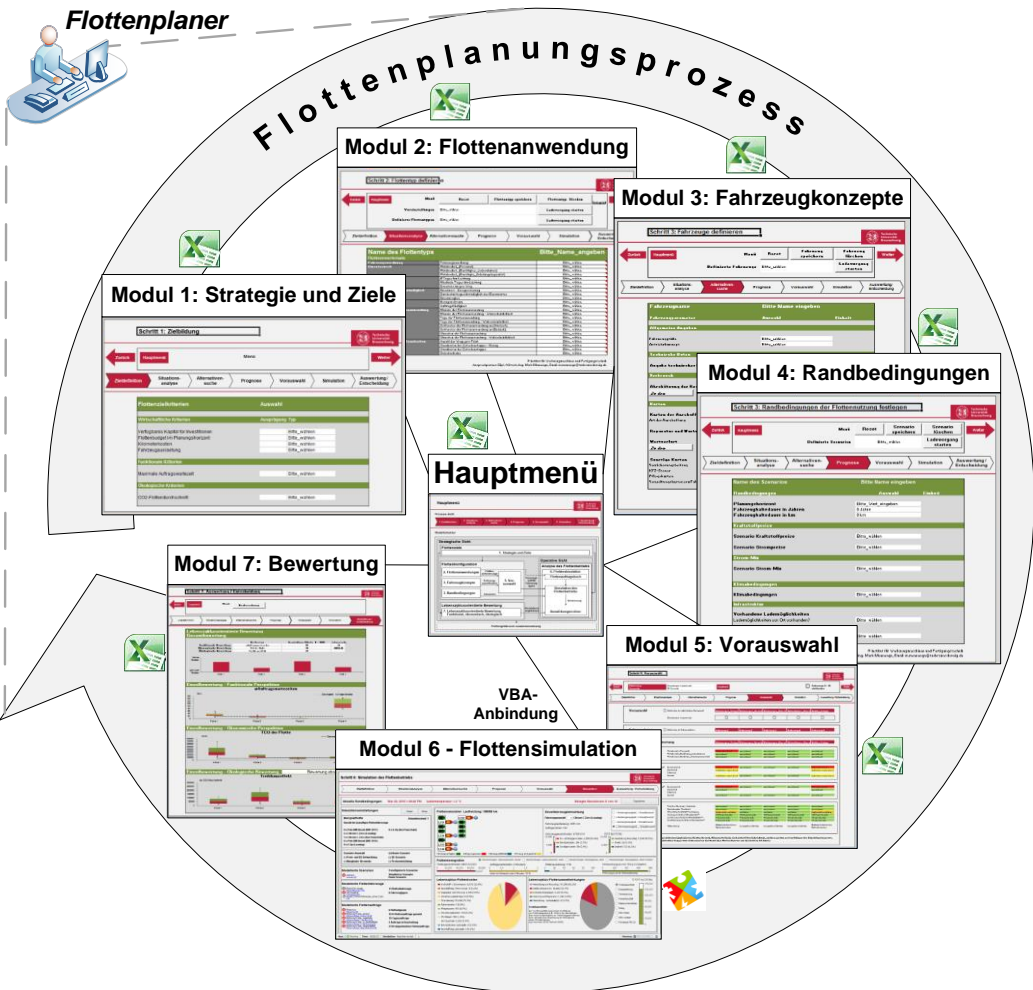
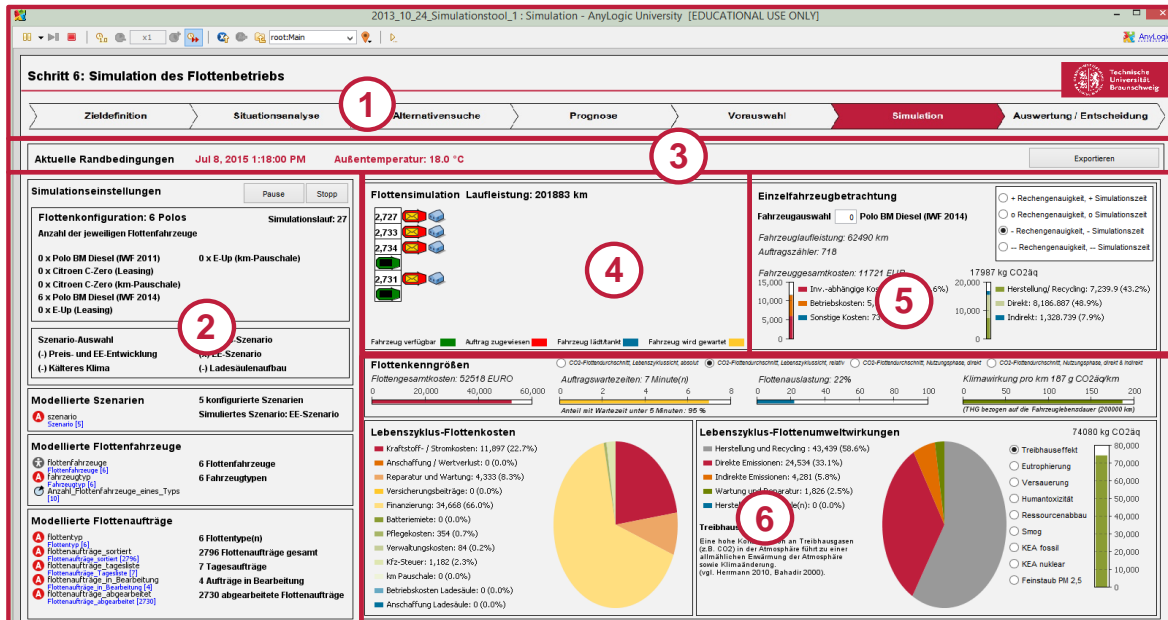


Abbildung 110: Umsetzung der Entscheidungsunterstützung als Expertensystem (Mennenga 2014, S. 140)



- 1** Kopfzeile
- 2** Informationen zur Flottenkonfiguration
- 3** Informationen zu Randbedingungen
- 4** Darstellung der Flottensimulation
- 5** Auswertung auf Einzelfahrzeugebene
- 6** Auswertung auf Flottenebene

Abbildung 111: Nutzeroberfläche des Simulationsmodells (Mennenga 2014, S. 144)

### Schritt 3: Fahrzeuge definieren

Definierte Fahrzeuge:

Fahrzeugname	Kleinwagen (Elektro)	
Fahrzeugparameter	Auswahl	Einheit
<b>Allgemeine Angaben</b>		
Fahrzeuggröße	<input type="text" value="Kleinwagen"/>	
Antriebskonzept	<input type="text" value="Elektro_Fahrzeug"/>	
Kraftstoff (Elektromotor)	<input type="text" value="Strom"/>	
<b>Technische Daten</b>		
<b>Angabe technischer Daten</b>	<input type="text" value="Modellwerte für dieses Fzg. anpassen"/>	
<b>Zu den Stammdaten</b>		
Motorleistung (Elektromotor)	<input type="text" value="65"/>	[kW]
Batteriekapazität	<input type="text" value="22,0"/>	[kWh]
Höchstgeschwindigkeit	<input type="text" value="135"/>	[km/h]
Ladevolumen normal	<input type="text" value="340"/>	[l]
Ladevolumen mit Umklappen	<input type="text" value="1225"/>	[l]
Sitzplatzangebot	<input type="text" value="5"/>	[Person(en)]
Maximale Zuladung	<input type="text" value="440"/>	[kg]
Fahrzeuggewicht	<input type="text" value="1410"/>	[kg]
<b>Verbrauch</b>		
<b>Abschätzung des Realverbrauchs</b>	<input type="text" value="NEFZ - &amp; Zuschlagsfaktor (Modellberechnung)"/>	
Zuschlagsfaktor - Realverbrauch	<input type="text" value="15%"/>	[%]
<b>CO2-Emissionen</b>		
Direkte CO2-Emissionen	<input type="text" value="0"/>	[g CO2/km]
<b>Modellierter Verbrauch - Elektromotor</b>		
Innerorts	NEFZ-Wert: - / Real: 11,8	[kWh/100 km]
Außerorts	NEFZ-Wert: - / Real: 16,6	[kWh/100 km]
Autobahn	NEFZ-Wert: - / Real: 24,4	[kWh/100 km]
Kombiniert - Elektromotor	NEFZ-Wert: 12,9 / Real: 14,8	[kWh/100 km]
<b>Einstellungen zu Motoreffizienzen</b>	<input type="text" value="Werte anpassen"/>	
<b>Kosten</b>		
<b>Kosten der Anschaffung</b>		
Art der Anschaffung	<input type="text" value="Kauf"/>	
Listenpreis	<input type="text" value="29.500"/>	[Euro]
Kaufpreis	<input type="text" value="27.500"/>	[Euro]
Batteriemiete	<input type="text" value="150"/>	[Euro/Monat]
Kalkulationszinssatz	<input type="text" value="5,0%"/>	[%]
<b>Reparatur und Wartung</b>	<input type="text" value="Bitte_wählen"/>	
<b>Wertverlust</b>	<input type="text" value="Nutzung von Stammdaten"/>	
<b>Zu den Stammdaten</b>		
<b>Sonstige Kosten</b>		
Versicherungsbeitrag	<input type="text" value="300"/>	[Euro/Jahr]
KFZ-Steuer	<input type="text" value="0"/>	[Euro/Jahr]
Pflegekosten	<input type="text" value="120"/>	[Euro/Jahr]
Verwaltungskosten pro Fahrzeug	<input type="text" value="150"/>	[Euro/Jahr]

Abbildung 112: Umsetzung des Moduls Fahrzeugkonzepte in MS Excel (Mennenga 2014, S. 142)

Mit dem Konzept wird ein praktikables Werkzeug bereitgestellt, das unter integrierter Berücksichtigung der Flottenbestands- und Flotteneinsatzplanung sowie einer lebenszyklusorientierten Sichtweise die Planungsunterstützung zur Integration alternativ angetriebener Fahrzeugkonzepte in Unternehmensflotten ermöglicht.

### **Iterative Verbesserung der Entscheidungsunterstützung**

Die simulationsbasierte Entscheidungsunterstützung wurde in **AS 5.3.3** in einem iterativen Prozess analysiert und verbessert. Hierbei wurden unter anderem die Schnittstellen zu den weiteren Projektmodulen ausgearbeitet, Fallstudien durchgeführt sowie ein Workshop-basiertes Konzept für die Einführung der Entscheidungsunterstützung im Rahmen einer Beratungsdienstleitung ausgearbeitet.

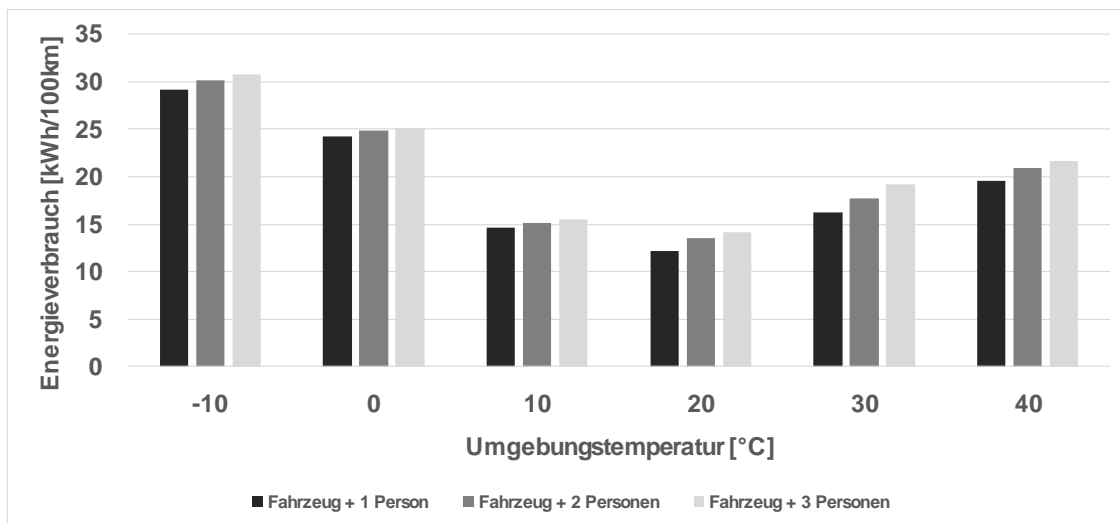
Die Schnittstellen zu den Projektmodulen 1 bis 4 wurden durch IWF in Zusammenarbeit mit AIP, IFF, IFAM, IPO und TLK gemeinsam diskutiert, konzeptioniert und exemplarisch umgesetzt. Die Herausforderung besteht in der Kopplung der für die jeweiligen Anwendungszwecke unterschiedlichen Softwareanwendungen (z.B. Matlab, Excel, Anylogic). Allgemein lassen sich Schnittstellen manuell, mittels formatierter Schnittstellendateien oder über Kopplungsprozeduren herstellen (Mennenga et al. 2016, Lantzsich et al. 1999). Letztere führen zu Mehr-Ebenen-(Simulations-)Modellen, welche in der Lage sind, die Fahrzeugflotte mit den je nach Anforderung benötigten Detaillierungsgraden abzubilden. Aufgrund der hohen Modellkomplexität können Mehr-Ebenen-Simulationsmodelle mit langen Simulationslaufzeiten verbunden sein. Folgende Schnittstellen wurden festgelegt:

- Modul 1: Realer Gesamtenergieverbrauch eines Flottenfahrzeugs in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren
- Modul 2: Flottenanwendungsszenario, Zielvorgaben der Flottenplanung
- Modul 3: Energiemix und damit verbundene Umweltwirkungen
- Modul 4: Umweltwirkungen der Fahrzeuge in Abhängigkeit des Fahrzeugkonzepts sowie in Abhängigkeit der gefahrenen km bzw. des verbrauchten Kraftstoffs/Stroms

Als Schnittstelle zu Modul 1 und den Fahrzeugsimulationen dient der reale Gesamtenergieverbrauch eines Flottenfahrzeugs. Wegen der langen Simulationslaufzeiten der Gesamtfahrzeugsimulationen (z.T. mehrere Stunden für eine einzelne simulierte Fahrt eines Flottenfahrzeugs) wurde eine manuelle Schnittstelle zwischen den Modellwelten in Matlab und Java definiert und die Kopplung der Module auf diese Weise ermöglicht. Es können Verbrauchskennwerte aus der Fahrzeugsimulation für definierte Fahrsituationen an die Flottensimulation übergeben werden, welche anschließend in der Flottensimulation abgebildet werden. Dies wurde durch die Partner IWF, IFF, IFAM und TLK exemplarisch umgesetzt, um die Abhängigkeit des Energieverbrauchs von den klimatischen Randbedingungen am Beispiel einer innerstädtischen Fahrt realistischer abzubilden (Mennenga et al. 2016) (siehe Abbildung 113). Hierzu wurde eine mit Hilfe des Gesamtfahrzeugmodells erzeugte Verbrauchsmatrix in das Flottengesamtmmodell eingebunden. Für die exemplarische in der Innenstadt betriebene Flotte aus vier batterieelektrischen Fahrzeugen konnte gezeigt werden, dass sich der Stromverbrauch und die damit verbundenen Stromkosten um ca. 17 % im Vergleich zu einer Simulation mit Herstellerangaben zzgl. eines Zuschlagsfaktors erhöhen. Mehr noch wird deutlich, dass weniger Flottenfahrten als geplant stattfinden können. Grund sind äußere Witterungsbedingungen, aufgrund derer Fahrzeuge wegen mangelnder Reichweite nicht eingesetzt werden können. Der Einfluss des Realverbrauchs auf die operative Flottensteuerung ist somit in der virtuellen Welt abbildbar und bietet eine bessere Entscheidungsgrundlage zur Steuerung der Fahrzeugflotte.

Als Schnittstelle zu Modul 2 dienen das Flottenanwendungsszenario sowie die Zielvorgaben der Flottenplanung. In der entwickelten Entscheidungsunterstützung sind Zielgrößen als Maßstab für die Vorteilhaftigkeit verschiedener Flottenkonfigurationen, sowie charakteristische Merkmale zur Beschreibung von Flottenanwendungen hinterlegt. Es können wirtschaftliche, ökologische und/oder funktionale Anforderungen an Fahrzeugflotten, wie beispielsweise Zielkosten und -umweltwirkungen, maximale erforderliche Reichweiten oder personelle und materielle Fahrzeugkapazitäten definiert werden. Gleiches gilt für Rahmenparameter von Flottenaufträgen für die Flottensimulation (z.B. Auftragszeitpunkte). Durch IWF und AIP erfolgte der Abgleich dieser Zielgrößen und Beschreibungsmerkmale mit den Ergebnissen

der in Modul 2 durchgeführten empirischen Studien. Hierzu wurden die Flottentypen (z.B. Handwerkerflotte) mittels der in der Entscheidungsunterstützung bereitgestellten Flottentypisierung beschrieben.



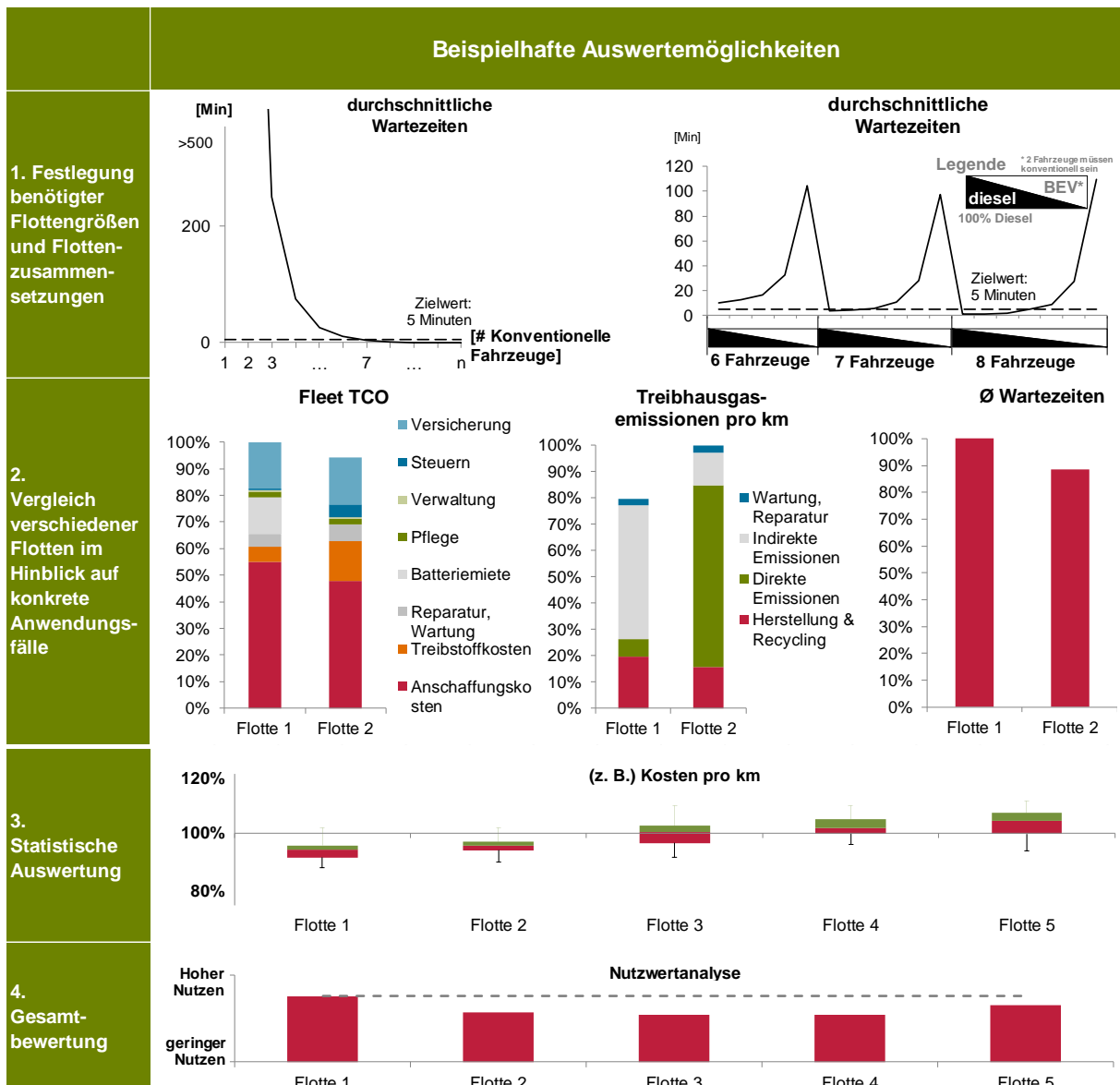
**Abbildung 113: Abhängigkeit des Energieverbrauchs von den klimatischen Randbedingungen für eine innestädtische Fahrt (Mennenga et al. 2016, S. 141)**

Als Schnittstelle zu Modul 3 wurden durch IWF und ELE verschiedene Konzepte diskutiert. Möglich sind die iterative Kopplung der beiden im Rahmen des Projekts entstandenen Werkzeuge zur Flotten- und Infrastrukturplanung (vgl. Abschnitt 0) mittels Daten-Schnittstelle sowie die Integration von Algorithmen der Infrastrukturplanung in die Flottenplanung und umgekehrt. Der Modellierungsansatz der Flottensimulation als agentenbasierte Simulation eröffnet die Möglichkeit, die bereits berücksichtigte Ladestrukturinfrastruktur analog zu Flottenfahrzeugen als Agenten zu modellieren. Auf diese Weise ist die Integration einer Funktion für gesteuertes Laden möglich. Da sowohl die Infrastrukturplanung die Flottenplanung als auch umgekehrt die Flottenplanung die Infrastrukturplanung beeinflusst, wurde unter Beteiligung des AIP (Prof. Spengler) das integrierte Konzept eFlink entwickelt. Es ermöglicht die integrierte Planung *und* Steuerung von Flotten sowie Lade- und Energieinfrastruktur (vgl. Kapitel 5).

Als Schnittstelle zu Modul 4 dienen die Umweltwirkungen der Fahrzeuge in Abhängigkeit des Fahrzeugkonzepts sowie in Abhängigkeit der gefahrenen km bzw. des verbrauchten Kraftstoffs/Stroms. In Abstimmung mit den beteiligten Partnern aus Modul 4 IPO, IWF und VW wurde durch IWF in der Entscheidungsunterstützung ein LCA-Basismodell zur Abschätzung der mit einem Flottenfahrzeug verbundenen Umweltwirkungen entwickelt und implementiert. Das Basismodell beinhaltet die Zusammenstellung der erforderlichen Daten zu einem Fahrzeugkonzept für die Durchführung einer Ökobilanz. Mit Hilfe des LCA Basismodells werden die Umweltwirkungen modelliert, die aus den Lebensphasen eines einzelnen Flottenfahrzeugs von der Herstellung, über die Nutzung bis zum Recycling resultieren. Die Modellierung basiert auf Daten aus der Ökobilanzdatenbank Ecoinvent (ecoinvent 2015). Die Umweltwirkungen aus den Lebensphasen Herstellung, Nutzung und Recycling verschiedener Fahrzeugkonzepte werden wie folgt bestimmt: Für die Herstellung und das Recycling eines Fahrzeugs gehen die Umweltwirkungen aus der Konfiguration des Fahrzeugkonzepts sowie der ggf. vorgenommenen Anpassung technischer Daten hervor. Sie lassen sich aus den Komponentengewichten und den über die als Stammdaten hinterlegten Ecoinvent-Datensätzen zu Umweltwirkungen je kg Komponente ableiten. Die Umweltwirkungen aus der Nutzungsphase eines Flottenfahrzeugs werden als Funktion zu simulierender Parameter des Flottenbetriebs ermittelt, d.h. der gefahrenen Fahrzeugkilometer sowie des Fahrzeugverbrauchs. Sie werden in der Flottensimulation bestimmt. Mit Hilfe des LCA-Basismodells wird eine überschlägige ökologische Bewertung ermöglicht (Mennenga 2014, S. 111 ff.). Detailbetrachtungen sind mit Hilfe des in Modul 4 entwickelten LCA-Werkzeugs möglich.

Mit Hilfe der entwickelten Entscheidungsunterstützung wurden seitens IWF exemplarische Fallstudien durchgeführt. Abbildung 114 zeigt exemplarische Auswertemöglichkeiten, welche die Entscheidungsunterstützung für die Auswertung von Fallstudien bereitstellt. Die Auswertemöglichkeiten umfassen (Mennenga 2017):

- **Festlegung benötigter Flottengrößen und Flottenzusammensetzungen:** Zu diesem Zweck können Flottenwartezeiten analysiert werden. Sie beziehen sich auf die Zeit, die ein Fahrer auf ein Fahrzeug warten muss, wenn kein Fahrzeug mit ausreichender Reichweite vorhanden ist.
- **Vergleich verschiedener Flottenkonfigurationen im Hinblick auf einen spezifischen Anwendungsfall:** Der Vergleich verschiedener Flotten lässt Rückschlüsse zu, ob eine Flotte unter Berücksichtigung einer spezifischen Anwendung und definierter Randbedingungen im Hinblick auf bestimmte Bewertungskriterien besser abschneidet als eine Referenzflotte. Für den Vergleich können u.a. Kriterien wie die Wartezeiten, Lebenszykluskosten oder Lebenszyklusumweltwirkungen herangezogen werden. Zudem lässt sich die Verteilung der Lebenszykluskosten und Emissionen auf die verschiedenen Kostenbestandteile bzw. Lebenszyklusphasen analysieren. Dies ermöglicht die Identifikation potentieller Wechselwirkungen zwischen Kostenarten oder Problemverlagerungen von einer Lebenszyklusphase zu einer anderen.
- **Statistische Auswertung:** Die Entscheidungsunterstützung basiert auf einem stochastischen Simulationsmodell. Entsprechend unterliegt die Bewertung verschiedener Flottenkonfigurationen Unsicherheiten. Die Ergebnisse eines Simulationslaufs stellen somit nur ein mögliches Ergebnis für eine konkrete Flottenanwendung dar. Unterschiedliche Simulationsläufe können für die gleiche Flottenkonfiguration zu völlig unterschiedlichen Simulationsergebnissen führen. Daher ist sicherzustellen, dass unterschiedliche Ergebnisse statistisch signifikant sind und nicht nur eine Folge stochastischer Effekte. Daher sind mehrere Simulationsläufe durchzuführen und die Ergebnisse statistisch auszuwerten.
- **Gesamtbewertung:** Die Gesamtauswertung ermöglicht die Abschätzung eines Gesamtnutzens einer Flottenkonfiguration unter Berücksichtigung ausgewählter Zielkriterien. Typischerweise beeinflussen die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Auswertungsmöglichkeiten die Gesamtbewertung.



**Abbildung 114: Beispielhafte Auswertemöglichkeit der Entscheidungsunterstützung**

Die Auswertungen wurden u.a. für einen generischen städtischen Handwerksbetrieb, das an der TU Braunschweig bestehende universitäre Pool-Konzept sowie die Werksflotte von BS|ENERGY ermittelt. Ergebnisse der Fallstudien sind in (Mennenga et al. 2014, S. 153 ff.) bzw. im Projektabschlussband (Mennenga 2017) dokumentiert. Die Durchführung der Fallstudien führte zu wichtigen Erkenntnissen hinsichtlich notwendiger Anpassungen der Entscheidungsunterstützung.

Durch VW wurde die kumulative Verfolgung und Bewertung des Flottenbetriebs aus den bereits entwickelten Monatsberichten konzeptioniert und für die Projektpartner zugänglich gemacht. Sie ermöglichte die Verfolgung, Auswertung und Visualisierung von verbrauchs- und reichweitenrelevantem System- und Fahrzeugverhalten. Die Ergebnisse hierzu sind aufgrund der inhaltlichen Zuordnung in Abschnitt 2.1.1 unter dem Punkt Datenauswertung dargestellt.

Abschließend wurde durch IWF ein Workshopkonzept für die Implementierung der Entscheidungsunterstützung im Rahmen einer Beratungsdienstleistung erarbeitet. Das Workshop-Konzept besteht aus vier Modulen: (1) Einführung in die ganzheitliche Flottenplanung, (2) Situationsanalyse und Datenaufbereitung, (3) simulationsbasierte Lebenszyklusbewertung und (4) Ableitung von Handlungsempfehlungen. Ziel des ersten Moduls ist es, das gegenseitige Verständnis dafür zu schaffen, was eine ganzheitliche Flottenplanung bedeutet und warum eine Lebenszyklusperspektive erforderlich ist. Im zweiten

Modul wird die spezifische Situation eines Flottenplaners analysiert und relevante Daten für die Lebenszyklusbewertung ermittelt und / oder vorbereitet. Im dritten Modul erfolgt die Auswertung mittels der entwickelten simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung zur Analyse und Bewertung unterschiedlicher Flottenkonfigurationen unter Berücksichtigung einer Lebenszyklusperspektive. Schließlich werden die Ergebnisse der Anwendung der Entscheidungsunterstützung im vierten Modul erörtert, um Empfehlungen für Flottenplaner abzuleiten. Der Workshop ist die Voraussetzung für eine werkzeugunterstützte Beratung für Flottenbetreiber. Für jedes Workshop-Modul wurden Methoden, Aufgaben und Handout-Material erarbeitet.

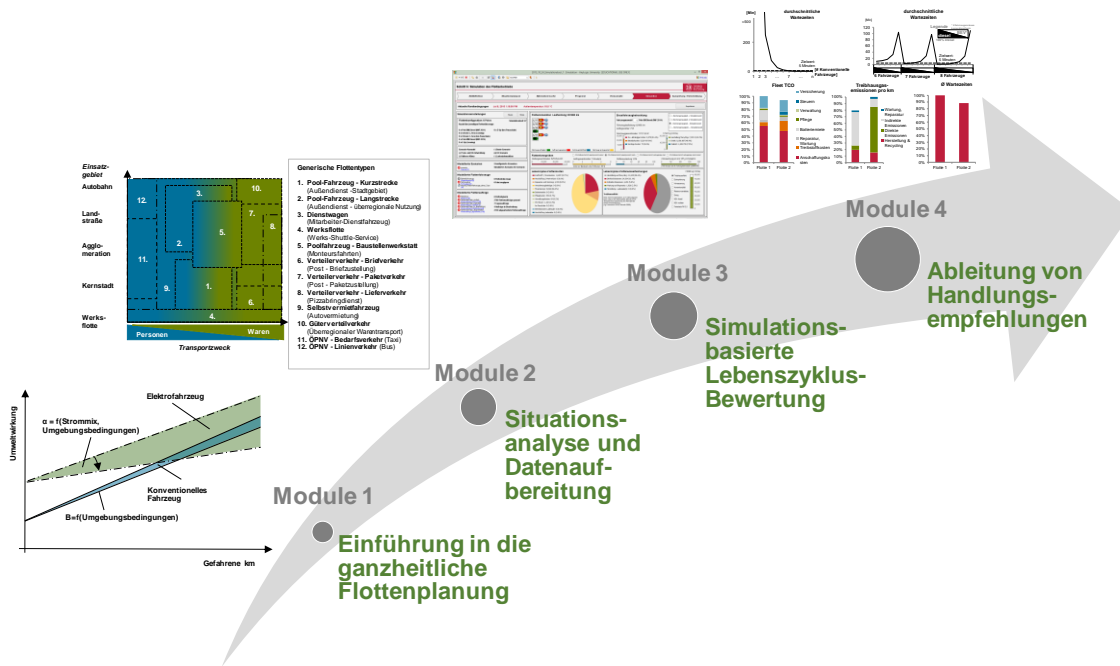


Abbildung 115: Module der Workshop-basierten Entscheidungsunterstützung

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in AP 5.3 zeigt die folgende Tabelle 39.

Tabelle 39: Arbeiten der Partner in AP 5.3

Partner	Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten
<u>AIP</u>	Unterstützung bei der Integration von Ergebnissen und Inhalten der Module 1 bis 4 in die simulationsbasierte multikriterielle Entscheidungsunterstützung mit Fokus auf das Nutzerverhalten, Konzeptionierung und Unterstützung bei der Umsetzung einer Schnittstelle zu Modul 2
<u>BSN</u>	Unterstützung bei der Vorbereitung einer exemplarischen Fallstudie für Teile der Flotte von BSJENERGY, Mitarbeit bei der Entwicklung einer Vorlage für die Erstellung und Durchführung von Erfahrungsberichten zum Nutzerverhalten in den Anwendungsszenarien des Projektes
<u>LDD</u>	Unterstützung bei der Vorbereitung einer exemplarischen Fallstudie für Teile der Flotte von Lautlos durch Deutschland GmbH, Mitarbeit bei der Entwicklung einer Vorlage für die Erstellung und Durchführung von Erfahrungsberichten zum Nutzerverhalten in den Anwendungsszenarien des Projektes
<u>IFAM</u>	Teilnahme am Brainstorming zur Definition von Ziel, einzusetzender Methoden und Werkzeuge; Mitwirkung an Konzeptentwicklung; Unterstützung bei der Integration von Ergebnissen und Inhalten der Module 1 bis 4 in die simulationsbasierte multikriterielle Entscheidungsunterstützung mit Fokus auf Thermomanagement; Mitwirkung an Konzeptentwicklung; Feedback zum entwickelten und umgesetzten Konzept; Diskussion von Schnittstellen zur Fahrzeugsimulation;
<u>IFF</u>	Teilnahme am Brainstorming zur Definition von Ziel, einzusetzender Methoden und Werkzeuge; Mitwirkung an Konzeptentwicklung, Unterstützung bei der Integration von Ergebnissen und Inhalten der Module 1 bis 4 in die simulationsbasierte multikriterielle Entscheidungsunterstützung mit dem Fokus vollelektrischer Fahrzeuge; Mitwirkung an Konzeptentwicklung; Feedback zum entwickelten und umgesetzten Konzept; Diskussion von Schnittstellen, Konzeptionierung und Unterstützung bei der Umsetzung von Schnittstellen zur Fahrzeugsimulation;
<u>IWF</u>	Konzeptentwicklung und -ausarbeitung der simulationsbasierten multikriteriellen Entscheidungsunterstützung, einschließlich Definition von Ziel, einzusetzender Methoden und Werkzeuge; Erstellung einer graphischen Konzeptdarstellung zur Visualisierung der Zusammenhänge von Zielgrößen der multikriteriellen



	Entscheidungsunterstützung, benötigten Inputdaten aus den Modulen 1 bis 4, notwendiger Berechnungsmodulare und Bewertungskriterien, etc.; Bestimmung von Kriterien für die ökologische Bewertung von Elektrofahrzeugkonzepten (für Flottenanwendungen); Erstellung einer ersten excelbasierten Potentialabschätzung von Elektrofahrzeugkonzepten für Flottenanwendungen; Entwicklung der simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung in Anylogic, Durchführung von Fallstudien; Ableitung von notwendigen Anpassungen an der entwickelten und umgesetzten Entscheidungsunterstützung; Durchführung von Anpassungen, Konzeptionierung und Umsetzung von Schnittstellen zu den Modulen 1 bis 4; Entwicklung einer Vorlage für die Erstellung und Durchführung von Erfahrungsberichten zum Nutzerverhalten in den Anwendungsszenarien des Projektes, Erarbeitung eines Workshop-Konzepts zur Implementierung der Entscheidungsunterstützung in Unternehmen,
<u>TLK</u>	Teilnahme am Brainstorming zur Definition von Ziel, einzusetzender Methoden und Werkzeuge; Mitwirkung an Konzeptentwicklung und -ausarbeitung hinsichtlich des energieeffizienten Flottenbetriebs; Unterstützung bei der Integration von Ergebnissen und Inhalten der Module 1 bis 4 in die simulationsbasierte multi-kriterielle Entscheidungsunterstützung mit Fokus auf Thermomanagement; Mitwirkung an Konzeptentwicklung; Feedback zum entwickelten und umgesetzten Konzept; Diskussion von Schnittstellen, Konzeptionierung und Unterstützung bei der Umsetzung von Schnittstellen zur Fahrzeugsimulation;
<u>VW</u>	Teilnahme am Brainstorming zur Definition von Ziel, einzusetzender Methoden und Werkzeuge; Mitwirkung an Konzeptentwicklung; Unterstützung bei der Integration von Ergebnissen und Inhalten der Module 1 bis 4 in die simulationsbasierte multi-kriterielle Entscheidungsunterstützung mit dem Fokus vollelektrischer Fahrzeuge; Mitwirkung an Konzeptentwicklung; Feedback zum entwickelten und umgesetzten Konzept; Diskussion von Schnittstellen; Konzeptionierung einer kumulativen Verfolgung und Bewertung des Flottenbetriebs in Form von Monatsberichten; Kontinuierliche Bewertung der Entwicklung von Energiebilanzen.

#### 2.5.4. AP 5.4: Validierung der Modelle und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Das Ziel von **AP 5.4** war die abschließende Überprüfung und Adaption der im Projekt Fleets Go Green entwickelten Modelle und Methoden. Diese sollten zukünftig für das ökologisch orientierte Flottenmanagement in unterschiedlichen Anwendungsszenarien verwendet werden können. Hierzu gliederte sich **AP 5.4** in die folgenden Arbeitsschritte:

- **AS 5.4.1** Abschließende Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte
- **AS 5.4.2** Ableitung von Handlungsempfehlungen für optimale Konfigurationen des Fahrzeug-, Nutzer- und Netzverhaltens zur Maximierung der Umwelteffizienz von Elektro- und Hybridfahrzeugen im Flottenbetrieb

#### **Abschließende Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte**

In **AS 5.4.1** erfolgte die Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte durch alle Projektpartner. Hierzu wurde durch IWF in Zusammenarbeit mit AIP, ELE und TLK, ein systematischer Evaluationsleitfaden erarbeitet. Im Rahmen eines gemeinsamen Evaluationsworkshops unter Teilnahme aller Projektpartner erfolgte aufbauend auf der Darstellung der Projektergebnisse die Projektevaluation in Kleingruppen anhand des Leitfadens.

#### **Ableitung von Handlungsempfehlungen**

Im Hinblick auf die verfolgte Messstrategie führte vor allem die große Anzahl unterschiedlicher Messsysteme und Datenübertragungspfade zu einem hohen Arbeitsaufwand. Es mussten für die Datenlogger der verschiedenen Hersteller diverse Fallunterscheidungen getroffen und in den erstellten Sequenzen vorgesehen werden. Dies betrifft unter anderem die unterschiedlichen Datenformate, die zum Teil die Erstellung eigener Konvertierungstools erforderlich machten. Außerdem waren für jeden Hersteller eigene Programme zur Konfiguration der Logger erforderlich. Darüber hinaus führten die diversen Übertragungspfade zu einer Vielzahl möglicher Fehlerquellen, wenn es zu einer Unterbrechung der Datenübertragung einzelner Fahrzeuge kam. Auch die Übertragung der Daten über WLAN stellte sich als fehleranfällig heraus. Insbesondere bei BSN kam es wiederholt zu Unterbrechungen der Datenübertragung, da aufgrund der baulichen Gegebenheiten sowie der Betriebsabläufe die Stellplätze einiger Fahrzeuge in relativ großer Entfernung zum WLAN-Zugangspunkt lagen, wodurch die Signalstärke des WLAN teilweise unzureichend war, um eine stabile Verbindung herzustellen. Dadurch bedingt war es immer wieder erforderlich, die Messdaten händisch abzuholen oder die Fahrzeuge auf dem Betriebsgelände von BSN zeitweise auf Stellplätzen in Reichweite des WLAN abzustellen. Ferner konnte am Standort ELE an der TUBS aus baulichen Gründen kein WLAN eingerichtet werden, sodass die Daten dieser Fahrzeuge ebenfalls regelmäßig händisch abgeholt werden mussten. Daraus resultierend folgt für zukünftige Projekte die Empfehlung, zum einen die Variantenvielfalt in Bezug auf die Messtechnik bzw. Datenlogger möglichst gering zu halten und zum anderen statt WLAN-Technik Mobilfunk-Verbindungen zu nutzen.

Weiterhin zeigte sich, dass die Reichweite einen sehr viel größeren Einfluss auf die Kaufentscheidung eines potentiellen Kunden hat, als die eher kurzen Fahrstrecken der im Projekt untersuchten Fahrzeuge vermuten ließen. Nicht unerheblich bei der Entscheidung, ein Elektrofahrzeug für die Bewältigung eines Fahrauftrags zu nutzen, ist eine vertrauenswürdige Reichweitenprognose, insbesondere bei Wetterlagen mit sehr hohem Klimatisierungsbedarf. Die Ladedauer sowie der mit dem Laden verbundene Planungsaufwand bedürfen kundenfreundlicher Lösungen. Gleichwohl ließ sich aus der Messdatenanalyse ableiten, dass für die hier betrachteten Szenarien die Reichweite der Fahrzeuge ausreichend war. Aufgrund der geringen täglichen Fahrleistungen wären sogar geringere Batteriekapazitäten und damit Reichweiten möglich gewesen. Im Hinblick auf die zunehmende Batteriekapazität neuer Elektrofahrzeuge, wären bei zukünftigen Neubeschaffungen von Fahrzeugen Varianten mit unterschiedlicher Batteriegröße von Interesse, da die Batteriekapazität großen Einfluss auf die Kosten hat. Durch eine Batterie, deren Kapazität auf den Anwendungsfall angepasst ist, könnten somit die Anschaffungskosten reduziert werden. Die Ergebnisse aus Modul 2 konnten von den Projektpartnern weitestgehend bestätigt werden. Weiterer Forschungsbedarf herrscht vor allem in der Befragung von Beschaffern bezüglich des Einflusses ihrer Ladesituation und Reichweitenproblematik auf die Kaufintention von Elektrofahrzeugen. Auch die Kompensierbarkeit eines möglichen Liegenbleibens durch zu geringer Reichweite erfordert weitere Forschung. Darüber hinaus bestätigten die Teilnehmer der Workshops die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen sowie die Erfahrungen aus dem Feldversuch hinsichtlich der benötigten Ladeinfrastruktur. Für das Wechselstromladen sollte zukünftig die Ladeleistung der Onboard-Ladeeinheiten der Fahrzeuge erhöht werden. Die Verfügbarkeit der Flotte würde so durch höhere Ladeleistungen steigen. Durch ein gezieltes Lademanagement können Fahrzeuge mit höheren Ladeleistungen, als die bisherigen 3,7 kW, problemlos integriert werden. Zusätzlich kann dadurch der Anteil lokal erneuerbarer Energien am Ladestrom erhöht werden.

Die Ökobilanz zeigt deutlich, dass die Umweltwirkungen von BEV-Flotten stark vom Energiestrommix abhängen. Im ungünstigsten Fall schneiden Elektrofahrzeuge in bestimmten Wirkungskategorien schlechter ab als konventionelle Verbrennerfahrzeuge, wenn beispielsweise der Strommix einen hohen Anteil an Braunkohlestrom hat. Um die Umweltwirkungen einer BEV-Flotte zu verringern, sollte daher konsequent auf Energie aus erneuerbaren Quellen gesetzt werden. Parallel hierzu gilt es den Gesamtenergieverbrauch der Flotte in der Nutzungsphase zu reduzieren. Hierfür gilt es bei der Planung der Flotte verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. So wirken sich etwa die Außentemperaturen maßgeblich auf den Gesamtenergieverbrauch aus, da von diesen Nebenverbraucher wie Heizung und Klimatisierung abhängen. Die jeweilige Klimazone, in der die Flotte betrieben wird, spielt daher eine zentrale Rolle bei der Entscheidung, ob der Einsatz von Elektrofahrzeugen aus ökologischer Sicht sinnvoll ist. Gleiches gilt für weitere geografische Eigenschaften wie Streckenprofile. Typische Fahrtstrecken und ihre jeweiligen Profile sollten ebenfalls in die Planung eingehen, da auch sie einen erheblichen Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch haben. Als dritter zentraler Faktor ist das Fahrverhalten zu nennen. Unterschiedliche Fahrprofile (von „sportlich“ bis „energiesparend“) können sich auch auf den Gesamtenergieverbrauch auswirken. Hier können Einsparungen durch entsprechende Schulungen der Fahrerinnen und Fahrer erzielt werden. Ökobilanzen von BEV-Flotten sind folglich immer fall-orientiert. Die spezifischen Konfigurationen sind wesentlich bei der Entscheidung, welche Fahrzeuge beschafft werden sollen.

Hinsichtlich der entwickelten Entscheidungsunterstützung für die Flottenplanung wurde bestätigt, dass pauschale Aussagen über die Vorteilhaftigkeit von Elektrofahrzeugen für betriebliche Flottenanwendungen aufgrund der hohen Heterogenität von Flotten nicht zielführend sind. Stattdessen ist die Abbildung, Modellierung und Simulation der spezifischen Entscheidungssituation von Flottenbetreibern, wie sie im Rahmen der entwickelten simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung ermöglicht wird, zweckmäßig. Die gebotenen Einstellungs-, Simulations- und Auswertungsmöglichkeiten des Werkzeugs bieten hierbei eine gute Grundlage für die Bewertung konkreter Fallsituationen. Ausgehend von den mit der Entscheidungsunterstützung durchgeführten Fallstudien zu den Projektanwendungsszenarien konnte gezeigt werden, dass durch die Integration von Elektrofahrzeugen sowohl in das Pool-Konzept der TU Braunschweig als auch in die Werksflotte BS|ENERGY positive Effekte im Hinblick auf die mit den Flotten verbundenen Umweltwirkungen erzielt werden können (siehe hierzu auch die Ergebnisse des Moduls 4). Aus ökologischer Sicht ist die Integration vor allem dann sinnvoll, wenn die Flotten zukünftig mit einem zunehmenden Anteil an Ökostrom betrieben werden. Zudem bestehen bei Zusammenlegung bisher separat betriebener Fahrzeugpools Flotteneffizienzpotentiale, da die realen Flottenaufträge in

den untersuchten Fallstudien auch mit einer geringeren Anzahl an Fahrzeugen hätten bedient werden können.

Ausgehend von den Erkenntnissen des Evaluationsworkshops konnten auf dem gemeinsamen Abschlussworkshop des Projekts Fleets Go Green Handlungsempfehlungen an Flottenbetreiber, Fahrzeughersteller und politische Entscheidungsträger abgeleitet werden (**AS 5.4.2**). Die Handlungsempfehlungen sind in der Projektabschlussveröffentlichung zusammengefasst und umfassen beispielsweise Erkenntnisse im Hinblick auf noch zu erschließende Potentiale bzgl. der Integration von Elektrofahrzeugen in betrieblichen Flotten, den ökologisch optimierten Betrieb von Flotten oder auch Empfehlungen für geeignete Anreizsysteme zur Erhöhung der Nutzung von bestehenden Fahrzeugen.

Eine Übersicht über die Arbeiten der Partner in **AP 5.3** zeigt die folgende Tabelle 40.

**Tabelle 40: Arbeiten der Partner in AP 5.4**

<b>Partner</b>	<b>Kurzbeschreibung der durchgeführten Arbeiten</b>
<u>AIP</u>	Unterstützung bei der Erarbeitung des Evaluationsleitfadens, Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf den in Modul 2 erarbeiteten Inhalten zum Nutzerverhalten allgemein; Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Teilnahme am Abschlussworkshop; Aufbereitung der Ergebnisse des Abschlussworkshops mit Fokus auf Modul 2;
<u>BSN</u>	Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf dem Netzverhalten allgemein sowie dem Nutzerverhalten im Anwendungsszenario Werksflotte BS ENERGY im Speziellen; Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Vorbereitung und Teilnahme am Workshop;
<u>ELE</u>	Unterstützung bei der Erarbeitung des Evaluationsleitfadens, Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf dem Netzverhalten allgemein; Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Teilnahme am Abschlussworkshop; Aufbereitung der Ergebnisse des Abschlussworkshops mit Fokus auf Modul 3;
<u>IFAM</u>	Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf dem Fahrzeugverhalten vollelektrischer Fahrzeuge (vor allem der elektrischen Energiespeicher/-wandler); Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Teilnahme am Abschlussworkshop; Darstellung des Handlungsbedarfs im Hinblick auf die Weiterentwicklung von Simulationsmodellen und -methoden zur Bewertung der Umwelteffizienz von Elektro- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen; Aufbereitung der Ergebnisse des Abschlussworkshops mit Fokus auf Modul 1;
<u>IFF</u>	Unterstützung bei der Erarbeitung des Evaluationsleitfadens, Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf dem Fahrzeugverhalten ab den elektrischen Energiespeichern/-wandlern (Batterie, Elektromotor) zum Rad; Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Teilnahme am Abschlussworkshop; Darstellung des Handlungsbedarfs im Hinblick auf die Weiterentwicklung von Simulationsmodellen und -methoden zur Bewertung der Umwelteffizienz von Elektro- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen; Aufbereitung der Ergebnisse des Abschlussworkshops mit Fokus auf Modul 1;
<u>IMC</u>	Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf der Betrachtung der in den Fahrzeugen integrierten Messtechnik; Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Teilnahme am Abschlussworkshop;
<u>IME</u>	Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf der Betrachtung von Traktionsbatterien; Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Teilnahme am Abschlussworkshop;
<u>IPO</u>	Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf der Ökobilanzierung (Fokus: Datenverfügbarkeit); Teilnahme am Abschlussworkshop;
<u>IWF</u>	Erarbeitung eines systematischen Fragenkatalogs als Leitfaden für die Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte; Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf der Ökobilanzierung (Fokus: Methodik) sowie der entwickelten Entscheidungsunterstützung für das ökologisch orientierte Flottenmanagement; Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Vorbereitung und Teilnahme am Abschlussworkshop; Aufbereitung der Ergebnisse des Abschlussworkshops mit Fokus auf Modul 4 und Modul 5; Darstellung des Handlungsbedarfs im Hinblick auf die Weiterentwicklung von Ökobi-

	lanzmethode zur Bewertung der Umwelteffizienz von Elektro- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen; Zusammenfassung der Handlungsempfehlung aus dem Projekt Fleets Go Green; Koordination einer gemeinsamen Abschlussveröffentlichung im Springer-Verlag.
<u>LDD</u>	Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf der Betrachtung des Nutzerverhaltens im Anwendungsszenario Poolkonzept Technische Universität Braunschweig; Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Teilnahme am Abschlussworkshop;
<u>TLK</u>	Unterstützung bei der Erarbeitung des Evaluationsleitfadens, Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf der Betrachtung von thermischen Systemen; Umsetzung und Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Teilnahme am Workshop;
<u>VW</u>	Überprüfung der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte mit spezifischem Fokus auf der Gesamtfahrzeugbetrachtung; Dokumentation von Anpassungsvorschlägen; Teilnahme am Abschlussworkshop;

## 2.6. Weitere Projektergebnisse

### 2.6.1. Veröffentlichungen

Cerdas, Felipe, Mennenga, Mark, Herrmann, Christoph. 2017. Model-Based Life Cycle Engineering Framework for Electric Vehicles. In: 4rd Joint-Symposium, Advanced Vehicle Energy Concepts and Structures for China (AVECS), Braunschweig, Institut für Konstruktionstechnik, in Veröffentlichung.

Diekmann, Stephan; Mummel, Jan; Soleymani, Lorenz; Engel, Bernd, Kurrat, Michael (2015): Connecting electric mobility to the energy management of blocks of flats, 20.05. – 22.05.2015, EST 2015 – Energy Science Technology, Karlsruhe.

Egede, Patricia. 2017. Environmental Assessment of Lightweight Electric Vehicles. In: Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management. Dissertation Technische Universität Braunschweig. Springer International Publishing.

Egede, Patricia; Dettmer, Tina; Herrmann, Christoph; Kara, Sami. 2015. Life Cycle Assessment of Electric Vehicles – A Framework to Consider Influencing Factors. In: The 22nd CIRP Conference on Life Cycle Engineering. S. 233-238. Sydney, Australien.

Egede, Patricia; Dettmer, Tina; Öhlschläger, Gerlind; Herrmann, Christoph. 2014. Life Cycle Assessment of Electric Vehicles in Fleet Operations - Opportunities and Challenges. In: Hybrid and Electric Vehicles. 11th Symposium. S. 205-219. Braunschweig. Deutschland. ITS Niedersachsen.

Mau, Daniela und Woisetschläger, David M. 2016. The Impact of Fit-perceptions of CSR-Innovations on the Relationship Quality of Employees. Proceedings of International Colloquium on Relationship Marketing, 06.-09.09.2016, Toulouse, France.

Mau, Daniela und Woisetschläger, David M. Determining Relevant Factors in Purchasing Electric Vehicles for Fleets (In Vorbereitung 2017).

Mau, Daniela, Rapp, Johannes und Woisetschläger, David M. 2016. A Segmentation Approach to the Role of Motives in Purchasing Environmentally Sustainable Versus Conventional Cars. Paper accepted at Fourth International Symposium on Sustainable Mobility, 15.-17.09.2016, University of California, Davis, United States.

Mennenga, Mark, Dér Antal, Herrmann, Christoph (2017): Workshop based decision support methodology for integrating electric vehicles into corporate fleets, Springer-Verlag, in Vorbereitung.

Mennenga, Mark. 2014. Lebenszyklusorientierte Flottenplanung mit alternativ angetriebenen Fahrzeugkonzepten, Dissertation. Technische Universität Braunschweig, Vulkan Verlag, 2014.

Mennenga, Mark; Egede, Patricia; Bodmann, Michael; Mummel, Jan; Sander, Marcel; Herrmann, Christoph; Kurrat, Michael und Küçükay, Ferit. 2016. Cyber-Physischer Ansatz zur Planung von Elektroflotten. In: Nationale und internationale Trends in der Mobilität. Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte, Wiesbaden, Springer Fachmedien, S. 127-145.

Mennenga, Mark; Herrmann, Christoph. 2015. Life Cycle oriented fleet planning with alternatively powered vehicles. In: 3rd Joint-Symposium, Advanced Vehicle Energy Concepts and Structures for China (AVECS), Braunschweig, Institut für Konstruktionstechnik, S. 28-37.

Mennenga, Mark; Thiede, Sebastian; Herrmann, Christoph. 2013. Life-Cycle Oriented Decision Support for the Planning of Fleets with Alternative Powertrain Vehicles, In: Re-engineering Manufacturing for Sustainability. 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering. S. 75-80. Singapore, Springer.

Müller, Daniela, Ommen, Nils und Woisetschläger, David, M. 2015. Ein Segmentierungsansatz für die Adoption von Elektrofahrzeugen in Unternehmen. In: Proff, H., Heinzl, A., Leisten, R., Schmidt, A., Schönharting, J., Schramm, D., Witt, G. (Hrsg.): Entscheidungen beim Übergang in die Elektromobilität - Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte. Springer Gabler, Wiesbaden.

Müller, Daniela, Ommen, Nils, Backhaus, Christof und Woisetschläger, David M. 2013. Demonstrative Adoption of Innovative Products Within Organizations – The Case of Battery Electric Vehicles. Proceedings of the 42nd EMAC Conference, Istanbul, Turkey.

Müller, Daniela, Ommen, Nils, Woisetschläger, David M. und Backhaus, Christof. 2014. Get Electric Vehicles Going - A Segmentation Approach for the Adoption of Electric Vehicles in Organizations. Proceedings of the 39th Annual Macromarketing Conference, London, UK.

Mummel, Jan; Diekmann, Stephan; Kurrat, Michael; Engel, Bernd (2014): IKT-Anbindung für gesteuertes Laden unter Berücksichtigung von Last- und Erzeugungskapazitäten, Konferenz: VDE-Kongress 2014 - Smart Cities – Intelligente Lösungen für das Leben in der Zukunft 20.10.2014 - 21.10.2014 in Frankfurt am Main, Deutschland.

Mummel, Jan; Kurrat, Michael; Karges, Uwe (2013): Analyse der Netzzrückwirkungen von diversifizierten Fahrzeugflotten, in: Konferenz: Internationaler ETG-Kongress 2013 – Energieversorgung auf dem Weg nach 2050 - Symposium 1: Security in Critical Infrastructures Today, 5.-6. November 2013, ETG Kongress, Berlin.

Mummel, Jan; Soleymani, Lorenz; Kurrat, Michael (2014): Ladesteuerungskonzepte für Elektrofahrzeugflotten zur Weiterentwicklung der Verteilnetze, 18.09.-19.09.2014, NEIS Konferenz, Hamburg.

Mummel, Jan; Stalze, Johanna (2015): Last- und erzeugungsorientiertes Laden von Elektrofahrzeugflotten, in: Fachmagazin innoWATTion, 6. Ausgabe 09/15, S. 15, 2015.

Mummel, Jan; Stocklossa, Timo; Wijtenburg, Johannes; Kurrat, Michael (2016): Beitrag dezentraler Erzeugungseinheiten zum nachhaltigen und wirtschaftlichen Betrieb von Elektrofahrzeugflotten, 10.-12. Februar 2016, 14. Symposium Energieinnovation, Graz.

Nehuis, Frank; Kleemann, Sebastian; Egede, Patricia; Vietor, Thomas; Herrmann, Christoph. 2014. Future Trends in the Development of Vehicle Bodies Regarding Lightweight and Cost. In: Innovative Design, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering. S. 13-21. Chennai, Indien, Springer India, 2014.

Roesky, O.; Bodmann, M.; Mummel, J.; Kurrat, M.; Köhler, J.: Impact of Losses on the Charging Strategy of Electric Vehicles. In: Intelligente Transport- und Verkehrssysteme und -dienste Niedersachsen e.V. (Ed.). 12th Symposium Hybrid and Electric Vehicles, Braunschweig, Februar 2015, ISBN 978-3-937655-35-2.

Sander, Marcel und Küçükay, Ferit. 2017. Fleet application of electric vehicles. In: Hybrid and Electric Vehicles, 14th Symposium, hg. von Intelligente Transport- und Verkehrssysteme und -dienste Niedersachsen e.V. Braunschweig.

Schönemann, Malte; Egede, Patricia; Schmidt, Christopher; Herrmann, Christoph. 2014. Automotive Life Cycle Engineering – Trade-offs between electric mobility and lightweight design. In: Advanced Vehicle Structures and Infrastructure for China (AVSIC). 1st Joint-Symposium. S. 44-52. Braunschweig, Institut für Konstruktionstechnik.

## 2.6.2. Vorträge

Jugert, R.; Bodmann, M.: Saisonale Bewertung der Fahrgastraumkonditionierung. 4. VDI-Fachkonferenz Thermomanagement für elektromotorisch angetriebene PKW, Stuttgart, 24.-25. November 2015

Jugert, R.; Fischer, H.: Fahrgastraumkonditionierung von Elektrofahrzeugen in Winterlastfällen. In: 3. VDI-Fachkonferenz Thermomanagement für elektromotorisch angetriebene PKW, Manching bei Ingolstadt, 5.-6. November 2014.

Mennenga, Mark. 2015. Elektromobilität und Nachhaltigkeit. 7. Schaufenster-Dialog: Elektromobilität und Nachhaltigkeit. 06.10.2015. Braunschweig

Mennenga, Mark. 2015. Entscheidungsunterstützung für die Flottenplanung mit Elektrofahrzeugen, C4C TechDay. 07.05.2015.

Mennenga, Mark. 2016. Elektrofahrzeuge in der Flottenanwendung Ganzheitliche Bewertung der Umwelteffizienz unter Berücksichtigung von Fahrzeugeigenschaften, Einsatzszenarien und Infrastruktur. Ergebnis-Seminar „eShuttle“ – 09. Juni 2016

Mennenga, Mark. 2016. Flottenplanung mit Elektrofahrzeugen. Impulsvortrag. Workshop "Klimaschonend mobil im Großraum Braunschweig. 08.12.16. Braunschweig.

Müller, Daniela, Ommen, Nils und Woisetschläger, David, M. 2015. Ein Segmentierungsansatz für die Adoption von Elektrofahrzeugen in Unternehmen. 6. Wissenschaftsforum Mobilität „Entscheidungen im Übergang in die künftige Mobilität“, 08.05.2014, Duisburg.

Müller, Daniela, Ommen, Nils, Backhaus, Christof und Woisetschläger, David M. 2013. Demonstrative Adoption of Innovative Products Within Organizations – The Case of Battery Electric Vehicles. 42nd EMAC Conference, 05.06.2013, Istanbul

Müller, Daniela, Ommen, Nils, Woisetschläger, David M. und Backhaus, Christof. 2014. Get Electric Vehicles Going - A Segmentation Approach for the Adoption of Electric Vehicles in Organizations. 39th Annual Macromarketing Conference, 03.07.2014, London

Mummel, Jan; Mennenga, Mark; Inderwisch, Kathrien. 2015. Elektrofahrzeuge in der Flottenanwendung - Ganzheitliche Bewertung der Umwelteffizienz unter Berücksichtigung von Fahrzeugeigenschaften, Einsatzszenarien und Infrastruktur, 09.-10.06.2015, 7. E-MOTIVE Expertenforum, München/Maisbach.

Roesky, O.; Jugert, R.; Köhler, J. (2016): Entwicklung einer thermomanagement- und verbrauchsoptimierten Ladestrategie für elektrifizierte Fahrzeuge. 5. VDI-Fachkonferenz Thermomanagement für elektromotorisch angetriebene PKW, Stuttgart, 15.-16. November.

Sander, Marcel (2016): Maßnahmen zur effizienten Innenraumklimatisierung von Elektrofahrzeugen. 9. CTI-Jahrestagung Thermomanagement im Gesamtfahrzeugkonzept. Stuttgart

## 2.6.3. Durchgeführte Projektveranstaltungen

Während der Projektlaufzeit stellten regelmäßige Treffen der Partner auf Projektgesamt- und Arbeitsebene die Arbeitsfähigkeit innerhalb des Projektes sicher. In Tabelle 41 ist eine Übersicht der wichtigsten Projekttreffen in Fleets Go Green dargestellt. Allgemeine Arbeitsmeetings wurden nicht separat aufgelistet.

**Tabelle 41: Durchgeführte Projekttreffen (übergreifend)**

Datum	Ort	Inhalt	Teilnehmende Partner
10.10.2012	Braunschweig	1. Modulverantwortlichen-Treffen (MVT)	AIP, BSN, ELE, IFAM, IFF, IWF

22.10.2012	Braunschweig	Kick-Off-Meeting (Managementebene)	Alle
29.10.2012	Braunschweig	Kick-Off-Meeting (Arbeitsebene)	Alle
18.12.2012	Braunschweig	2. MVT	<u>AIP</u> , <u>BSN</u> , <u>ELE</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u>
18.02.2013	Braunschweig	3. MVT	<u>AIP</u> , <u>ELE</u> , <u>IFF</u> , <u>IFAM</u> , <u>IWF</u>
28.02.2013	Braunschweig	2. Gesamtprojekttreffen	<u>Alle</u>
03.04.2013	Braunschweig	4. MVT	<u>AIP</u> , <u>BSN</u> , <u>ELE</u> , <u>IFAM</u> , <u>IWF</u>
14.05.2013	Braunschweig	5. MVT	<u>AIP</u> , <u>BSN</u> , <u>ELE</u> , <u>IFAM</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u>
04.06.2013	Braunschweig	6. MVT	<u>AIP</u> , <u>BSN</u> , <u>ELE</u> , <u>IFAM</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u>
12.06.2013	Braunschweig	3. Gesamtprojekttreffen	<u>Alle</u>
26.08.2013	Bremen	7. MVT	<u>AIP</u> , <u>IFAM</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u> , <u>TLK</u>
18.09.2013	Braunschweig	4. Gesamtprojekttreffen	Alle
03.12.2013	Braunschweig	8. MVT	<u>AIP</u> , <u>ELE</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u> , <u>TLK</u>
17.01.2014	Braunschweig	9. MVT	<u>BSN</u> , <u>TLK</u> , <u>AIP</u> , <u>ELE</u> , <u>IWF</u>
13.02.2014	Braunschweig	5. Gesamtprojekttreffen	<u>Alle</u>
21.03.2014	Braunschweig	10. MVT	<u>BSN</u> , <u>TLK</u> , <u>ELE</u> , <u>IWF</u>
29.04.2014	Braunschweig	11. MVT	<u>AIP</u> , <u>ELE</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u>
25.06.2014	Braunschweig	12. MVT	<u>BSN</u> , <u>TLK</u> , <u>AIP</u> , <u>ELE</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u>
14.07.2014	Braunschweig	6. Gesamtprojekttreffen	Alle
24.09.2014	Braunschweig	13. MVT	<u>BSN</u> , <u>AIP</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u>
16.01.2015	Braunschweig	14. MVT	<u>BSN</u> , <u>TLK</u> , <u>AIP</u> , <u>ELE</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u>
11.06.2015	Braunschweig	15. MVT	<u>BSN</u> , <u>TLK</u> , <u>AIP</u> , <u>ELE</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u>
22.06.2015	Braunschweig	7. Gesamtprojekttreffen	<u>Alle</u>
09.08.2016	Braunschweig	16. MVT	<u>BSN</u> , <u>TLK</u> , <u>AIP</u> , <u>ELE</u> , <u>IFF</u> , <u>IWF</u>
17.08.2015	Braunschweig	Evaluationsworkshop	<u>Alle</u>
29.08.2015	Braunschweig	Transferworkshop	<u>Alle</u>

### 3. Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan

Aufgrund der Mitte Oktober 2012 zugestellten Zuwendungsbescheide konnte nicht mit allen Arbeitspaketen planmäßig begonnen werden. Zudem verzögerten Lieferschwierigkeiten seitens der Lieferanten insgesamt die Fahrzeugbeschaffung. Hierdurch konnten die Arbeiten in **AP 1.1**, der vorgesehene Aufbau von Infrastruktur (**AP 3.2**) und die Modellierung der Flotten (**AP 4.2** sowie **AP 4.3**). Die ebenfalls hiervon betroffenen Arbeitspakete **AP 5.1** sowie **AP 5.3** wurden entsprechend verlängert. Dies bedingte die Verlängerung des Bewilligungszeitraums für das Projekt um zwölf Monate.

Seitens Citroën C-Zero und Smart ED wurden keine Informationen zur CAN-Bus-Belegung bereitgestellt. Dadurch musste die Dekodierung durch IFF und IAV GmbH erfolgen sowie zusätzliche Messtechnik ausgelegt, beschafft und integriert werden. Der Einbau dieser analogen Messtechnik erfolgte daher erst Anfang 2014. Um dennoch eine ausreichend große Datenbasis zu erhalten, wurde **AP 1.1** über das geplante Ende hinaus fortgesetzt. Außerdem wurde Anfang 2016 mit dem Nissan eNV200 ein weiteres Fahrzeug in das Projekt eingebracht.

Die in **AP 2.2** entwickelten Komponentenmodelle wurden über die Laufzeit punktuell modifiziert, so dass sich die Fertigstellung verzögert hat. Ferner gab es mitunter Lieferzeiten von bis zu 6 Monaten für Komponenten, welche im Rahmen der Komponententests untersucht wurden. Infolge dessen gab es Verzögerungen beim Aufbau der Gesamtfahrzeugmodelle sowie deren Plausibilisierung und der anschließenden Validierung (**AP 1.3**). Bedingt durch den zusätzlich zu vermessenden Nissan eNV200 sowie dessen virtuelle Abbildung waren weitere Arbeiten durchzuführen.

Die Befragung der Unternehmen zur Freigabe von Sachbilanzdaten hat erheblich mehr Zeit in Anspruch genommen als erwartet, da für die Übertragung und Speicherung der Daten zunächst eine sichere Lösung gefunden werden mussten. **AP 4.2** konnte daher erst später als geplant abgeschlossen werden. Hierdurch verzögerten sich auch die darauf aufbauenden Arbeitsschritte. Der aktualisierte Zeitplan ist in Abbildung 116 dargestellt.

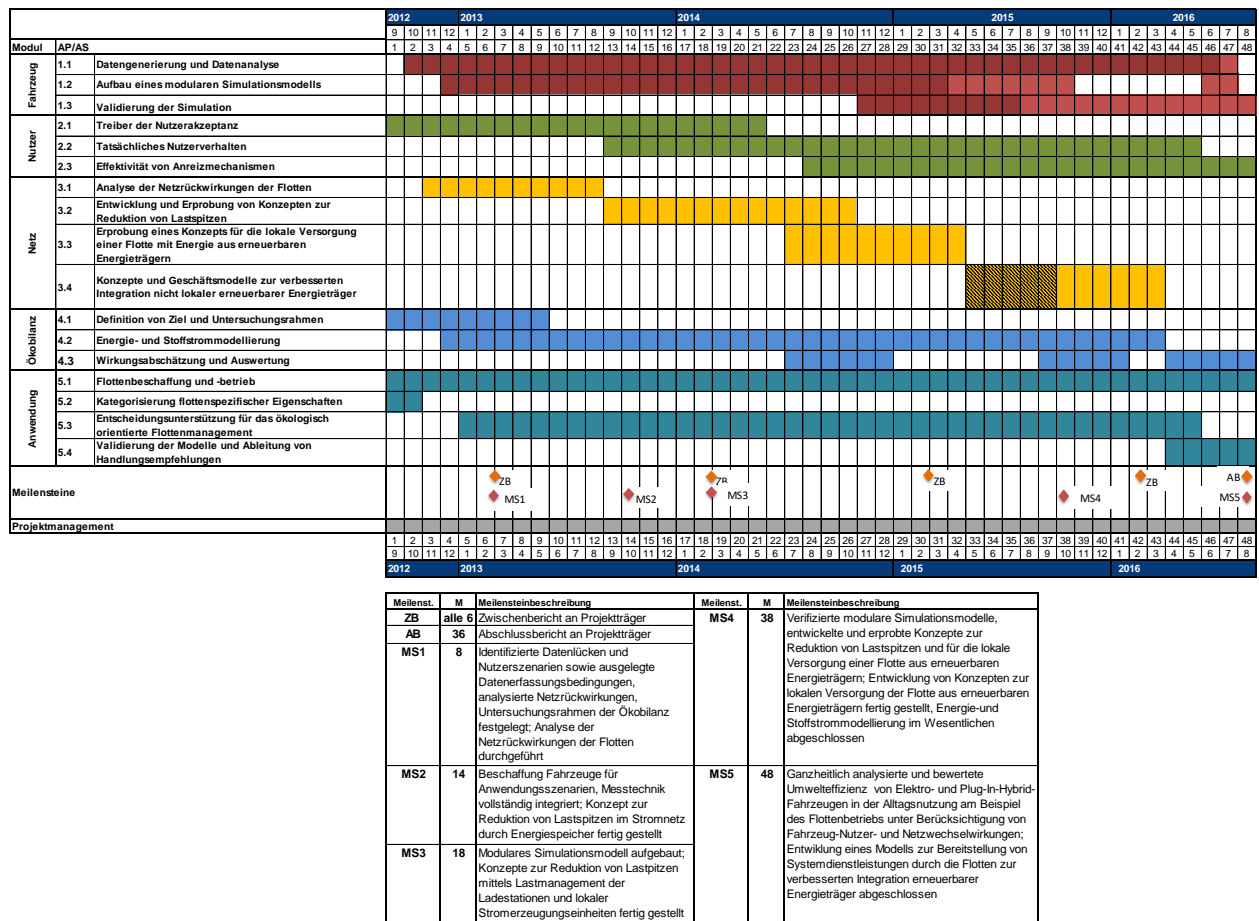


Abbildung 116: Aktualisierter Projektzeitplan

## 4. Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

Im vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur geförderten Projekt „Alltagstauglichkeit von Elektromobilität- Langstreckeneignung und -akzeptanz“ (LEM) wurden Fahrzeuge bei privaten und gewerblichen Nutzern eingesetzt und vermessen. Ziel des Projekts war die Untersuchung der Eignung von Elektrofahrzeugen für den Langstreckeneinsatz. Beim Vergleich der Ergebnisse zeigt sich, dass die batterieelektrischen Fahrzeuge der gewerblichen Nutzer etwas größere tägliche Laufleistungen aufweisen. Die Tagesstrecken waren zu etwa 80% kürzer als 80 km, womit diese zwar länger als in den hier betrachteten Szenarien war, aber dennoch als eher gering zu bezeichnen sind.

Die ermittelten Energieverbräuche können besonders gut miteinander verglichen werden, da im Projekt LEM unter anderem der Mitsubishi i-MiEV eingesetzt wurde, welcher baugleich mit dem Citroën C-Zero



ist. Es wurden für diesen Fahrzeugtyp ein Energieverbrauch zwischen 11 und 19 kWh/100km gemessen. Dies deckt sich sehr gut mit den im Rahmen von Fleets Go Green ermittelten Verbräuchen (13-21 kWh/100km). (Langstrecken-Elektromobilität 2015)

Der Stand der Literatur zum Thema Nutzer- und Käuferverhalten von Elektrofahrzeugen bezog sich bei Projektbeginn fast ausschließlich auf private Nutzer und Halter von Elektrofahrzeugen. Durch die beiden Anwendungsfälle Werks- und Poolflotte konnte der Stand der Forschung mit dem wichtigen Kontext des organisationalen Beschaffungs- und Nutzungsverhalten ergänzt werden, um so Handlungsempfehlungen für Automobilhersteller und Politik zur besseren Verbreitung von Elektrofahrzeugen in Flotten abzuleiten. Dazu konnten organisationale Fahrprofile und Anwendungsfelder abgeleitet werden, die ebenfalls der verbesserten Ansprache von Unternehmen im Kontext Elektromobilität dienen. Zur Verbesserung der Ökobilanz von Flottenfahrern wurden zudem Maßnahmen identifiziert, die der Steigerung der Bereitschaft zum ökologischen Fahren dienlich sind. Der bisherige Forschungsstand in diesem Bereich befasste sich fast ausschließlich mit Privatanutzern, sodass hier eine Schließung der Forschungslücke in dem wichtigen Kontext der Flottenfahrzeuge vorgenommen werden konnte.

Die im Projekt Fleets Go Green vorgenommene Einbindung von lokalen Erzeugungseinheiten findet in der operativen Ebene vereinzelt schon statt. Ob diese allerdings gezielt bedarfsgerecht integriert werden, ist aus der aktuellen Literatur nicht abschätzbar. Im Bereich der Ladesteuerung werden zudem das zentrale und dezentrale Lademanagement sowie das dynamische und statische Lastmanagement unterschieden (Mukherjee 2014). Während beim zentralen Lademanagement ein übergeordneter Systemoperator die Ladefahrpläne vorgibt, berechnet das Fahrzeug diese auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen beim dezentralen Lademanagement selbst. Das entwickelte Ladesystem – elias – ist ein zentrales Lademanagement. Für das statische Lastmanagement zum Laden von Elektrofahrzeugflotten gibt es bereits eine Vielzahl von industriellen Anbietern. Das dynamische Laden wurde bisher nur in verschiedenen Forschungsprojekten (u.A. eFlotte, inFlott) neben Fleets Go Green behandelt.

Life Cycle Assessment (LCA) ist eine verbreitete Methode zur Bewertung der Umweltwirkungen von Produkten oder Prozessen und wird auch für die Untersuchung von Elektrofahrzeugen eingesetzt (Hawkins, Gausen, & Strømman, 2012). Speziell für Elektromobilität liegen auch erste Leitlinien zur Durchführung von Ökobilanzen vor (Del Duce et al., 2013). Die im Rahmen des Projekts durchgeführte LCA unterscheidet sich von vergleichbaren Studien durch das speziell angelegte Life Cycle Inventory. Dieses basiert auf bisher nicht verfügbaren Herstellerdaten sowie in Feldversuchen ermittelten Verbrauchsdaten zu Antriebsstrang und Nebenverbrauchern. Damit erlaubt sie eine solide Bewertung der untersuchten Flottenanwendungen. Die hierbei berechneten Ergebnisse bestätigen und ergänzen die bestehenden Studien zur Ökobilanz von Elektrofahrzeugen.

Mit der im Projekt entwickelten Entscheidungsunterstützung wird erstmals ein praktikables und am allgemeinen Planungsprozess orientiertes Werkzeug bereitgestellt, das unter integrierter Berücksichtigung der Flottenbestands- und Flotteneinsatzplanung sowie einer lebenszyklusorientierten Sichtweise die Planungsunterstützung zur Integration alternativ angetriebener Fahrzeugkonzepte in Unternehmensflotten ermöglicht. Hierbei wird die lebenszyklusorientierte Analyse und Bewertung verschiedener Fahrzeugkonzepte mit Fragestellungen der Flottenplanung verknüpft und ein integriert funktional-ökonomisch-ökologischer Bewertungsansatz geschaffen. Dieser ermöglicht die Abbildung der spezifischen Entscheidungssituation eines Flottenplaners. Aus methodischer Sicht ist insbesondere die Verwendung eines agentenbasierten Simulationsansatzes und dessen Kombination mit den lebenszyklusorientierten Bewertungsmethoden der nachfrageorientierten Lebenszyklusrechnung (TCO) und Ökobilanzierung (LCA) innovativ. Diese Kombination ermöglicht die Bewertung des Einflusses dynamischer Effekte auf die Verfügbarkeit, Kosten und Umweltwirkungen einer Flotte. Dies umfasst beispielsweise die Abbildung der Dynamik des Zusammenspiels verschiedener Fahrzeuge im Flottenbetrieb. Zudem können reale Kraftstoffverbräuche in Abhängigkeit von Einsatzort, Beladungszustand, Anzahl der Personen im Fahrzeug oder der Außentemperatur abgeschätzt und in der Simulation berücksichtigt werden. Ausgehend von den individuellen Bedarfen und Randbedingungen eines Flottenbetreibers lässt sich der geeignete Fahrzeugbestand hinsichtlich Flottengröße und -zusammensetzung bestimmen. Dies erfolgt unter Berücksichtigung funktionaler, ökonomischer und ökologischer Kriterien und bei paralleler Betrachtung der Auswirkungen auf den Flottenbetrieb.

## 5. Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf

Durch die umfangreiche Testung der im Rahmen des Projektes beschafften Komponenten (Elektromotor und Traktionsbatterie) konnte das IFAM weitere wertvolle Erfahrungen für die Charakterisierung von Komponenten des elektromobilen Antriebstrangs sammeln. Weiterhin wurde das Know-how in der elektrischen Simulation von Elektromotoren enorm ausgebaut. Durch diese Erfahrungen kann das IFAM sein Kundennetzwerk erweitern und auf diesen Gebieten gezielter Projekte akquirieren. Hierbei zählen Anfragen aus der Industrie aber auch Projektankündigungen von öffentlichen Institutionen.

IMC konnte durch den mehrjährigen durchgängigen Einsatz der imc-Messtechnik weitere wertvolle Erfahrungen in Bezug auf Dauerbelastung und Witterungsbeständigkeit sammeln. Insbesondere konnten die besonderen Einsatzbedingungen in Elektrofahrzeugen erprobt werden. Aufgrund der Fülle und Vielfältigkeit der erhobenen Daten konnte IMC sein Datenbank-Software-Tool imcSearch gezielt, sowohl unter funktionalen sowie benutzerspezifischen Gesichtspunkten, weiterentwickeln. Die Projektergebnisse sind bereits in die laufende Entwicklung eingeflossen oder finden in zukünftigen Entwicklungen Berücksichtigung.

Die im Projekt gemachten Erfahrungen fließen bereits in das Dienstleistungsgeschäft von TLK rund um das Thermomanagement von Elektrofahrzeugen ein. Wesentliche Projektergebnisse wurden und werden auf relevanten nationalen Fachtagungen präsentiert. Die erarbeiteten Modelle sowie die Erfahrungen im Bereich des Ladens von E-Fahrzeugen werden ferner in einer aktuell im Hause laufenden Dissertation verwendet. Die hauseigenen Tools zur Datenanalyse und -visualisierung werden basierend auf den Projekterkenntnissen weiterentwickelt und zukünftig vermarktet werden.

Die Ergebnisse aus **Modul 2** werden in Rahmen von internationalen Konferenzen und weitere geplanten Veröffentlichung zur Verfügung gestellt. Damit liefern sie wertvolle Ausgangspunkte für weitere Forschungsarbeiten. Weiterer Forschungsbedarf besteht zu den Themen Kostenreduzierung und Reichweitenverlängerung von Elektrofahrzeugen, insbesondere in Hinblick auf spezielle Ladeinfrastruktur, die eventuell notwendig sein könnte, da dies in **Modul 2** als wesentliche Barrieren der Kauf- und Nutzungsbereitschaft von Elektrofahrzeugen identifiziert wurde. Darüber hinaus sollten zusätzliche Dienstleistungskonzepte und Business-Anwendungen zur besseren Integration von Elektrofahrzeugen in gewerbliche Flotten entwickelt werden, um so den Einstieg für Unternehmen in die Elektromobilität zu erleichtern.

Im Bereich der Infrastrukturplanung und -steuerung bestehen herstellerunabhängige Ladeinfrastrukturplanungswerkzeuge bisher nur in der öffentlichen Anwendung (siehe zum Beispiel Starterset Elektromobilität). Für gewerbliche Flotten gab es bisher nur Herstellerangebote für entsprechende Ladestationen. Eine ganzheitliche Planung unter Berücksichtigung einer abgestimmten Fahrzeug- und Infrastrukturplanung fand bisher ebenfalls nicht statt. Das entwickelte Planungswerkzeug für Lade- und Energieinfrastruktur bietet daher eine ideale Schnittstelle zu dem in **Modul 5** entwickelten Flottenplanungstool. Es ist vorgesehen beide Werkzeuge zusammenzuführen. Weiterhin wird das entwickelte Ladesystem elias im Forschungsprojekt lautlos&einsatzbereit weiterentwickelt.

Die im Projekt durchgeführte LCA wird in Form verschiedener Veröffentlichungen zur Verfügung gestellt. Sie kann damit sowohl Ausgangspunkt weiterer Projekte im Feld der Elektromobilität werden, als auch Herstellern und Betreibern von Flotten als Entscheidungsgrundlage dienen. Hierfür sind zudem zentrale Ergebnisse der LCA als Handlungsempfehlungen formuliert wurden. Die Ergebnisse der LCA unterstreichen die Bedeutung einer detaillierten Modellierung der Nutzungsphase. Insbesondere Nutzerverhalten und klimatische Rahmenbedingungen beeinflussen die Umweltwirkungen stark und entscheiden mit darüber, ob eine E-Fahrzeug im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug ökologisch vorteilhaft betrieben wird. In weiteren Studien sollten daher die Auswirkungen eines steigenden Anteils von erneuerbaren Energien am Gesamtstrommix untersucht sowie weitere Kombinationen und Faktoren hinsichtlich der klimatischen Bedingungen betrachtet werden.

Potentiale für weitere Forschungsarbeiten bietet vor allem die verbesserte Integration von Flotten- und Infrastrukturplanung sowie Flotten- und Infrastruktursteuerung. Seitens IWF, ELE und AIP wurde ausgehend von den Ergebnissen aus dem Projekt Fleets Go Green das Konzept eFlink für die integrierte Flotten- und Ladeinfrastrukturplanung erarbeitet und Folgeprojektanträge initiiert. eFlink nutzt die definierten Schnittstellen der Flotten- und Infrastrukturplanung und ergänzt und vertieft diese um Aspekte

der Flotten- und Infrastruktursteuerung. Zudem bietet die bestehende Entscheidungsunterstützung bereits heute die Möglichkeit, Flottenbetreiber hinsichtlich der Integration von Elektrofahrzeugen in betriebliche Flotten zu beraten. Beispielsweise kommt das Planungswerkzeug im Folgeprojekt „Lautlos & einsatzbereit“ zur Anwendung. Es unterstützt hier bei der Entwicklung eines Leitfadens zur integrierten Planung und Steuerung von Flotten-, Energie- und Ladeinfrastruktur mit dem Schwerpunkt eines ökologischen und ökonomischen Betriebs von Fahrzeugflotten unter Extrembedingungen mit hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugen bei der Landespolizei Niedersachsen.

Ergebnisse des Projekts fließen außerdem in die Lehre der am Projekt beteiligten Institute der Technische Universität Braunschweig ein. Dies umfasst u.a. ingenieurwissenschaftliche Studiengänge und Weiterbildungsmaßnahmen. Außerdem wurden und werden sie auf nationalen Fachtagungen vorgestellt.

## 6. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des BMUB

Für den verstärkten Einsatz von Elektrofahrzeugen im Straßenverkehr spielen gewerbliche Fahrzeuge und Flotten aufgrund der hohen Zulassungszahlen eine entscheidende Rolle. Zugleich entsteht aufgrund der steigenden Kosten für fossile Kraftstoffe und der zunehmenden Forderung und Förderung nachhaltiger Mobilität bei gewerblichen Flottenbetreibern ein verstärktes Interesse am Einsatz von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen. Mit dem Einsatz von Elektrofahrzeugen geht jedoch auch eine Vielzahl an Herausforderungen einher, welche zu einer steigenden Komplexität in der Flottenplanung führen. So müssen bei Elektrofahrzeugflotten im Vergleich zu Flotten mit konventionellen Fahrzeugen unter anderem veränderte Kostenstrukturen, indirekte Umweltwirkungen, Ladezeiten, Reichweiten- und Kapazitätsbeschränkungen oder die Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur berücksichtigt werden. Das Projekt Fleets Go Green liefert wichtige Grundlagen zur weiteren Bearbeitung dieser Herausforderungen und leistet damit einen Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des BMUB. Dazu zählen die Durchführung von Feldversuchen und die Ermittlung realer Energieverbräuche von Elektrofahrzeugen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Randbedingungen. Hiervon ausgehend konnten Handlungsbedarfe zur weiteren Reduktion des Energieverbrauchs aufgezeigt werden.

Die Akzeptanz von Elektromobilität seitens der gewerblichen Nutzer ist oftmals noch zu niedrig und verlangsamt die Verbreitung von Elektrofahrzeugen. Hier wurden im Projekt entsprechende Nutzerbefragungen durchgeführt und geeignete Anreizmechanismen zur Förderung der Nutzung erarbeitet.

Der Zuwachs von Elektrofahrzeugen bedeutet in den nächsten Jahren einen erhöhten Bedarf an bereit-zustellender Energie. Um den Ladestrom der Fahrzeuge vorrangig aus erneuerbaren Energien zur Verfügung zu stellen, werden neue Erzeugungsanlagen benötigt. Die gezielte Integration von lokalen dezentralen Erzeugungsanlagen erhöht den Anteil erneuerbarer Energien am Ladestrom und kann die Energiekosten für den Nutzer reduzieren. Im Rahmen von Fleets Go Green wurden daher Verfahren zum gesteuerten Laden sowie die Kopplung der Elektromobilität an die lokale Erzeugung erneuerbarer Energien erprobt.

Mittels LCA-Untersuchungen wurden verschiedene Fahrzeugtypen und Nutzungsszenarien unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus analysiert und hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen bewertet. Die verschiedenen Teilergebnisse sind abschließend in einem Werkzeug zum ökologisch orientierten Flottenmanagement zusammengeführt worden. Mit der entwickelten Entscheidungsunterstützung wird ein praktikables und am allgemeinen Planungsprozess orientiertes Werkzeug bereitgestellt. Unter integrierter Berücksichtigung der Flottenbestands- und Flotteneinsatzplanung sowie einer lebenszyklusorientierten Sichtweise ermöglicht sie die Planungsunterstützung zur Integration alternativ angetriebener Fahrzeugkonzepte in Unternehmensflotten (Mennenga 2014). Sie leistet damit den wesentlichen Beitrag betriebliche Flotten zukünftig für jeden Einsatzzweck passend zu dimensionieren und einsetzbar zu machen. Die durchgeführten Untersuchungen zum ökologisch orientierten Flottenmanagement der beiden Fahrzeugflotten Werksflotte BS|ENERGY sowie Poolkonzept Technische Universität Braunschweig konnten wichtige Erkenntnisse hinsichtlich kritischer Einflussfaktoren generieren. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, weitere Untersuchungen durchzuführen und damit bereits bestehendes Erfahrungswissen weiter auszubauen. Die Möglichkeit zur Abbildung der spezifischen Entscheidungssituation eines Flottenplaners ist hierbei Grundvoraussetzung.

## 7. Literaturverzeichnis

- (Del Duce et al. 2013) Del Duce, Andrea; Egede, Patricia; Öhlschläger, Gerlind; Dettmer, Tina; Althaus, Hans-Jörg; Bütler, Thomas; Szczechowicz, Eva (2013): Guidelines for the LCA of electric vehicles, online verfügbar unter: [http://www.elcar-project.eu/fileadmin/dokumente/Guideline\\_versions/eLCAr\\_guidelines.pdf](http://www.elcar-project.eu/fileadmin/dokumente/Guideline_versions/eLCAr_guidelines.pdf), zuletzt abgerufen am: 14.02.2017.
- (Franke und Krems 2013) Franke, T. & Krems, J.F. (2013). Understanding charging behavior of electric vehicle users. *Transportation Research Part F*, 75-89.
- (Geringer und Tober 2012) Geringer, Bernhard; Tober Werner K. (2012): Batterieelektrische Fahrzeuge in der Praxis, Kosten, Reichweite, Umwelt, Komfort, (2. erweiterte und korrigierte Auflage), Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK).
- (Gnann et al. 2011) Gnann, T., Plötz, P. & Haag, M. (2011). What is the future of public charging infrastructure for electric vehicles? – A techno-economic assessment of public charging points for Germany. *EGEEE Summer Study Proceedings*, 1049-1060.
- (Herry et al. 2008) Herry, M., Steinacher, I. & Tomschy, R. (2008). Mobilität in Niederösterreich – Ergebnisse der landesweiten Mobilitätsbefragung 2008. Ergebnisbericht, Amt der NÖ Landesregierung, Wien, 1-88.
- (Inderwisch 2015) Inderwisch, Kathrin. 2015. Verlostermittlung in Fahrzeuggetrieben. Dissertation. Schriftenreihe des Instituts für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Braunschweig. Shaker, Aachen
- (Jugert und Fischer 2014) Jugert, René; Fischer, Hinnerk (2014): Fahrgastraumkonditionierung von Elektrofahrzeugen in Winterlastfällen. 3. VDI-Fachkonferenz Thermomanagement für elektromotorisch angetriebene PKW. Manching bei Ingolstadt, 5.-6. November 2014
- (KBA 2014) Kraftfahrtbundesamt (KBA). Pressemitteilung Nr. 19/2014 - Fahrzeugzulassungen im Juni 2014. [http://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2011\\_2015/2014/Fahrzeugzulassungen/pm19\\_2014\\_n\\_06\\_14\\_komplett.html](http://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2011_2015/2014/Fahrzeugzulassungen/pm19_2014_n_06_14_komplett.html), zuletzt abgerufen am: 14.02.2017.
- (Kurani et al. 2008) Kurani, K.S., Heffner, R.R. & Turrentine, T. (2008). Driving Plug-In Hybrid Electric Vehicles. Reports from U.S. Drivers of HEVs converted to PHEVs, circa 2006-07. Institute of Transportation Studies UC Davis, 1-32.
- (Langstrecken-Elektromobilität 2015) Innovationen für eine nachhaltige Mobilität, Elektromobilität: Alltagstauglichkeit von Elektromobilität - Langstreckeneignung und -akzeptanz: Langstrecken-Elektromobilität (LEM): Schlussbericht: Berichtszeitraum: 01.03.2012-31.12.2014
- (Sourkounis 2015) Sourkounis, Constantinos / Ruhr-Universität Bochum von [Ruhr-Universität Bochum], Bochum; 2015
- (Litzlbauer und Leitinger 2012) Litzlbauer, M. & Leitinger, C. (2012). Systemtechnische Einbindung von Elektromobilität unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens. *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 128-133.
- (Matthies et al. 2010) Matthies, G., Stricker, K. & Traenckner, J. (2010). Zum E-Auto gibt es keine Alternative. White Paper, 1-20.
- (MENNEKES Elektrotechnik GmbH & Co.KG, 2017) MENNEKES Elektrotechnik GmbH & Co.KG. (2017). Charge up your Day - Mennekes. <https://www.chargeupyourday.de/>
- (Milaković et al. 2016) Milaković, Srđan, Wiedemann, Jochen, Haug, Joachim, Hartinger, Markus, Maué, Jürgen und Rothfuss, Jörg (2016): Holistic thermal management in electric vehicles. 16th Stuttgart International Symposium. Stuttgart
- (Mummel et al. 2013a) Mummel, J., Diekmann, S., Engel, B., & Kurrat, M. (2013). IKT-Anbindung für gesteuertes Laden unter Berücksichtigung von Last- und Erzeugungskapazitäten. VDE Kongress, Frankfurt.

- (Mummel et al. 2013b) Mummel, J., Karges, U., & Kurrat, M. (2013). Analyse der Netzurückwirkungen von diversifizierten Fahrzeugflotten. ETG Kongress, Berlin.
- (Mummel et al. 2014) Mummel, J., Soleymani, L. R., und Kurrat, M. (2014). Ladesteuerungskonzepte für Elektrofahrzeugflotten zur Weiterentwicklung der Verteilnetze. NEIS Konferenz, Hamburg.
- (Mummel et al. 2016) Mummel, J., Stocklossa, T., Wijtenburg, J. W., & Kurrat, M. (2016). Beitrag dezentraler Erzeugungseinheiten zum nachhaltigen und wirtschaftlichen Betrieb von Elektrofahrzeugflotten. 14. Symposium Energieinnovation, Graz.
- (Papendick et al. 2011) Papendick, K., Brennecke, U., Máquez, J.S.S. & Deml, B. (2011): Nutzerverhalten beim Laden von Elektrofahrzeugen. Forschung und Innovation–Magdeburg, Kongress: Magdeburger Maschinenbau-Tage, 1-9.
- (Rolim et al. 2012) Rolim, C.C., Gonçalves, G.N., Farias, T.L. & Rodrigues, O. (2012). Impacts of electric vehicle adoption on driver behavior and environmental performance. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 1-10.
- (Seidel und Küçükay 2015) Seidel, Tim und Küçükay, Ferit. 2015. Practice-oriented determination of transmission efficiency. CTI Symposium USA. Novi
- (Smarten GmbH, 2017) Smarten GmbH. (19. 02 2017). Smarten - Wir machen Strom sichtbar! <http://www.smarten.de/>.
- (Suck und Spengler 2014) Suck, Dr.-Ing. Gerrit und Spengler, Dr.-Ing. Carsten (2014): Lösungen für das Wärmemanagement von Batteriefahrzeugen. ATZ. Band 116, Ausgabe 7./8
- (TLK 2016) TLK-Thermo GmbH. 2016. [www.tlk-thermo.com](http://www.tlk-thermo.com). <https://www.tlk-thermo.com/index.php/en/software-products/tisc-suite>. (zugegriffen: 25.11.2016)
- (WVI et al. 2012): Wermuth, Manfred; Neef, Christian; Wirth, Rainer; et al. (2012): Erhebung zum motorisierten Wirtschaftsverkehr in Deutschland 2009/2010. Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010). Schlussbericht. WVI, IVT, DLR, KBA. Braunschweig, 2012. Online verfügbar unter: <http://daten.clearingstelle-verkehr.de/240/9/KiD2010-Schlussbericht.pdf>, zuletzt abgerufen am: 14.02.2017.