Abschlussbericht zum Verbundvorhaben

Steigerung der Effektivität und Effizienz der Applikationen Wind-to-Vehicle (W2V) sowie Vehicle-to-Grid (V2G) inklusive Ladeinfrastruktur

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

Hamburg, Oktober 2011

Kurztitel: Gesteuertes Laden V2.0

Gefördert durch das:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Projektpartner: Vattenfall Europe Innovation GmbH, Hamburg
Bayerische Motoren Werke AG, München
Technische Universität Berlin, Berlin
Technische Universität Chemnitz, Chemnitz
Technische Universität Ilmenau, Ilmenau

Erneuerbar mobil

Projektlaufzeit: 01.05.2010 – 30.09.2011

Gesteuertes Laden V2.0

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

Gesteuertes Laden V2.0

Gemeinsamer Abschlussbericht	
Vorhabensbezeichnung Verbundprojekt: Steigerung der Effektivität und Effizienz der Applikationen Wind-to-Vehicle (W2V) sowie Vehicle-to-Grid (V2G) inklusive Ladeinfrastruktur Gesteuertes Laden V2.0	
Laufzeit des Vorhabens 01.05.2010 – 30.09.2011	
Berichtszeitraum 01.05.2010 – 30.09.2011	
Berichtszeitpunkt 31.10.2011	
Zuwendungsempfänger	**Förderkennzeichen**
Vattenfall Europe Innovation GmbH	16EM0071
Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft	16EM0073
Technische Universität Berlin	16EM0074
Technische Universität Chemnitz	16EM0072
Technische Universität Ilmenau	16EM0075

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 3

Abbildungsverzeichnis 11

Tabellenverzeichnis 23

1 Management Summary „Gesteuertes Laden V2.0“ 27

2 Zielsetzung des Verbundprojektes 36

2.1 Gesamtziel des Verbundes 36

2.2 Aufgaben der einzelnen Partner 40

2.2.1 BMW 40

2.2.2 Vattenfall 41

2.2.3 TU Ilmenau 41

2.2.4 TU Berlin 42

2.2.5 TU Chemnitz 42

2.2.6 Planung und Ablauf des Vorhabens 43

3 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan 51

3.1 Abweichungen Teilprojekt 1 51

3.2 Abweichungen Teilprojekt 2 53

3.3 Abweichungen Teilprojekt 3 54

3.4 Abweichungen Teilprojekt 4 56

3.5 Abweichungen Teilprojekt 5 57

4 Ausführliche Darstellung der einzelnen Ergebnisse des Verbundprojektes 60

4.1 Teilprojekt 1: Wind-to-Vehicle-to-Grid 60

4.1.1 Management Summary 60

4.1.2 Deliverable 1.1: System-Analyse W2V2G und Evaluierungskonzept 70

4.1.3 Deliverable 1.2: W2V-Applikation V2.0 138

4.1.4 Deliverable 1.3: V2G Applikation V2.0 148

4.1.5 Deliverable 1.4: Lokales Lastmanagement mit Prioritätsregeln 184

4.2 Teilprojekt 2: Nutzerfreundlichkeit 206

4.2.1 Management Summary 206

4.2.2 Deliverable 2.1: Nutzeranforderungen und -akzeptanz 209

4.2.3 Deliverable 2.2: Mehrwertdienst Ladekonzept 262

4.3 Teilprojekt 3 – Ladestation V2. 314

4.3.1 Management Summary 314

4.3.2 Deliverable 3.1: Funktionales Lastenheft und Blaupausen für die Ladeinfrastruktur V2.0 322

4.3.3 Deliverable 3.2: Testkonzept und Evaluation 347

4.3.4 Deliverable 3.3: Produktion und Roll-out 398

4.4 Teilprojekt 4: Aufbau Integrationsplattform 416

4.4.1 Management Summary 416

4.4.2 Deliverable 4.1: Integrationsplattform Basisapplikationen 417

4.4.3 Deliverable 4.2: Anbindung der eMobility Teilsysteme 440

4.4.4 Deliverable 4.3: Zentrale Authentifizierung und Identitätsmanagement (AAA) 468

4.4.5 Deliverable 4.4: Evaluierung der Anwendung 492

4.5 Teilprojekt 5: Probebetrieb 526

4.5.1 Management Summary 526

4.5.2 Deliverable 5.1: Lagezentrum 532

4.5.3 Deliverable 5.2: Systemintegration und End-to-End-Test 538

4.5.4 Deliverable 5.3: Betrieb Ladeinfrastruktur, Fahrzeuge und Integrationsplattform 549

4.5.5 Deliverable 5.4: Evaluierung (Akzeptanz, Betrieb) 591

5 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik 638

5.1 Wissenschaftlich-technische Ausgangsbasis 638

5.2 Projekte zur Elektromobilität in Deutschland 645

5.3 Vergleich der Projektergebnisse zum Stand der Technik 646

5.4 Stand der Technik und Forschung 647

5.4.1 Ladeinfrastruktur/Ladekonzepte 647

5.4.2 Netzregulierung 652

5.4.3 Energiekonzepte / Speichertechnolgien / Smart Grid 654

5.4.4 Zukunft der Elektromobilität 667

5.4.5 Nutzereinstellung zur Elektromobilität 677

5.4.6 Pilotprojekte 681

6 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf 686

6.1 Forschungsergebnisse der ROADMAP 100%: 686

6.1.1 Markt und Nutzer (Grünstromladen) 689

6.1.2 AAA (Alternative Verfahren zu Identifikation Authentisierung und Abrechnung) 705

6.1.3 Kommunikation (Alternative Verfahren zur Kommunikation zwischen Ladeinfrastruktur, Backend und E-Fahrzeug) 709

6.1.4 Energie und Laden (Alternative Ladetechniken) 723

6.1.5 Industriedesign (Integrationsgrad, Hardware-Optimierung) 727

6.2 Fazit weiterer F&E Bedarf und Ausblick auf Folgeprojekte 732

6.2.1 Wo können die Entwicklungen eingesetzt werden? 732

6.2.2 Wo und wie können die Entwicklungen weiterentwickelt werden? 733

6.2.3 Fazit und Ausblick auf Folgeprojekte 733

7 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 737

8 Glossar 741

9 Literaturverzeichnis 747

Verbundpartner 757

Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
AAA	Authentication, Authorization, Accounting (Netzwerkdienst zum Erkennen von Benutzern, Vergabe von Rechten und Abrechnung von Leistungen)
AC	Alternating current (Wechselstrom)
AP	Arbeitspaket
ASB	Autostrom-Box, auch Ladebox oder Wallbox
ASS	Autostrom-Station
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BEV	Battery Electric Vehicle (Batterieelektrisches Fahrzeug)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMW AG	Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CEE	
CO_2	Kohlenstoffdioxid
ct	Cent
D	Deliverable
DC	Direct Current (Gleichstrom)
dena	Deutsche Energie-Agentur
DSO	Distribution System Operator (Verteilnetzbetreiber)
DSM	Demand Side Management
eE	Erneuerbare Energien

EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EMS	Elektromobilitätssystem
EV	Electric Vehicle (Elektrofahrzeug)
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FI	Fehlerstromschalter
FuE	Forschung und Entwicklung
GGEMO	Gemeinsame Geschäftsstelle der Bundesregierung
GL	Gesteuertes Laden
GL V2.0	Gesteuertes Laden Version 2.0
GSM	Global System for Mobile Communications
GWh	Gigawattstunde
h	Stunde
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetz
HT	Hochleistungstarif
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
ISO	International Organization for Standardization
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kWh	Kilowattstunde
LI	Ladeinfrastruktur
LLM	Lokales Lastmanagement
LP	Ladepunkt
LS	Ladesäule
mA	Milliampere
MUC	Multi Utility Controller

MW	Mittelwert
MWh	Megawattstunde
MR	Minutenreserve
NDL	Netzdienstleistung
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
NT	Niedrigleistungstarif
OEM	Original Equipment Manufacturer (hier: Fahrzeughersteller)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
Pkw	Personenkraftwagen
PLC	Powerline Communication
REV	Elektrofahrzeug mit Range Extender
RFID	Radio-Frequency Identification
SLP	Standardlastprofil
TN	Teilnehmer
TP	Teilprojekt
TSO	Transmission System Operator (Übertragungsnetzbetreiber)
TU	Technische Universität
TUB	Technische Universität Berlin
TUC	Technische Universität Chemnitz
TUI	Technische Universität Ilmenau
V2G	Vehicle-to-Grid
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.

VE	Vattenfall Europe
VMZP	Virtuelle mobile Zählpunkte
VPN	Virtual Private Network
W2V	Wind-to-Vehicle
W2V2G	Wind-to-Vehicle-to-Grid
WWF	World Wide Fund for Nature
xEV	Sammelbegriff für BEV, REV, PHEV
XML	Extended Mark-up Language (Auszeichnungssprache zur Darstellung hierarchisch strukturierter Daten in Form von Textdaten)
ZP	Zählpunkt

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Windintegration und Netzstabilisierung durch Gesteuertes Laden 36

Abbildung 2: Strategische Projektziele 38

Abbildung 3: Eckdaten Förderprojekt Gesteuertes Laden V2.0 43

Abbildung 4: Projektstrukturplan Gesteuertes Laden V2.0 44

Abbildung 5: Organisationsstruktur Gesteuertes Laden V2.0 45

Abbildung 6: Vorgehen im Agilen Verfahren 49

Abbildung 7: Struktur der Instanzen im Agilen Verfahren 49

Abbildung 8: Systemkontext im TP1 62

Abbildung 9: Vorgehensmodell 76

Abbildung 10: Systemgrenzen der Simulation 77

Abbildung 11: Systemgewichtung von EEG-Anlagen und Elektrofahrzeugen in Deutschland (eigene Darstellung) 80

Abbildung 12: Übersicht Modelle 81

Abbildung 13: Übersicht allgemeines Modell eines EV zur Integration in eine Zeitreihensimulation zur Untersuchung verschiedener Methoden zur Beladung der Fahrzeuge mittels stationärer Netzberechnung 82

Abbildung 14: Gemessener und gerechneter Ladevorgangs eines BMW ActiveE 84

Abbildung 15: Zeitreihensimulation A (PowerFlowTimeSeries Toolbox GS2.0 Edition (PFTS Toolbox GE) 85

Abbildung 16: Zeitreihensimulation B (Fast W2VImpact Analysis (FW2VA)) 86

Abbildung 17: Modellnetz 1 87

Abbildung 18: Modellnetz 2 87

Abbildung 19: Modellnetz Vattenfall 3 88

Abbildung 20: Modell zur Ermittlung des CO_2-Emissionsfaktors 90

Abbildung 21: Strompreiszusammensetzung 2010 92

Abbildung 22: Merrit-Order-Kurve 93

Abbildung 23: Modell zur Ermittlung von Stromhandelspreisen 94

Abbildung 24: Model zu Elektro-Fahrzeugen als Anbieter von Regelleistung 97

Abbildung 25: Model zur Netzausbaubewertung 98

Abbildung 26: Schematischer Zusammenhang der Module des verteilten Simulationsmodells zur Verkehrssimulation und gesteuertem Laden 99

Abbildung 27: Geographische Verteilung der 3 Lupennetze (Neues Stromnetz, erneutes Stromnetz und altes Stromnetz) in der verwendeten Simulationstopologie der Hauptstadtregion Berlin 101

Abbildung 28: Wirkungsweise von Vermeidung von Drosselung von EEG-Anlagen durch Gesteuertes Laden 110

Abbildung 29: Häufigkeit Auftreten §13 Maßnahmen je Stunde eines Tages und Verfügbarkeit der Elektrofahrzeuge 116

Abbildung 30: Wirkungsweise zur Reduzierung der vorzuhaltenden fossilen Kraftwerksleistung durch Gesteuertes Laden in einem Erzeugerpark ohne überschüssigen Windstrom 117

Abbildung 31: Geordnete Erzeugerkurve gesteuert und ungesteuert für die Szenarien 2020 und 2030 118

Abbildung 32: CO2-Emissionen durch gesteuertes und ungesteuertes Laden 120

Abbildung 33: Spezifische CO_2-Emissionen gesteuert und ungesteuert 120

Abbildung 34: Spezifische CO_2-Emissionen der Fahrzeuge nach verschiedenen spezifischen Energieverbräuchen 121

Abbildung 35: Aufgenommene Menge Windenergie 124

Abbildung 36: Vergleich erhöhte Verfügbarkeit Fahrzeuge für W2V-Performance 125

Abbildung 37: Vergleich erhöhte Verfügbarkeit Fahrzeuge für CO_2-Emissionen 125

Abbildung 38: Grünstromanteil an den netzbezogenen Gesamtladungen 128

Abbildung 39: Gesamtenergiebezug für das Simulationsszenario 2020, Arbeitsplatz.. 130

Abbildung 40: Effekt von W2V2G auf die Mobilität der Fahrzeuge im Jahr 2020 132

Abbildung 41: Bewertung Maßnahmen und Aussagenübersicht finanzielle Anreize 135

Abbildung 42: Aussagenübersicht Verbesserung der Technik und Ausbau der Infrastruktur 136

Abbildung 43: Ziele und von den zu W2V2G-befragten EV Nutzern erwartete Konsequenzen 137

Abbildung 44: Überblick W2V-Applikation 139

Abbildung 45: Vorgehen D1.2: W2V-Applikation mit AP-Zuordnungen 141

Abbildung 46: Berechnung der windoptimierten W2V Zielfunktion 142

Abbildung 47: Zeitverlauf der Funktionen des Gesteuerten Ladens 144

Abbildung 48: Messungen des zeitlichen Verlaufs der Ladefunktionen 145

Abbildung 49: Verhandlungsprozess für Ladehüllkurve und -befehl 146

Abbildung 50: Technische Realisierung der Kommunikation 147

Abbildung 51: Durchschnittliche Windausnutzung des Fahrzeuges bei mäßigem Wind 153

Abbildung 52: Durchschnittliche Windausnutzung des Fahrzeuges bei starkem Wind 155

Abbildung 53: Mögliche Ansätze für Primärregelung (links) sowie Sekundär- und Tertiärregelung (rechts) 157

Abbildung 54: Einfluss Ansteckverhalten auf verfügbare Regelleistung 158

Abbildung 55: Erforderliche Fahrzeuganzahl für Systemdienstleistungen 159

Abbildung 56: Möglicher Erlöse für Sekundärregelung am Beispiel der Nutzer aus dem Probebetrieb von MINI E Berlin 1.0 161

Abbildung 57: Mögliche Erlöse aus der aktiven Teilnahme am Energiehandel bei gesteuertem W2V2G (Arbitrage aus Strompreisschwankungen) 162

Abbildung 58: Einfluss der Rückspeisung auf die Lebensdauer der Fahrzeugbatterie 163

Abbildung 59: Eingangs- und Ausgangsgrößen der W2V2G-Applikation zur Simulation des Lade- und Entladeverhaltens der Fahrzeuge 168

Abbildung 60: Das W2V2G-System berücksichtigt bei der Ladeplanung die Nutzervorgaben und integriert die Planung in den Tagesablauf des Nutzers 169

Abbildung 61: Der W2V Algorithmus stellt die Mobilitätsgarantie auf Grundlage der Nutzervorgaben sicher und optimiert diese hinsichtlich der netzseitigen Zielfunktion 170

Abbildung 62: Der V2G Algorithmus verbessert die Energiebilanz eines Fahrzeuges durch Einplanung von Rückspeiseintervallen 171

Abbildung 63: Planungsergebnis am Beispiel einer gegebenen Zielfunktion 172

Abbildung 64: Architektur des verteilten W2V2G-Softwaresystems im Detail 174

Abbildung 65: Unterschiedliche Aspekte des V2G-Ladeassistenten: von links nach rechts: Home Screen, Kalender mit Tagesplan, Einstellungen, Fahrzeugdetails und -Einstellungen, Ladehistorie und Ladestationssuche 177

Abbildung 66: Leistungsfluss für das Auf- und Entladen von Elektro-Fahrzeugen 181

Abbildung 67: Aufbau der V2G-Ladestationen 183

Abbildung 68: Modellnetze für die Simulation und für reale Messungen 186

Abbildung 69: Übersicht Standort Referenznetze 187

Abbildung 70: Referenznetz 10xx 187

Abbildung 71: Straßenansicht Referenznetz 10xx 188

Abbildung 72: Referenznetz 20xx 189

Abbildung 73: Straßenansicht Referenznetz 20xx 189

Abbildung 74: Referenznetz 30xx 190

Abbildung 75: Straßenansicht Referenznetz 30xx 190

Abbildung 76: Gegenüberstellung LLM und ÖLM 192

Abbildung 77: Funktionaler Nutzen LLM (schematisch) 193

Abbildung 78: Funktionaler Nutzen LLM (Beispiel) 195

Abbildung 79: Wirtschaftlicher Nutzen LLM (Beispiel) 196

Abbildung 80: Funktionaler Nutzen ÖLM (schematisch) 198

Abbildung 81: Funktionaler Nutzen ÖLM (Beispiel) 199

Abbildung 82: Wirtschaftlicher Nutzen ÖLM 202

Abbildung 83: Zusammenwirken von LLM und ÖLM 203

Abbildung 84: Beispielhafte Implementierung ÖLM 204

Abbildung 85: Ergebnisse der Heuristischen Evaluation nach Usability-Kriterien und Schweregrad 250

Abbildung 86: Ablauf der Usability-Tests 251

Abbildung 87: Interesse der Teilnehmer an den Projektthemen 252

Abbildung 88: Effektivität und Effizienz des Ladeassistenten 254

Abbildung 89: Effizienz des Ladeassistenten 255

Abbildung 90: Ergebnisse der van der Laan-Skala 256

Abbildung 91: Ergebnisse des Fragebogens AttrakDiff 256

Abbildung 92: Ergebnisse des Fragebogens ISO-Norm 9241-10 257

Abbildung 93: Detaillierte Ergebnisse zur Selbstbeschreibungsfähigkeit nach ISO 9241/10 258

Abbildung 94: Detaillierte Ergebnisse zur Fehlertoleranz nach ISO 9241-10 258

Abbildung 95: Anteil der Versuchspersonen mit Verständnisschwierigkeiten nach Symbolen 260

Abbildung 96: Darstellung Projektschritte zur Entwicklung des Ladeassistenten 265

Abbildung 97: Designvorschlag zum grafischen Userinterface für den Ladeassistent . 266

Abbildung 98: Punktesystem W2V-Erfolg Tabelle 4: Punktesystem Abweichung von der Abfahrtszeit 281

Abbildung 99: Zeitlicher Ablauf D3.1 325

Abbildung 100: Vorgehen im Agilen Verfahren 327

Abbildung 101: Übersicht internationale Normenlandschaft 329

Abbildung 102: Optimale Standorte für öffentliche Ladestationen 331

Abbildung 103: Bewertung der Anwendungsbereiche 336

Abbildung 104: Zweite Blaupause 339

Abbildung 105: Funktionales Lastenheft (Anforderungen der Nutzer)..... 344

Abbildung 106: Darstellung des Verhandlungsprozesses 346

Abbildung 107: Schematischer Aufbau des Testsystems..... 352

Abbildung 108: Mitarbeiterin beim Testen der Systeme in der Prinzregentenstraße in Berlin..... 355

Abbildung 109: FAT-Ergebnisse in Singapur – visuelle Untersuchung 356

Abbildung 110: FAT-Ergebnisse in Singapur – funktionale Prüfung als Master 357

Abbildung 111: FAT-Ergebnisse in Singapur – funktionale Prüfung als Satelliten 357

Abbildung 112: Lieferant 3-Mitarbeiter bei der Fehlerbehebung in der Prinzregentenstraße in Berlin 359

Abbildung 113: Auszug aus der Testprozedur z.B. für die Inbetriebnahme..... 359

Abbildung 114: Auszug aus der Testprozedur z.B. für die Inbetriebnahme..... 360

Abbildung 115: Auszug aus der Testprozedur z.B. für die Inbetriebnahme..... 361

Abbildung 116: Authentifizierungsvariante mit RFID-Karte..... 366

Abbildung 117: Authentifizierungsvariante mit PLC-Kommunikation..... 367

Abbildung 118: Authentifizierungsvariante mit GSM-Kommunikation..... 368

Abbildung 119: Vattenfall Ladestation Lieferant 4. 371

Abbildung 120: Vattenfall Ladestation Lieferant 1. 371

Abbildung 121: Nutzerdialoge der Ladestationen des Lieferanten 4 und Lieferanten 1. 375

Abbildung 122: Neuerungen des Nutzerdialoges der Ladesäule des Herstellers 1..... 377

Abbildung 123: Abschließender Vergleich der Ladesäule des Herstellers 2 und Ladesäule des Herstellers 1: Anzahl der Erstplatzierungen bei der Expertenevaluation. 381

Abbildung 124: Nutzerdialog der Wallbox des dritten Lieferanten. 384

Abbildung 125: Abschließender Vergleich der Ladestationen: Anzahl der Erstplatzierungen bei den Nutzertests. 395
Abbildung 126: Fertigung des Systems des dritten Lieferanten 403
Abbildung 127: Wallbox GL V2.0 des Herstellers 6 406
Abbildung 128: Elektrischer Aufbau der Verkabelung des Testaufbaus 406
Abbildung 129: Test-Standort Prinzregentenstraße in Berlin 407
Abbildung 130: Fertiges System in der endgültigen Ausführung, sowohl als Master als auch als Satellit einsetzbar. 408
Abbildung 131: Authentifizierungsvariante mit RFID-Karte 409
Abbildung 132: Authentifizierungsvariante mit PLC-Kommunikation 409
Abbildung 133: Authentifizierungsvariante mit GSM-Kommunikation 410
Abbildung 134: V2.x-System mit veränderter Montage der Komponenten und in Sandwichbauweise integriertes und über die über software durchstimmbares CP-Modul (im Bild rot umrandet). 411
Abbildung 135: Erste Tests von Komponenten aus dem V2.x-System in Singapur. 411
Abbildung 136: Use Cases Integrationsplattform 423
Abbildung 137: Use Cases LLM 425
Abbildung 138: Use Cases Ladeinfrastruktur 425
Abbildung 139: Use Cases Leitwarte 426
Abbildung 140: Integrationsplattform 428
Abbildung 141: Lagezentrum-Webseite: Jobliste 429
Abbildung 142: Lagezentrum-Webseite: Details 430
Abbildung 143: Webseite Lagezentrum: Download 431
Abbildung 144: Softwarearchitektur 432
Abbildung 145: Übertragung des "Payloads" via BMW-Charge-Protokoll 435
Abbildung 146: Zonenmodell 444

Abbildung 147: VPN-Tunnel IPsec 448

Abbildung 148: Webservice-Schnittstelle via SSL Verschlüsselung und User Authentifizierung 448

Abbildung 149: Transparente IP-Kommunikation 449

Abbildung 150: Startseite Green-eMobility-Webseite 452

Abbildung 151: Smartphone: Startseite 453

Abbildung 152: Green-eMobility-Webseite Status 453

Abbildung 153: Smartphone: Status 454

Abbildung 154: Green-eMobility-Webseite: Regeleinstellung 455

Abbildung 155: Smartphone: Regeleinstellung 456

Abbildung 156: Green-eMobility-Webseite: Abweichungen 457

Abbildung 157: Green-eMobility-Webseite: Sofortladen 458

Abbildung 158: Smartphone: Sofortladen 459

Abbildung 159: Green-eMobility-Webseite: Verbrauch 460

Abbildung 160: Smartphone: Verbrauch 461

Abbildung 161: Schnittstellen VE-Integrationsplattform 464

Abbildung 162:Schaubild Infrastruktur / Detaildarstellung IP-Kommunikation 467

Abbildung 163 Anwendungsfalldiagramm 472

Abbildung 164 Zählpunkt erzeugen 474

Abbildung 165: Ladevorgangs-Datensatz übertragen 475

Abbildung 166 Endkunden-Abrechnung durchführen 476

Abbildung 167 Dienstleistung bzw. Netznutzung verrechnen 477

Abbildung 168: Ladevorgang empfangen 478

Abbildung 169 Ladevorgang senden 479

Abbildung 170 Neukunde Autostrom anlegen 481

Abbildung 171 Autostrom anlegen 481

Abbildung 172 Kombination der oben aufgeführten vertraglichen Lösungen und Beispiele 483

Abbildung 173: Vertragsbeziehung zwischen LSB, Netz, Vertrieb 486

Abbildung 174 Vertragsbeziehung bei Betrieb der Ladeinfrastruktur durch den Verteilnetzbetreiber 487

Abbildung 175 Abrechnung des Verbrauchs aller Ladesäulen je Vertrieb 488

Abbildung 176 Vergleich der unterschiedlichen Vertragsvarianten 488

Abbildung 177: Objekte Geschäftsebene 495

Abbildung 178: Technische Ebene EVU 496

Abbildung 179: Prozesslandkarte 497

Abbildung 180: Ladevorgang 499

Abbildung 181: Anmeldevarianten 502

Abbildung 182: Be- und Entladeprogramm 503

Abbildung 183: Prämissen für die Berechnung der Ladekurve 503

Abbildung 184: Ladeprogramm (Detail: Verhandlungsprozess Energieangebot) 505

Abbildung 185: Änderungen berücksichtigen 506

Abbildung 186: Kunde/EV Änderungswunsch (Detail) 507

Abbildung 187: EVU Änderungswunsch (Detail) 507

Abbildung 188: Abgestimmte Systemarchitektur 509

Abbildung 189: Modulare Systemarchitektur VE mit zentralem Backend 510

Abbildung 190: Dezentrale Systemarchitektur für V2G TU Berlin 511

Abbildung 191: Automatisierte Reports – Filterauswahl 519

Abbildung 192: Reportbeispiel aus Nutzersicht: Energieabsatz und Ladevorgänge je Nutzer 520

Abbildung 193: Reportbeispiel aus Nutzersicht: Energieabsatz und Ladevorgänge – Gesamt 521

Abbildung 194: Reportbeispiel aus Sicht der Ladeinfrastruktur: Energieabsatz und Ladevorgänge je Standort 522

Abbildung 195: Reportbeispiel aus Sicht der Ladeinfrastruktur: Anteil angeschlossener Fahrzeuge 523

Abbildung 196: Reportbeispiel aus Sicht der Ladeinfrastruktur: Status und Auslastung 524

Abbildung 197: Downloads – Filterauswahl 525

Abbildung 198 Ausschnitt Systemlandschaft Integrationsplattform 542

Abbildung 199 Testaufbau Systemtest in Hamburg 545

Abbildung 200: Auszug aus der Use Case Liste für den Probebetrieb 553

Abbildung 201: Auszug technische Use Cases erweiterter Probebetrieb 554

Abbildung 202: Testfeld Prinzregentenstraße in Berlin mit verschiedenen Elektrofahrzeugen 555

Abbildung 203: Ladevorgangsvarianten im Mode 3 556

Abbildung 204: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus technischer Probebetrieb 557

Abbildung 205: Beispiel eines Prüfprotokolls für die Versuche im Gesteuerten Laden 560

Abbildung 206: Geplante Testfälle 563

Abbildung 207: Alternative Testszenarien 566

Abbildung 208: Zuteilung der Fahrzeuge auf die Standorte 566

Abbildung 209: Wind-to-Vehicle (W2V) Testplan - Auszug 571

Abbildung 210: Komplexität der Softwaresysteme im Gesteuerten Laden 572

Abbildung 211: V2G-fähige Ladestation und MINI E im Freilandlabor 574

Abbildung 212: Von den Testnutzern auszuführende Anwendungsfälle 579

Abbildung 213: Platzierung Messstellen anhand des Netzplanes 585

Abbildung 214: Platzierung der Messboxen 586

Abbildung 215: Wirkleistungsverlauf für Transformatoreinspeisung am 06.09.11 587

Abbildung 216: Vergleich des unGesteuerten Ladens mit den Applikationen W2V MINI E und W2V GL V2.0; Quelle: Dr. Michael Agsten (TU Ilmenau), Promotion..... 590

Abbildung 217: Design Evaluierung Probebetrieb BMW ActiveE. 596

Abbildung 218: Ablauf Evaluierung Probebetrieb V2G-MINI E. 599

Abbildung 219: Erlebte Schwierigkeit und erlebter Aufwand der Aufgaben..... 607

Abbildung 220: Integration des Gesteuerten Ladens in den Alltag. 612

Abbildung 221: Zeiten, zu denen das Gesteuerte Laden Probleme bereiten könnte. .. 613

Abbildung 222: Einschätzung des Aufwands für die Planung der täglichen Fahrten.... 614

Abbildung 223: Anstecken des Fahrzeugs bei Nichtgebrauch an die Ladestation. 615

Abbildung 224: Bedingungen zur Nutzung des Gesteuerten Ladens. 615

Abbildung 225: Einstellungen gegenüber dem Gesteuerten Laden. 617

Abbildung 226: Einfluss des Gesteuerten Ladens auf den Umgang mit dem Elektrofahrzeug..... 618

Abbildung 227: Zuverlässigkeit und Vertrauen in das Gesteuerte Laden. 619

Abbildung 228: Benutzerfreundlichkeit des Gesteuerten Ladens anhand der ISO Gestaltungsgrundsätze. 620

Abbildung 229: Bewertung unterschiedlicher Steuerungsmöglichkeiten für das Gesteuerte Laden. 621

Abbildung 230: Mögliche Barrieren für die Nutzung des Gesteuerten Ladens. 622

Abbildung 231: Anreize zum Gesteuerten Laden mit höchster Zustimmung. 624

Abbildung 232: Anreize zum Gesteuerten Laden – Vergleich zwischen Vor- und Nachbefragung. 626

Abbildung 233: Bewertung der Anreize zum Gesteuerten Laden nach Maßnahmengruppen. 627

Abbildung 234: Ladeassistent: Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit..... 628

Abbildung 235: Wegzwecke für MINI E-Nutzung aus dem Wegetagebuch. 632

Abbildung 236: Durchschnittliche Motivationsanteile der Teilnehmer für unterschiedliche Gründe das Fahrzeug anzustecken..... 634

Abbildung 237: Überblick über die Historie der Elektromobilität bei der BMW AG 641

Abbildung 238: Strukturierung der „Roadmap 100%“ in Themen-Streams 687

Abbildung 239: Ziele, Inhalte, Aufgaben der Streams 687

Abbildung 240: Übersicht der Anwendungsfälle 696

Abbildung 241: Zusammenfassung der einzelnen Themenfeldbewertungen durch OEM und Stromvertrieb 698

Abbildung 242: Standorte Erzeugungsanlagen: Inland vs. Ausland 698

Abbildung 243: Ownership Erzeugungsanlagen: Zukauf vs. Eigenerzeugung 699

Abbildung 244: Alte Erzeugungsanlagen: Altanlagen vs. Neuanlagen..... 700

Abbildung 245: Energieeffizienz: Einbezug hocheffizienter KWK-Erzeugung 701

Abbildung 246: Standortspezifika: Alle EE-Anlagen vs. EEG-fähige Anlagen..... 703

Abbildung 247: Bilanzierung: 1 Jahr (HKN) vs. 15 Minuten (Liefervertrag) 704

Abbildung 242: Schemtisierte Darstellung des Ladesystems im Vollausbau 709

Abbildung 243 Systemarchitektur im Rahmen des BSI-SmartMeter-Schutzprofils 718

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gesamtanzahl an Elektrofahrzeugen je Szenario und Systemgrenze(5,12,13) 78

Tabelle 2: Vergleich Mess- und Simulationswerte im Referenznetz für den 09.09.11 21:15 Uhr 89

Tabelle 3: Verifikation CO_2-Modell 91

Tabelle 4: Regelleistungsprodukte 95

Tabelle 5: Merkmale der Lupennetze "Erneuertes Netzwerk" und "Altes Netzwerk" 100

Tabelle 6: Charakteristika des Lupennetzes "Neus Netzwerk" 101

Tabelle 7: Betrachtete Ladestation 105

Tabelle 8: Beschaffenheit der Ladeinfrastruktur für die jeweiligen Jahreszahlen 2015, 2020 und 2030 105

Tabelle 9: Definition Simulationsszenario 2015 106

Tabelle 10: Definition Simulationsszenario 2020 107

Tabelle 11: Definition Simulationsszenario 2030 107

Tabelle 12: §13(1) & §13(2) Anpassungen in der Regelzone 50Hertz Transmission 2010 113

Tabelle 13: Wirksamkeit von windorientiertem Laden zur Vermeidung von Maßnahmen nach §13 EnWG 114

Tabelle 14: Szenariendaten Windausbau 122

Tabelle 15: Voraussetzungen für die Teilnahme am Regelenergiemarkt 156

Tabelle 16: Vergleich von V2G gegenüber anderen Speichertechnologien 164

Tabelle 17: Eingangsprämissen für Elektrofahrzeuge 166

Tabelle 18: Eingangsprämissen für Pumpspeicherkraftwerk (am Beispiel Anlage Goldisthal) 166

Tabelle 19: Eingangsprämissen für Druckluftspeicherkraftwerk (am Beispiel des Hybridkraftwerks der Enertrag) 167

Tabelle 20: Eingangsprämissen für Wasserstoffspeicher 167

Tabelle 21: Charakteristika der Fokusgruppenteilnehmer 214

Tabelle 22: Anforderungskatalog für einen Ladeassistenten 232

Tabelle 23: Anzahl der Hypothesen zu allgemeinen Anforderungen an das Laden. 232

Tabelle 24: Anzahl der Hypothesen zum Ladeassistent. 233

Tabelle 25: Anzahl der Hypothesen zur Ladeinfrastruktur. 236

Tabelle 26: Anzahl der Hypothesen zum Nutzerverhalten. 240

Tabelle 27: Anzahl der Hypothesen zur Akzeptanz von Gesteuertem Laden. 241

Tabelle 28: Anzahl der Hypothesen zum Schnellladen. 243

Tabelle 29: Anzahl der Hypothesen zu Park & Ride. 243

Tabelle 30: Funktionen des Ladeassistenten zum Zeitpunkt der Expertenevaluation .. 248

Tabelle 31: Punktesystem W2V-Erfolg 268

Tabelle 32: Punktesystem Abweichung von der Abfahrtszeit 268

Tabelle 33: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des Gesamterscheinungsbildes (Ladesäule des Herstellers 2 und Hersteller 1, SG = Schweregrad). 372

Tabelle 34: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich der Erkennbarkeit des Displays (Ladesäule des Herstellers 2 und Hersteller 1, SG = Schweregrad). 373

Tabelle 35: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des Nutzerdialogs allgemein. (Ladesäule des Herstellers 2 und Hersteller 1, SG = Schweregrad). 374

Tabelle 36: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich spezifischer Nutzerdialoge des Lieferanten 4 (SG = Schweregrad). 376

Tabelle 37: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich spezifischer Nutzerdialoge der Ladesäule des Herstellers 1 (SG = Schweregrad). 377

Tabelle 38: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich der Autorisierung (Ladesäule des Herstellers 2 und Ladesäule des Herstellers 1, SG = Schweregrad). 378

Tabelle 39: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des An- und Absteckens des Ladekabels (Ladesäule des Herstellers 2 und Ladesäule des Herstellers 1, SG = Schweregrad). 379

Tabelle 40: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich der Anschlussabdeckung (Ladesäule des Herstellers 2 und Ladesäule des Herstellers 1, SG = Schweregrad). 380

Tabelle 41: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des Gesamterscheinungsbildes der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad). 382

Tabelle 42: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich der Erkennbarkeit des Displays der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad). 383

Tabelle 43: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des Nutzerdialogs allgemein der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad). 386

Tabelle 44: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich spezifischer Nutzerdialoge der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad). 387

Tabelle 45: (Fortsetzung Tabelle 44) Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich spezifischer Nutzerdialoge der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad). 388

Tabelle 46: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich der Autorisierung an der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad). 388

Tabelle 47: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des An- und Absteckens des Ladekabels an der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad). 389

Tabelle 48: Beschreibung der Testteilnehmer. 390

Tabelle 49: Mittlere Bearbeitungszeiten für die Ausführung von Handlungen beim Starten und Beenden eines Ladevorgangs (in Sekunden). 392

Tabelle 50: Mittlere Fehlerhäufigkeiten beim Starten und Beenden eines Ladevorgangs. 394

Tabelle 51: Bewertung der Zonenübergänge 445

Die einzelnen Teilsysteme wurde nach interner Betrachtung anhand der Bewertungsmatrix (Tabelle 52) an die Integrationsplattform angebunden. Dieses beinhaltet mehrere Zonenübergänge. 446

Tabelle 53: Datensatz zu Ladevorgängen 514

Tabelle 54: Datensatz zu Statusmeldungen der Ladeinfrastruktur 514

Tabelle 55: Vergleich aus Messung und Simulation 588

Tabelle 56: Beispielszenarien für den W2V-Probebetrieb 594

Tabelle 57: Alternativplanung für den W2V-Probebetrieb..... 597

Tabelle 58: Beschreibung der Aufgaben an die Teilnehmer der Evaluierung des Probebetriebs. 600

Tabelle 59: Umgesetzter Zeitplan des Probebetriebs mit dem V2G-System..... 603

Tabelle 60: Merkmale der sechs Teilnehmer an der Evaluierung des V2G-Probebetriebs 605

Tabelle 61: Gewählte Mindestreichweite der Teilnehmer an der Evaluierung des Probebetriebs. 609

Tabelle 62: Gewünschte zusätzliche Funktionen oder Informationen im Ladeassistenten. 630

Tabelle 63: Genannte Vor- und Nachteile des Ladeassistenten..... 631

Tabelle 64: Anzahl der Ladevorgänge aus dem Protokoll zum Gesteuerten Laden..... 633

Tabelle 65: Anzahl, Ladeort und Motivation Sofortladevorgänge nach Teilnehmern. .. 635

Tabelle 66: Situation der singulären Techniken..... 717

1 Management Summary „Gesteuertes Laden V2.0“

Das Projekt Gesteuertes Laden V2.0 hatte zum Ziel die Steigerung der Effizienz und Effektivität des Gesteuerten Ladens zu untersuchen. Im Vorgängerprojekt MINI E Berlin V1.0 konnte bereits mit dem Lade- und Infrastrukturkonzept V1.0 gezeigt werden, dass das Gesteuerte Laden grundsätzlich funktioniert. Mit dem damaligen Stand der Technik war jedoch nur eine heuristische Steuerung der Ladevorgänge möglich, weil zwischen Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur noch keine Kommunikation bestand. Eine der wesentlichsten Ergebnisse des vorliegenden Projektes ist die Tatsache, dass diese bidirektionale Kommunikation zwischen Elektrofahrzeug und Ladeinfrastruktur im Gesteuerten Laden 2.0 realisiert werden konnte und damit die Voraussetzungen geschaffen wurden, die Korrelation zwischen Ladevorgang und Windeinspeisung signifikant zu erhöhen. Die in Teilprojekt (TP) 1 durchgeführten umfangreichen Systemsimulationen liefern hierfür belastbare Evidenzen.

TP1 repräsentiert das „Herzstück“ des Projekts, da hier die Antworten und quantitativen Ergebnisse der Eingangsfragestellungen gegeben werden. Zur Beantwortung der Fragen wurde zunächst im Rahmen einer simulationsgestützten System-Analyse (D1.1) die ökologischen und technisch-wirtschaftlichen Effekte des gesteuerten Ladens antizipiert. Die Simulationen dienten zwei Zielen. Zum einen sollten die umweltpolitischen Implikationen des Gesteuerten Ladens abgeschätzt werden und zwar mit Blick auf das Potenzial zur Windintegration als auch zur rechnerischen CO2-Reduktion. Zum anderen dienten die Simulationen dazu, die Algorithmen des Gesteuerten Ladens (LLM, ÖLM, W2V, V2G) in den Deliverables D1.2 bis D1.4 zu optimieren. Dazu wurde deren jeweilige Entwicklungsstände in der Simulation (D1.1) abgebildet und getestet. Das Evaluationsergebnis floss dann wieder in die Verbesserung der Algorithmen ein.

Der energiepolitische Charme des gesteuerten Ladens besteht darin, dass Ladevorgänge bei E-Fahrzeugen relativ flexibel gestaltbar sind. Mit Hilfe der W2V-Applikation, die den Ladevorgang optimiert, lassen sich deshalb zwei Effekte erzeugen: Zum einen lassen sich prinzipiell die bei Windüberschüssen auftretenden Zwangsabschaltungen von Windkraftanlagen (§ 13 EnWG) reduzieren oder gar vermeiden. Somit können Fahrzeugbatterien zur Integration Erneuerbarer Energien beitragen. Zum anderen führt die Anwendung der W2V-Applikation dazu, dass ein Nutzer den Windstromanteil „seines“

Ladestrom im Vergleich zum ungesteuerten Laden steigern und damit den individuellen CO_2-Anteil entsprechend reduzieren kann. Vor diesem Hintergrund liefern die Simulationsergebnisse in Bezug auf die W2V-Applikation folgende Ergebnisse:

- Unterstellt es gäbe 2,7 Mio am Netz verfügbarer E-Fahrzeuge, dann könnten die im Jahre 2010 aufgetretenen Zwangsabschaltungen von Windkraftanlagen vollständig vermieden. Im 2020 könnten mit 1 Mio Fahrzeuge bei gleicher Abregelungshäufigkeit und - leistung 60% der Abschaltungen vermieden werden.
- Gemessen am Strommix Deutschlands und unter den Ausbaubedingungen des Jahres 2010 lässt sich der CO_2-Anteil des Ladestroms von 614 gCO2 / kWh (Graustrom) auf 596 g CO2/ kWh Gramm reduzieren, also um 3 %. Für 2020 ergibt sich eine Reduktion um 4%, ausgehend von 661 g CO2 / kWh Mit 1 Mio Fahrzeuge werden im Jahr 2020 40.000 t CO2 (rechnerisch) eingespart Solche Nutzen der W2V-Applikation lassen sich allerdings naturgemäß nur in Regelzonen mit Windstromüberschuss erzielen.

Im Vergleich zum ungesteuerten Ladebetrieb enthält die aus dem Netz bezogene Gesamtlademenge, ebenso wie im unidirektionalen W2V-optimierten Ladebetrieb, während des bidirektionalen W2V2G-Ladebetriebs einen höheren Windenergieanteil. Für das Jahr 2020 enthalten die zuhause und am Arbeitsplatz geladenen / entladenen Fahrzeuge einen um 84 %, im Außendienstszenario um 20 % und im Lieferdienst um 17% höheren Windenergieanteil, als ungesteuerte Fahrzeuge[1] (Folie / Abbildung 29).

Im Vergleich zum ungesteuerten Ladebetrieb enthält die aus dem Netz bezogene Gesamtlademenge, ebenso wie im unidirektionalen W2V-optimierten Ladebetrieb, während des bidirektionalen W2V2G-Ladebetriebs einen höheren Windenergieanteil. Für das Jahr 2020 enthalten die zuhause und am Arbeitsplatz geladenen / entladenen Fahrzeuge einen um 84 %, im Außendienstszenario um 20 % und im Lieferdienst um 17% höheren Windenergieanteil, als ungesteuerte Fahrzeuge[2] (Folie / Abbildung 29).

Die realisierten W2V2G-Fahrzeug-Ladeinfrastruktureinrichtungen eignen sich technisch für die Bereitstellung von Stromnetz-Systemdienstleistung. Dem Regelenergiemarkt

1 Die Werte stellen ein theoretisches Potenzial dar, da die W2V2G-Simulationen mit der vereinfachenden Annahmen eines optimalen Wirkungsgrades von 1,0 für das Laden und Rückspeisen durchgeführt wurde. Die quantitativen Ergebnisse dieser Analyse sind daher nicht direkt vergleichbar mit der W2V-Analyse.

2 Die Werte stellen ein theoretisches Potenzial dar, da die W2V2G-Simulationen mit der vereinfachenden Annahmen eines optimalen Wirkungsgrades von 1,0 für das Laden und Rückspeisen durchgeführt wurde. Die quantitativen Ergebnisse dieser Analyse sind daher nicht direkt vergleichbar mit der W2V-Analyse.

können mit 25.000 W2V2G-Fahrzeugen Sekundärregelleistung oder mit 7.150 W2V2G Tertiärregelleistung angeboten werden.

Zur Bereitstellung von Primärregelleistung wird jedoch ein gesonderter technischer Ansatz erforderlich, die aus heutiger Perspektive im Jahre 2015 erreichbar erscheint.

Zur Steigerung der Verfügbarkeit wurde daher ein V2G-Ladeassistent als Eingabehilfe für den Nutzer entwickelt. Der Ladeassistenten ermöglicht eine vorausschauende Planung der Lade- und Entladezyklen und hilft die Mobilität des Nutzers, d.h. die Fahrten, wie mit dem Ladeassistenten geplant auch so durchführen zu können, um bis zu 83 % zu erhöhen.
Die Nutzerakzeptanz des Gesteuerten Ladens und damit mittelbar die Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz – als Voraussetzung desselben – ist im Wesentlichen durch die intrinsische Motivationen des Nutzer bestimmt. Die Nutzerakzeptanz hängt beispielsweise vom Ausbau der Ladepunktdichte und der Infrastruktur (Backendsysteme, intelligente lokale Systeme usw.) und monetären Anreize ab.

Untersuchungen zu den netzseitigen Auswirkungen des Gesteuerten Ladens haben gezeigt, dass mit Lokalem Lastmanagement (LLM) eine Verdoppelung der Anzahl gleichzeitig ladender Fahrzeuge an einem gegebenen 100A Netzanschluss möglich wird. Bezogen auf das Öffentliche Lastmanagement (ÖLM) kann mit der entwickelten Applikation ÖLM die Anzahl ladender Fahrzeuge ohne Ausbaumaßnahmen je betrachtetem Netz bis um den Faktor 5 gesteigert werden. Der Einsatz des Gesteuerten Ladens kann also signifikant Investitionen in den Netzausbau sowohl auf öffentlicher als auch lokaler Ebene reduzieren. Der monetäre Nutzen aus LLM lässt sich in einem Beispiel neun bis zehn EURO je kW Fahrzeugleistung taxieren.

Ohne ÖLM wären für das gleichzeitige Laden von 50.000 3,6kW-Fahrzeugen (22 kW) Netzinvestitionen in Höhe von 540 € / EV (2700 € / EV) erforderlich.

Damit das Gesteuerte Laden die individuelle Mobilität der Nutzer nicht beeinträchtigt, müssen diese die Kontrolle über den jeweiligen Ladevorgang haben. Soll beispielsweise standardmäßig gesteuert geladen werden, dann ist vom Nutzer aktiv festzulegen, wann das Fahrzeug wieder vollständig geladen zur Verfügung stehen soll. Weiterhin ist eine Funktionalität vorzuhalten, welche es ermöglicht, den Prozess der W2V-Applikation in Sondersituationen auszusetzen und eine Sofortladung auszulösen. Im Vorläuferprojekt MINI E Berlin 1.0 war dazu das Einloggen in einem Internetportal erforderlich, was die

Testfahrer erwartungsgemäß überwiegend als Nutzungshemmnis bewertet haben. Zudem haben sie keine Informationen über den Erfolg der individuellen Windintegration erhalten. Zielsetzung des Teilprojekts 2 (TP2) war es durch die Entwicklung und Erprobung eines nutzerseitigen Mehrwertdienstes die Nutzerakzeptanz zu steigern und die Motivation zur Teilname am Gesteuerten Laden zu erhöhen. Um die Ziele zu erreichen wurde auf Basis von Nutzeranforderungen eine Smartphone-Applikation (der sogenannte „Ladeassistent“) und eine Methodik zur Evaluierung der Smartphone-Applikation entwickelt. Diese Applikation ermöglicht dem Nutzer den jeweiligen Ladevorgang individuell zu steuern. Der Erfolg des Gesteuerten Ladens des individuellen Ladevorgangs wird visualisiert. Der Nutzer erhält Optimierungsvorschläge für sein individuelles Ladeverhalten, um ein ökologisch optimiertes Verhalten zu fördern. Zu diesem Zweck wird der W2V-Erfolg mithilfe realisierter Ex-Post-Daten, ergänzt um Prognosedaten für das nächste erwartete grüne Windzeitfenster im Userinterface visualisiert. Ziel ist es die Ladevorgänge innerhalb der grünen Zeitfenster zu maximieren Dadurch soll die Motivation und damit die Bereitschaft zur Partizipation am Gesteuerten Laden gesteigert werden.

Die Evaluierung der Applikation erfolgte auf der Basis eines umfangreichen Usability-Tests mit 40 potentiellen Nutzern und Interviews mit drei Experten aus dem Bereich Usability-Engineering. Darüber hinaus war geplant, während des Probebetriebs die Projektmitarbeiter zu befragen, welche als Testfahrer eingesetzt werden sollten. Weil der Probebetrieb während des Förderzeitraumes nicht mehr durchgeführt werden konnte, musste dieses Modul entfallen.

Ziel des Teilprojektes 3 war es, die für das Gesteuerte Laden erforderliche Ladeinfrastruktur zu entwickeln, bauen zu lassen und zu testen (Abnahme und Inbetriebnahme). Deshalb galt es, zunächst ein funktionales Lastenheft zu erarbeiten und mithilfe einer Blaupause den Lösungsraum für den Lieferanten greifbarer zu machen. Parallel dazu wurde ein Testkonzept entwickelt und im Rahmen der Teilprojekte drei und fünf angewandt. Die Tests wurden während der Entwicklungsphase (z.B. zum Nachweis der Funktionen der Prototypen unter Laborbedingungen), während der Produktionsphase (Abnahmetests der Seriensysteme vor Auslieferung beim Lieferanten) und während der Inbetriebnahmephase (Prüfung der Funktionalitäten der installierten Systeme vor der Übergabe an den Probebetrieb) durchgeführt. (Die Integrations- und End-to-End-Tests wurden innerhalb des TP5 durchgeführt.

Mit Blick auf Steigerung von Effektivität und Effizienz des Gesteuerten Ladens waren die beiden Kernpunkte der Entwicklungsarbeiten zum einen die Kommunikation zwischen Ladeinfrastruktur und E-Fahrzeug und zum anderen die Master-Satelliten-Architektur. Bei der kommunikativen Verbindung zwischen Ladeinfrastruktur und Fahrzeug muss man neben diesen beiden Front Ends noch zwei Back Ends einbinden, je eines beim Energieversorger und Automobilhersteller. Diese vier Blöcke werden mithilfe dreier Kommunikationstechnologien miteinander verbunden, um sowohl Authentifikation als auch den Verhandlungsprozess zur Definition der Ladekurve zum Gesteuerten Laden zu bewältigen.

- **Authentifizierung**: Die Authentifizierung kann entweder über PLC sichergestellt werden oder über RFID. Bei PLC gibt es ein technologiebedingtes und ein marktbedingtes Risiko. Der technologiebedingte Aspekt bezieht sich auf das immanente Stabilitätsrisiko. Wenn PLC nicht aufgebaut werden kann, kann das Fahrzeug nicht laden. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für dieses Risiko kann als relativ gering bewertet werden. Aber, wer – unabhängig vom Gesteuerten Laden – zum Beispiel an einer öffentlichen Ladesäule zwischenladen will oder muss, hätte dann ein Problem, was die Nutzerakzeptanz beeinträchtigen könnte. Allem voran deshalb, aber auch, weil es derzeit zumindest viele Fahrzeuge ohne PLC-Kommunikation gibt (marktbedingtes Risiko), ist es sinnvoll, RFID als Authentifizierungsoption anzubieten.
- **Verhandlungsprozess** Das OEM-Backend kann sowohl direkt als auch indirekt mit dem Fahrzeug kommunizieren. Der direkte Weg erfolgt vermittels GSM, der indirekte vermittels TCP/IP und zwar über das Backend des Energieversorgers zur Ladeinfrastruktur. Die Kommunikation zwischen Ladeinfrastruktur und Fahrzeug erfolgt mit Hilfe der PLC-Technik. Der indirekte Weg ist allem voran deshalb erforderlich, weil viele Standorte der Ladeinfrastrukturen von E-Fahrzeugen mit GSM nicht erreichbar sind, zum Beispiel in Parkhäusern und Tiefgaragen, aber auch bisweilen bei Eigenheimen irgendwo in der Stadt.

Abgesehen von diesen technologischen Fragestellungen bestand die große Herausforderung des Gesteuerten Ladens in der zentralen Prozessfrage, wer den Ladeprozess eigentlich steuert. Hier prallten anfangs zwei entgegen gesetzte Vorstellungen aufeinander, die zunächst scheinbar nicht aufzulösen waren: Die Automobilhersteller reklamieren aus zwei Gründen die Prozesshoheit für sich. Erstens, weil die Sorge bestand, ein vom

Netzbetreiber gesteuerter Ladevorgang könnte die Lebensdauer der Batterie als bei weitem teuerstem Modul des E-Fahrzeuges stark beeinträchtigen. Zweitens, weil sie sich als Anwalt des Kunden sehen, welcher als „König des Marktes“ in seinen Mobilitätsfreiheiten nicht beeinträchtigt werden darf. Dem stand die Sicht der Netzbetreiber gegenüber, bei Überlast zum Wohle der Allgemeinheit steuernd einzugreifen und das beinhaltet auch das Abschalten einzelner Verbraucher. Die Auflösung dieses Konfliktes lässt sich wie folgt auf den Punkt bringen: Zielfunktion des Ladeprozesses ist die Maximierung der Lebensdauer der Batterie unter den Nebenbedingungen (Interessen/Bedürfnisse) der Energieversorger, des Fahrzeuges und der Batterie selbst sowie des Kunden. Ergebnis ist eine Ladekurve als Optimum aller Einflussgrößen.

- **Zielfunktion**: Maximierung der Lebensdauer der Batterie
- **Nebenbedingungen des Konsumenten**: Präferenzen in Bezug auf Abfahrtzeiten, Zielladestand, Vorkonditionierung des Fahrzeuges, etc.
- **Nebenbedingungen des Energieversorgers**: Restriktion des lokalen Netzes beim Kunden (LLM-Signal) oder im öffentlichen Netz (ÖLM-Signal) als Muss-Kriterien. Hinzu kommt optional das Windsignal, wenn der Kunde zur Integration von erneuerbaren Energien und hier speziell der Windenergie beitragen möchte (Kann-Kriterium:
- **Nebenbedingungen des E-Fahrzeuges**: Aus der Kombination aus Ist- und Zielladestand ergibt sich die zu ladende Energiemenge und aus Anschluss- und vom Kunden vorgegebener Abfahrzeitpunkt resultiert die zur Verfügung stehende Zeit. Hinzu kommen weitere Parameter wie die Vor- und Nachkonditionierung der Batterie, welche sich aus den Nutzervorgaben respektive aus der aktuellen Batterietemperatur ergibt.

Die Funktionalitäten des Gesteuerten Ladens konnten vollumfänglich im Rahmen mehrer End-to-End-Tests nachgewiesen werden: Ladeinfrastruktur und E-Fahrzeug kommunizierten miteinander und Ladevorgänge wurden erfolgreich durchgeführt. Dabei wurden die Anforderungen der Windintegration ebenso erfüllt wie diejenigen der Netzrestriktion.

Allerdings hat der Entwicklungsprozess der Ladeinfrastruktur deutlich mehr Zeit in Anspruch genommen als geplant (ebenso wie bei der Entwicklung des Fahrzeuges). Das lässt sich infrastrukturseitig allem voran damit erklären, dass die Anforderungen des Gesteuerten Ladens während der Projektlaufzeit von keinem Lieferanten innerhalb der gegebenen budgetären und zeitlichen Restriktionen umgesetzt werden konnten. Weil die

großen Technologiekonzerne erst jetzt langsam in den Markt eintreten, beschränkte sich die Auswahl auf mittelständische Lieferanten. Diese hatten allerdings große technologische Probleme bei der Integration von Elektromechanik und IKT und / oder erwiesen sich als unflexible Dienstleister. Dieses in Verbindung mit einem zweimalig erforderlichen Lieferantenwechsel führte zu erheblichen Verzögerungen und bei Vattenfall zu erheblich höheren Betreuungsaufwänden.

Der dritte Lieferant schließlich konnte zwar die geforderten Ladeboxen liefern und mit diesen konnte Vattenfall die Funktionalitäten des Gesteuerten Ladens nachweisen. Allerdings traten während der Testphase Stabilitätsprobleme, welche bis zum Ende des Förderzeitraumes nicht mehr beseitigt werden konnten. Diese hatten ihre Ursache sowohl in Qualitätsmängeln, welche der Lieferant zu verantworten und deshalb noch zu beseitigen hat. Es gibt aber auch hinweise auf systematische Probleme mit der PLC-Technologie an sich. Kurz gefasst lassen sich diese wie folgt beschreiben:

Die PLC-Technologie ist entwickelt worden, um Daten über stromführende Kabel zu versenden und damit zusätzliche Installation von Leitungen für die Kommunikationstechnik zu vermeiden. Die PLC-Technik weist allen voran drei Probleme auf, welche die Betriebsstabilität unter Umständen beeinträchtigen könnten. Ob ein solcher systematischer Effekt vorliegt, konnte während der Förderperiode nicht mehr abschließend untersucht werden. Die Arbeiten dazu dauern noch an.

- **Verortungsproblem**: Kommuniziert nur ein Fahrzeug an einem Standort mit der Ladeinfrastruktur, dann ist die Kommunikation grundsätzlich eindeutig dem Ladepunkt zuzuordnen. In Master/Satelliten-Konfigurationen liegt der Fall anders. Hier kommuniziert das PLC-Modem im Master mit mehr als einem Fahrzeug über die verbundenen stromführenden Leiter. Da der Master aber nicht erkennen kann, aus welcher Richtung das Signal übertragen wird, kann der Master ohne zusätzliche Technik nicht eindeutig feststellen, an welchem Ladepunkt das jeweilige Fahrzeug lädt. Für Abrechnungsmethoden über den Strompreis oder die W2V-Applikation ist eine eindeutige Zuordnung des Fahrzeuges mit einem Ladepunkt-spezifischen Zähler aber von zentraler Bedeutung. Würde ein anderes Fahrzeug mit diesem Ladepunkt in Bezug gebracht, würde eine Falschabrechnung erfolgen.

- **Stabilitätsproblem PLC-Modem**: Zusätzlich besteht das Problem, dass ein PLC-Modem im Master sich – wie z.B. im Projekt realisiert - mit sechs Fahrzeugen parallel unterhalten muss. Dadurch könnte sich die verfügbare Leistung für die Kommunikation reduzieren und damit unter eine technisch stabile Signalstärke gesenkt werden. Dadurch können unterbrochene Signale auftreten und die Kommunikation als Folge zusammenbrechen.
- **Stabilitätsproblem PLC-externer Faktoren**: Da die stromführenden Leiter mit dem Netzanschluss abgeschlossen ist, können über die stromführenden Leiter auch Netzstörungen übertragen werden. Selbst wenn das Netz selbst völlig störfrei wäre, könnten die Laderegler in den Fahrzeugen selbst Ursache solcher Störungen sein.

Die genannten infrastrukturseitigen Entwicklungsprobleme sowie die bei der Entwicklung des E-Fahrzeuges führten im Ergebnis dazu, dass die Integrationstests erst verspätet durchgeführt werden konnten und der Probebetrieb noch nicht begonnen werden konnte.

Im Rahmen der Zielsetzung des Teilprojektes 4 waren die notwendigen Einzelsysteme des Gesteuerten Ladens (Wind-to-Vehicle-to-Grid; W2V2G)“ aufeinander abzustimmen und für ein effizientes Energie- und Lademanagement zu optimieren. Dafür wurde eine IT-Plattform aufgebaut, die alle Einzelsysteme in ihren bestehenden IT-Infrastrukturen vernetzt und die unterschiedlichen Systemarchitekturen miteinander abgleicht.

Es entstand eine modulare und offene IT-Plattform. Sie bildet die Verwaltungs- und Verarbeitungslogik des Gesamtsystems ab und ist die zentrale Drehscheibe für alle Interaktionen der Systeme. Dabei bestimmt das Auto seinen Ladevorgang nach Kann- und Muss-Regeln auf Grund der technischen Rahmendaten von Infrastruktur und OEM sowie den Kundenbedürfnissen. Die zugehörigen Stromverbräuche können automatisiert über die Anbindung an das SAP-System von Verteilnetzbetreiber und Stromvertrieb an den Kunden verrechnet werden. Es wurde ein einfaches Vertrags- und Abrechnungsmodell auf Grundlage der Zuordnung einer RFID-Kartennummer zu einem mobilen (virtuellen) Zählpunkt implementiert, so dass sie in die vorhandenen Abrechnungsprozesse integriert werden konnte. Gleichzeitig wurde die IT-Plattform als zentrale Datensammelstelle für Lade- und Verbrauchsdaten bis hin zu Nutzer- und Bewegungsdaten ausgeprägt. Über automatisierte Berichte war es möglich die Nutzerakzeptanz dieses Gesamt-

systems zu erfassen, zu analysieren und zu bewerten, um Präferenzen, Handlungsempfehlungen und Optimierungen abzuleiten.

Ziel des Teilprojektes 5 war es, die Ergebnisse der vier vorgelagerten Teilprojekte zu einem Gesamtsystem zusammenzuführen, zu testen und in einer unternehmensinternen Testumgebung zu erproben. Das Gesamtsystem besteht also aus den Applikationen des Gesteureten Ladens (W2V, V2G, LLM, ÖLM), dem Ladeassistenten, der Ladeinfrastruktur, dem Backendsystem sowie dem E-Fahrzeug. Für Test und Erprobung hat Vattenfall ein Lagezentrum eingerichtet, auf dem die einzelnen Prozessschritte koordiniert und die Teilergebnisse zentral überwacht und aufbereitet werden können. Die Ergebnisse lauten wie folgt:

- Der End-to-End-Test über das Gesamtsystem konnte erfolgreich durchgeführt werden. Das betrifft alle Authentifizierungsvarianten und auch die direkten und indirekten Kommunikationswege zwischen Fahrzeug und Fahrzeug-Back-End.
- Im Ergebnis konnten die Funktionalitäten des Gesteuerten Ladens über alle vier Applikationen hinweg implementiert werden, so dass optimierte Ladekurven zwischen Fahrzeug- und Infrastruktursystem verhandelt und ausgetauscht wurden.
- Die Ladeboxen liefen mit Abschluss des Förderzeitraumes allerdings noch nicht stabil.

Deshalb haben die beiden industriellen Partner BMW und Vattenfall entschieden, das Projekt ohne Förderung bis Ende 2011 zu verlängern und zusätzliche Mittel zu investieren. Am Ende der Verlängerung sollen allen voran folgende Ziele erreicht sein:

- Die lieferantenbedingten Qualitätsmängel sind behoben.
- Die Optionen zur Lösung der systematischen PLC-Probleme sind evaluiert.
- Ein mehrwöchiger Probebetrieb hat empirische Daten zum Gesteuerten Laden erzeugt. Damit sollen anschließend die Simulationsergebnisse aus TP1 (D1.1) verglichen werden.
- Ein Prototyp zur kostensenkenden Variante der Master-Satelliten-Architektur ist beauftragt, bei welchem kostentreibende Module nur einmal im Master vorgehalten werden, so dass die Satelliten technologisch einfach und somit kostengünstig sind.

2 Zielsetzung des Verbundprojektes

2.1 Gesamtziel des Verbundes

Das Ziel des Projektes „Gesteuertes Laden V2.0“ (GL V2.0) ist die Entwicklung eines technisch effektiven sowie ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Ladekonzeptes. Übergeordnetes Projektziel war die **Steigerung der Effektivität und Effizienz des Gesamtsystems Elektromobilität**. Das betrachtete Gesamtsystem bestand energieseitig aus den Applikationen Wind-to-Vehicle (W2V), Vehicle-to-Grid (V2G) und Lokales Lastmanagement (LLM) sowie den Ladestationen. Mobilitätsseitig kamen neben einem nutzerseitigen Mehrwertdienst, dem sogenannten Ladeassistent, Elektrofahrzeuge vom Typ BMW ActiveE zum Einsatz, deren Batterien als Energiespeicher u. a. für das Netzmanagement zur Integration von Windenergie fungieren.

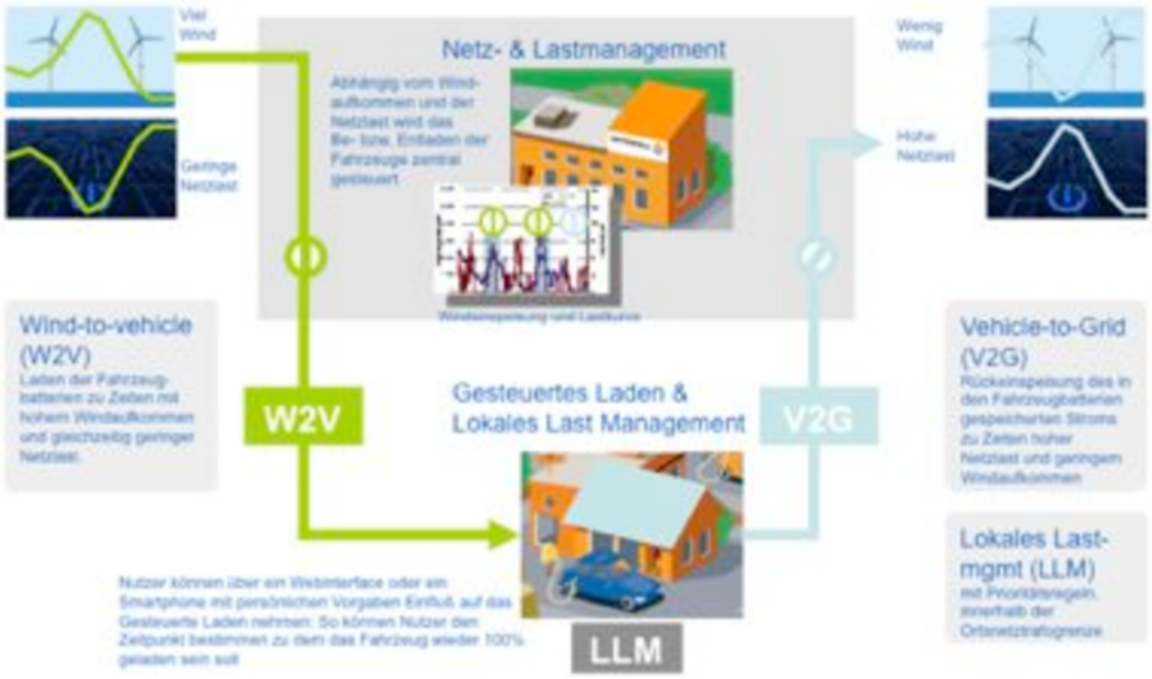


Abbildung 1: Windintegration und Netzstabilisierung durch Gesteuertes Laden

Das Gesamtsystem Gesteuertes Laden funktioniert wie folgt: Der Be- und Endladevorgang der Elektrofahrzeuge wird unter Beachtung der individuellen Mobilitätsbedürfnisse der Nutzer abhängig vom Windaufkommen und der Netzlast zentral gesteuert. Es soll

verstärkt geladen werden, wenn viel Windenergie erzeugt wird und die Netzlast gering ist (W2V). Umgekehrt soll Energie aus der Batterie des Fahrzeugs ins Netz zurückgespeist werden, wenn wenig Windenergie erzeugt wird, aber eine hohe Netzlast herrscht (V2G). Das lokale Lastmanagement bewirkt beim Gesteuerten Laden, dass Netzrestriktionen eingehalten und die verfügbaren Kapazitäten optimal ausgenutzt werden. Den Fahrzeugen werden dabei - unter Einhaltung der begrenzenden Netzkapazität - dynamisch die Ladeströme zugeteilt. Das erfolgt unter Berücksichtigung anwendungsabhängiger und individuell veränderbarer Prioritätsregeln (ein gewerblicher Flottenbetreiber kann andere Zuteilungsanforderungen als z.B. ein Carsharing-Anbieter haben).

Die Entwicklung marktfähiger Ladeinfrastukturlösungen sowie die Entwicklung der Elektrofahrzeuge stehen unter dem besonderen Fokus der Nutzerfreundlichkeit und -akzeptanz sowie der Kostenreduktion. Die Nutzerakzeptanz ist ein entscheidendes Kriterium für den Erfolg des Gesteuerten Ladens. Nur wenn der Nutzer sich aktiv beteiligt, kann das Potential der Anwendungen voll ausgeschöpft werden. Daher ist die Steigerung der Nutzerfreundlichkeit integraler Bestandteil des Projektes. Über eine Smartphone basierte Applikation, den sogenannten Ladeassistent, soll die Teilnahme des Nutzers am Gesteuerten Laden vereinfacht werden.

In dem Vorgängerprojekt MINI E Berlin 1.0 wurde herausgefunden, dass zur Steigerung von Effektivität und Effizienz eine stärkere Verschränkung und Interaktion von Ladestation und E-Fahrzeug erforderlich ist. Eine bidirektionale Kommunikation beider Instanzen wurde entwickelt und umgesetzt, damit sich Ladestationen und E-Fahrzeuge effektiv miteinander über den Ladevorgang abstimmen können. Die Entwicklungen waren elektro- und IT-technisch hochkomplex. Daher wurde eine gemeinsame Integrationsplattform als Basis geschaffen, in der die Daten der beteiligten Partner (EVU, OEM und Nutzer) verarbeitet wurden.

Parallel zu den beschrieben Umfängen wurde eine computergestützte Simulation durchgeführt, mit den Ergebnissen aus der Simulation wurden quantitative Aussagen über das Wirken und den Nutzen von Elektroautos im Netz, des potentiellen und notwendigen Ausbaus der Windenergie sowie des Gesteuerten Ladens aus ökonomischer und ökologischer Perspektive getroffen.

Das Projekt wurde in fünf Teilprojekte unterteilt, die sich jeweils mit unterschiedlichen Aspekten des Gesteuerten Ladens beschäftigen.

- Teilprojekt 1: Wind-to-Vehicle-to-Grid
- Teilprojekt 2: Nutzerfreundlichkeit
- Teilprojekt 3: Ladestation V2.0
- Teilprojekt 4: Aufbau Integrationsplattform
- Teilprojekt 5: Probebetrieb

Jedes Teilprojekt soll in seinem Bereich zur Steigerung der Effektivität und Effizienz des Gesamtsystems Elektromobilität beitragen. In folgendem Schaubild ist das Gesamtziel auf die Teilprojekte heruntergebrochen dargestellt:

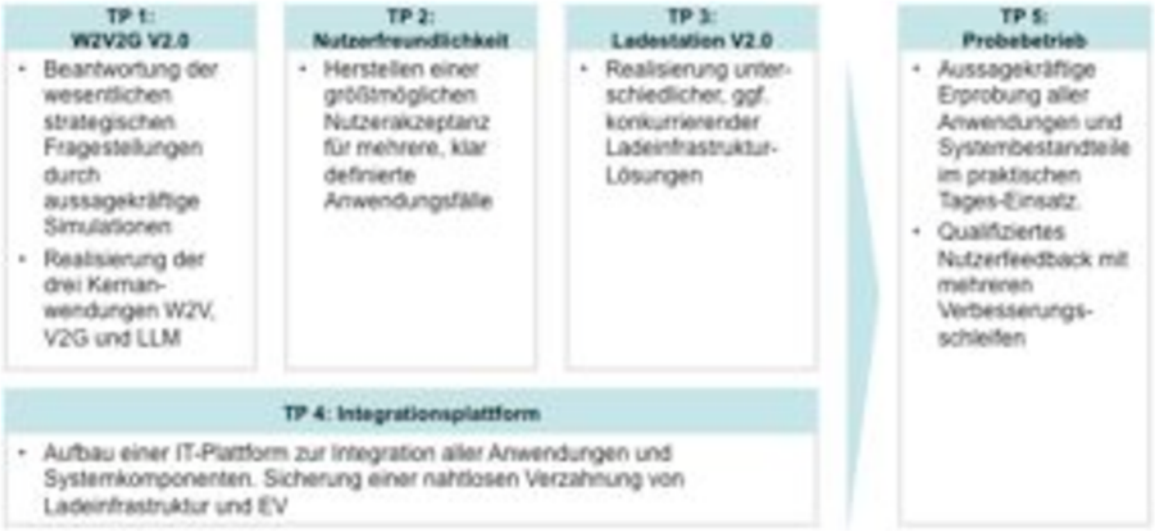


Abbildung 2: Strategische Projektziele

Beitrag des Teilprojekts 1 zum Gesamtziel:

- Verifizierte Simulation und wichtige Fragestellungen sind beantwortet
- W2V Applikation, V2G-Applikation und LLM Applikation sind entwickelt, harmonisiert und bereit für den Probebetrieb
- Priorisierungsregeln für die Verhandlungsprozesse beim Ladevorgang sind erstellt
- Modifizierung der bereitgestellten Elektrofahrzeuge vom Typ MINI E (V2G) und BMW ActiveE (mit/ohne PLC) ist erfolgt

Beitrag des Teilprojekts 2 zum Gesamtziel:

- Nutzeranforderungen und Anwendungsfälle (Use Cases) sind definiert
- Hypothesen zum Nutzerverhalten liegen vor
- Mehrwertdienst Ladeassistent sind entwickelt und getestet

Beitrag des Teilprojekts 3 zum Gesamtziel:

- Anwendungsfälle (Use Cases) sind definiert und priorisiert
- Anforderungskatalog ist erstellt
- Funktionales Lastenheft ist erstellt
- Ladeinfrastruktur ist entwickelt, produziert und getestet
- Roll-out und Inbetriebnahme ist durchgeführt

Beitrag des Teilprojekts 4 zum Gesamtziel:

- Offene, skalierbare und tragfähige IT-Plattform ist entwickelt
- Schnittstellen sind definiert
- Vernetzung der IT-Systeme ist erfolgt
- Zentrale Datensenke für alle bereitgestellten Informationen ist aufgebaut

Beitrag des Teilprojekts 5 zum Gesamtziel:

- Datenkoordination und Führung des Probebetriebs ist erfolgt
- Evaluierung des Netzmanagements ist durchgeführt
- Betrieb der Ladeinfrastruktur, Fahrzeuge und Integrationsplattform ist umgesetzt
- System- und Integrationstests zum funktionssicheren Betrieb des Gesamtsystems sind durchgeführt
- Auswertung und Verifikation der Testergebnisse, Verbesserungsvorschläge

Die detaillierte Beschreibung der Ziele auf Teilprojekt- und Deliverable-Ebene findet sich im Kapitel 4 „Ausführliche Darstellung der einzelnen Ergebnisse des Verbundprojektes“

2.2 Aufgaben der einzelnen Partner

2.2.1 BMW

Die Leistungen von BMW umfassen:

- Bereitstellung von bis zu drei E-Fahrzeugen vom Typ „MINI E“ für die Entwicklung, Umsetzung und Validierung von Vehicle-to-Grid (V2G) Inhalten, inklusive eines mit Vattenfall abgestimmten Ladekabels mit fahrzeugseitigem Stecker, beginnend im August 2010 bis zum 30.09.2011.
- Bereitstellung von zwölf E-Fahrzeugen vom Typ „BMW ActiveE“ für die Entwicklung, Umsetzung und Validierung von Ladekommunikationsinhalten (z. B. Powerline Communication PLC), inklusive je nach technischem Anwendungsfall (mit/ohne PLC) mit Vattenfall abgestimmte Ladekabel mit fahrzeugseitigem Stecker, beginnend im Juni 2011 bis zum 30.09.2011.
- Entwicklung, Umsetzung und Validierung eines kundenseitigen Mehrwertdienstes, dem sogenannten Ladeassistenten auf Basis einer Smartphone Applikation, beginnend im August 2010 bis zum 30.09.2011.
- Entwicklung eines Service- und Betriebskonzeptes sowie Nutzungsüberlassungskonzeptes für die im Rahmen des Projektes bereitgestellte E-Fahrzeuge und Mehrwertdienste.
- Entwicklung und Realisierung eines fahrzeugseitigen IT-Backends zur Kommunikation zum EVU-Backend als auch zur zentralen Verarbeitung und Generierung der individuellen „gesteuerten“ Ladekurven der BMW ActiveE Fahrzeuge, beginnend im Oktober 2010.
- Auswahl und Koordination der wissenschaftlichen Begleitforschung für das Projekt bezogen auf die fahrzeugseitigen Forschungsfragen.

Die Leistungen sind in den Teilprojekten, Deliverables und Arbeitspaketen des Förderantrages „Gesteuertes Laden V2.0“ vom 31.05.2010, näher aufgeführt.

2.2.2 Vattenfall

Die Leistungen von Vattenfall umfassen die Gesamtprojektkoordination und konzentrieren sich inhaltlich auf:

- Entwicklung, Bereitstellung und Betrieb der intelligenten Ladeinfrastruktur
- Entwicklung und Betrieb einer offenen, skalierbaren und tragfähigen IT-Plattform inkl. Schnittstellen zu allen Systemen
- Aufbau einer zentrale Datensenke
- Test- und Evaluierung und Abnahme der Systeme
- Integration der entwickelten Systeme und Anwendungen;
- Entwicklung und Bereitstellung eines Betriebs-Leitstands
- Analyse und Evaluierung der Simulation aus Sicht der Infrastruktur
- Koordination der infrastrukturseitigen wissenschaftlichen Begleitforschung.

Die Leistungen sind in den Teilprojekten, Deliverables und Arbeitspaketen des Förderantrages „Gesteuertes Laden V2.0“ vom 31.05.2010, näher aufgeführt.

2.2.3 TU Ilmenau

Die Leistungen der Technischen Universität Ilmenau umfassen.

- Systemanalyse Auswirkungen Einführung Elektrofahrzeuge auf Energiewirtschaftliches System hinsichtlich ökonomischer, ökologischer und technischer Auswirkungen
- Entwicklung und Betrieb Steuerungssystem für W2V 2.0 (Softwareentwicklung)
- Entwicklung und Betrieb Steuerungssystem für lokales Lastmanagement (Softwareentwicklung) und Integration in W2V-Steuerungssystem
- Entwicklung der Funktionalitäten aus Netzbetriebssicht für die V2G-Anwendung
- Entwicklung einer Schnittstelle für die Bereitstellung des W2V Nutzens
- Bereitstellung des W2V-Nutzens
- Unterstützung bei der Erarbeitung des funktionalen Lastenheftes
- Entwicklung und Abbildung des Verhandlungsprozesses zwischen EV und LI für Gesteuertes Laden 2.0

Die Leistungen sind in den Teilprojekten, Deliverables und Arbeitspaketen des Förderantrages „Gesteuertes Laden V2.0“ vom 31.05.2010, näher aufgeführt.

2.2.4 TU Berlin

Die Aufgaben der Technischen Universität Berlin umfassen:

- Entwicklung, Durchführung und Auswertung einer Simulation von Fahrzeugen und Ladeinfrastrukturen für verschiedene W2V2G Szenarien
- Entwicklung der V2G Anwendung inklusive Ladeinfrastruktur und Smartphone Applikation sowie Integration der E-Fahrzeuge vom Typ „MINI E“
- Entwicklung eines dezentralen Softwaresystems für W2V2G
- Entwicklung eines Authentifizierungs-, Autorisierungs- und Abrechnungssystems (AAA) für Elektromobilität
- Überwachung und Auswertung des laufenden Betriebs der Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur im Rahmen eines V2G Freilandlabors

Die Leistungen sind in den Teilprojekten, Deliverables und Arbeitspaketen des Förderantrages „Gesteuertes Laden V2.0“ vom 31.05.2010, näher aufgeführt.

2.2.5 TU Chemnitz

Die Leistungen der Technischen Universität Chemnitz fokussieren sich auf:

- Evaluierung der Nutzeranforderungen an W2V2G
- Übergreifende nutzerbezogene Anforderungsanalyse zu entwickelnder Mehrwertdienste
- Erarbeiten einer Methodik zur Evaluierung der Nutzerakzeptanz in Bezug auf Mehrwertdienste und Durchführung der Evaluation
- Anforderungsanalyse Ladeinfrastruktur aus Nutzersicht
- Erarbeitung eines Konzeptes zur Evaluierung der Nutzerakzeptanz bezüglich Ladeinfrastruktur und Durchführung des Tests
- Konzeption, Durchführung und Auswertung Szenariotests

Die Leistungen sind in den Teilprojekten, Deliverables und Arbeitspaketen des Förderantrages „Gesteuertes Laden V2.0“ vom 31.05.2010, näher aufgeführt.

2.2.6 Planung und Ablauf des Vorhabens

2.2.6.1 Projektüberblick

Das Verbundprojekt „Steigerung der Effektivität und Effizienz der Applikationen Wind-to-Vehicle (W2V) sowie Vehicle-to-Grid (V2G) inklusive Ladeinfrastruktur (V2G) wurde gemeinschaftlich von den industriellen Partnern Vattenfall Innovation GmbH und BMW AG sowie den technischen Universitäten Berlin, Chemnitz und Ilmenau durchgeführt. Der Arbeitstitel lautet „Gesteuertes Laden V2.0“.

Abbildung 3: Eckdaten Förderprojekt Gesteuertes Laden V2.0

Das Projekt hatte eine Laufzeit von einem Jahr und fünf Monaten und lief vom 1 Mai 2010 bis zum 30. September 2011. Da das Projekt vom Konjunkturpaket II finanziert war, das am 30.09.2011 endet, war es nicht möglich, die Projektlaufzeit zu verlängern.

2.2.6.2 Projektplanung und -ablauf technisch-inhaltlich

Das Projekt „Gesteuertes Laden V2.0“ bestand aus fünf Teilprojekten (TP):

- Teilprojekt 1: Wind-to-Vehicle-to-Grid
- Teilprojekt 2: Nutzerfreundlichkeit
- Teilprojekt 3: Ladestation V2.0
- Teilprojekt 4: Aufbau Integrationsplattform
- Teilprojekt 5: Probebetrieb

Die Teilprojekte waren, wie in Abbildung 4 ersichtlich, in siebzehn Deliverables (D) unterteilt.

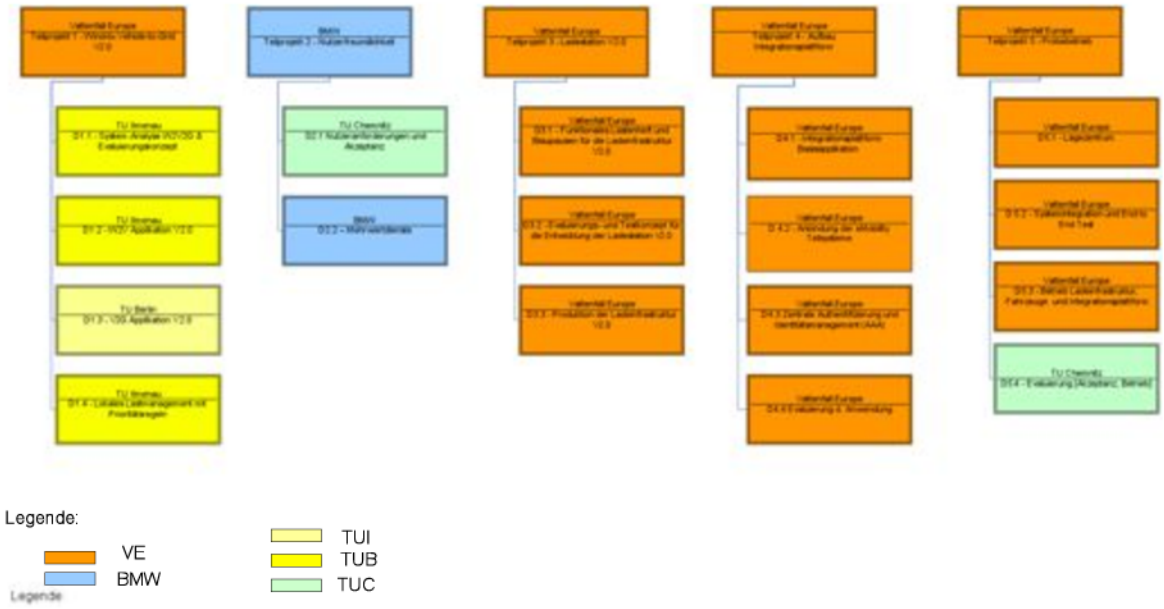


Abbildung 4: Projektstrukturplan Gesteuertes Laden V2.0

Die dritte Ebene bildeten 99 Arbeitspakete (AP).

Aufgrund der Größe des Projekts und der Komplexität wurde eine klare Organisationsstruktur beschlossen. Der Projektleiter wurde unterstützt durch die Projektsteuerung und -controlling, darunter waren Teilprojektleiter, Deliverable-Verantwortliche und Arbeitspaketverantwortliche angesiedelt. In Abbildung 5 ist die Organisationsstruktur des Projekts „Gesteuertes Laden V2.0“ dargestellt.

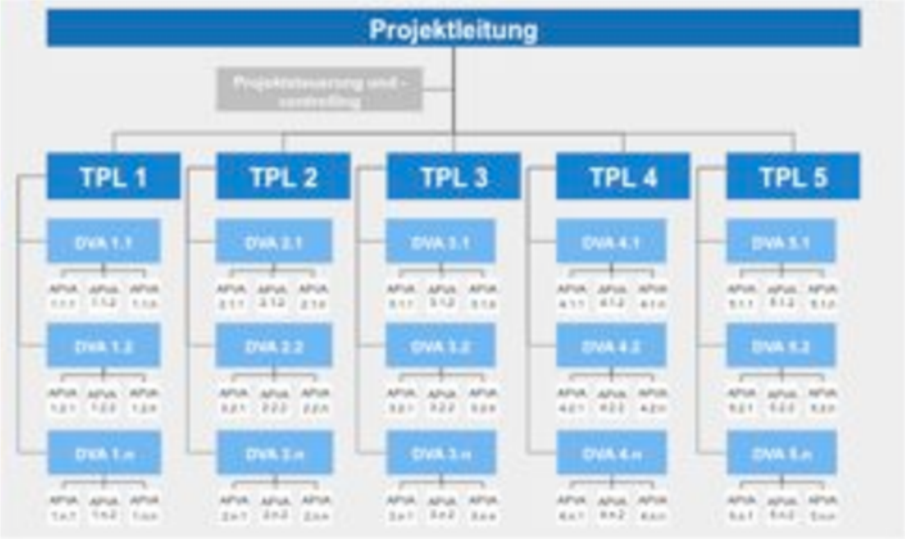


Abbildung 5: Organisationsstruktur Gesteuertes Laden V2.0

Alle hier genannten Verantwortlichen hatten definierte Rollen:

Projektleiter/in:

- Sicherstellung Erreichung des Gesamtzieles innerhalb der zeitlichen und budgetären Vorgaben
- Steuerung des Gesamtprojektes / Koordination der Teilprojekte

Teilprojektleiter/in

- Sicherstellung Erreichung des Teilprojektzieles innerhalb der zeitlichen und budgetären Vorgaben
- Steuerung des jeweiligen Teilprojektes / Koordination der Deliverables

Deliverable-Verantwortlicher

- Fertigstellung des Deliverables innerhalb der zeitlichen und budgetären Vorgaben
- Steuerung des jeweiligen Deliverables / Koordination der Teilergebnisse der AP-Leiter

Arbeitspaket-Verantwortlicher

- Fertigstellung des Arbeitspakets innerhalb der zeitlichen und budgetären Vorgaben
- Berichtet an den Deliverable-Verantwortlichen

Projektsteuerung und –controlling*

- Zentrale Schnittstelle und Koordination zwischen allen Teilprojekten und Partnern
- Identifikation von Problemen, Begleitung von Eskalationen, Herbeiführen von Entscheidungen
- Termin- und Budgetüberwachung
- Kommunikation innerhalb des Projektes und zum Fördergeber

2.2.6.3 Methodik und Zusammenarbeit - Agiles Verfahren

Im Laufe des Projektes stellte sich heraus, dass für die Entwicklungen der Applikationen und der Hardware nicht nur einen Zusammenarbeit im jeweiligen Teilprojekt notwendig war, sondern auch eine teilprojektübergreifende Zusammenarbeit.

Weiterhin wurde offenkundig, dass der Entwicklungsprozess der begrenzten Laufzeit des Projektes sowie der Komplexität der technischen Herausforderungen angepasst werden musste.

Die ursprünglich geplante sequenzielle Entwicklung von Hard- und Software mit immer wieder zwischengeschalteten Nutzerfeedbacks konnte aufgrund der Zeitknappheit so nicht mehr durchgeführt werden. Ein schnelleres Entwicklungsverfahren, das es Anforderern und Entwicklern ermöglicht, gleichzeitig an Applikationen und Hardware zu arbeiten und durch kurze Wege im ständigen Dialog zu sein, wurde benötigt.

Als geeignetes Verfahren wurde das sog. „Agile Verfahren“ identifiziert.

Ziel des Agilen Verfahrens ist es die Systementwicklung flexibler und schlanker zu machen. Neben der praktikablen Entwicklung und der schnellen Umsetzung abgestimmter Anforderungen bietet das Agile Verfahren die Möglichkeit über kurze Abstimmprozesse zwischen Anforderern und Entwickler arbeitet zu parallelisieren. Somit konnten Applikationen und Hardware unter bestmöglicher Ausnutzung der Zeit entwickelt werden.

Mit Hilfe einer Excelliste wurde die Umsetzung von Anforderungen dokumentiert, nachverfolgt und das Entwicklungsergebnis abgenommen. Die wesentlichen Bestandteile dieser Exceltabelle sind:

- Eine Kurzbeschreibung des Vorgehens
- Ein Zeitplan zur Koordination der Bearbeitung der Liste
- Anforderungen aus der Sicht
    - des Nutzers
    - des Elektrofahrzeugs
    - der Ladeinfrastruktur
    - des Stromnetzes
    - des Stromvertriebs

Die Adressaten der Anforderungen wurden gemäß der Systemarchitektur des Gesamtsystems Gesteuertes Laden v2.0. strukturiert. Damit ergaben sich folgende Entwicklungsverantwortungen:

- LI Hardware
- Simulation
- W2V
- V2G
- LLM
- ÖLM
- Ladeassistent
- IT-Integration (Vattenfall-Server)
- BMW-Server
- Fahrzeugarchitektur

Zur Entwicklung, Analyse und Bewertung der Anforderungen wurde folgendermaßen vorgegangen.

Phase I : Entwicklung der Anforderungen

- Definition von Use Cases
- Definition von Anforderungs- und Entwicklungsverantwortlichen
- Initiale Entwicklung der Anforderungen durch die Anforderungsverantwortlichen

Phase II: Iterative Bewertung durch Entwicklungsverantwortliche

- Check der bisher eingetragenen Anforderungszuordnung (ggf. Ergänzung).
- Statusangabe zu Anforderungen prüfen (ggf. Ergänzung).
- Rückmeldung in gelbe Kommentarspalte eintragen und Dialog mit dem Anforderungsverantwortlichen aufnehmen.
- Fragen der Anforderungsverantwortlichen zu den Use Case-Paketen beantworten.
- Änderungen der Ablaufdiagramme in den Use Case-Paketen vornehmen.
- Statusangabe aus Sicht des Entwicklungsverantwortlichen angeben.

Phase III: Iterative Änderung von Anforderungen durch die Anforderungsverantwortlichen

- Check der bisher eingetragenen Anforderungen (ggf. ergänzen, abändern oder löschen)
- Abgleich und Prüfen der Anforderungen in den Use Case-Paket-Dokumenten (Word-Dokument mit Use Case-Flussdiagrammen) Dazu in die gegliederten Dokumente hineinarbeiten
- Abstimmung mit dem Entwicklungsverantwortlichen (=Adressaten) der Anwendung
- Aktualisieren des "Status Anforderung" in Spalte G. (Änderungen einer Anforderung in den Historiespalten eintragen)
- Übergabe der Controllingdatei an den nächsten Anforderungsverantwortlichen

Phase IV: Erstellung des Lastenhefts

- Finalisierung und Formulierung der Anforderungen in Abstimmung zwischen Anforderern und Entwicklern (Annahme oder Ablehnung der Anforderung)
- Dokumentation der angenommenen Anforderungen in einem Lastenheft durch zentralen Ansprechpartner

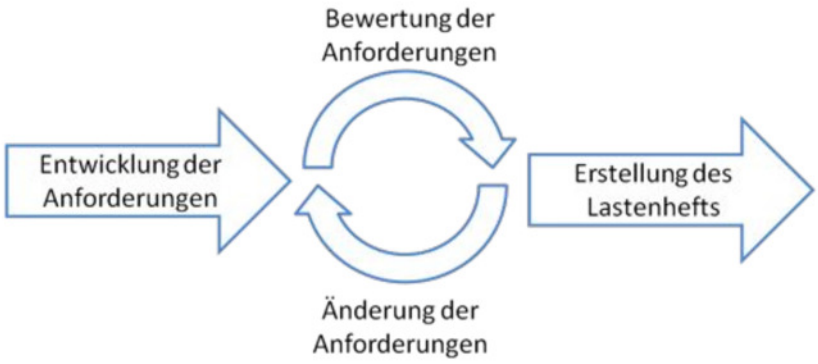


Abbildung 6: Vorgehen im Agilen Verfahren

Die Anforderungsverantwortlichen übernahmen somit jeweils aus ihrer Perspektive die Verantwortung für die Formulierung und Dokumentation der Anforderungen. Darüber hinaus sind sie Ansprechpartner für den Entwickler und nehmen die Anforderung ab. Die Entwicklungsverantwortlichen hingegen übernahmen jeweils für ihre Simulation, LI-Hardware, SW Applikation oder EV die Verantwortung für die Umsetzung und Realisierung der Anforderungen

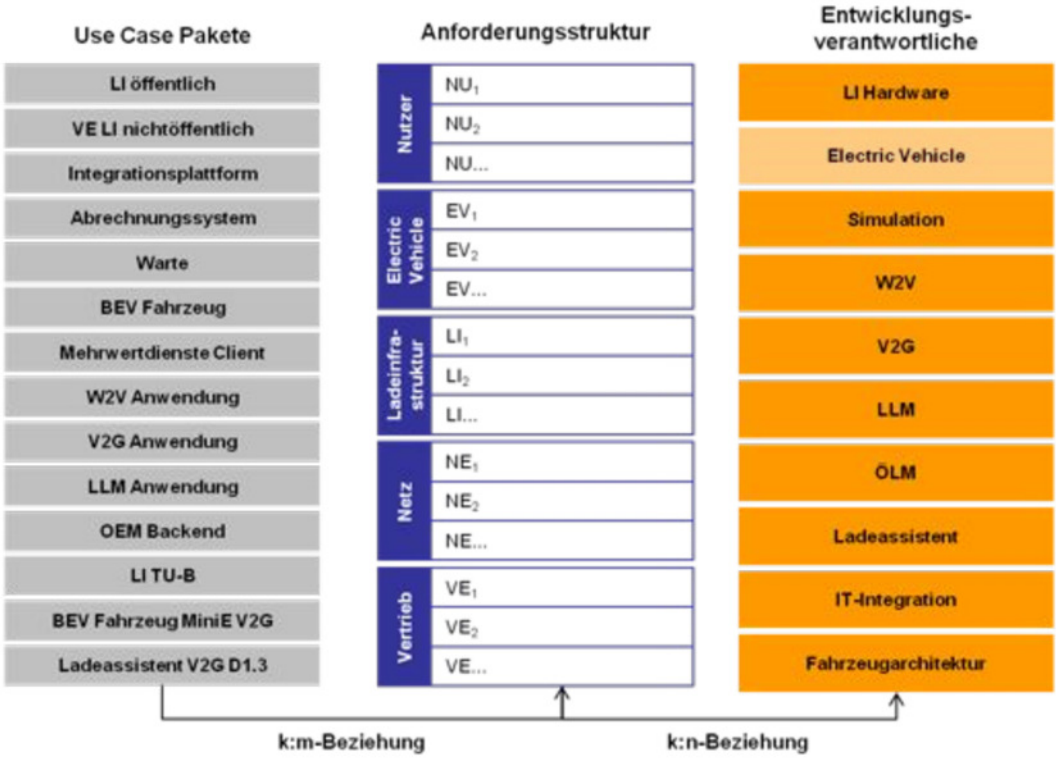


Abbildung 7: Struktur der Instanzen im Agilen Verfahren

Die Anforderungsspezifikation wird während der gesamten Projektlaufzeit iterativ vervollständigt. Die Rückverfolgbarkeit der Anforderungen wurde durch eine n:m Verknüpfung von Use Cases, Anforderungen und Entwicklungsverantwortlichen sichergestellt. Eine n:m Zuordnung bedeutet, dass mehrere Use Cases mehreren Anforderungen zugeteilt wurden und diese wiederum mehreren Entwicklungsverantwortlichen.

Die Abnahme der Funktionen erfolgt durch eine Erprobungs- bzw. Systemtestphase durch die Anforderungs- und Entwicklungsverantwortlichen. Dabei werden Funktionen vorgeführt und ggf. einzeln abgenommen. Im Probebetrieb werden Funktionen erprobt und ggf. neue Anforderungen definiert.

Das Agile Verfahren ermöglicht somit eine schnelle Implementierung der geklärten Anforderungen sowie eine frühe Inbetriebnahme und ein „Herantasten“ an eine gemeinsame Lösung.

3 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan

Die Ziele des Projektes Gesteuertes Laden V2.0 sind weitestgehend erreicht worden. Die Entwicklungen sowohl soft- als auch hardwareseitig wurden erfolgreich umgesetzt. Es gab in jedem Teilprojekt kleinere Abweichungen, die in diesem Kapitel aufgezählt werden. Zwei maßgebliche Abweichungen hatten jedoch Einfluss auf das gesamte Projekt:

- Die Fahrzeuge konnten anstatt im Mai erst im September geliefert werden.
- Die Ladeinfrastruktur wurde gleichermaßen nicht im Mai für den End-to-End-Test freigegeben, sondern erst im September.

Die wesentliche Folge dieser Verzögerungen war, dass der Probebetrieb nicht wie geplant durchgeführt werden konnte. Die Verzögerung hat Konsequenzen auf mehrere Teilprojekte und Deliverables, die sowohl im Folgenden als auch in den Ergebniskapiteln spezifisch beschrieben sind.

3.1 Abweichungen Teilprojekt 1

Gegenüber der Planung im Förderantrag wurden im TP 1 methodische Änderungen vorgenommen, die zur Sicherung der Ergebnisse erforderlich waren:

- D 1.1 Zusätzlicher Einsatz des Fahrzeugsimulators LIM zur Teilkompensation der fehlenden Verifikation der Simulationsergebnisse durch Messungen im Probebetrieb.

Im Teilprojekt 1 wurden alle geforderten Anwendungen für den Betrieb der Gesteuerten Ladeinfrastruktur und die Modelle für die Simulation entwickelt und implementiert. Die Simulationen wurden wie geplant durchgeführt und erbrachten plausible Ergebnisse. Deren Ergebnisse sollten jedoch mit den Ergebnissen des Probebetriebes validiert werden. Weil dieser allerdings nicht mehr stattfinden konnte, wurde in Teilprojekt 1 auf eine Ersatzlösung zurückgegriffen um Teile der Simulationsergebnisse dennoch verifizieren zu können und die Simulationsmodelle anzupassen. Das zum benötigten Zeitpunkt nicht verfügbare reale Fahrzeug wurde durch ein sogenanntes LIM (Lade-Interface-Modul) simuliert. Das LIM ist ein Testsystem welches sich in Bezug auf das Ladeverhalten des BMW-Fahrzeugs wie ein reales Fahrzeug verhält. Dieses LIM wurde zum Testen der

komplexen Ladevorgänge an der Ladeinfrastruktur verwendet und konnte damit die fehlenden Fahrzeuge für Testzwecke ersetzen. Damit konnten Modellanpassungen vorgenommen und die Aussagensicherheit der Ergebnisse erhöht werden.

- D 1.1 Rückschlüsse auf die Nutzerakzeptanz des Gesteuerten Ladens nicht aus dem Fahrzeugprobebetrieb, sondern aus einer geführten Befragung von EV-Nutzern an Vattenfall-Ladesäulen.

Die Fahrzeugverfügbarkeit und die Bereitschaft der Nutzer gesteuert zu laden, haben direkten Einfluss auf die Effektivität des Gesteuerten Ladens insgesamt. Hohe Fahrzeugverfügbarkeit kann einhergehen mit Mobilitätseinschränkungen. Neben den technischen Maßnahmen, Applikationen und Funktionalitäten war im Rahmen des Projektes daher auch die Nutzerakzeptanz für Gesteuertes Laden zu ermitteln und zu analysieren. Mangels Probebetrieb wurden geführte Befragungen von E-Fahrzeugnutzern an Vattenfall- Ladestationen und im Freilandlabor ersatzweise durchgeführt. Die Befragung war so ausgestaltet, dass trotz einer kleinen Grundmenge wichtige Indikationen für Parameter zur Beeinflussung der Nutzerakzeptanz gegeben werden konnten.

- D 1.3 V2G enthält nicht nur die Applikation zur Rückspeisung, sondern nutzt ebenfalls die W2V-Funktionalität aus D 1.2

Das Deliverable D 1.3 hatte zum Ziel, ein vollständiges System zum bidirektionalen Laden und Rückspeisen (Energieentnahme aus dem Netz und Rückspeisung in das Netz) von Energie zu entwickeln und realisieren. Im Fokus stand die Rückspeisung der gespeicherten Windenergie aus der Fahrzeugbatterie ins Stromnetz (V2G). Für den Ladevorgang mit der V2G-Infrastruktur im Freilandlabor kam die in D 1.2 entwickelte der W2V-Zielfunktion zum Einsatz, in der auf den Windanteil in der Ladekurve optimiert wurde. Eine isolierte Betrachtung nur der Rückspeisung ist nicht sinnvoll, da die Fahrzeuge möglichst unter den gleichen Nutzer-, Fahrzeug-, Netz- und Erzeugungssituationen geund auch entladen werden sollten.
Die Ergebnisse der Simulation am Flottenmodell der TU Berlin und am physikalischen Modell der TU Ilmenau sind nicht direkt vergleichbar. Dafür gibt es im Wesentlichen folgende Gründe.

1. Es wurden jeweils andere Nutzerprofile unterstellt. Während im physikalischen Modell die verschiedenen realen Fahrprofile der MINI E Nutzer mit Variationen angenommen wurden kamen im Flottenmodell drei synthetische Fahrprofile zum Einsatz, zu Hause / Arbeitsplatz, Außendienst und Lieferdienste.

2. Das Flottenmodell dient auch als Planungswerkzeug für die vorausschauende Planung, mit dem das geplante Lade- und Entladeprofil erstellt wird und an das sich die simulierten Nutzer auch halten. Im Gegensatz dazu sind die realen Nutzerprofile im physikalischen Modell nicht planbar.
3. Für die Flottensimulation wurde ein idealisierter Wirkungsgrad für die Ladung und Rückspeisung von 1,0 angenommen, während das physikalische Modell mit einem realistischeren Wert von 0,87 gerechnet hat.
4. Die W2V-Ziefunktion wurde im Flottenmodell über einen größerern Zeitbereich nämlich für das Laden und Entladen angewendet als im Physikalischen Modell.
5. Für die Flottensimulation wurden eine geringer, nur für den abgebidleten Stadtbereich gültige Fahrzeuganzahl unterstellt, als im physikalischen Modell

- D 1.4 Die LLM-Applikation wurde in zwei Instanzen LLM und ÖLM aufgeteilt.

Aus methodisch praktischen Erwägungen wurden in D 1.4 die Begrifflichkeit geschärft und zwei voneinander klar abgegrenzte Wirkungsbereiche definiert. LLM (Lokales Lastmanagement) beschreibt den Stromnetzbereich auf dem „Nutzergelände“ aus Sicht des öffentlichen Netzes hinter dem Netzanschluss. ÖLM (Öffentliches Lastmanagement) betrifft das Niederspannungsnetz zwischen dem ersten Ortsnetztrafo und den Hausanschlüssen. Für jedes der beiden Netzbereiche wurden eigene Betrachtungen angestellt Die LLM-Applikation wurde entwickelt und umgesetzt. Die Funktionalitäten einer ÖLM-Applikation wurden in der Simulation nachgebildet.

3.2 Abweichungen Teilprojekt 2

Im Rahmen der Tätigkeiten für das Arbeitspaket 2.1.1 „Übergreifende nutzerbezogene Anforderungsanalyse der Applikationen auf Basis der gemeinsamen Hypthesendefinitionen“ wurde ein Anforderungskatalog erstellt. Im Rahmen dieser Tätigkeiten wurde von den Projektpartnern beschlossen, über den geplanten Umfang hinaus die individuellen Anforderungen von zwei Fuhrparkmanagern zu integrieren. Dazu fanden zwei Befragungen statt. Motivation war, das als erster möglicher Anwendungsfall der Einsatz von Elektrofahrzeugen in Fuhrparks denkbar ist. Dadurch verzögerte sich der Abschluss dieses Arbeitspaketes gegenüber der ursprünglichen Planung, was jedoch im Gesamtablauf des Forschungsprojektes an anderer Stelle kompensiert werden konnte. Die Aus-

wertungen der Usability-Untersuchungen im Arbeitspaket AP 2.1.5 wurden leicht verzögert fertig gestellt, was ohne Implikationen für die Zielerreichung blieb.
Aufgrund der technischen Herausforderungen bei der Realisierung des Gesamtsystems, konnten Systemtest und Probebetrieb des Ladeassistenten nicht planmäßig umgesetzt werden. Speziell Langzeituntersuchungen zu geändertem Nutzerverhalten im Umgang mit dem Ladeassistenten konnte nicht wie geplant realisiert werden. Dieser Effekt ist aber vernachlässigbar, weil ohnehin keine externen Nutzer als Testpersonen vorgesehen waren, sondern lediglich Projektmitarbeiter. Externe Nutzer sollten erst in einem Nachfolgeprojekt im Rahmen eines Alltagstests befragt werden.

3.3 Abweichungen Teilprojekt 3

Basierend auf den Ergebnissen des Vorläuferprojektes MINI E Berlin 1.0 und den Anforderungen aller Stakeholder sollte im Teilprojekt 3 eine hinsichtlich Effektivität und Effizienz verbesserte Ladeinfrastruktur V2.0 konzipiert und entwickelt werden. Dazu sollten in einem geplanten iterativen Prozess Alternativen von Komponenten, Modulen, Teilsystemen und Prototypen entwickelt und von Nutzern auf Usability getestet werden. Die Ergebnisse der Usability-Untersuchungen sollten dann in die Weiterentwicklung der Ladeinfrastruktur zurückfließen.
Bei der Durchführung des Marktdialogs stellte sich heraus, dass die hochkomplexen Anforderungen des Konzeptes Gesteuertes Laden von keinem Lieferanten so schnell - wie im Projekt geplant - umgesetzt werden konnten. Anforderungen bestanden seitens des Fahrzeugs und des Netzes sowie der IT-Funktionalitäten, die eine reibungslose Kommunikation innerhalb der Ladeinfrastruktur sowie von Backend des Stromerzeugers zu Backend des Fahrzeug-Herstellers ermöglichen müssen. Der Entwicklungsprozess war deutlich aufwändiger als geplant. Aufgrund der engen Zeitschiene und des nicht verschiebbaren Projektendes war ein iteratives Vorgehen mit geplanten Nutzerfeedbackschleifen nicht mehr möglich.
Es existierte ein maßgebliches Delta zwischen - für die Ladeinfrastrukturentwicklung und -herstellung erforderlichem - vorhandenem Know-how und Entwicklungs-Dynamik bei den angesprochenen - und auf Basis des Marktdialogs als geeignet identifizierten - Lieferanten. Es war ein sehr hoher Einsatz von Zeit und Personal aus dem VE-Entwicklungsteam für Know-how-Übertragung notwendig.

Im weiteren Beauftragungs- und Entwicklungsprozess mussten zudem bei zwei der Lieferanten die Zusammenarbeit aus verschiedenen Gründen (teils aufgrund fehlender technischer Kompetenz teils aufgrund fehlender Flexibilität) vorzeitig beendet werden. Der dritte Lieferant versprach dennoch, die gewünschte Ladeinfrastruktur in der noch verbleibenden und deutlich verkürzt verfügbaren Zeit herzustellen. Der Lieferantenwechsel verbrauchte weitere verfügbare Zeit und Kapazitäten, die für die eigentliche Entwicklung dann fehlten. Daher ergaben sich folgende Umplanungen für die Herstellung der Ladeinfrastruktur:

- Die im Rahmen des Entwicklungsprozesses geplante systematische Generierung von Alternativen auf den Ebenen Komponenten, Modulen, Teilsystemen und Prototypen konnte nur noch getrennt von der Produktion der V2.0 vorgenommen werden.
- Für V2.0 wurde daher aus Zeitgründen eine pragmatische Lösung gewählt. Sie basiert auf einem funktionalen Lastenheft und einer darauf aufbauenden Blaupause im Sinne einer technischen Konkretisierung des Lastenheftes.
- Dem gegenüber wurden für einzelne Funktionalitäten Alternativen im Rahmen der neu eingeführten Roadmap evaluiert (siehe Beschreibung des Agilen Verfahrens Kapitel Methodik und Zusammenarbeit - Agiles Verfahren) eine alternative Ladesäule als Probemuster angefertigt.
- Zu Projektende werden über die V2.0 hinaus zwei Prototypen (V2.x) erstellt, die eine weitere Funktion enthalten, die bei der Entwicklung V2.0 aufgrund des Zeitmangels nicht realisiert werden konnte (mittels Software durchstimmbares CP Modul).
- Die Erfahrungen mit der V2.0 sowie die Roadmap-Ergebnisse fließen in die Weiterentwicklung der Ladeinfrastruktur V3.0 ein.
- Die Usability-Tests konnten aus o.g. Gründen nicht mit fertigen Varianten der Ladeinfrastruktur V2.0 durchgeführt werden. Die Nutzerevaluation und Expertentests wurden daher mit Prototypen der Projektinfrastruktur durchgeführt. Darüber hinaus wurde andere Beispiel-Ladeinfrastrukturen mit-evaluiert. Dadurch ergaben sich auch hier zahlreiche und maßgebliche Ergebnisse für die weitere Arbeit an der Ladeinfrastruktur-Entwicklung.

- Die Testprozeduren (IT- und elektrotechnisch) mussten mehrfach auf den jeweiligen Lieferanten angepasst werden. Z.B. hatte der dritte Lieferant beispielsweise eine wandhängende Infrastruktur entwickelt. Das ursprünglich für die Lösungen des ersten bzw. zweiten Lieferanten geschriebene Testkonzept sah jedoch das Testen einer freistehenden Ladesäule vor und musste entsprechend umgeschrieben werden.

Die Funktionalitäten des Gesteuerten Ladens konnten vollumfänglich im Rahmen mehrerer End-to-End-Tests nachgewiesen werden: Ladeinfrastruktur und E-Fahrzeug kommunizieren miteinander und Ladevorgänge werden erfolgreich verhandelt und durchgeführt. Dabei werden die Anforderungen der Windintegration ebenso erfüllt wie diejenigen der Netzrestriktion. Während der Projektlaufzeit war kein Lieferant in der Lage, die Anforderungen des Gesteuerten Ladens im Rahmen des zeitlichen und budgetären Rahmens vollständig zu erfüllen. Große Industrieunternehmen waren am Anfang der Lieferantensuche noch nicht am Markt mit attraktiven Ladeinfrastruktur-Produkten vertreten. Die mittelständischen Lieferanten waren mit der Integration von Elektrotechnik und IT-Know-how überfordert und/oder zeichneten sich durch mangelhafte Entwicklungsflexibilität aus. Daraus ergab sich für das Projektteam Vattenfalls ein deutlich intensiverer Betreuungsaufwand. Gemeinsam mit den Stabilitätsproblemen führte dies zu erheblichen Zeitverzögerungen, so dass der Probebetrieb nicht stattfinden konnte.
Darüber hinaus konnte wegen der beschriebenen Stabilitätsprobleme das angestrebte Master-Satelliten-Konzept nicht wie geplant umgesetzt werden. Bei einem nicht stabil funktionierenden Master würden automatisch alle Satelliten in Mitleidenschaft gezogen. Deshalb hat sich das Projektteam entscheiden, das System zunächst noch redundant aufzubauen. Falls ein Master ausfallen sollte, kann jeder Satellit mit wenigen Handgriffen selbst zum Master werden und das Laden an den übrigen Ladepunkten sicherstellen. Mit dem Beseitigen der Stabilitätsprobleme wird in der Projektverlängerung der Industriepartner auch die ursprünglich geplante Master-Satelliten-Architektur im Rahmen eines Prototypen umgesetzt.

3.4 Abweichungen Teilprojekt 4

Ziel des Teilprojektes 4 war der Aufbau einer IT-Plattform, die alle für die W2V2G Applikationen notwendigen Systeme integriert und für einen Pilotbetrieb zur Verfügung stellt.

Die Plattform sollte die Verwaltungs- und Verarbeitungslogik des Gesamtsystems abbilden und alle Bewegungs- und Nutzerdaten zentral speichern. Gleichzeitig war eine automatisierte Rechnungslegung zu gewährleisten. Dafür war eine entsprechende IT-Infrastruktur mit den zugehörigen Schnittstellen zu etablieren.
Der Lieferumfang des Teilprojektes wurde bis auf die Authentisierungsvariante 3 zum Informationsaustausch zwischen EVU und OEM vollständig bis zum Projektende erfüllt. Bei Authentisierungsvariante 3 kommuniziert das Fahrzeug ausschließlich über das OEM-Backend mit der Ladeinfrastruktur. Der Kommunikationskanal zwischen dem Fahrzeug und dem OEM-Backend war bis zum Projektende noch nicht ausgeprägt, so dass nur die Authentisierungsvarianten 1 und 2 getestet werden konnten. Für eine Demonstration des Gesteuerten Ladens reichten diese Varianten vollständig aus.
Es kam aber zu zeitlichen Verzögerungen bei einzelnen Teilergebnissen. Sie entstanden bei der Abstimmung des Prozessschaubilds für das Gesteuerte Laden und der Ausprägung des BMW spezifischen Smart Charge Protokolls (BCP) sowie deren Umsetzung. Ebenso verzögerte sich die Migration des Datenbestandes und der Ladeinfrastruktur MINI E Berlin 1.0 Anwendung. Diese Verschiebung der Fertigstellung führte dann auch zu einer späteren Umsetzung der Reportingfunktionalität für die wissenschaftliche Auswertung der Bewegungs- und Nutzungsdaten. Von der zeitlichen Implikation abgesehen sind die Funktionalitäten in vollem Umfang bereitgestellt worden.

3.5 Abweichungen Teilprojekt 5

Voraussetzung für die Durchführung des Teilprojektes 5 war die Bereitstellung der verschiedenen Teilkomponenten für den Probebetrieb. Diese waren die BMW ActiveE, die Ladeinfrastruktur, der Ladeassistent sowie die funktionssicheren Backend-Systeme von Vattenfall und BMW. Hinsichtlich der Bereitstellung derselben kam es jedoch zu Verzögerungen, die sich auf die Durchführung des Probebetriebs auswirkten.
Aufgrund von Forschungs- und Entwicklungsproblemen bei der Antriebselektronik bei den BMW ActiveE Fahrzeugen kam es zu einer dreimonatigen Verzögerung bzgl. der Verfügbarkeit der Fahrzeuge gegenüber der ursprünglichen Planung. Diese Situation wurde durch BMW im Konsortium zeitgerecht kommuniziert und mit dem Fördermittelgeber sowie dem Projektträger am 28.06.2011 persönlich in Berlin besprochen. In diesem Gespräch wurden folgende möglichen Kompensationsmaßnahmen diskutiert und vereinbart:

- Alternativer Probebetrieb: Start Probebetrieb ab Anfang August in München (beginnend mit zwei Fahrzeugen). Erweiterung Probebetrieb ab Anfang September in Berlin (beginnend mit 10 Fahrzeugen). BMW schult kurzfristig 10 Vattenfall Mitarbeiter (BMW B1-Führerschein), damit diese die Fahrzeuge frühzeitig fahren dürfen.
- Ein möglicher früherer Beginn wird durch BMW geprüft.
- Neues Arbeitspaket „V2G System“: Nutzung/Einsatz der 3 MINI E V2G mit Ladestation und V2G User Applikation im Freilandlabor der TU Berlin. Dabei bewegen 10 Nutzer die Fahrzeuge jeweils 5 Tage entsprechend vorgegebener Use Cases. Summarische Befragung der Nutzer am Ende des Nutzungszeitraums

Aufgrund der im Folgenden weiterhin bestehenden technischen Herausforderungen bei den BMW ActiveE Fahrzeugen, konnten diese erst Anfang September zu Erprobungszwecken zur Verfügung gestellt werden. Somit konnten die System- und End-to-End-Tests erst zu diesem Zeitpunkt starten. Die Tests hatten zum Ziel, das Gesamtsystem zu prüfen und das Zusammenspiel zwischen Fahrzeug, Ladeinfrastruktur und den beiden Back-End-Systemen zu testen. Im Zuge der Tests wurden diverse Fehler und Probleme, die sich über nahezu alle Teilkomponenten erstreckten, aufgedeckt. An deren Lösung wurde bis zum Projektende gearbeitet. Aufgrund der Tatsache, dass es bis zum Ende des Projektes nicht gelungen war, ein vollständig stabiles Gesamtsystem zur Verfügung zu stellen, konnten Teile des Probebetriebs nicht stattfinden. Die betraf insbesondere den technischen Probebetrieb.

Der Ansatz ein oder zwei Ladestationsstandorte für den Probebetrieb nach Gesichtspunkten eines örtlichen Niederspannungsnetzes auszuwählen und damit die Aussagen zu der in TP 1 entwickelten Methode zur Bestimmung der Netzgrenzbelastungen zu verifizieren, wurde zu Gunsten der Bündelung mehrerer Ladestationen an einem Ort und der damit möglichen Prüfung des lokalen Lastmanagements aufgegeben. Alternativ wurden jedoch im Zuge des Probebetriebs in Lichtenrade Messsysteme installiert, betrieben und die Daten ausgewertet.

Hinsichtlich des V2G Probebetriebs mit den BMW MINI E gab es keine Abweichungen. Der Nutzer-Probebetrieb (D 5.4) konnte nur in beschränktem Maße durchgeführt werden, da die BMW ActiveE Fahrzeuge und die Ladeinfrastruktur nicht rechtzeitig für das

geplante Design der Evaluierung zur Verfügung standen. Aus diesem Grund wurde von der TU Chemnitz gemeinsam mit den Projektpartnern und in Absprache mit dem Fördergeber eine Erweiterung bzw. Änderung des Studiendesigns wie oben beschrieben beschlossen. Neben der geplanten Evaluierung des W2V-Systems wurde für den Probebetrieb eine Evaluierung des V2G-Systems anhand der MINI E Fahrzeuge, der dafür ausgestatteten Ladestation und des Ladeassistenten im Freilandlabor der Technischen Universität Berlin konzipiert durchgeführt und die Ergebnisse dokumentiert.

4 Ausführliche Darstellung der einzelnen Ergebnisse des Verbundprojektes

4.1 Teilprojekt 1: Wind-to-Vehicle-to-Grid

4.1.1 Management Summary

TP1 repräsentiert das „Herzstück“ des Projekts, da hier die Antworten und quantitativen Ergebnisse der Eingangsfragestellungen kommuniziert werden. Die zentrale Zielstellung des Projekts: Erhöhung der Effizienz des Gesteuerten Ladens wird im TP1 herunter gebrochen auf die Kernfragestellungen, deren Antworten auch eine Quantifizierung des Effektes umfassen:

- Um welchen Anteil Windeispeisung kann Gesteuertes Laden den Energieinhalt eines Ladevorgangs erhöhen, auch im Gesamtsystem gegenüber dem ungesteuerten Laden?
- Wird mit dem Gesteuerten Laden fossiler Brennstoff eingespart? Welchen Einfluss hat Gesteuertes Laden auf die im System vorzuhaltende konventionelle Erzeugungskapazität (Leistung)?
- Wie unterstützt Gesteuertes Laden die Einbindung fluktuierender, dezentraler EE-Erzeugungseinrichtungen in das Energieversorgungssystem? Lassen sich durch Gesteuertes Laden vermehrt auftretende Drosselungen und Abregelungen von EE- Anlagen (§13 EnWG) in EE-Überschuss-Situationen vermeiden?
- Wie groß ist der CO_2-Emissionsminderungseffekt durch Gesteuertes Laden?
- Welche Effekte hinsichtlich des Windanteils und der CO_2- Emission sind bei einer Einbeziehung der Rückspeisung aus dem Fahrzeug in das Stromnetz zu erwarten?
- Sind die Voraussetzungen einer Teilnahme der W2V2G-Fahrzeuge am Systemdienstleistungsmarkt für Regelenergie- und -leistung erfüllbar? Ist ein wirtschaftlicher Nutzen daraus ableitbar?
- Lässt sich mit Gesteuertem W2V2G-Laden und Ausnutzung der Speicherfähigkeit der Batterie ein wirtschaftlicher Nutzen aus der Volatilität des Strompreises (Stromhandel), auch unter Berücksichtigung einer zusätzlichen Alterung der Batterie realisieren?

- Welcher Erfahrungen konnten aus dem W2V2G-Freilandlabor hinsichtlich Aufbau und Architektur der rückspeisenden Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur gemacht werden?
- Welchen Einfluss hat die Verfügbarkeit der Fahrzeuge an der Ladesäule auf die Wirkungen des Gesteuerten Ladens
- Wie kann die Verfügbarkeit nutzerseitig maximiert werden oder mindestens besser, d.h. vorausschauend, planbar gemacht werden?
- Worauf sprechen Nutzer und Fahrer von Elektrofahrzeugen bei intelligenter Ladeinfrastruktur an und wodurch werden sie motiviert, Gesteuertes Laden zu nutzen?
- Welche Restriktionen begrenzen im öffentlichen Niederspannungsstromnetz und im privaten Stromnetz das Laden von Elektrofahrzeugen?
- Lassen sich die jeweiligen Stromnetze vor und hinter dem Netzanschluss durch Gesteuertes Laden besser ausnutzen? Kann dadurch wirtschaftliches Nutzenpotential gehoben werden?

Zur Beantwortung der Fragen wurde zunächst im Rahmen einer simulationsgestützten System-Analyse (D1.1) die ökologischen und technisch-wirtschaftlichen Effekte des Gesteuerten Ladens antizipiert. Grundlage hierfür sind drei Modelle: Physikalisches Modell, Marktmodell und Flottenmodell. Die im Rahmen diese Projektes entwickelten Simulationsmodelle bilden alle relevanten Instanzen ab: Elektrofahrzeuge, Elektrofahrzeug-Nutzer, Haushalte, Ladeinfrastruktur, Stromnetz, Strommarkt, Stromerzeugung aus Wind, Stromerzeugung aus konventionellen Kraftwerken und Netzlast.
Die Simulationen dienten zum einen der Untersuchung der Auswirkungen des Gesteuerten Ladens auf die Umwelt im Vergleich zum ungesteuerten Laden und zur Ermittlung des wirtschaftlichen Nutzens unter bestimmten Bedingungen. Zum anderen wurden die Simulationen auch durchgeführt, um die in diesem Teilprojekt benötigten Optimierungsalgorithmen und Anwendungen zu entwickeln und zu testen.
Innerhalb definierter Systemgrenzen wurden die Einflüsse der Nutzer, des Fahrzeugs und des Stromnetzes als Restriktionsfunktionen eingeführt, und es wurde eine sogenannte W2V-Zielfunktion entwickelt (D1.2), die das zeitabhängige Optimierungsziel des Ladevorgangs abbildet. Prinzipiell kann die Zielfunktion durch jeden Zeitverlauf beschrieben werden: z.B. CO_2-Emission bei der Stromerzeugung oder Strompreisverlauf.

Die hier entwickelte Zielfunktion bildet den Anteil der Windeinspeisung an der Gesamtstromerzeugung ab.

Die Optimierung im Rahmen des Gesteuerten Ladens besteht also darin, die Batterie so zu beladen (bzw. zu entladen), dass die vorher für den einzelnen Ladevorgang festgelegte Zielfunktion möglichst deckungsgleich unter Einhaltung aller Restriktionen (Nutzer-, Fahrzeug- und Netzseitig) erreicht wird. Das Ergebnis dieses Optimierungsvorgangs ist eine Ladehüllkurve, die am Ende eines technischen Verhandlungsprozesses zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur steht und die Eingangsgröße für die eigentliche Batterie-Ladesteuerung darstellt.

Darauf aufbauend wurden die drei Applikationen, W2V (D1.2), V2G (D1.3) und LLM (Lokales Lastmanagement, D1.4), sowie die konzeptionellen Vorüberlegungen und Messungen für eine vierte Applikation ÖLM (Öffentliches Lastmanagement, D1.4) zu einer Version 2.0, ausgehend von der Version MINI E Berlin 1.0 weiterentwickelt.

Die Anwendung mit Stromrückspeisefunktionen, also das Gesteuerte Be- und Entladen der Batterie, erfolgte in einem W2V2G-Freilandlabor mit drei Ladesäulen und drei umgerüsteten MINI E-Fahrzeugen im Rahmen des D1.3.

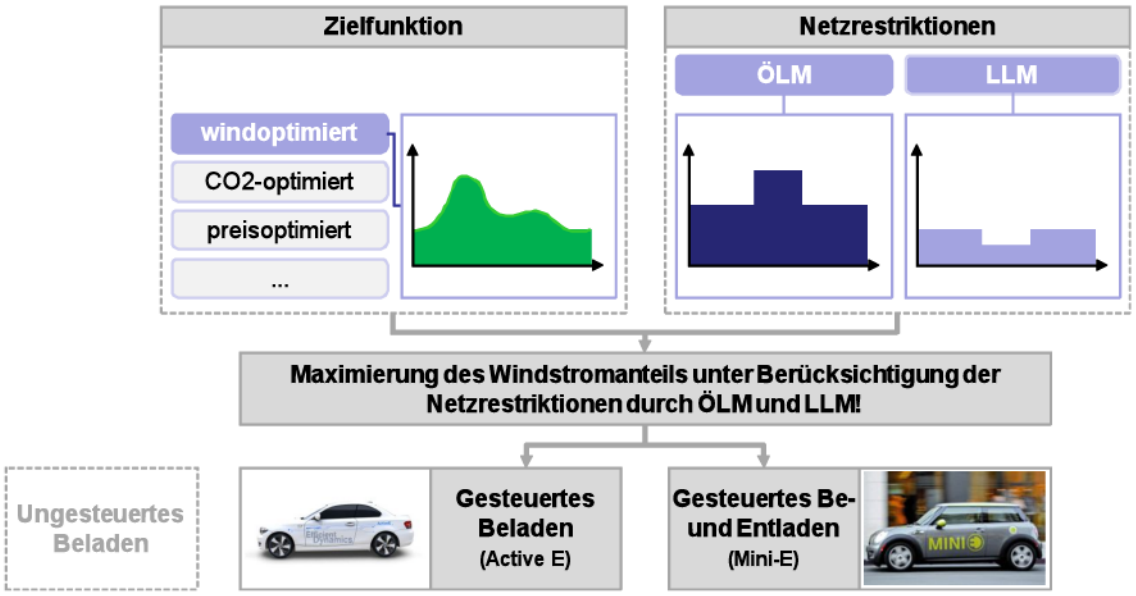


Abbildung 8: Systemkontext im TP1

Zur Verifikation der Simulationsergebnisse zu den ÖLM-Funktionalitäten wurden reale Messungen in einem öffentlichen Beispiel-Niederspannungsnetz in Berlin durchgeführt.

Die wesentlichen Ergebnisse des Teilprojekts 1 sind:

Auswirkungen des Gesteuerten Ladens auf den Windenergieanteil der Ladekurve und die CO_2-Emissionen (D1.1):

Elektrofahrzeuge werden in jedem Moment des Ladevorgangs mit dem aktuellen Strommix geladen. Das Gesteuerte Laden nun legt die Ladekurve innerhalb des Anschlusszeitraums, also wenn Fahrzeug und Ladeinfrastruktur elektrisch verbunden sind und miteinander kommunizieren, nun zeitlich so, dass der Strommix über den Ladezeitraum einen möglichst großen Anteil Windenergie enthält.

Gesteuertes Laden nach der W2V-Zielfunktion erhöht den Windstromanteil der Fahrzeug- Ladekurven gegenüber dem ungesteuerten Fall und macht so den einzelnen Ladenvorgang „grüner“. Im gleichen Maße, wie der einzelne Ladevorgang und so auch die Summe aller Ladevorgänge durch die Steuerung des Ladevorgangs grüner wird, werden für den spezifischen Ladevorgang die CO_2-Emisionen rechnerisch geringer.

Die Simulationsmodelle bilden diese ökologischen Individualwirkungen auch quantitativ für das Gesteuerte Laden einzelner Fahrzeuge und für die Summe aller Ladevorgänge mehrerer Fahrzeuge ab.

Für die üblichen Betriebszustand der Energiesystems, also ohne Überschussleistung in einer Regelzone, kann die Menge an aufgenommen Windstrom in allen Ladekurven bei der Ladung von 3,6-kW-Fahrzeugen um ca. 23% gesteigert werden – bezogen auf den ungesteuerten Fall. Erfolgt die Ladung von Fahrzeugen mit dreifacher Leistung, erhöht sich der mehr aufgenommen Windstrom um 43% von ungesteuert zu gesteuert.

Der Steigerungseffekt von ungesteuert auf gesteuert gilt tendenziell auch, wenn der Gesamtstrommix durch einen weiteren Ausbau der Windenergieanlagen, höhere Windenergieanteile enthält. Im Jahr 2030 mit einem Windenergiemengen-Anteil von 16% bewirkt die W2V-Steuerung einen im Durchschnitt um 1/3 höheren Windenergieinhalt der Fahrzeuge gegenüber den ungesteuert geladenen Fahrzeugen.

Während die Ladevorgänge für sich betrachtet durch die W2V-Steuerung einen höheren Windstromanteil aufweisen und damit einen ökologische Individualeffekt bewirken, ist das Gesamtsystem differenziert zu betrachten, und es ist zwischen zwei Einspeise-Netzlast-Konstellationen zu unterscheiden: Dem „normalen“ Energiesystembetrieb, ohne Überschussleistung und dem Systembetrieb mit Überschussleistung in einer Regelzone.

Ohne Überschussleistung

In Netzsituationen ohne Überschussleistung ist die eingespeiste Windstromleistung eines Regelgebietes kleiner als die Netzlast und kann daher vollständig zur Lastdeckung eingesetzt werden. In diesem Energiesystem-Betriebszustand ändern sich die Bilanzen sowohl für die absolute EE- Einspeisung, als auch für die absolute CO_2-Emission - also die Klimawirkung – nicht, da die von den Fahrzeugen zusätzlich zur sonstigen Verbrauchslast benötigte Energie bei vollständiger EE- Vorrangeinspeisung auch durch zusätzliche regelbare konventionelle Kraftwerke aufgebracht werden muss. Das gilt für das gesteuerte und ungesteuerte Laden. Das heißt auch, dass in einer Regelzone ohne überschüssigen Windstrom windoptimiertes gesteuertes Laden die vorzuhaltende fossile Kraftwerksleistung nicht reduzieren kann.

Wird hingegen nicht W2V-windoptimiert, sondern zu Zeiten minimaler Preise und damit möglichst lastminimal gesteuert und geladen, so ließe sich ein, wenngleich auch kleiner, Effekt auf die Kraftwerksleistung aufzeigen. In diesen Fällen wird die benötigte Fahrzeug-Ladeenergie in den Lasttälern abgenommen, bewirkt eine Lastglättung und so eine Verringerung der vorzuhaltenden Spitzenlastkraftwerksleistung. Im Jahr 2030 könnten mit fünf Millionen preisoptimiert gesteuerten Fahrzeugen 1500 MW (entsprechend 2,3% der Spitzenlast) Kraftwerkskapazität eingespart werden. Mit einer Million Fahrzeugen in 2020 würde der Wert 180 MW (entsprechend 0,25 % der Spitzenlast) betragen.

Ebenfalls im Energiesystem-Normalbetrieb, also ohne Überschussleistung, kann durch W2V-optimiertes Laden eine Million gesteuert geladene Fahrzeuge rein rechnerisch 40.000 t CO_2 / Jahr gegenüber ungesteuert geladene Fahrzeuge vermieden werden.

Die Reduktion der CO_2-Emissionen beträgt gegenüber dem ungesteuerten Laden für das gesteuerte Laden 3% bis 6%. Z.B. emittiert ein gesteuert geladenes Fahrzeug mit einem Verbrauch von 0,15kWh/km im Jahr 2020 95g/km, gegenüber einem gleichen ungesteuert geladenen Fahrzeug mit 99g/km.

Mit Überschussleistung

Im Gegensatz zu dem beschriebenen normalen Systembetriebszustand ohne Überschussleistung, können gesteuert geladene Fahrzeuge in Zeiten mit Überschusssituationen, also in denen die Netzlast kleiner ist als die einspeisende Windleistung, einen Beitrag zur Erhöhung der absoluten Windeinspeisung in das Gesamtsystem leisten. Im Jahr 2010 gab es in der Regelzone des Systembetreibers 50 Hertz ca. 5400 Über-

schusssituationen, in denen aus Systemstabilitätsgründen Abregelungs- und Drosselungsmaßnahmen von witterungsgeführten EE-Anlagen durchgeführt wurden (§13 EnWG). Die W2V-eingesteuerten Ladevorgänge bilden eine zusätzliche Netzlast in den Überschusszeiten und vermeiden so §-13-Drosselungen. Dadurch können die zur Drosselung anstehenden Anlagen in Betrieb bleiben, und der sonst nicht erzeugte regenerative Strom kann für die Fahrzeugladung eingespeist und genutzt werden. Da für die so geladenen Fahrzeuge die Einspeisung aus regenerativen Quellen auch absolut höher ist, wird im gleichen Maße fossiler Brennstoff eingespart und die CO_2-Emission reduziert.

Mit 200.000 W2V-gesteuert geladenen 3,6-kW-Fahrzeugen hätten im Jahr 2010 zusätzlich 260 kWh/a/Fahrzeug EE-Energie aufgenommen werden können. Das entspricht allerdings nur 3% des theoretischen Potentials der insgesamt abgeregelten Energiemenge. Der sehr geringe Wert muss jedoch vor dem Hintergrund gesehen werden, dass die W2V-Zielfunktion und die Zeitpunkte der Abregelungsmaßnahmen oft nicht korrelieren. Ein hoher Windenergieanteil, wie ihn die W2V-Optimierung fordert, ist kein Abregelkriterium. Der hier beschriebene Effekt ist daher eher eine Mitnahmeerscheinung. Würde jedoch gezielt für die Abregelungssituationen Ladeleistung – im Sinne einer negativen Regelenergie - angefordert, kann eine wesentlich größere EE-Nutzung aus der vermiedenen Abregelung erwartet werden.

Neben dem Energiemengeneffekt hat die Simulation auch gezeigt, dass die W2V-geladenen Fahrzeuge, eine um 50% höhere zusätzliche Ladeleistung zur Vermeidung von markt- und netzbezogenen Anpassungen bereitstellen können, als ungesteuert geladene Fahrzeuge.

Die Effekte der Stromrückspeisung aus dem Fahrzeug ins Stromnetz

Mit W2V2G ist der Bidirektionale Betrieb simuliert und im Freilandlabor real geprobt. Dabei werden die Fahrzeug-Batterien nach der gleichen W2V-Zielfunktion geladen, wie im unidirektionalen Betrieb jedoch zusätzlich innerhalb des Anschlusszeitraums an der Ladeinfrastruktur auch wieder entladen. Die Fahrzeugbatterie arbeitet also auch als Stromspeicher und speist Strom in das Öffentliche Versorgungsnetz zurück.

Die W2V2G- Untersuchungen wurden am Flottenmodell durchgeführt. Das Modell bildet die erwarteten Umgebungsbedingungen in Berlin für die drei Betrachtungsjahre hinsichtlich der erwarteten Fahrzeuganzahl (20.000 Elektrofahrzeuge in Jahr 2015, 50.000 Elek-

trofahrzeuge im Jahr 2020, 150.000 Elektrofahrzeuge im Jahr 2030), der Straßentopologie mit der Ladeinfrastrukturdichte und des Stromnetzes für die drei Anwendungsfälle Arbeitsplatz (100 km Tagesfahrstrecke), Außendienst (200 km Tagesfahrstrecke) und Lieferdienst (400 km Tagesfahrstrecke) ab.

Im Vergleich zum ungesteuerten Ladebetrieb enthält die aus dem Netz bezogene Gesamtlademenge, ebenso wie im unidirektionalen W2V-optimierten Ladebetrieb, während des bidirektionalen W2V2G-Ladebetriebs einen höheren Windenergieanteil. Für das Jahr 2020 enthalten die zuhause und am Arbeitsplatz geladenen / entladenen Fahrzeuge einen um 84 %, im Außendienstszenario um 20 % und im Lieferdienst um 17% höheren Windenergieanteil, als ungesteuerte Fahrzeuge[3].

In der Flottensimulation wurde neben dem Windenergieanteil der Ladeenergie auch die durchschnittliche Gesamtwindausnutzung mit vereinfachenden Annahmen ausgewertet. Dabei zeigte sich eine Erhöhung der durchschnittlichen Windausnutzung ausgehend vom ungesteuerten Laden über das unidirektionale W2V-Laden hin zum bidirektionalen W2V2G-Laden[4].

Bidirektionales Laden und Stromrückspeisen, Nutzung der Fahrzeuge als Speicher

Die realisierten W2V2G-Fahrzeug-Ladeinfrastruktureinrichtungen eignen sich technisch für die Bereitstellung von Stromnetz-Systemdienstleistung. Dem Regelenergiemarkt können mit 25.000 W2V2G-Fahrzeugen Sekundärregelleistung oder 7.150 W2V2G Tertiärregelleistung angeboten werden, da die Voraussetzungen hinsichtlich der Mindestlosgröße, der Aktivierungszeit, der Aktivierungsdauer und der Reaktionszeit erfüllt werden. Die Anzahl der für die Leistungsbereitstellung erforderlichen Fahrzeuge ist geringer mit Zunahme der Verfügbarkeitszeiten oder des Gleichzeitigkeitsfaktors (0,1 bis 0,3) oder des erforderlichen Batterieladezustands bei Abfahrt.

Zur Bereitstellung von Primärregeleistung ist das realisierte W2V2G-System nicht geeignet, da das W2V2G-Gesamtsystem nach Aktivierung, d.h. nach Herstellung der Bereitschaft nicht sofort auf die Regelleistungsanforderung reagieren kann. Zur Bereitstellung

3 Die Werte stellen ein theoretisches Potenzial dar, da die W2V2G-Simulationen mit der vereinfachenden Annahmen eines optimalen Wirkungsgrades von 1,0 für das Laden und Rückspeisen durchgeführt wurde. Die quantitativen Ergebnisse dieser Analyse sind daher nicht direkt vergleichbar mit der W2V-Analyse.

4 Bei W2V2G wird dem rückspeisenden Fahrzeug der positive Effekt zugeordnet, den die anderen Fahrzeuge bei entsprechender Anpassung des Windenergieanteils an der Gesamterzeugung hätten. Das Rückspeisen entspricht mathematisch dem Laden einer negativen Energiemenge

von Primärregelleistung wird jedoch ein gesonderter technischer Ansatz beleuchtet[5], bei dem eine frequenzbasierte Steuerung direkt am Fahrzeug zum Einsatz kommt und sofort, innerhalb weniger Sekunden, Strom aus der Batterie bereitstellen kann. Diese Lösung könnte aus heutiger Sicht im Jahre 2015 einsatzbereit sein.

Mit gesteuertem W2V2G können Erlöse aus der Bereitstellung von Systemdienstleistungen (pos. und neg. Regelenergie für alle drei Regelenergiearten) ebenso erzielt werden wie aus der aktiven Teilnahme am Energiehandel (Arbitrage aus Strompreisschwankungen). Aus der Bereitstellung von Sekundärregelleistung kann mit 16A-1-phasig ladenden Fahrzeugen, die zwischen 0% und 75% Ladefüllstand ge- und entladen werden, ein Betrag von 34 € pro Fahrzeug und Jahr erlöst werden.

Aus der aktiven Teilnahme am Stromhandel und der Ausnutzung der Preisunterschiede im Tagesverlauf und Preisunterschiede zwischen bezogener und rückgespeister Energie können Erlöse zwischen 15 und 23 € / Fahrzeug / Jahr einbringen. Um diese Erlöse ermitteln wurde der Ladevorgang in der Simulation nicht windoptimiert, sondern preisoptimiert gesteuert.

Den Erlösen aus der Nutzung der Rückspeisefähigkeit stehen Aufwands- und Kostenelemente gegenüber, die die Wirtschaftlichkeit einschränken. Insbesondere die zusätzliche Alterung der Batterie durch die zusätzlichen Entladezyklen verringert den wirtschaftlichen Nutzen. Der zusätzliche V2G-Entladevorgang bewirkt eine beschleunigte Alterung der Batterie. Bei einer Lebensdauer von zehn Jahren muss man davon ausgehen, dass die Batterie nach zusätzlichen Entladevorgängen von einem kWh/Tag, ein Jahr früher die technische Altersgrenze erreicht. Das entspricht einer Lebensdauerverkürzung von 10%. Bei zusätzlichen Entladevorgängen von fünf kW/h/Tag verkürzt sich die Lebensdauer um 3,5 Jahre entsprechend ca. 35%.

Der Einsatz der Fahrzeugbatterie als steuerbarer Speicher für das Stromsystem zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen steht im Wettbewerb mit anderen Speichertechnologien.

Der Vergleich zeigt, dass im Jahr 2020, eine Million Fahrzeuge eine Speicherleistung von 322 MW dem Systembetreiber zur Systemstabilisierung wirtschaftlich bereitstellen könnte. Die dezentrale Verteilung der mobilen Batteriespeicher ist vor dem Hintergrund der zunehmend dezentralen EE-Einspeiser (Wind und PV-Anlagen) aus Stromsystem-

5 Vgl. Frauenhofer ISI (2010)

betreibersicht ein zusätzlicher Vorteil gegenüber den zentralen Großspeichern wie Pumpspeicherkraftwerke und Druckluftspeicherkraftwerke. Voraussetzung für den Einsatz der dezentralen Speicher ist jedoch die kommunikationstechnische Aggregation und Steuerbarkeit, die bei zentralen Großspeichern weniger komplex ist als bei verteilten dezentralen und zusätzlich mobilen Speichereinheiten

Praktische Erfahrungen aus dem W2V2G-Freilandlabor (D1.3)

Im W2V2G-Freilandlabor wurde der reale bilaterale Lade- und Rückspeisebetrieb umgesetzt. Dabei wurden wichtige Erkenntnisse über den Aufbau und die Anforderungen an zukünftige Systeme gewonnen, die in den einschlägigen Standards und Normen noch nicht enthalten sind. Insbesondere wurde eine Sicherheitseinrichtung, ein so genanntes ENS-Modul (Einrichtung zur Netzüberwachung mit zugeordneten Schaltorganen) in die Ladesäulen integriert, das eine Abschaltung der Rückspeisung vorsieht, wenn die elektrische Verbindung des Fahrzeugs zum Stromnetz verloren geht oder die Netzparameter nicht mit den Sollwerten übereinstimmen.

Erhöhung der Verfügbarkeit und Nutzerakzeptanz (D1.1, D1.3)

Die Verfügbarkeit der Fahrzeuge an der Ladeinfrastruktur hat einen großen Einfluss auf die Effizienz des Gesteuerten Ladens insgesamt.
Je länger und je planbarer Fahrzeuge an der Ladestation angeschlossen und verfügbar sind, desto besser wird die Zielfunktion erreicht und desto mehr Systemdienstleistung kann bereit gestellt werden.
Wird die Verfügbarkeit der Fahrzeuge z.B. um vier Stunden je Ladevorgang erhöht (Ladevorgang +2h vor Beginn der kurzen Anschlusszeit von 8h und +2h nach Ende verlängert), so erhöht sich beispielsweise der Windstromanteil der Gesamtladung von einer Million Fahrzeugen in 2020 um durchschnittlich 10 GWh / Jahr und reduziert rechnerisch die CO_2-Emission um 260 t/Jahr.
Ebenso bewirkt eine Verfügbarkeitserhöhung um 4h eine um 40 % größere Sekundärregeleistungsbereitstellung der gleichen Fahrzeuge.
Die Verfügbarkeit der Fahrzeuge an der Ladeinfrastruktur wird durch das Nutzerprofil und das Nutzerverhalten vorgegeben und bestimmt so die Effizienz, d.h. den ökologischen und wirtschaftlichen Nutzen des Gesteuerten Ladens insgesamt.

Zur Steigerung der Verfügbarkeit wurde daher ein V2G-Ladeassistent als Eingabehilfe für den Nutzer entwickelt. Der Ladeassistenten ermöglicht eine vorausschauende Planung der Lade- und Entladezyklen und hilft die Mobilität des Nutzers um bis zu 83 % zu erhöhen.

Neben den technischen Hilfen sind im Rahmen des Projektes auch Ansatzpunkte zur Steigerung der Akzeptanz des Gesteuerten Ladens durch den Nutzer entwickelt worden. Aus technischer Sicht stellen der Nutzer und sein Mobilitätsbedarf eine unbedingte Restriktion dar, die nicht angetastet wird. Allerdings können bestimmte Verhaltensweisen der Nutzer die Effizienz des Gesteuerten Ladens, z. B. über eine hohe Ansteckmotivation oder preisliche Anreize, und damit die Verfügbarkeit an der Ladeinfrastruktur steigern.

Die geführten Befragungen von MINI E Nutzern nach ihrer Bereitschaft, W2V bzw. V2G Funktionalitäten einzusetzen, ergaben, dass vor allem finanzielle Anreize, eine Verbesserung der Technik, im Sinne von Einfachheit und Zuverlässigkeit und die Verbreitung von Ladeinfrastruktur ihre Akzeptanz und Motivation erhöhen würde.

Um Gesteuertes Laden überhaupt zu anzuwenden und sich nicht mit dem ungesteuerten Ladevorgang zufrieden zu geben, sehen Nutzer ihre sozialen Ziele mit positiven Konsequenzen für Umwelt und Gesellschaft antizipiert.

Gesteuertes Laden im Stromnetz (D1.4)

Gesteuertes Laden beschreibt einen Ladevorgang, der nach einer Zielfunktion optimiert ist und dabei nutzerseitig, fahrzeugseitig und stromnetzseitig Restriktionen einhält.

Zur Verarbeitung der Netzrestriktionen wurden zwei Applikationen entwickelt: LLM für den Bereich hinter und ÖLM für den Bereich vor dem Niederspannungs-Hausanschluss.

Beide Anwendungen ermöglichen einen wirtschaftlichen Vorteil aus dem eingesparten Anschluss- und Netzausbau in dem jeweiligen Wirkungsbereich.

Mit LLM können mehr Fahrzeuge je Netzanschluss geladen werden. Im gewählten Beispiel 18 statt neun Fahrzeuge bei einem 100 A Niederspannungsanschluss. Durch die Vermeidung zusätzlicher Netzleistungsbereitstellung, d.h. Netzausbau und höherer Leistungspreis und durch einen geringeren Arbeitspreis beim Netzentgelt lässt sich mit LLM im Beispiel ein wirtschaftlicher Nutzen in Höhe von neun bis zehn €/kW Fahrzeug-Ladeleistung erzielen.

ÖLM ermittelt die Netzbelastbarkeit sowie den zulässigen Ladestrom bzw. die zulässige Ladeleistung unter Einhaltung der Restriktionen Betriebsmittelbelastung und Spannungsband an drei Beispielstromnetzen in Berlin, die unterschiedliche Struktur und Belastbarkeit aufweisen.

Entgegen der Ausgangsvermutung kann es in einem Berliner Verteilnetzteil mit 433 Haushalten zu Engpässen kommen, wenn bereits drei E-Fahrzeuge gleichzeitig zur ungünstigsten Stunde des Tages mit einer Leistung von je 22 kW laden würden. In diesem Ortsnetzteil kann die Anzahl gleichzeitig ladbarer Fahrzeuge ohne Ausbaumaßnahmen mit ÖLM bis um den Faktor 5 gesteigert werden.

Überträgt man dieses Ergebnis auf das ganze Stadtgebiet und nimmt dazu 8400 Ortsnetze an, zusammengesetzt aus den drei verwendeten Ersatznetztypen, so würden Netzinvestitionen erforderlich. Ohne ÖLM wären für das gleichzeitige Laden von 50.000 3,6kW-Fahrzeugen (22 kW) Netzinvestitionen in Höhe von 540 € / Elektrofahrzeug (2700 € / Elektrofahrzeug) erforderlich.

4.1.2 Deliverable 1.1: System-Analyse W2V2G und Evaluierungskonzept

4.1.2.1 Management Summary

Das Deliverable 1.1 bildet den grundlegenden Forschungsrahmen mit den Kernthesen zum Gesteuerten Laden. Diese erstrecken sich über die Instanzen Nutzer, Elektrofahrzeug und Elektroenergiesystem. Erneuerbare Energien, insbesondere Windkraft, weisen zeitlich volatiles Einspeiseverhalten asynchron zur Nachfrage auf. Mit Konzepten des Demand Side Management (DSM) wird das Lastverhalten gezielt beeinflusst, um die Asynchronität zwischen Einspeisung aus volatilen Erzeugern und der Last zu minimieren. Elektrofahrzeuge zeichnen sich gegenüber diversen Lastverlagerungspotentialen durch eine signifikante Ladeleistung und Lademenge aus, die sich dynamisch steuern lassen. Des Weiteren besteht ein politisches Interesse, Elektrofahrzeuge bevorzugt mit regenerativen Energien zu beladen, um deren anteilige CO_2-Emissionen zu senken bzw. systemisch zur Stabilität der Energienetze beizutragen. Diese Ziele lassen sich erreichen, wenn sich diese dynamischen Lasten gemäß der Einspeisung steuern lassen.

In dem vorliegenden Deliverable werden Fragestellungen erarbeitet, die unter dem Kürzel W2V2G (Wind-2-Vehicle und Vehicle-2-Grid) zwei unterschiedliche Steuerungsmethoden für Elektrofahrzeuge beleuchten:

- Steuerungsintelligenz im Fahrzeug-Backend oder im Fahrzeug
- Zentrale, Infrastrukturseitige Steuerung (TUI) vs. dezentrale, fahrzeugseitige Steuerung vermittels Agentensystemen (TUB)

Aspekte der Steuerung sind Netzinfrastruktur, Einspeisesituation, Nutzerverhalten und technische Möglichkeiten zur Steuerung von Elektrofahrzeugen. Die erarbeiteten Fragestellungen zu W2V2G werden mit sozialwissenschaftlichen und simulationstechnischen Methoden beantwortet und anhand realer Daten (Messungen und Probebetrieb) validiert.

4.1.2.2 Ziele und Aufgaben

Mit der konsequenten Weiterentwicklung des Gesteuerten Ladens werden Hard- und Softwarelösungen erarbeitet, um die Elektrofahrzeuge als Speicher für regenerativ erzeugte Energien zu nutzen. Auf Basis der Erkenntnisse des Projektes „MINI E Berlin powered by Vattenfall 1.0“, welches eine Funktionsdemonstration und Erarbeitung von grundlegenden Anforderungen des Gesteuerten Ladens darstellt, werden in diesem Rahmen Effektivität und Effizienz des ökologisch fundierten Ladekonzeptes gesteigert.

Instanzen des hier vorgestellten Gesteuerten Ladens nach dem W2V2G Prinzip sind Nutzer, Elektrofahrzeug, Verteilnetzinfrastruktur und Erzeugung. Da das Ladeverhalten von Elektrofahrzeugnutzern maßgeblich zur erfolgreichen Umsetzung des Konzeptes W2V2G beiträgt, ist die Akzeptanz der Nutzer für den Erfolg Gesteuerten Ladens entscheidend. Ziel ist es auf Basis theoretischer Grundlagen als auch durch Befragung von Nutzern Faktoren zu ermitteln, die die Akzeptanz und Motivation Gesteuerten Ladens beeinflussen.

Elektrofahrzeuge, speziell zu Hause zu ladende Fahrzeuge, werden im Niederspannungsverteilnetz angeschlossen. Die zusätzlich zur Haushaltslast auftretende Ladeleistung der Fahrzeuge führt unweigerlich zu einer veränderten Versorgungssituation, die kritisch zu beleuchten ist.

In diesem Deliverable geht es darum, Methoden und Steuerungsprozesse zu entwickeln, welche zweierlei Herausforderungen meistern:

- Wirtschaftliche Dimension: Bestmögliches Laden bei gegebener Netzkapazität (LLM /ÖLM)

- Ökologische Dimension: Bestmögliches Laden mit Blick auf EE-Integration und rechnerischer Minimierung des CO_2-Anteils des Ladestroms (W2V, V2G)

Der Maßstab für Effektivität und Effizienz leitet sich aus theoretisch erreichbaren Kennwerten ab (KPI). Der Zielerreichungsgrad wird durch die Betriebsführung beeinflusst.

4.1.2.3 Vorgehen, Methodik

Um die Simulationsmodelle und die Anwendungen des Gesteuerten Ladens zu entwickeln, wurden zunächst die nutzerspezifischen Anforderungen mit sozialwissenschaftlichen Methoden analysiert und deren Blick auf W2V2G in Arbeitsthesen.

In einem Simulationskonzept wurde ein systematischer Leitfaden vorgegeben, der Fragestellungen und Kennwerte (KPI) beschreibt, die durch die Systemanalyse zu beantworten bzw. zu ermitteln waren. Fokus sind dabei ökologische, ökonomische und technische Aspekte des Gesteuerten Ladens nach dem W2V2G Prinzip. (Verweis auf diesen Leitfaden)

Das Elektroenergiesystem, bestehend aus den Instanzen Stromerzeugung und Handel/Markt, Stromtransport und Stromverteilung, wurde den Fragestellungen entsprechend in dedizierten Modellen nachgebildet, die in unterschiedlicher Granularität die einzelnen Instanzen nachbilden. Mit dem Simulationskonzept wurden auch die Systemgrenzen vorgegeben. Dadurch konnte die Komplexität der Modelle reduziert werden, ohne die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse zu verringern.

Mit der Einführung der Techniken lokales Lastmanagement (LLM) und öffentliches Lastmanagement (ÖLM) wurden sowohl in der Simulation, als auch in der realen Anwendung netzspezifische Aspekte Gesteuerten Ladens berücksichtigt.

Ziel der Systemanalyse war es, die W2V-Methode so weiterzuentwickeln, dass das Laden der Fahrzeugbatterien bestmöglich der Einspeisung regenerativer Energie folgt. Das Steuerkonzept wurde in der Systemanalyse hinsichtlich Zielerfüllung verbesserter Kennwerte des W2V-Ansatzes weiterentwickelt, die Steuermethodik des Elektrofahrzeuges nachgebildet,verbessert und LLM & ÖLM als Netzrestriktionen eingebracht.

Gegenüber der Steuerung W2V im Projekt „MINI E Berlin powered by Vattenfall 1.0“[6] setzt Gesteuertes Laden V2.0 digitale Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur voraus. Damit ist es möglich den zu ladenden Energiebedarf, den zeitlichen Verlauf des Anteils regenerativer Einspeisung an der Gesamteinspeisung und gewünschte Anschlussdauer in die Berechnung der Ladekurve einzubeziehen. Die im MINI E Projekt ermittelten, fehlenden Merkmale des Ladevorgangs für optimale Steuerbarkeit der Fahrzeuge unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens und Ladebedarfs sind damit in das Steuerkonzept integriert.

Das Ergebnis dieser Analyse diente dazu, den Betrachtungsrahmen des praktischen Versuchsaufbaus und der Simulation in Gesteuertes Laden V2.0 einzugrenzen und gezielt auf aussichtsreiche IT-Konzepte für Elektro-Fahrzeuge, auszurichten. Anhand dieser Randbedingungen wurden Erfolgsfaktoren und Parameter bestimmt, die im weiteren Verlauf für V2G zu untersuchen waren, um die technische Realisierbarkeit der identifizierten Konzepte zu validieren bzw. zu verifizieren.

Ein Anforderungskatalog an die Systemanalyse und verwendeten Modelle wurde erstellt und im Lastenheft dokumentiert. Die Instanzen Erzeugung, Übertragung, Elektrofahrzeug und Nutzer wurden hinsichtlich ihrer Einflussgrößen spezifiziert. Die zu treffenden Annahmen wurden begründet und bildeten den Rahmen über die Merkmale der Simulation. Auf Basis des erstellten Simulationskonzeptes erfolgte die Spezifizierung und Implementierung der Simulationsmodelle mit Durchführung der Systemanalyse. Das Vorgehen zur Auswertung, Verifikation und Plausibilisierung der Simulationen gliederte sich in die Schritte:

- Ausgangssituation analysieren,
- Untersuchungsfelder abgrenzen und Modelle strukturieren,
- Auswertungsmethode in „Konzept zur simulationsgestützten Analyse“ abbilden,
- Definition von Kriterien für qualitative und quantitative Auswertungen,
- Verifikation aus Sicht Netz, Fahrzeug und Nutzer.

Den Referenzladevorgang für das zu erstellende Modell des Elektrofahrzeugs stellte die BMW Group zur Verfügung. Das Steuerungsschema wurde in anderen Teilpaketen entwickelt und im Simulationsmodell nachgebildet. Die Fragestellungen wurden mit Zeitrei-

6 Vgl. D.Westermann (2010)

hensimulationen, die teilweise Punktnetze bzw. Verteilnetze nachbilden, realisiert und mit weiteren Modulen deren ökologischen, ökonomischen und technischen Auswirkungen des Gesteuerten Ladens bewertet. Verteilnetzspezifische Analysen erfolgten anhand von Referenznetzen, die durch den DSO Vattenfall Berlin vorgegeben werden.

Mit einer V2G-Ist-Analyse wurden notwendige technische Komponenten und Randbedingungen der Energieversorgung, das regulatorische Umfeld, Erbringung von Netzdienstleistungen durch V2G und Analyse neuer Mobilitätskonzepte im Bereich Elektro-Fahrzeuge, deren Verbreitung neue Grundlagen für Dienstkonzepte und V2G schaffen, identifiziert. Die in der Simulation verwendeten Prämissen und Parameter wurden anhand der Auswertungen des Probebetriebs aus Sicht Elektrofahrzeug, Nutzer und Infrastruktur überprüft und verifiziert.

4.1.2.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen abgeleitete Kernthesen der sozialwissenschaftlichen Analysen Gesteuerten Ladens sind:

These 1: *Finanzielle Anreize können die Akzeptanz und Motivation bezüglich W2V und V2G positiv beeinflussen.*

These 2: *Die Verbesserung der Technik und Ausbau der Ladeinfrastruktur wirken positiv auf die Akzeptanz und Motivation Gesteuerten Ladens.*

These 3: *Die Nutzer verwenden W2V vorrangig aufgrund von sozialen Zielen der Antizipation positiver Konsequenzen für Umwelt und Technik. Das bedeutet vor allem in Bezug auf regenerative Energien, dass die Fahrzeuge bevorzugt ökologisch geladen werden sollten.*

These 4: *Gesteuertes Laden sollte so transparent und einfach wie möglich für den Nutzer möglich sein, ohne dass dieser einen deutlichen Mehraufwand gegenüber ungesteuerten Laden empfindet.*

These 5: *Gesteuertes Laden sollte möglichst keine Einschränkung der Flexibilität des Nutzers aufweisen. Das bedeutet auch, dass spontane Fahrten möglich sein müssen.*

Die in den sozialwissenschaftlichen Analysen gewonnenen Erkenntnisse, verdichtet auf die fünf abgeleiteten Kernthesen, werden im Simulationskonzept und bei der Entwick-

lung Gesteuerten Ladens 2.0 berücksichtigt. Eine klare Botschaft ist, dass sehr unterschiedliche Nutzeranforderungen ausgemacht werden, die sich teilweise in den definierten und erwarteten Zielen Gesteuerten Ladens widersprechen. Ein in sich so einfach wie möglich gestalteter Ladevorgang mit maximaler Flexibilität des Nutzers, insbesondere in der abgeleiteten These 5 zusammengefasst, spiegelt einen deutlichen Interessenskonflikt. Denn Elektrofahrzeuge sind potentiell verschiebbare bzw. beeinflussbare Lasten, deren Steuerung unter anderem ökologischen und technischen Zielen gerecht werden muss. Die Forderung nach maximaler Flexibilität des Ladens mit gleichzeitig möglicher Spontannutzung, schränkt die Freiheitsgrade Gesteuerten Ladens ein.

Bezugnehmend auf diese Problematik widmet sich das Projekt diesem Zielkonflikt mit der Entwicklung eines Ladeassistenten (TP2), der insbesondere die Forderung nach Feedback Gesteuerten Ladens bedient. Darüber hinaus werden die Gründe und Motivationen des Nutzens hergeleitet, die die Akzeptanz des Gesteuerten Ladens beeinflussen und darüber die Verfügbarkeit der Fahrzeuge für das gesteuerte Laden erhöhen können.

In der hier dargestellten simulationsbasierten Analyse des Gesteuerten/ungesteuerten Ladens fanden die sozialanalytischen Ergebnisse Eingang mit der Neudefinition des Optimierungsziels auf vorwiegende Nutzung regenerativer Einspeiser, Neudefinition des Ladevorgangs unter Berücksichtigung minimierter Nutzerinteraktion zur Bereitstellung von Vorab-Informationen über den Ladevorgang und Analyse des ökologischen und systemtechnischen Einflusses von Elektro-Fahrzeuge. Damit wurde dem Ziel „Effizienzsteigerung“ nicht nur auf der technischen Seite, sondern auch auf der Nutzerakzeptanzseite Rechnung getragen.

4.1.2.4.1 Detaillierung Simulationskonzept

In einem fünfstufigen Vorgehensmodell werden zunächst Projektfragestellungen mit Vertretern aller beteiligten Partnern diskutiert und geschärft (Abbildung 9). Dabei sind vor allem die Interessenslagen der beteiligten Instanzen berücksichtigt. Ergebnis dieser Diskussion ist ein erstes Modell für den neu entworfenen Ladevorgang, der in die Modellierung des Elektrofahrzeuges für die Systemanalyse prägt, in D1.2 und D1.4 und im Probebetrieb angewendet wird und ein zentrales Kernergebnis dieses Projektes bildet. Auf Grundlage der Anforderungen, die im Agilen Verfahren über die Projektlaufzeit immer wieder adaptiert und an den aktuellen Kenntnisstand angepasst worden sind, erfolgt die Dokumentation im Lastenheft.

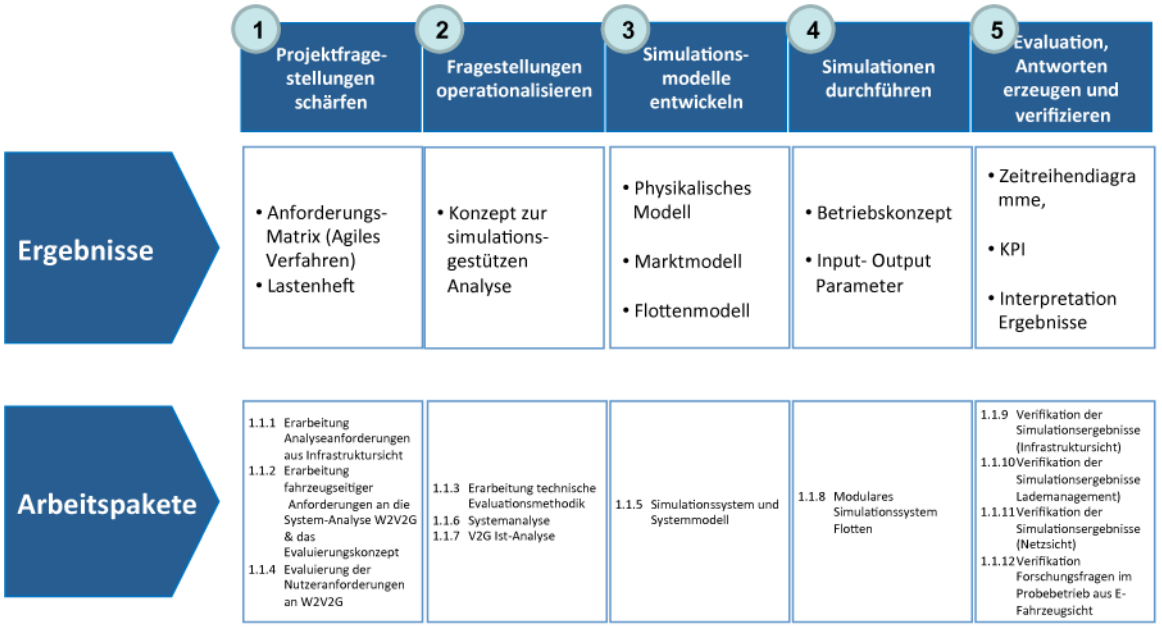


Abbildung 9: Vorgehensmodell

Die ermittelten Fragestellungen werden in einer zweiten Stufe operationalisiert und in einem Konzept zur simulationsgestützten Analyse dokumentiert.

Für die Abbildung des Ladevorgangs und Analyse ungesteuerten/Gesteuerten Ladens nach dem W2V2G- Prinzip wurden folgende Instanzen modelliert:

- Ladevorgang
- Nutzerverhalten
- Verteilnetzinfrastrukturen
- CO_2-Emissionen
- Rückwirkungen auf Stromgestehungskosten durch den veränderten Kraftwerkseinsatz

Die im Simulationskonzept ermittelten Fragestellungen umfassen den gesamten Energieversorgungsprozess von der Transport- bis zur Niederspannungsverteilnetzebene.

Transportnetz- und Verteilnetzbetrachtungen bilden zwei unterschiedliche abstrakte Ebenen, die im physikalischen Modell nachgebildet werden. Mit Verfügbarkeit der Simulationskomponenten erfolgt die Anwendung der im Projekt entworfenen und entwickelten Betriebskonzepte W2V2G, LLM und ÖLM. Die ermittelten Ergebnisse werden in Zeitreihendiagrammen dargestellt, anhand definierter KPIs (Key Performance Indicator) bewertet und aus systemtechnischer Sicht interpretiert und zusammengefasst.

4.1.2.4.2 Systemgrenzen der Simulation

Mit der Simulation sollen verschiedenste Auswirkungen auf das elektrische Energieversorgungssystem dargestellt werden, welches sich als beliebig komplex erweist. Zur Einschränkung der Simulation werden für die Fragestellungen Systemgrenzen definiert, wie in Abbildung 10 ersichtlich. Im Rahmen der erarbeiteten Simulationsmodule sind diese als unveränderlich zu betrachten, da eine Erweiterung oder Reduzierung der Systemgrenzen die Gültigkeit der erarbeiteten Modelle und damit deren Ergebnisse in Frage stellt. Die Systemgrenzen sind im Einzelnen:

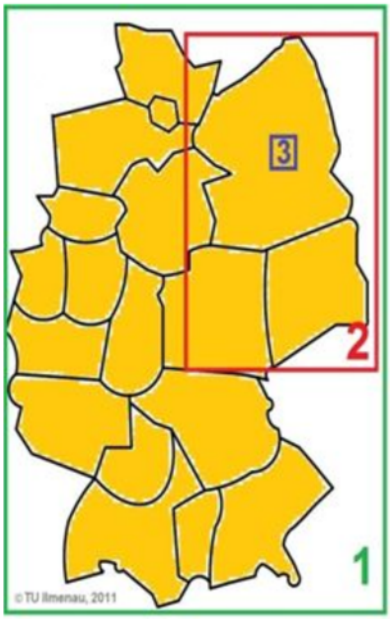


Abbildung 10: Systemgrenzen der Simulation

1. Erzeugerpark und Last – Systemgrenze Deutschland. Das System an Erzeugungsanlagen kann durch die Wahl der Systemgrenze als in sich geschlossen betrachtet werden. Benachbarte Erzeugerparks sind durch Kuppelleitungen mit dem hier gewählten verbunden. Die Summe der über diese äußere Systemgrenze ausgetauschter Energie wird bewusst vernachlässigt. Von Relevanz ist der gesamte Erzeugerpark und Last für Fragestellungen bezügliches des Kraftwerkseinsatzes, den damit verbundenen CO_2-Emissionen, des individuellen Grünstromanteils und Bereitstellung von Regelleistung über eine allen Regelzonenbetreibern gleichermaßen zugängliche Marktplattform.

2. Regelzone – hier am Beispiel Regelzone 50Hertz Transmission. Da der Regelzonenbetreiber keinen Einfluss auf Menge und Struktur der Erzeugeranlagen hat, obliegt ihm nur die Aufgabe des Netzbetriebes. Beschränkt man sich in der Untersuchung auf einen Zeitbereich, welcher von stationären Betriebszuständen ausgeht und damit Fragen der dynamischen Stabilität in einem gültigen Bereich vernachlässigt, so kann der Netzbetrieb innerhalb einer Regelzone als geschlossenes Modell betrachtet werden. Von Relevanz für die Fragestellungen sind die stationären systemstabilisierenden Notfallmaßnahmen nach §13 EnWG. Eine Erweiterung der Systemgrenze ist nicht zulässig, da die Notfallmaßnahmen nur für eine Regelzone gültig sind.

3. Verteilnetz – hier am Beispiel Vattenfall Distribution Berlin. Da Verteilnetze untereinander nicht gekoppelt werden, kann ein Verteilnetz als in sich geschlossenes System angesehen werden. Die relevanten Fragestellungen betreffen hierbei die Verträglichkeit von Elektrofahrzeugen, gemessen an der möglichen Anzahl ladender Fahrzeuge innerhalb des Netzes, und den damit verbundenen Netzausbaukosten. Eine Erweiterung der Systemgrenze erscheint nur bei vollständiger Erfassung der nächst höheren Netzebene und aller daran angeschlossenen Verteilnetze sinnvoll, ist aber gleichzeitig mit enormem Mehraufwand verbunden.

Bei der Annahme der Gesamtanzahl der Elektrofahrzeuge für die Simulation und den darin ausgeprägten Szenarien ist den definierten Systemgrenzen entsprechend Rechnung zu tragen. Für die zeitlichen Szenarien ergibt sich demnach die in der folgenden Tabelle ersichtliche Anzahl an Fahrzeugen:

	Gesamtanzahl Elektrofahrzeuge innerhalb der Systemgrenze	
Systemgrenze	**2020**	**2030**
1	1.000.000	5.000.000
2	200.000	1.000.000
3	50.000	150.000

Tabelle 1: Gesamtanzahl an Elektrofahrzeugen je Szenario und Systemgrenze(5,12,13)

Durch die Anzahl der Fahrzeuge ergibt sich gleichzeitig auch deren Systemgewichtung, d.h. deren zu erwartende Rückwirkung auf das Gesamtsystem. Abbildung 11 stellt die Systemgewichtung in Deutschland dar, zum einen für den Ausbau der erneuerbaren Energien, zum anderen die Systemgewichtung der Elektrofahrzeuge innerhalb des Erzeugerparks zur Last. Es ist ersichtlich, dass der Anteil der erneuerbaren Energien im Szenario 2030 auf ca. 33% an der Gesamterzeugung ansteigen wird. Der Summenwert ergibt sich auf Basis der maximalen Leistung skalierten Zeitverläufen der EEG-Einspeisung für das Referenzjahr[7] Weiterhin wird der Gesamtbedarf an elektrischer Energie ohne Elektrofahrzeuge von 603TWh[8] auf 527,45TWh zurückgehen. Dem gegenüber steht ein moderater Zuwachs durch Elektro-Fahrzeuge um bis zu 7,15TWh. Die zugrunde gelegten Annahmen zum Stromverbrauch[9] beziehen sich auf das Jahr 2008. Ausgehend vom einen aktuelleren Wert für 2010 (4) wurden die prognostizierten Verbrauchswerte für 2020 und 2030 unter der gleichen Degressionsrate angepasst. Die Annahmen zur Elektromobilität ergeben sich aus gemessen Realdaten aus dem Feldversuch (1) dessen Ergebnisse auf die zu erwartenden Anzahl an Elektromobilen hochgerechnet wurde.. Begründet durch den prognostizierten Zubau Erneuerbarer Energien und Reduzierung des Bedarfs ergibt sich rein rechnerisch insgesamt eine Reduktion der CO_2-Emissionen von 370,61 auf 306,49 Mio. t/Jahr im Bereich der elektrischen Energieerzeugung. Elektro-Fahrzeuge werden daran einen Anteil von 4,5 Mio. t/Jahr haben. Insgesamt ist nur ein geringer Einfluss durch Elektrofahrzeuge auf die elektrische Energieversorgung zu erwarten. Die Berechnung erfolgte durch das entwickelte „ CO_2-Modell zur Bewertung der ökologischen Verträglichkeit“:

7 Vgl. 50Hertz Transmission GmbH (2011)

8 Vgl. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik und Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2010)

9 Vgl. M. Schlesinger, D. Lindenberger, C.Lutz (2010)

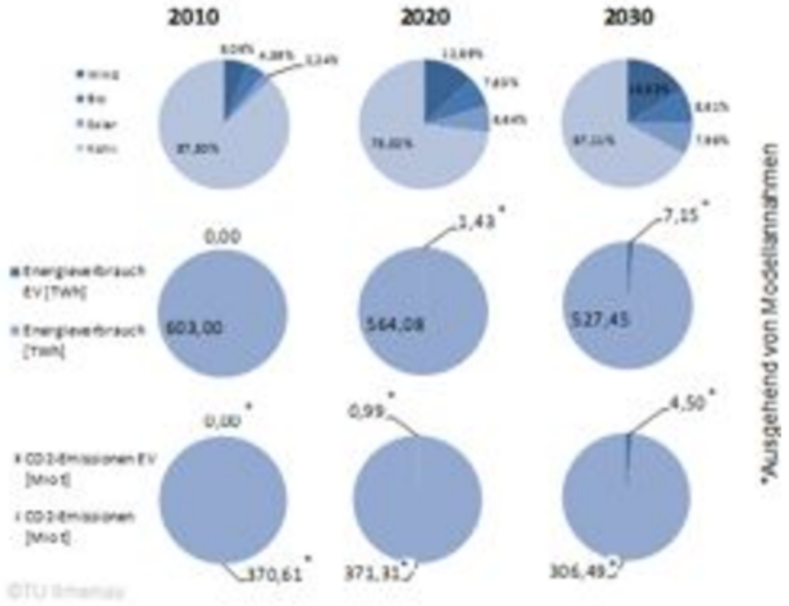


Abbildung 11: Systemgewichtung von EEG-Anlagen und Elektrofahrzeugen in Deutschland (eigene Darstellung)

4.1.2.4.3 Zusammenfassung Modellbeschreibung

Die für die Systemanalyse verwendeten Modelle sind Ergebnis der Analyse des Simulationskonzeptes hinsichtlich Machbarkeit und Systemgrenzen. Die spezifizierten und implementierten Modelle werden im folgenden Abschnitt detailliert beschrieben. Eine Übersicht der Modelle im Kontext zeigt Abbildung 12.

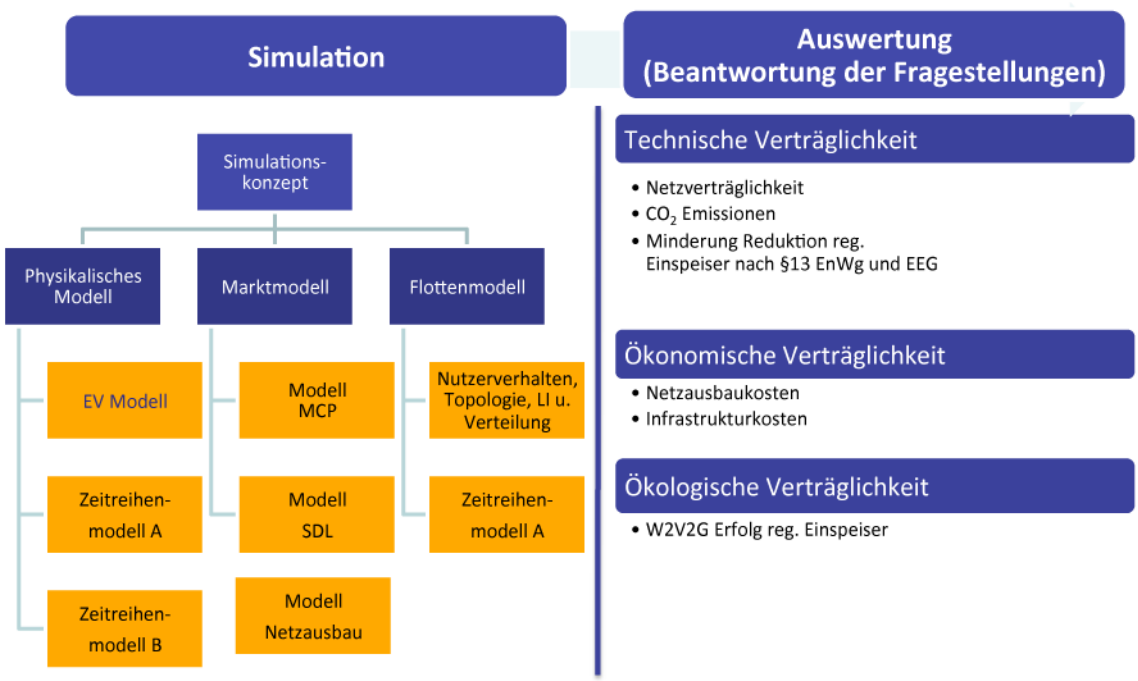


Abbildung 12: Übersicht Modelle

Das Simulationskonzept unterscheidet drei Modelltypen: das physikalische Netzmodell, das Marktmodell sowie das Flottenmodell. Das physikalische Netzmodell wiederum besteht aus drei Komponenten, dem Fahrzeugmodell sowie zwei Zeitreihenmodellen, welche den Zeitraum 20xy bis 20yz abdecken.

4.1.2.4.4 Elektrofahrzeugmodell

Die elementaren Merkmale zur Nachbildung Gesteuerten/ungesteuerten Ladens erfolgt durch ein Elektrofahrzeugmodell, das mit den beteiligten Partner abgestimmt ist und den im Projekt Gesteuertes Laden 2.0 entwickelten Ladevorgang abbildet. Die zu berechnenden Leistungsprofile sind stationäre Zeitreihen im 15-Minuten Takt, also Sollwerte für den Laderegler der Fahrzeuge bzw. Mittelwerte der 15-minütigen Ladeleistung. Transiente und subtransiente Vorgänge, die durch die Laderegelung AC-seitig auftreten, werden vernachlässigt. Die entstehenden Profile sind abhängig von der zu ladenden Energiemenge, des Systemwirkungsgrads und Leistungsfaktor der AC/DC Wandlung der Laderegelung und der Batterie, der verfügbaren Zeit und externer Informationen zur Beeinflussung von Ladevorgängen. Die Parameter, Eingabe- und Ausgabegrößen des ver-

verwendeten Ladevorgangsmodells für Gesteuertes/ungesteuertes Laden zeigt Abbildung 13.

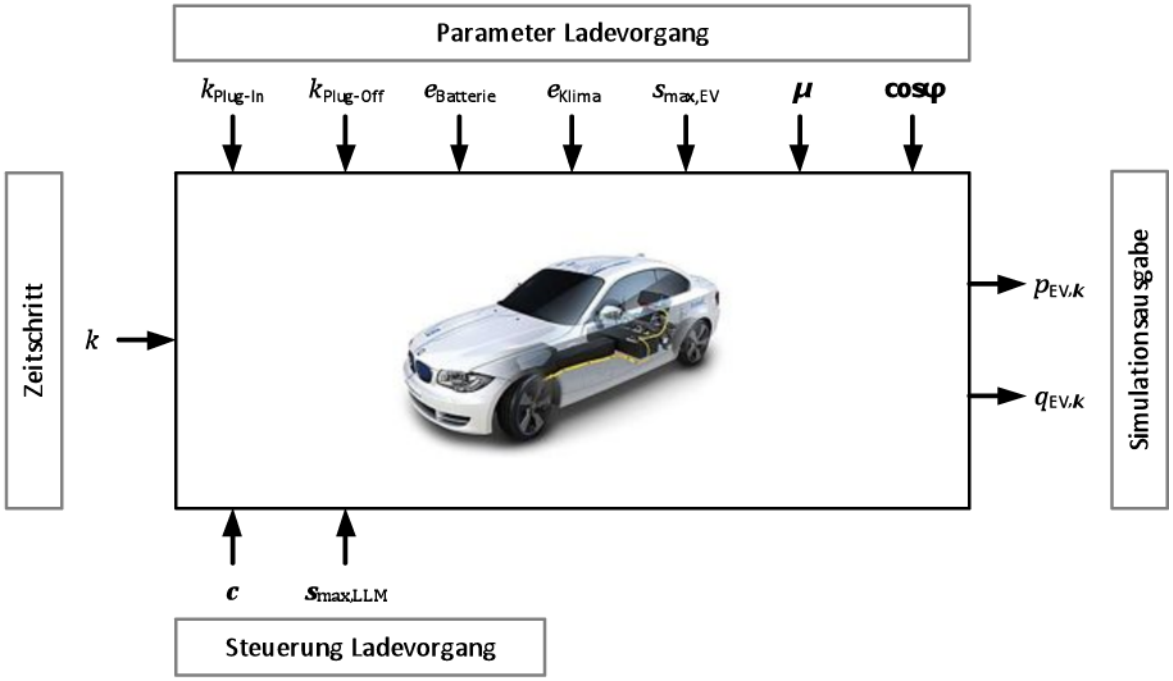


Abbildung 13: Übersicht allgemeines Modell eines EV zur Integration in eine Zeitreihensimulation zur Untersuchung verschiedener Methoden zur Beladung der Fahrzeuge mittels stationärer Netzberechnung

Die in diesem Modell verwendeten Parameter sind:

- kZeitschritt,
- $k_{Plug-In}$Zeitschritt Start eines Ladevorgangs,
- $k_{Plug-Off}$Zeitschritt Ende eines Ladevorgangs,
- $e_{Batterie}$Energiebedarf zur Ladung der Batterie,
- e_{Klima}Energiebedarf Klimatisierung des Fahrzeugs am Ende eines Ladevorgangs,
- s_{EV}Nennleistung des AC/DC Wandlers im Fahrzeug,
- Systemwirkungsgrad (AC/DC Wandlung inklusive Steuerungskomponenten),
- Leistungsfaktor des AC/DC Wandlers,
- $\boldsymbol{s}_{LLM}$ Vektor mit Zeitreihenprofil der maximalen Scheinleistung am Ladepunkt,
- $\boldsymbol{c}$Vektor mit Zielfunktion (für Gesteuertes Laden),
- $p_{EV,k}$Wirkleistung zum Zeitpunkt k,
- $q_{EV,k}$Blindleistung zum Zeitpunkt k.

Den Ergebnissen D1.2 und D1.4 vorweg greifend wird der maximale Strom/die maximale Scheinleistung am Ladepunkt durch die Funktionen LLM und ÖLM (im Ladevorgangsmodell $\boldsymbol{s}_{\mathrm{LLM}}$) als Restriktion vorgegeben. Die Zielfunktion (im Ladevorgangsmodell $\boldsymbol{c}$) entspricht der W2V Zielfunktion. Es ergibt sich die maximale Scheinleistung eines Fahrzeugs bei 1-phasigen Laden mit 16A und $=1{,}0$ zu 3,6 kW (in der Annahme einer Leistungsregelung des AC/DC Wandlers). Prinzipiell erfolgt die Berechnung der Ladehüllkurve durch Anwendung der Zielfunktion:

. (4.1)

Dabei sind:

- $\epsilon\,\mathbb{R}\mathrm{M}\times\mathrm{N}$ eine reelwertige Matrix,
- $\epsilon\,\mathbb{R}\nearrow\mathrm{N}$ der Zielfunktionsvektor,
- $\epsilon\,\mathbb{R}\mathrm{M}$ der Vektor mit den Beschränkungen,
- $\mathrm{EV}\,\epsilon\,\mathbb{R}\mathrm{N}$ der Vektor der Ladeleistungen je diskreten Zeitschritt k.

Ziel ist es eine Lösung $\mathrm{EV}\ast\,\epsilon\,\mathbb{R}\mathrm{N}$ zu finden, die das lineare Gleichungssystem erfüllt und einen möglichst hohen Zielwert $\mathrm{EV}=\ \mathrm{EV}$hat. Alle Größen beziehen sich auf das Intervall $\mathrm{Plug}-\mathrm{In}\ \ \mathrm{Plug}-\mathrm{Off}$ der Länge . Je Ladevorgang ist eine definierte Menge an Energie für die Ladung der Batterie Die gesamte aufgenommene Energiemenge unter Berücksichtigung des Wirkungsgrads des AC/DC Wandlers ist:

(4.2)

Es sei:

- $\max,$ die resultierende maximale Scheinleistung je Zeitpunkt k am Ladepunkt.

Dann gilt:

(4.3)

(4.4)

Es seien:

- maxϵ $\mathbb{R}$N×1= max, =*1,* max, =*2,⋯,* max, = der Vektor der maximalen Scheinleistung im Intervall Plug−In Plug−Off,
- min ϵ $\mathbb{R}$N×1=*0,0,⋯,*0 der Vektor der minimalen Scheinleistung im Intervall Plug−In Plug−Off,
- ϵ $\mathbb{R}$N×Ndie Einheitsmatrix,
- ϵ $\mathbb{R}$N×1ein Vektor gefüllt mit 1,
- *T* das Diskrektisierungsintervall (allgemein ¼ Stunde).

Das Optimierungsproblem lässt sich wie folgt beschreiben:

(4.5)

(4.6)

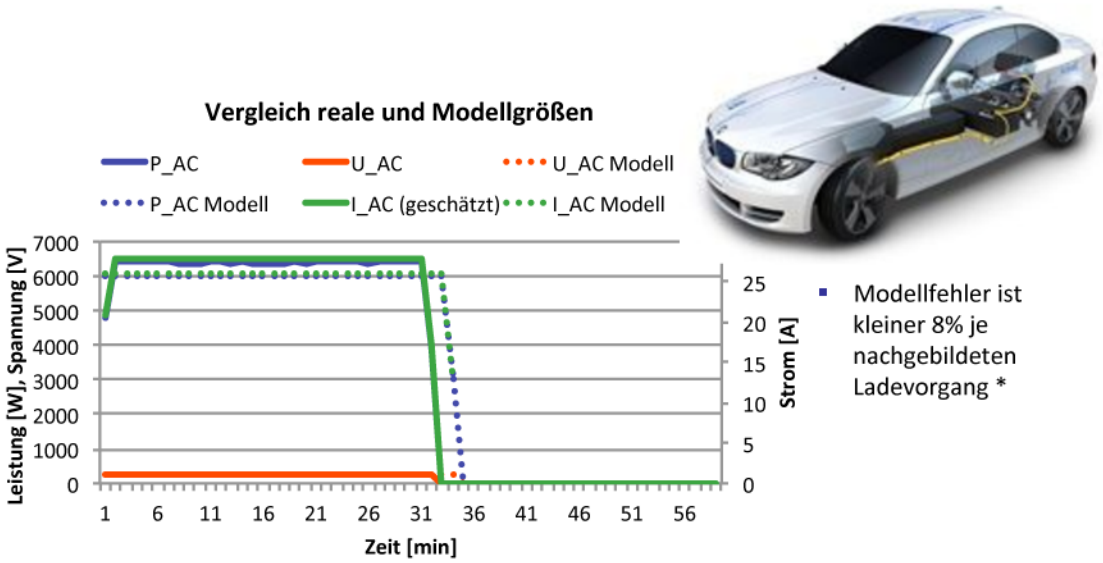


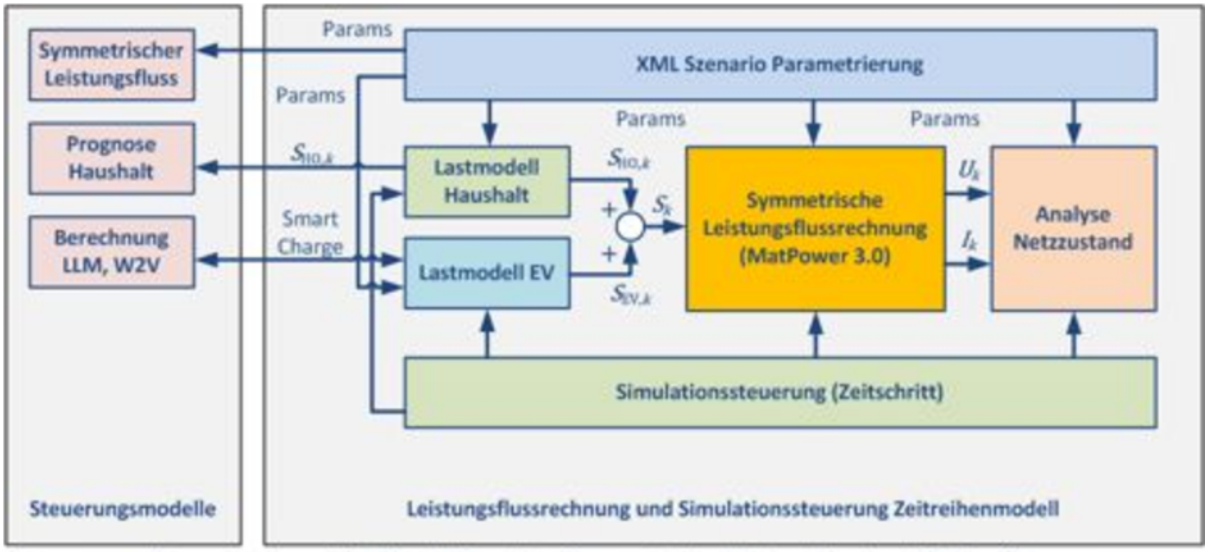
Abbildung 14: Gemessener und gerechneter Ladevorgangs eines BMW ActiveE

Zeitreihensimulation A

Die Zeitreihensimulation A legt den Fokus auf die durch den DSO Berlin zur Verfügung gestellten Referenznetze. Betrachtet werden vorwiegend elektrische Parameter der Spannungshaltung und Betriebsmittelbelastung durch Anwendung der W2V und LLM Applikation. Das Modell wird durch die folgende Abbildung 15 näher erläutert.

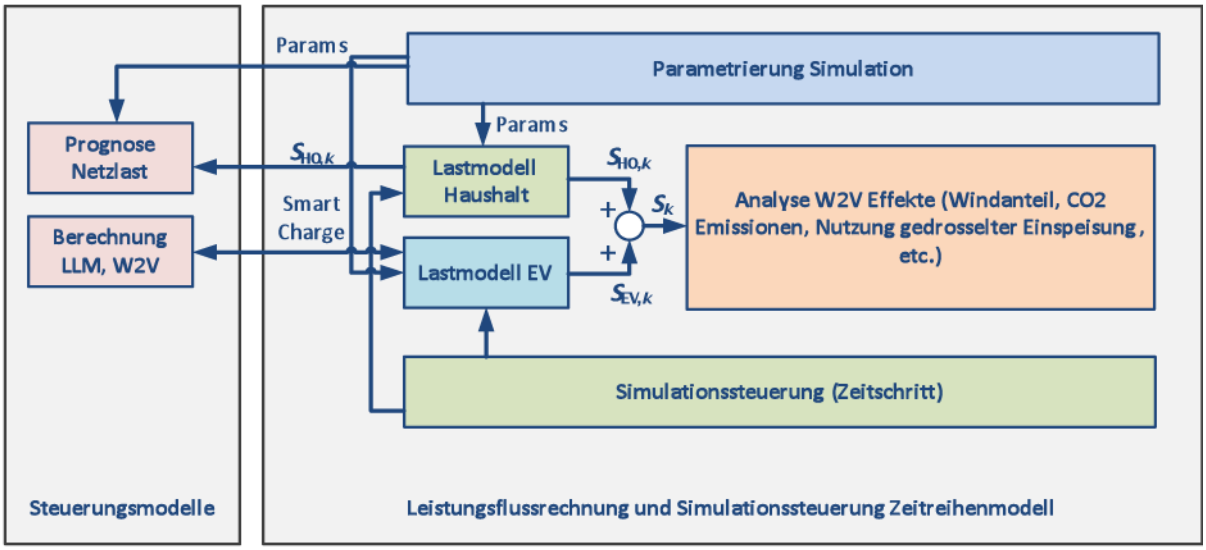
Zeitreihensimulation B

Die Zeitreihensimulation B legt Fokus auf den Ausgleich zwischen Ein- und Ausspeisung auf Regelzonenebene durch W2V und vernachlässigt die unterlagerten Transport- und Verteilungsnetze. Hierzu wurde ein gesondertes Zeitreihensimulationswerkzeug entworfen:



Params: Parameterdatensatz für Modell (Topologie, Grenzwerte, Anzahl Haushalte, Anzahl Elektrofahrzeuge, Nutzerverhalten, etc.)
Smart Charge: Datenaustausch Digitale Kommunikation Ladeprofilberechnung für EV
$S_{H0,k}$: Scheinleistung zum Zeitpunkt k H0 Profil als komplexe Größe (Vektor über alle Lastknoten)
$S_{EV,k}$: Scheinleistung zum Zeitpunkt k EV Ladeprofil als komplexe Größe (Vektor über alle Netzknoten)
S_k: Summenscheinleistung zum Zeitpunkt k als komplexe Größe (Vektor über alle Netzknoten)
U_k: Spannung zum Zeitpunkt k als komplexe Größe (Vektor über alle Netzknoten)
I_k: Leitungs- und Lastströme zum Zeitpunkt k als komplexe Größe (Vektor über alle Netzknoten und -zweige)

Abbildung 15: Zeitreihensimulation A (PowerFlowTimeSeries Toolbox GS2.0 Edition (PFTS Toolbox GE)



Params: Parameterdatensatz für Modell (Anzahl Haushalte, Anzahl Elektrofahrzeuge, Nutzerverhalten, etc.)
Smart Charge: Datenaustausch Digitale Kommunikation Ladeprofilberechnung für EV
$S_{H0,k}$: Scheinleistung zum Zeitpunkt k H0 Profil als komplexe Größe (Skalar)
$S_{EV,k}$: Scheinleistung zum Zeitpunkt k EV Ladeprofil als komplexe Größe (Skalar)
S_k: Summenscheinleistung zum Zeitpunkt k als komplexe Größe (Skalar)

Abbildung 16: Zeitreihensimulation B (Fast W2VImpact Analysis (FW2VA))

4.1.2.4.5 Verwendete Referenznetze

Drei für den Stadtbereich Berlin repräsentative typische Niederspannungsverteilnetze sind an den Knoten 6, 11 und 9 verteilt worden. Einzeln aufgeführt sind diese die Netze 1 (10xx), 2 (20xx) und 3 (30xx). Das Modellnetz 1 steht für einen Netzbereich der Berliner Innenstadt, Modellnetz 2 für einen Netzbereich im äußeren Umfeld von Berlin, das bereits technisch rekonstruiert (neu errichtet/ergänzt/verändert) worden ist und Modellnetz 3 für ein Netz im äußeren Netzbereich von Berlin mit Minderquerschnitten der Kabel. In der Systemanalyse dient das Mittelspannungsnetz ausschließlich der Ermittlung der Vorbelastung der erwähnten Niederspannungsnetze.

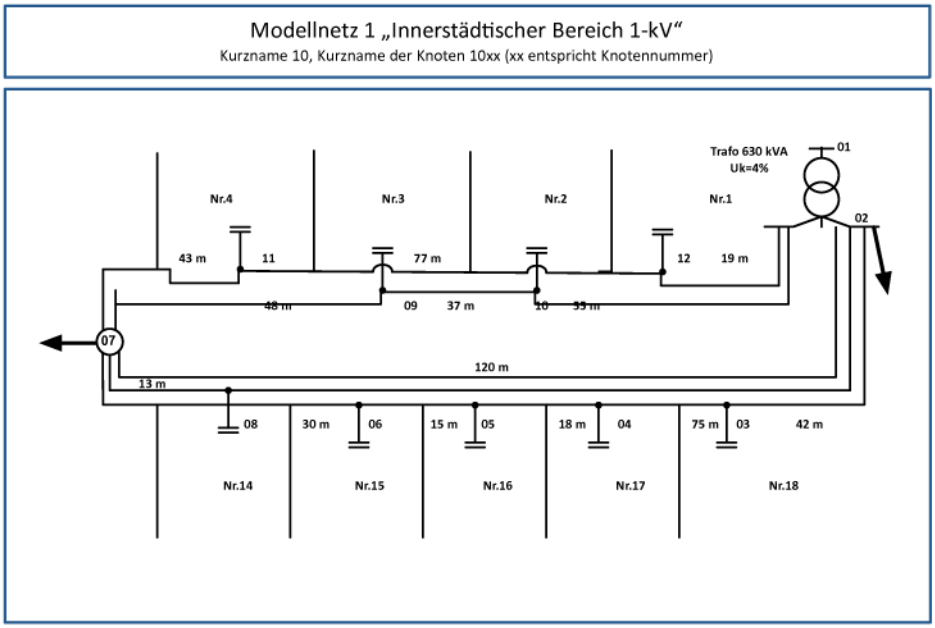


Abbildung 17: Modellnetz 1

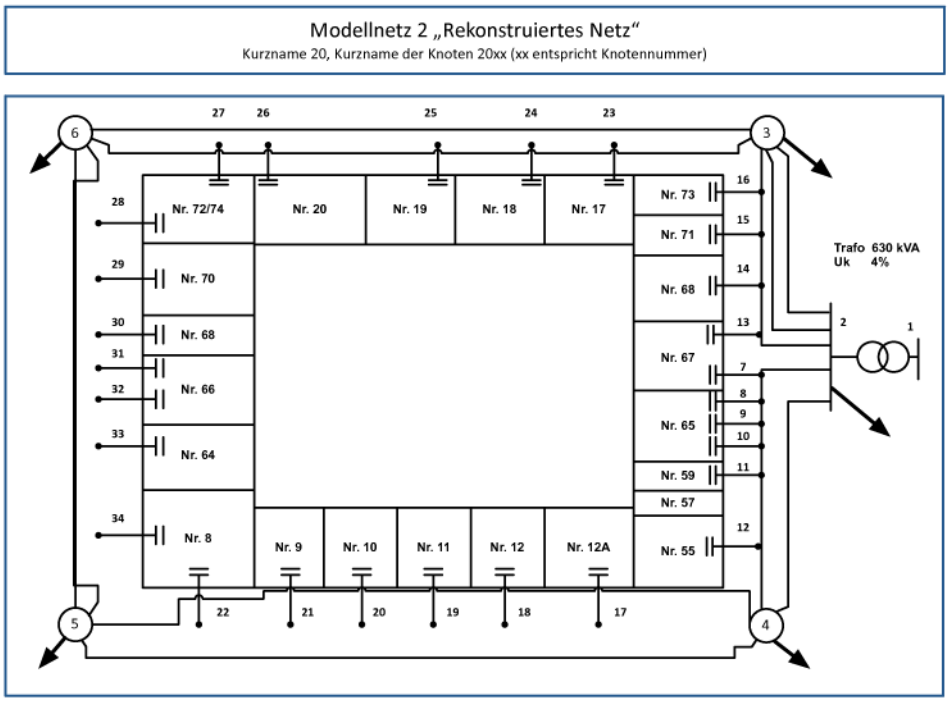


Abbildung 18: Modellnetz 2

Abbildung 19: Modellnetz Vattenfall 3

Das abgebildete Systemmodell wurde hinsichtlich Lastverteilung durch Anwendung symmetrischer Leistungsflussrechnung mit der Toolbox MatPower 3.0 mit Realdaten auf Grundlage von Messungen validiert und angepasst.

Gemessen wurden Strom, Spannung und Leistungsfaktor je Phase. Aufgrund der Annahmesymmetrischer Belastungen in der Simulation wurden die Messwerte je Phase zu äquivalenten Messwerten zusammengefasst. Die Messung erfolgte für den Zeitraum vom 1.Juni.2011 bis zum 28.Sept.2011. Aus den Messungen im Niederspannungsnetz wurde die Stunde der Höchstlast im gemessenen Intervall ermittelt. Aufgrund der verfügbaren Daten aller Messpunkte wurde der 09.09.11 21:15 Uhr gewählt und mit den Annahmen der Simulation verglichen. Ein Vergleich aus Messung und Simulation basierend auf dem gewählten Vergleichstag ist in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich:

Mess-punkt	S (kVA)		$U_{Kollektiv}$ (V)	U (V)	dS in % bezogen auf Gesamtlast	dU in %
	Messwert	Simulation	Messwert	Simulation		
10	225,39	282,47	230,55	227,80	20,2%	1,2%
4	23,90	55,64	230,04	224,85	11,2%	2,3%
3	20,52	36,04	230,94	227,80	5,5%	1,4%
1	24,65	37,91	230,99	227,80	4,7%	1,4%
5	4,20	16,66	228,67	218,90	4,4%	4,5%
6	26,80	11,89	228,73	218,90	5,3%	4,5%
2	49,56	87,40	230,93	227,80	13,4%	1,4%

Tabelle 2: Vergleich Mess- und Simulationswerte im Referenznetz für den 09.09.11 21:15 Uhr

Der Vergleich macht deutlich, dass der Leistungsfluss für Messpunkt 10 (Transformatoreinspeisung) in der Simulation um ca. 20% höher angenommen wurde. Der Vergleich aus gemessene Spannung und Annahmen der Simulation unterscheiden sich um ca. 1%. Der Unterschied im Leistungsfluss lässt sich unter anderem durch den saisonalen Lastunterschied des Messintervalls und den Annahmen für die Simulation erklären. Für die in Niederspannungsabgängen installierten Messpunkte ergeben sich im Leistungsfluss Differenzen bis zu 13,4% bezogen auf die angenommene Gesamtlast. Da die absoluten Abweichungen bezogen auf die Gesamtnetzlast jedoch gering sind, kann von geringen Auswirkungen der relativen Abweichung ausgegangen werden. Die in der Simulation getroffenen Annahmen basieren für das betrachtete Niederspannungsnetz auf Abschätzungen der Last. Dies gilt sowohl für die Gesamtlast, welche über die Transformatoreinspeisung geleitet wird, wie auch für die Lasten die durch die Niederspannungsabgänge gespeist werden. Unter Berücksichtigung der gemessenen Werte, kann die Abschätzung der Lastwerte in Summe als ausreichend angenommen werden. Die Abweichungen im Spannungsbetrag lassen sich unter anderem durch unterschiedlichen Blindleistungsbedarf im Niederspannungsnetz erklären, welcher in der Simulation für alle Lasten konstant angenommen wurde (Leistungsfaktor 0,95 induktiv).

4.1.2.4.6 CO_2-Modell zur Bewertung der ökologischen Verträglichkeit

Die Bestimmung des CO_2-Emissionsfaktors kann aus dem Kraftwerkseinsatz abgeleitet werden[10]. Dafür ist jedoch die Kenntnis des Einsatzes jedes Kraftwerkes über den betrachteten Zeitraum auf Viertelstundenbasis differenziert notwendig. Da dies mit der verfügbaren Datenlage nicht möglich ist und im Weiteren auch keine Prognosen für zukünftige Entwicklungen zulässt, wurde für die Ermittlung des CO_2-Emissionsfaktors auf das Modell zum Kraftwerkseinsatz nach Kraftwerkstypen zurückgegriffen und daraus der Emissionsfaktor bestimmt. Es wird davon ausgegangen, dass Erneuerbare Energien, zu denen im Modell Wind, Photovoltaik und Biomasse zählen, nach EEG-Vorrangregelung einspeisen. Konventionelle Erzeugung deckt also nicht mehr die gesamte Netzlast ab, sondern nur den Differenzbetrag aus Netzlast und EEG-Einspeisung. Die Einspeisung aus Laufwasserkraftwerken ist im Einsatz der konventionellen Kraftwerke berücksichtigt, da deren variable Kosten gegen null tendieren speisen sie innerhalb der Kraftwerkseinsatzplanung zu jedem Zeitpunkt ein an dem noch Netzlast gedeckt werden muss. Anhand des ermittelten Kraftwerkseinsatzes nach Kraftwerkstypen (Steinkohle, Braunkohle, Öl, Kernkraft, Gas, Laufwasser, Pumpspeicher, Gas-GuD) wird der Emissionsfaktor ermittelt. Die Aufsummierung mit den Verbrauchszeitreihen elektrischer Energie lässt zusätzlich eine Aussage über die Gesamtemissionen zu:

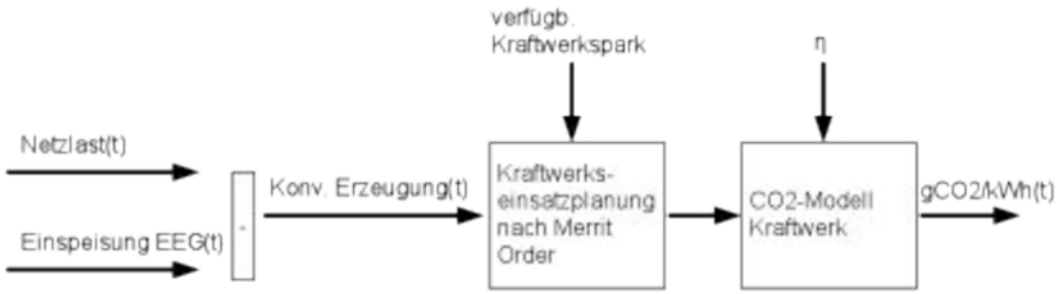


Abbildung 20: Modell zur Ermittlung des CO_2-Emissionsfaktors

Ausgehend vom verfügbaren Kraftwerkspark (Nettoengpassleistung) für 2009, sowie der EEG-Einspeisung und aufgezeichneten Netzlast wurde das Modell gegen Referenzwerte verifiziert. Dazu wurden der Stromverbrauch der Jahre 2005 bis 2009, der entspre-

10 Vgl. T. Gobmaier, V.Schröpel (2010)

chende Anteil an EEG-Einspeisung sowie der durch UBA und BMU[11] ermittelte CO_2-Emissionsfaktor gegen die Ergebnisse des Models gestellt. Über die Referenzwerte konnte eine mittlere Abweichung von 2,6% erreicht werden.

	2005	2006	2007	2008	2009
Stromverbrauch (TWh)	534	560	560	561	519
Anteil EEG (%)	10	12	14	15	16
Referenz - CO_2-Emissionsfaktor nach UBA,BMU	597	590	605	572	575
CO_2-Emissionsfaktor nach Modell	608	601	582	574	545
Mittlere Abweichung zur Referenz = 2,6%					

Tabelle 3: Verifikation CO_2-Modell

4.1.2.4.7 Marktmodell

Die Module zur Bewertung der ökonomischen Verträglichkeit für batterieelektrische Fahrzeuge werden aus der Wertschöpfungskette der elektrischen Energieversorgung abgeleitet und dabei aus den durch Gesteuertes Laden beeinflussbaren Kostenanteilen. Im Wesentlichen können drei Kostenbestandteile der elektrischen Energieversorgung

11 Vgl. Umweltbundesamt FG 1 2.5 (2011)

identifiziert werden, ersichtlich in **Abbildung 21**. Staatliche Abgaben und Umlagen können durch Gesteuertes Laden als nicht beeinflussbar angesehen werden. Womit sich die Auswirkung des Gesteuerten Ladens auf die Erzeugung und Netzentgelte beschränkt. Die Rückwirkung von gesteuertem Laden auf die Erzeugung wird durch das Stromhandelsmodell (Market Clearing Price, MCP) ermittelt. Zum einen werden Rückwirkungen auf Netzentgelte mittelbar durch die Bestimmung zusätzlicher Netzausbaukosten im Verteilnetz durch das Netzausbaumodell bestimmt. Zum anderen sind Elektrofahrzeuge aufgrund ihres Batteriespeichers prinzipiell geeignet, am öffentlichen Regelleistungsmarkt in Form von großen Flotten als virtuelle Speicher zu partizipieren und für die Regelleistungserbringung mit beizutragen.

Abbildung 21: Strompreiszusammensetzung 2010

4.1.2.4.8 Stromhandelsmodell (Market Clearing Price, MCP)

Großhandelspreise, welche z.B. an der Leipziger Energiebörse EEX ermittelt werden, basieren im Wesentlichen auf den Gestehungskosten des teuersten Kraftwerkes, das zur Deckung der Last benötigt wird. Aufgrund der schwankenden Last ergeben sich somit variierende Gestehungskosten. Die dadurch entstehenden Preisschwankungen können durch Gesteuertes Laden ausgenutzt werden, in dem kostengünstige Zeiten zur Ladung der Elektro-Fahrzeuge genutzt werden und zu Zeiten hoher Preise rückgespeist wird. Dabei muss lediglich zum Ende des Ladevorgangs ein definierter Ladezustand erreicht werden. Während der Ladephase kann es durch den handelsbedingten Energieaustausch unter Nutzung freier Batteriekapazitäten zu einem höheren Energiedurchsatz kommen als für die reine Mobilitätsanforderung notwendig wäre. Die dadurch verursachte zusätzliche Alterung der Batterie wurde als Zunahme der Zyklenkosten einbezogen. Freie Batteriekapazität wird dadurch ausgenutzt. Ebenso findet der Wirkungsgrad des Ladevorgangs Beachtung.

Vor der Einführung des EEG erfolgte die Preisbildung allein gemäß statischen Merrit-Order-Prinzips. In Zeiten schwacher Nachfrage sind kostenintensive Kraftwerke heruntergefahren worden. Im Ergebnis zeigte sich eine hohe Korrelation von Schwachlastzeiten und Niedrigpreisphasen. Das Vorrangprinzip von EEG Anlagen führt zu einer Verschiebung der Merrit-Order-Kurve, siehe dazu Abbildung 22.

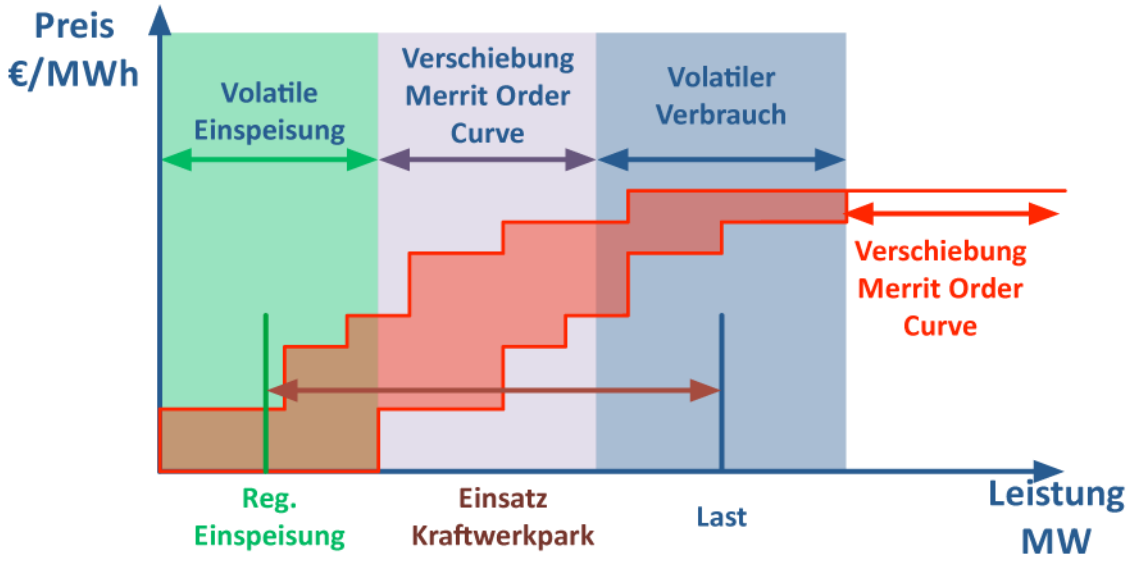


Abbildung 22: Merrit-Order-Kurve

Ausgangspunkt bildet dabei die Preisbildung nach dem Merrit-Order Verfahren[12]. Die Preisbildung bestimmt sich dabei durch die Netzlast abzüglich der Einspeisung aus EEG sowie dem Kraftwerkspark und den damit verbundenen Gestehungskosten. Die Preisbildung wird im ersten Schritt fortlaufend für ein Jahr ermittelt. Die daraus resultierende Preiskurve ist Ausgangspunkt für den Vergleich von gesteuerter und ungesteuerter Ladung. Für die ungesteuerte Ladung wird angenommen, dass sich der Preis an den Gestehungskosten für das SLP H0 orientiert und sich somit als Produkt des Strompreises und der benötigten Energiemenge ergibt.

In der Simulation erfolgt die gesteuerte Ladung preisoptimal. Die Zeitpunkte zur kostenminimalen Ladung und gewinnmaximalen Rückspeisung werden durch einen dynamischen Optimierer ermittelt. Der Wirkungsgrad und zusätzliche Alterung der Batterie durch zusätzlichen Energiedurchsatz werden dabei durch Kosten im Optimierer mit be-

12 Vgl. S.Roon, M. Huck (2008)

rücksichtigt. Der Preis der gesteuerten Ladung ergibt sich damit als Vektorprodukt aus Preis und Ladeprofil. Der Differenzpreis aus ungesteuerter und Gesteuerter Ladung ergibt den Ertrag bezogen auf jedes Elektrofahrzeug pro Jahr. Da sich durch hinreichend große Anzahl Elektro-Fahrzeuge eine signifikante Änderung der Last ergeben wird, ist eine Rückkopplung auf die Preisbildung für die Qualität des Models unumgänglich. Dabei wird schrittweise die Anzahl Elektro-Fahrzeuge im Model erhöht, bis die geforderte Anzahl erreicht wird. Unter Berücksichtigung der Rückspeisefähigkeit der Elektro-Fahrzeuge ergibt sich dadurch eine Glättung des Preisverlaufes[13]).

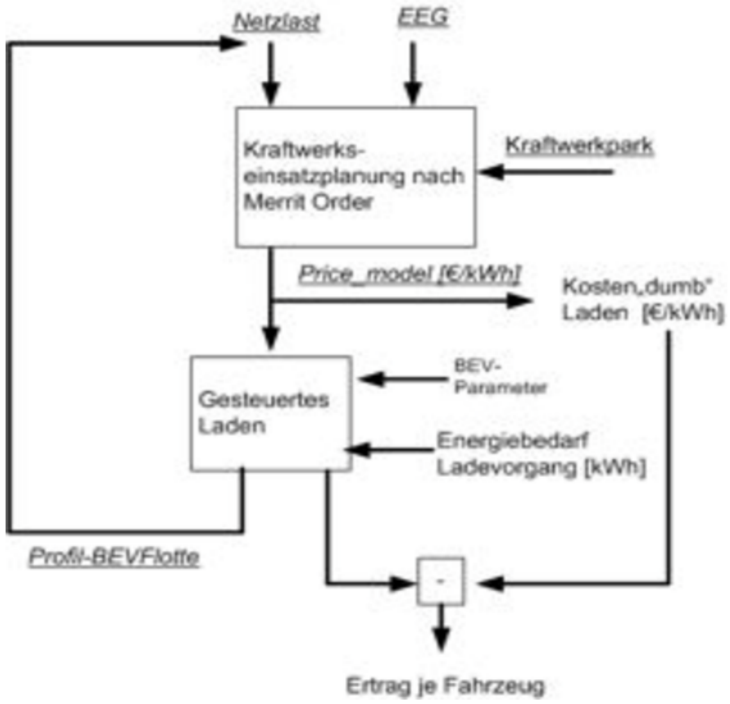


Abbildung 23: Modell zur Ermittlung von Stromhandelspreisen

4.1.2.4.9 Systemdienstleistungsmodell (SDL)

Weiterer Bestandteil des elektrischen Energieversorgungssystems ist die Gewährleistung der Systemstabilität. Insbesondere der Frequenzstabilität kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu. Die Verantwortlichkeit zur Frequenzhaltung haben innerhalb des europäischen Verbundnetzes die Regelzonenbetreiber. Sie legen den Bedarf fest und rufen die zur Frequenzhaltung notwendige Regelleistung ab. Regelzonenbetreiber besit-

13 Vgl. R.Haas (2011)

zen in Deutschland keine eigenen Kraftwerke aus den Regelleistung abgerufen werden kann, somit ergibt sich die Notwendigkeit der Beschaffung über einen frei zugänglichen Markt. Aufgrund unterschiedlich hoher dynamischer Anforderungen an Regelleistung unterscheidet man diese. Für die verschiedenen Regelleistungsarten existieren durch die Unterscheidung von positiver und negativer Regelleistung und durch die Unterteilung des Tages differenzierte Produkte. Positive Regelleistung bedeutet eine benötigte Leistung, die in das System eingespeist werden muss. Bei negativer Regelleistung muss dem System Energie entnommen werden, sodass Speicher geladen werden oder Kraftwerke heruntergefahren werden.

Regelleistung	Zeitscheiben	Regelleistungsart		Anzahl
	Uhrzeit	positiv	negativ	Produkte
Primär	24h	symmetrisch		1
Sekundär	08:00 - 20:00	Pos_HT	Neg_HT	4
	20:00 - 08:00 (Sa., So., FT)	Pos_NT	Neg_NT	
Tertiär	00:00 - 04:00	Pos_S1	Neg_S1	
	04:00 - 08:00	Pos_S2	Neg_S2	
	08:00 - 12:00	Pos_S3	Neg_S3	
	12:00 - 16:00	Pos_S4	Neg_S4	
	16:00 - 20:00	Pos_S5	Neg_S5	
	20:00 - 00:00	Pos_S6	Neg_S6	12

Tabelle 4: Regelleistungsprodukte

Die hohe Bedeutung, die der Regelleistung für die Systemsicherheit zukommt, spiegelt sich in den Bedingung wider, die zur Teilnahme am Regelleistungsmarkt notwendig sind. Der Regelzonenbetreiber definiert Präqualifikationsbedingungen, welche Voraussetzungen für die Zulassung zum Regelleistungsmarkt sind. Für die drei Arten der Regelleistung gelten unterschiedliche Präqualifikationsbedingungen.

Im Modell zur Erbringung von Systemdienstleitungen durch Elektrofahrzeuge wird sich aufgrund des transparenten Marktes und des Marktvolumens nur auf die Erbringung von Regelleistung konzentriert. Zunächst ist dafür die präqualifizierte Leistung der Elektro-Fahrzeuge zu ermitteln. Die Elektro-Fahrzeuge werden dabei immer als gemeinsamer Pool betrachtet. Da es sich bei Elektro-Fahrzeugen jedoch um keine klassischen elektrischen Speicher handelt, ist die Leistungsfähigkeit Nebenbedingungen unterworfen, diese sind:

- Je Ladevorgang muss eine Mindestmenge an Energie zugeführt werden
- Je Elektro-Fahrzeug darf eine Mindestmenge an Restkapazität zu keiner Zeit unterschritten werden

Nachdem die Leistung produktscharf und für jeden Ausschreibungszeitraum einzeln ermittelt wird, kann die Bewertung durch den Markt erfolgen. Da es sich bei dem Bieterverfahren um eine geheime Auktion handelt und nur die Anbieter einen Zuschlag erhalten, welche zur Deckung des Bedarfes notwendig sind, wird der erzielbare Leistungspreis mit dem 0,9-fachen des maximal möglichen Leistungspreises angenommen. Die Annahme postuliert das der Anbieter der Regelleistung zu 90-prozentiger-Sicherheit das Bieterverhalten seiner Mitbewerber abschätzen kann.. Für die Produkte, bei denen eine Vergütung des Arbeitspreises erfolgt, wird für positive Regelleistung ein Arbeitspreis größer der Zyklenkosten und für negative Regelleistung ein sehr niedriger Arbeitspreis angenommen. Ziel ist dabei soviel wie möglich kostenfreie Energie zu beziehen, da das Elektro-Fahrzeug bei jedem Ladevorgang eine Mindestmenge an Energie aufnehmen muss. In Abbildung 24 ist das Zusammenwirken des Models verdeutlicht. Nachdem Angebot und Bedarf ermittelt werden konnten, generiert das Model ein simuliertes Marktverhalten und beziffert damit die Erträge des Pools an Elektro-Fahrzeugen auf dem Regelleistungsmarkt. Da eine Prognose des Produkt- und Ausschreibungszeitraumes für zukünftige Szenarien unmöglich abzuschätzen ist, findet das Model nur Anwendung für Jahre, für die eine lückenlose Dokumentation abgerufener Regelleistung und erzielter Marktpreise vorliegt.

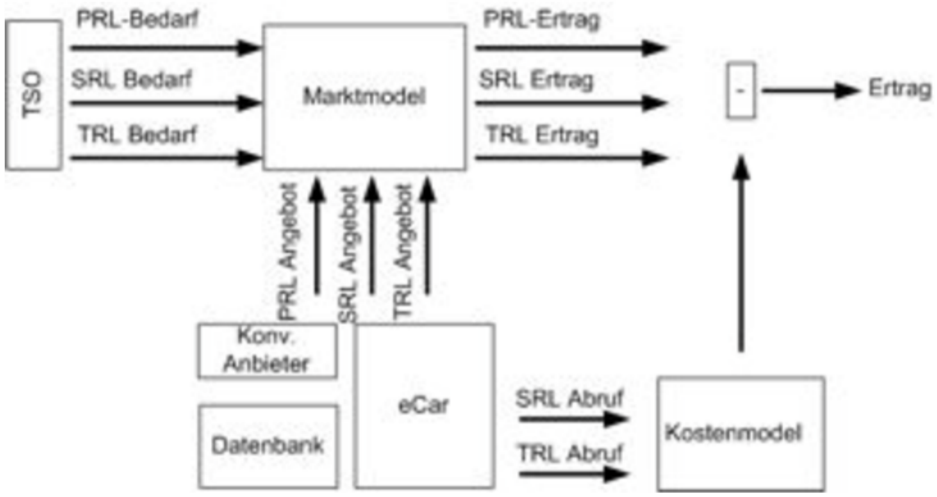


Abbildung 24: Model zu Elektro-Fahrzeugen als Anbieter von Regelleistung

4.1.2.4.10 Netzausbaumodell

Der Vergleich aus gesteuerter und ungesteuerter Ladung kann durch vermiedene Netzausbaukosten bewertet werden. Ungesteuerte Ladung führt mittelfristig zu einer Überlastung von elektrischen Betriebsmitteln im Verteilnetz. Insbesondere die Niederspannungsebene, in der der Großteil der Ladeinfrastruktur installiert sein wird, ist davon betroffen. Die Betriebsmittelgrenzen definieren sich dabei durch zwei technische Randbedingungen

- $i \leq i_{therm,max}$
- $u_{min} \leq u \leq u_{max}$

Führt eine ungesteuerte Ladung zu einer Verletzung der Betriebsmittelgrenzen, so ist durch den Netzbetreiber ein entsprechender Netzausbau vorzunehmen. Eine gesteuerte Ladung, unter der Voraussetzung der Kenntnis des Netzes, vermeidet diesen Netzausbau. Betrachtet werden im Modell nur die zwingend erforderlichen primären Betriebsmittel. Die daraus resultierenden Anforderungen an den Netzschutz werden hier vernachlässigt. In Abbildung 25 ist das Modell zur Bewertung der vermiedenen Netzausbaukosten durch Gesteuertes Laden dargestellt.

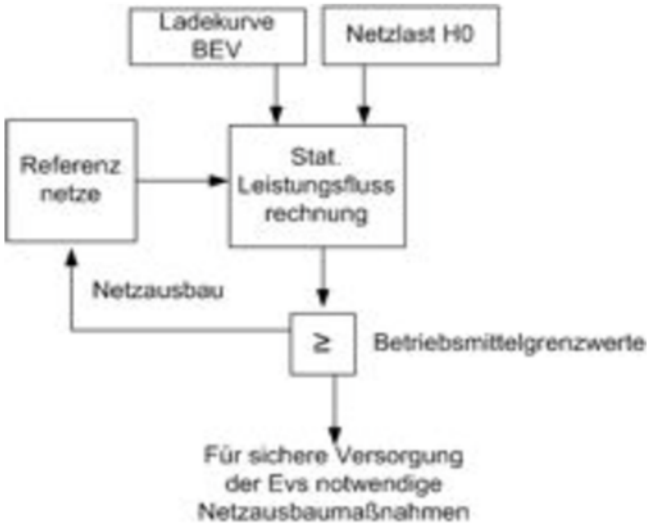


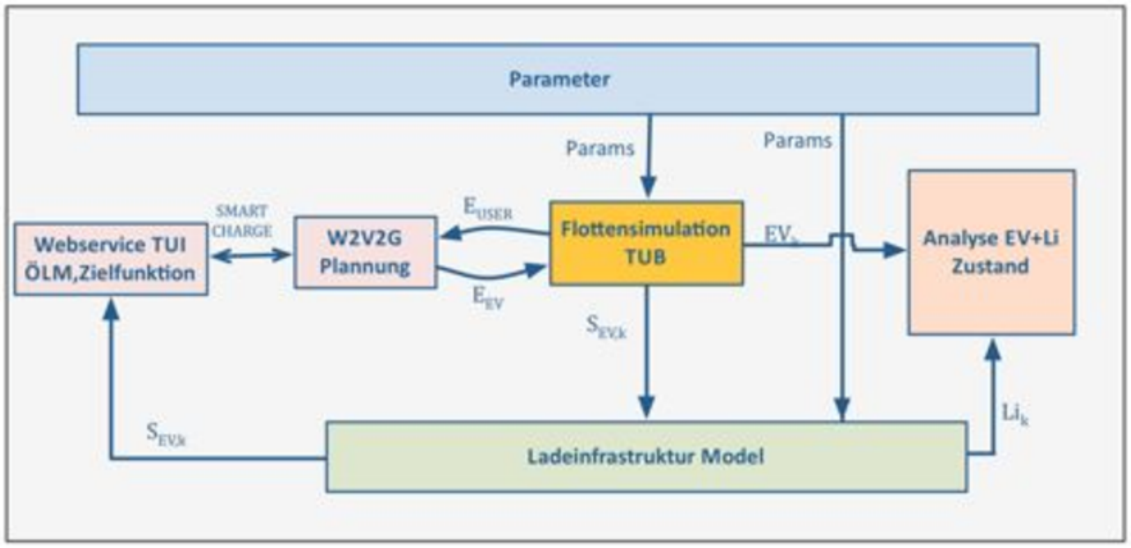
Abbildung 25: Model zur Netzausbaubewertung

Da für den Netzausbau nicht die Häufigkeit von Betriebsmittelgrenzwertverletzungen entscheidend ist, sondern nur das Ereignis an sich, kann in diesem Modell auf eine Zeitreihensimulation verzichtet werden. Stattdessen wird eine Worst-Case-Analyse vorgenommen in dem die Stunde mit der höchsten Belastung zu Grunde gelegt wird. Die vorliegende Netzlast ohne Elektro-Fahrzeuge wird aus dem Verlauf des Standardlastprofil H0 abgeleitet. Die auftretende Last durch die ungesteuerte Ladung von Elektro-Fahrzeugen wird aus dem Gleichzeitigkeitsfaktor der Verfügbarkeit an der Ladeinfrastruktur und der Ladeleistung abgeleitet.

Verteiltes Simulationsmodell zur Verkehrssimulation und gesteuertem Laden (Flottenmodell)

Die Zielsetzung bei der Entwicklung einer verteilten Verkehrssimulation war darauf ausgerichtet, die für die Feldtestphase entwickelten Steuerungsalgorithmen zu testen, zu validieren und im großen Maßstab anzuwenden um daraus Implikationen ableiten zu können. Dazu wurde ein verteiltes Simulationsmodell entwickelt, das in Abbildung 26 dargestellt ist. Zudem sollten die in der Feldtestphase gewonnenen Erkenntnisse dazu genutzt werden die Simulationsmodelle nachträglich zu präzisieren. Basierend auf der Definition der zu untersuchenden Fragestellungen sowie der daraus erfolgten Ableitung der KPIs (Key Performance Indicators) erfolgte die Entwicklung entlang der folgenden Entwicklungsphasen:

- Ableitung der Anforderungen für die Simulationsumgebung (Vgl. Anforderungsliste)
- Definition der Simulationsszenarien
- Durchführung der Simulationsszenarien
- Ergebnisauswertung



Params: Parameterdatensatz für Modell (Topologie, Anzahl Haushalte, Anzahl Elektrofahrzeuge, Nutzerverhalten, Simulationsdauer, SOC Toleranz, Verbrauch, Reichweite, LI Verlässlichkeit)
Smart Charge: Datenaustausch Digitale Kommunikation Ladeprofilberechnung für EV
S_{EVk}: Scheinleistung zum Zeitpunkt k EV Ladeprofil als komplexe Größe (Vektor über alle Lastknoten)
E_{USER}: Menge von Nutzer-Events (Termine)
E_{EV}: Menge von Fahrzeug-Events (Fahrten, Lade- und Einspeisevorgänge)
EV_k: Fahrzeugdaten zum Zeitpunkt k als komplexe Größe
LI_k: Daten über die Auslastung der Ladeinfrastruktur zum Zeitpunkt k als komplexe Größe

Abbildung 26: Schematischer Zusammenhang der Module des verteilten Simulationsmodells zur Verkehrssimulation und gesteuertem Laden

Der Entwicklungsprozess sei im Folgenden anhand der aufgeführten Entwicklungsphasen detailliert erläutert:

Ableitung der Anforderungen für die Simulationsumgebung

Basierend auf den weiterformulierten KPIs galt es eine Anforderungsanalyse für die TU Ilmenau Flottensimulation aufzustellen. Im Rahmen dieser Anforderungsanalyse wurden Szenarien definierte, welche durch die Simulationsumgebung ausgewertet werden sollten. In der ersten Gliederung sollten dabei Simulationen für die drei Jahreszahlen 2015,

2020 und 2030 durchgeführt werden, welche wiederum durch mehrere Parameter variiert werden sollten. Die Parameter seien im nachfolgend erläutert:

Simulationstopologie

Für die durchgeführten Simulationen wurde eine Karte der Hauptstadtregion Berlin herangezogen, da eine Schnittstelle zur Netzsimulation der TU Ilmenau für diese realisiert wurde. In Abstimmung mit der TU Ilmenau wurde definiert inwiefern die Straßennetz Topologie mit der Topologie des von der TU Ilmenau simulierten Energienetzes zusammenhängt. Hierfür wurden 3 *Lupennetze* gewählt. Seitens der Simulationsumgebung entsprachen diese Lupennetze gewissen Straßenabschnitten sowie den darin enthaltenen Haushalten. Auf Seiten der Netzsimulation der TU Ilmenau wurden die entsprechenden Haushalte dann konkret Haushaltsanschlüssen zugewiesen. Dabei ist zu erwähnen, dass es sowohl Haushaltsanschlüsse gab, welchen ausschließlich ein Haushalt zugeordnet wurde, aber auch Haushaltsanschlüsse existierten mit welchen mehrere Haushalte assoziiert wurden. Die Zahlen für Haushaltsanschlüsse und Haushalte stimmen daher nicht überein. Die detaillierten Charakteristika der Lupennetze seien im Folgenden erläutert:

Merkmal	Erneuertes Netzwerk	Altes Netzwerk
Mittelpunkt (GPX Koordinate)	52,4793/13,6072	52,3832/13,3926
Radius	281m	281m
Anzahl Haushalte	174	133
Anzahl Haushaltsanschlüsse	33	58

Tabelle 5: Merkmale der Lupennetze "Erneuertes Netzwerk" und "Altes Netzwerk"

Das „Neue Netzwerk“ unterlag hierbei einer Sonderreglung, denn dieses wurde einer Region im innerstädtischen Bereich zugeordnet und somit nicht mit einer Haushaltsinternen Ladeinfrastruktur ausgestattet. Stattdessen wurden für diesen Bereich Parkhäuser spezifiziert, welche wiederum über eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur verfügten. Im Falle des Neuen Netzwerks wurde die Schnittstelle mit der Simulationsumgebung der TU Ilmenau über eben diese Ladeinfrastruktur realisiert. Jedem der drei Park-

häuser wurde ein separater Netzknoten zugewiesen. Die Details seien im Folgenden erörtert:

Merkmale	Parkhaus 1	Parkhaus 2	Parkhaus 3
Mittelpunkt (GPX Koordinate)	52,5030/13,3313	52,5022/13,3334	52,5028/13,3341
ID Netzknoten	1003	1011	1007

Tabelle 6: Charakteristika des Lupennetzes "Neus Netzwerk"

Die Anordnung der Netze ist in der folgenden Grafik dargestellt. Die Illustration zeigt zudem die interne Beschaffenheit der Netzwerke. Haushalte und Parkhäuser werden in der Darstellung der Lupennetze durch schwarze Punkte dargestellt.

Abbildung 27: Geographische Verteilung der 3 Lupennetze (Neues Stromnetz, erneutes Stromnetz und altes Stromnetz) in der verwendeten Simulationstopologie der Hauptstadtregion Berlin

Die jeweilige Ausprägung der Ladeinfrastruktur wurde über die Parameter „Anzahl der verfügbaren Ladestationen“ sowie „Charakteristika der Ladeinfrastruktur“ abgeleitet. Diese werden weiter unten näher spezifiziert.

Benutzer

Zentraler Angelpunkt für ein Simulationsszenario war der Tagesterminplan für den Benutzer. Insgesamt sollten für jede Jahreszahl drei verschiedene Benutzertypen – und damit Fahrverhalten – simuliert werden. Spezifiziert wurden hierfür ein „Arbeitsplatz"-Nutzerprofil, ein „Außendienst"-Nutzerprofil, sowie ein „Lieferdienst"-Nutzerprofil. Der Arbeitsplatznutzer wurde hierbei durch einen längeren über die Tagesmitte verteilten Termin mit einer Dauer zwischen 7 und 10 Stunden sowie einer Startzeit zwischen 8Uhr und 10Uhr charakterisiert. Der Arbeitsplatz sollte dabei eine von der Heimatadresse verschiedene Position sein. Die mittlere Distanz (Hin- und Rückfahrt) wurde auf rund 30km spezifiziert (genauer genommen handelte es sich bei dem Arbeitsplatzszenario um ein Pendlerszenario). Zusätzlich zu dem Arbeitstermin wurde das Profil dahingehend spezifiziert, dass bis zu zwei zusätzliche Termine mit jeweils rund 30km zusätzlicher Fahrt und einer minimalen Dauer von 15 Minuten und einer maximalen Dauer von einer Stunde wahrgenommen werden konnten. Hiermit sollten Freizeitaktivitäten wie zum Beispiel die Fahrt zum Kindergarten, Einkäufe, etc. abgedeckt werden. Die durchschnittliche Gesamtkilometerfahrleistung des Arbeitsplatznutzers lag bei rund 100km pro Tag. (Dieser Annahmewert ist höher als der aktuelle Durchschnittswert für deutsche Autofahrer mit 40 km Tages- und 12.000 km Jahresfahrleistung (Quelle: Mobilität in Deutschland 2010)).

Das Fahrerprofil des Außendienstmitarbeiters wurde dadurch charakterisiert, dass der Fahrer über die Tagesmitte verteilt mehrere Termine in der Stadt wahrnehmen sollte. Insgesamt wurden hier zwischen 5 und 7 Terminen zufällig generiert und dem Fahrer als Tagesprofil spezifiziert. Die Länge der Termine lag dabei zwischen 15 Minuten, sowie einer Stunde. Die Termine und deren Orte wurden so gewählt, dass eine Erfüllung – ohne Berücksichtigung der Ladezustände des Fahrzeugs – zeitlich stets realisiert werden konnten. Die durchschnittliche Gesamtkilometerfahrleistung des Außendienstmitarbeiters lag bei rund 200km pro Tag.

Das Fahrerprofil des Lieferdienstmitarbeiters wurde dadurch charakterisiert, dass der Fahrer über die Tagesmitte verteilt mehrere sogenannter Sternfahrten absolviert. Hierfür wurden für jeden simulierten Tag zwischen 10 und 14 Termine definiert, welche jeweils von der ursprünglich definierten Startadresse aus angefahren wurden. Nach Beendigung des „Auslieferertermins" erfolgte eine Rückfahrt zur ursprünglichen Startadresse. Für die Dauer dieser Termine wurde zufällig eine Zahl zwischen 5 und 15 Minuten bestimmt. Die

mittlere Gesamtkilometerfahrleistung des Auslieferdienstmitarbeiters lag bei rund 400km pro Tag.

Planungsfunktionalität

Über diesen Parameter wurde festgelegt ob die simulierten Fahrzeuge für ihre Tagesplanung auf das entwickelte Ladeassistenzsystem zurückgreifen oder sie ihre Planung autonom bewerkstelligen. Dieser autonome Planungsansatz wurde eigens im Rahmen dieses Projekts entwickelt und ist dem nativen menschlichen Planen nachempfunden. Insbesondere wird hiermit ein direkter Vergleich zwischen Ladeassistenz und menschlichem Verhalten möglich, der später für die Bewertung wichtiger Effektivitätskriterien wie z.B. der Mobilitätseinschränkungen von Fahrern benötigt wird.

Simulierte Jahreszeit und Simulationsdauer

Um sich hinsichtlich des Prioritätensignals auf eine feste und vergleichbare Kurve zu einigen wurde das Startdatum für alle Szenarien auf den 1. April spezifiziert. Die Simulationsdauer wurde auf 3 Tage festgelegt, sodass jeder Simulationsdurchlauf konkret eine Zeitspanne von 0:00Uhr am 1.April bis 23:59 am 3.April durchlief.

Kritische „State Of Charge“ Toleranz der simulierten Fahrer

Um in der Simulation Fahrer ohne Ladeassistenzsystem in geeigneter Art und Weise zu repräsentieren war es nötig eine sogenannte kritische SOC (State of Charge) Toleranz zu definieren. Dieser Wert beschreibt einen Batteriefüllstand, bei welchem ein Ladevorgang durch den Fahrer ausgelöst wird. Konkret wird bei einem Parkvorgang der aktuelle Batteriefüllstand evaluiert und mit dem Fahrer SOC verglichen. Liegt der aktuelle Wert unter der definierten kritischen SOC Toleranz, dann wird durch den Fahrer ein Ladevorgang angestoßen, andernfalls nicht. In einer Erweiterung wurde dieses Prinzip durch eine Restlaufanalyse ersetzt, da diese das menschliche Verhalten realistischer abbildet. In diesem erweiterten Modell wird die Entscheidung einen Ladevorgang anzustoßen über die für diesen Tag erwartete Restlaufleistung sowie dem aktuellen SOC evaluiert. In dieser erweiterten Version wurde der kritische SOC Wert als zu garantierende Restmenge beim Evaluationsprozess interpretiert. Die Endergebnisse wurden mit der verbesserten Variante des Entscheidungsprozesses generiert, da diese schlichtweg zu qualitativ höherwertigen Ergebnissen führte.

Verbrauch der elektrischen Fahrzeuge

Für den Verbrauch der Fahrzeuge wurde zunächst ein lineares Modell integriert. Es waren die zwei Verbrauchscharakteristika 15kWh/100km und 20kWh/100km für die Simulation vorgesehen. Die Feldtestergebnisse haben jedoch Aufschluss über die reellen Verbräuche gegeben, sodass in einer zweiten Entwicklungsiteration die ursprünglich angenommenen linearen Verbräuche durch konkrete Verbrauchskurven aus dem Feldtest ausgetauscht werden konnten.

Anzahl der an Haushalte mit elektrischem Fahrzeug

Als Eingangsgröße für die Anzahl der Haushalte welche über ein elektrisches Fahrzeug verfügen wurde ein prozentualer Wert gewählt. Den drei Jahreszahlszenarien wurde dabei jeweils ein statischer Wert zugeordnet. Dem Jahr 2015 wurde eine Nutzungsquote von 10% der Gesamtanzahl an Haushalten unterstellt, dem Jahr 2020 eine Nutzungsquote von 20% der Gesamtanzahl an Haushalten und dem Jahre 2030 eine Nutzungsquote von 30% der Gesamtanzahl von Haushalten. Implizit ergaben sich hieraus auch die absoluten Fahrzeugzahlen der simulierten Fahrzeuge. Für das Jahr 2015 wurde eine Gesamtanzahl von 20.000 zu simulierenden Fahrzeugen berechnet. Für das Jahr 2020 betrug die Gesamtanzahl der zu simulierenden Fahrzeuge bereits 50.000. Für das Jahr 2030 wurde die Zahl auf insgesamt 150.000 Fahrzeuge berechnet. Die konkreten Werte für die Fahrzeugzahlen wurden aus der Studie *Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität* abgeleitet.

Anzahl der verfügbaren Ladestationen

Über diesen Wert wurde die Anzahl der verfügbaren Ladestationen charakterisiert. Die zur Verfügung stehenden Zahlen wurden jeweils für die Jahreszahlen 2015, 2010 und 2030 berechnet und statisch in der Simulationsumgebung hinterlegt. Ein Ändern des Simulationsjahres ist somit mit einer Änderung der Ladeinfrastruktur in der Topologie verbunden. Wie bereits bei der Anzahl der Haushalte wurden die konkreten Zahlenwerte aus der Studie *Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität* abgeleitet. Für das Jahr 2015 wurde die Topologie mit einer Gesamtanzahl von 27.900 Ladestationen versehen. Für das Jahr 2020 wurde eine Gesamtanzahl von 167.000 Ladestationen verwendet und für das Jahr 2030 wurde die Topologie mit insgesamt 200.000 Ladestationen initialisiert.

Charakteristika der Ladeinfrastruktur

Mit diesem Parameter wurde die Beschaffenheit der Ladeinfrastruktur spezifiziert. Insgesamt stehen für die Simulation sechs verschiedene Ladestationstypen zur Verfügung, welche sich in ihren Ladecharakteristika unterscheiden. Definierend für die diversen Typen sind jeweils die maximale Lade- sowie Rückspeiseleistung, welche über für jeden Typen definiert wurde. Die sechs verschiedenen Typen seien im Folgenden spezifiziert:

Typ Ladestation	Laden	Entladen
Typ 1	64A	-64A
Typ 2	64A	0A
Typ 3	32A	-32A
Typ 4	32A	0A
Typ 5	16A	-16A
Typ 6	16A	0A

Tabelle 7: Betrachtete Ladestation

Für die Simulationsszenarien wurde jeder Jahreszahl jeweils ein statischer Ladestations-Mix zugeordnet, mit welchem die Topologie initialisiert wird. Für die drei Jahreszahlen sei der jeweilige Ladestations-Mix im Folgenden erörtert:

Typ Ladestation	2015	2020	2030
Typ 1	0%	0%	10%
Typ 2	32%	32%	40%
Typ 3	6%	6%	0%
Typ 4	32%	32%	0%
Typ 5	14%	14%	10%
Typ 6	16%	16%	40%

Tabelle 8: Beschaffenheit der Ladeinfrastruktur für die jeweiligen Jahreszahlen 2015, 2020 und 2030

Ladestationsverlässlichkeit

Technische Installationen neigen für gewöhnlich dazu wartungsanfällig zu sein. Auch Ladestationen sind davon nicht ausgenommen. Für den entwickelten Ladeassistenten

stellen diese unvorhersehbaren Systemausfälle einen besonderen Härtefall dar, denn hier muss automatisiert ein Fehlerfall aufgelöst werden. Gerade im Vergleich auf das menschliche Verhalten ist ein automatisierter Planungsassistent aufgrund der ihm zur Verfügung stehenden Informationen klar im Vorteil. Um diesen Vorteil messbar zu machen und nominell zu bestimmen, wurde für die Simulation eine sogenannte Ladestationsverlässlichkeit definiert. Der Wert definiert dabei einen prozentualen Anteil von Ladestationen, die während der Simulation unverhofft ausfallen. Für jedes der simulierten Szenarien wurde statisch ein Wert von 5% definiert.

Definition der Simulationsszenarien

Basierend auf den weiter oben beschriebenen Parametern wurden die durchzuführenden Szenarien spezifiziert. Wie bereits erwähnt waren diese auf oberster Gliederungsebene den drei Jahreszahlen 2015, 2020 sowie 2030 zugeordnet die genaue Parametrisierung sei im Folgenden erläutert.

Merkmal		Ausprägung
Simulationszeitraum		1. April 0:00Uhr - 3. April 23:59
Kritische SOC Toleranz		25%
Verbrauch		15kWh / 20kWh
Anzahl der Haushalte mit EV		10%
Infrastruktur	Anzahl der Ladestationen	27900
	Ladestations-Mix	32% - 0% - 32% - 6% - 16% - 14%
Batteriereichweite		151Km
Ladestationsverlässlichkeit		95%
Fahrerprofile		Arbeitsplatz - Außendienst - Auslieferdienst

Tabelle 9: Definition Simulationsszenario 2015

Merkmal		Ausprägung
Simulationszeitraum		1. April 0:00Uhr - 3. April 23:59
Kritische SOC Toleranz		25%
Verbrauch		15kWh / 20kWh
Anzahl der Haushalte mit EV		20%
Infrastruktur	Anzahl der Ladestationen	*167000*
	Ladestations-Mix	*32% - 0% - 32% - 6% - 16% - 14%*
Batteriereichweite		151Km
Ladestationsverlässlichkeit		95%
Fahrerprofile		Arbeitsplatz - Außendienst - Auslieferdienst

Tabelle 10: Definition Simulationsszenario 2020

Merkmal		Ausprägung
Simulationszeitraum		1. April 0:00Uhr - 3. April 23:59
Kritische SOC Toleranz		25%
Verbrauch		15kWh / 20kWh
Anzahl der Haushalte mit EV		30%
Infrastruktur	Anzahl der Ladestationen	200000
	Ladestations-Mix	40% - 10% - 0% - 0% - 40% - 10%
Batteriereichweite		151Km

Tabelle 11: Definition Simulationsszenario 2030

4.1.2.4.11 Kernaussagen und Begründung

Es wurden die Nutzeranforderungen an W2V2G evaluiert

- W2V

Im ersten Teil der Diskussion wurden die Teilnehmer gefragt, warum sie ihr Elektrofahrzeug während der Nutzung im Rahmen des Projekts MINI E Berlin 1.0 nicht öfter zum Laden angesteckt hatten, obwohl dies für das optimale Funktionieren des Gesteuerten

Ladens notwendig gewesen wäre. Den Antworten entsprechend, wollten die Nutzer ungern die Verantwortung für die Steuerung des Ladens übernehmen. Vor allem die Einschränkung der Flexibilität durch die den Teilnehmern bekannte Organisation des Ladevorganges wurde in diesem Zusammenhang angesprochen Die Teilnehmer sahen die Verantwortlichkeit eher beim Energieversorger oder anderen Instanzen.

Im Rahmen einer Gruppenarbeit wurden Faktoren zusammengetragen, die das regelmäßige Anstecken des MINI E bisher erschwert hatten. Die wichtigsten Barrieren stellten Bequemlichkeit und Gewohnheit dar, weil die Teilnehmer von Autos mit Verbrennungsmotoren längere Intervalle zwischen den Betankungen gewohnt waren. Von manchen Teilnehmern wurde außerdem am Wochenende nicht geladen, weil zu diesen Zeiten keine Fahrten geplant waren. Insbesondere bei noch ausreichendem Ladezustand der Batterie sahen sich die Teilnehmer häufig nicht veranlasst, das Auto anzustecken. Des Weiteren wurden Probleme mit der Ladetechnik genannt. Die Einstellung der Ladezeiten über das Internetportal wurde als umständlich wahrgenommen.

Im zweiten Teil der Diskussion wurde die Frage diskutiert, was Nutzer dazu motivieren könnte, am Gesteuerten Laden teilzunehmen. Folgende Aspekte wurden genannt: (1) finanzielle Anreize (Tarif, Geld zurückbekommen), (2) immaterielle Anreize (kostenlose Parkplätze), (3) die Verbesserung der Ladeinfrastruktur und (4) die Verringerung des Aufwandes für den Nutzer.

Die Ladeinfrastruktur spielte für die Frage nach der Häufigkeit des Ansteckens eine wichtige Rolle, da sie über die Möglichkeit zur Teilnahme am Gesteuerten Laden außerhalb des eigenen Heims entscheidet. Weiterhin wurde diskutiert, ob ein tieferes Verständnis ökologisch relevanter Sachverhalte die Motivation zur Teilnahme an W2V erhöhen könnte.

Ein niedrigerer Stromtarif für die Teilnahme am Gesteuerten Laden wurde von einigen Teilnehmern als unnötig beurteilt, weil es sich dabei pro Ladevorgang um zu kleine Geldbeträge handeln würde und die Rückmeldung nicht sofort sichtbar sei. Des Weiteren wären einige Nutzer sogar bereit, mehr zu bezahlen, wenn sich im Gegenzug ihr persönlicher Aufwand für das Gesteuerte Laden verringern würde.

- V2G

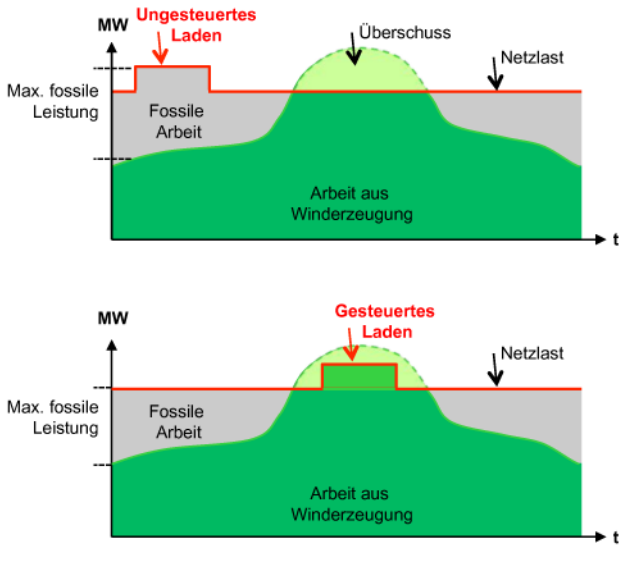
Als Barrieren für die Nutzung von V2G wurden vier Aspekte genannt: (1) die verkürzte Lebensdauer der Batterie und die damit verbundene Frage, wem die Batterie gehören

sollte, (2) die eingeschränkte Flexibilität und damit verbunden (3) die eingeschränkte Mobilität aufgrund der möglicherweise verminderter Reichweite, (4) die derzeit noch fehlende Verfügbarkeit technischer Voraussetzungen wie eine entsprechende Infrastruktur oder Ladetechnik. Trotzdem wären fast alle der anwesenden Teilnehmer theoretisch bereit gewesen, ihr Elektrofahrzeug für V2G zur Verfügung zu stellen.

Auch hinsichtlich V2G wurde diskutiert, was Nutzer zur Teilnahme an diesem System motivieren könnte. Wieder wurden vorwiegend finanzielle Anreize genannt. Insbesondere erhofften sich die Nutzer eine Kostenersparnis beim Laden, wenn sie vorher ihre Batterie für Entladungen bereitgestellt haben. Des Weiteren betonten die Teilnehmer in diesem Zusammenhang das ökologische Bewusstsein potentieller Elektro-Fahrzeugnutzer. Sie waren der Überzeugung, dass die Nutzer die positiven Effekte wertschätzen, die das System für die Unabhängigkeit von fossiler Energie und für die Änderung der Energiepolitik in Richtung einer dezentralen und regenerativen Versorgung entfalten könnte.

4.1.2.4.12 In einer Regelzone mit überschüssigem Windstrom reduziert W2V die notwendige fossile Arbeit

Der im Rahmen der Projektergebnisse GS 2.0 gezeigte Nutzen für Elektromobilität im Sinne von „Mehrabschöpfung“ von Energie aus EEG-Anlagen basiert auf der systemführungsbedingten Anwendung des § 13 EnWG bzw. § 11 EEG. Dies bedeutet, dass lokal abgenommene Energie aus EEG-Anlagen durch Elektrofahrzeuge nicht über das Transportnetz in Lastzentren (ggf. außerhalb der betrachteten Regelzone) abtransportiert werden muss. Die Untersuchungsergebnisse zeigen das grundsätzliche Potential auf, das durch den Einsatz des Gesteuerten Ladens von Elektrofahrzeugen entsteht.



Ausgangslage:

- Innerhalb einer Regelzone besteht ein Überschuss an Arbeit aus Winderzeugung, die nicht exportiert werden kann
- Um die Systemstabilität zu gewährleisten, müssen Windanlagen gedrosselt werden

Gesteuertes W2V-Laden:

- Gesteuerte Ladevorgänge werden zu Zeiten maximaler Windeinspeisung durchgeführt

Auswirkungen:

- Bislang ungenutzte Überschussenergie wird von Elektrofahrzeugen aufgenommen
- Systemstabilitätsbedingte Drosslungen von Windanlagen nehmen ab
- Strommix: Bei gleichbleibendem Gesamtverbrauch im Betrachtungszeitraum wird fossile Arbeit durch Arbeit aus Winderzeugung ersetzt
- Die CO_2- Emissionen werden reduziert
- Die vorzuhaltende fossile Erzeugungsleistung nimmt ab
- Aus Nutzerperspektive enthält die Ladekurve gegenüber dem ungesteuerten Laden einen höheren Windstromanteil

Abbildung 28: Wirkungsweise von Vermeidung von Drosselung von EEG-Anlagen durch Gesteuertes Laden

Bei den diesbezüglichen Untersuchungen wurden geographische (horizontal) Netzausprägungen ebenso vernachlässigt wie die vertikale Strukturierung des Netzes in sieben Netzebenen. Weiterhin wurde das aktuelle Betriebsregime bzgl. der Frequenzregelung im Kontext HoBA außer Acht gelassen (sofern geographische Verhältnisse in Betracht kamen), um das grundsätzliche Potential zu quantifizieren. Diese Vorgehensweise ist für eine grundlegende Potentialanalyse geeignet. Das zugrunde liegende Netzmodell wird dabei als Punktnetz betrachtet.

Da die Abschätzungen im vorliegenden Projekt einerseits auf einer Punktnetzdarstellung beruhen und die Projektionen bis 2030 heutige Verhältnisse bzgl. Netzausbau und Systemführung voraussetzen sind die erzielten Ergebnisse korrekt und stellen sogar den Mindestnutzen dar, der mit Elektromobilität erzielt werden kann. Diese Schlussfolgerung muss allerdings in einem weiteren Schritt unter Berücksichtigung der geographischen Verteilung von Elektrofahrzeugen und EEG-Anlagen validiert werden.

Könnten die Netzbetreiber den Netzausbaubedarf decken und kommen in Folge dessen Maßnahmen nach § 13 EnWG und § 11 EEG nicht mehr zu Anwendung, ist der Nutzen

von Elektromobilität unter Fortschreibung des aktuell gültigen Systemführungsregimes fragwürdig und muss neu evaluiert werden.

Grundsätzlich können folgende Schlussfolgerungen getroffen und Thesen formuliert werden:

- Bei Beibehaltung des aktuellen regulatorischen Rahmens und einer theoretischen Erfüllung der Netzausbaupflicht (angesichts der ausgewiesenen hohen Kosten und der enormen Umsetzungshürden in Bezug auf Finanzierung und politischer Durchsetzbarkeit als sehr fraglich einzuschätzen) wäre der Nutzen von Elektromobilität neu zu bewerten. Der volle Nutzen kann nur dann erzielt werden, wenn geographische und vertikale Verhältnisse im Netz Berücksichtigung finden.
- Aus Systemsicht sind die Beibehaltung des aktuellen regulatorischen Rahmens und die Erfüllung der Netzausbaupflicht fragwürdig. Es muss ein neuer regulatorischer Rahmen geschaffen werden, der den Einsatz von (mobilen) Speichern in allen Netzebenen einer Regelzone privilegiert. Daher kann der Nutzen von Elektromobilität im Sinne von GS 2.0 deutlich höher sein, als in diesem Projekt ausgewiesen wurde.
- Das heute aus Arbeits- und Leistungspreis bestehende Preisgefüge für elektrische Energie wird sich langfristige in Richtung Leistungs- und Verfügbarkeitspreis entwickeln. Dies wird ein weiterer Wegbereiter für diskontinuierliche Lasten mit Speicher und damit auch für Elektrofahrzeuge sein.
- Die Systemführung muss aktive Teile in allen Netzebenen aufweisen. Um den Nutzen von Elektrofahrzeugen optimal erzielen zu können, muss auf allen Netzebenen und hier vor allem auf Netzebene 6 und 7 eine Bilanzierung mit EEG-Einspeisern stattfinden.

Eine Abkehr vom HoBA (Horizontaler Bilanzausgleich) ermöglicht regionale Verbesserungen der Windenergiebilanz im Strommix von Elektrofahrzeugen. Die Systemsicherheit darf dabei nicht gefährdet werden. Die heute übliche Praxis der Vorhaltung von Reserveleistung müsste dann neu geregelt werden.

Der Nutzen, der sich damit aus dem gesteuerten Laden ergibt, lässt sich somit in der gleichzeitigen Abnahme von elektrischer Energie durch Elektro-Fahrzeuge und dem Auftreten von Starkwindeinspeisesituationen. Die Bilanz von Einspeisung aus Wind gegen die Einspeisung aus fossilen Erzeugungsanlagen wird somit zugunsten der Einspeisung

aus Wind erhöht. Da die Einspeisung aus Windkraftanlagen faktisch ohne Emissionen erfolgt, reduziert sich somit auch die Menge an CO_2-Emissionen die zu Deckung der Netzlast anfällt. Für den Nutzer von Elektro-Fahrzeugen ergibt sich somit rein rechnerisch ein überdurchschnittlicher Anteil an Windstrom für seinen individuellen Ladevorgang.

Mit W2V wird die mittlere Leistung zur Vermeidung von markt- und netzbezogenen Anpassungen (§13-1 EnWG) um 50% erhöht, die zusätzliche nutzbare EEG-Energie kann durch die Elektrofahrzeuge nur in geringen Umfang aufgenommen werden (12 kWh/a/Fahrzeug)

Die Anwendung der „Notfallregelung“ nach §13 EnWG wurde in vorliegenden Abschnitt bereits erläutert. Aufgrund der erhöhten Einspeisung aus Windkraftanlagen im Verhältnis zur vorliegenden Netzlast und der öffentlichen Verfügbarkeit des notwendigen Datenmaterials, soll die mögliche Drosselung am Beispiel der Regelzone der 50Hertz-Transmission durchgeführt werden.

Die in der 50Hertz-Transmission angefallen Maßnahmen nach §13(1) beliefen sich im Jahr 2010 auf eine Energie von ca. 1,8TWh bei einer Maximalleistung von ca. 4,6GW. Die Häufigkeit belief sich auf 5256 Anwendungen für jeweils eine Viertelstunde.

Die in der 50Hertz-Transmission angefallen Maßnahmen nach §13(2) beliefen sich im Jahr 2010 auf eine Energie von ca. 16GWh bei einer Maximalleistung von ca. 150 MW. Die Häufigkeit belief sich auf 175 Anwendungen für jeweils eine Viertelstunde.

Allerdings ist anzumerken, dass die Maßnahmen nach §13 nicht zwangsläufig windinduziert sein müssen und das gesteuerte Laden nach dem Verhältnis aus Wind zur Gesamteinspeisung erfolgte und damit nicht den direkten Zweck hatte, die §13 Maßnahmen zu vermeiden. Vielmehr ist dies als Mitnahmeeffekt zu begreifen. So ergibt sich eine Korrelation des W2V-Signals mit den Maßnahmen nach §13(1) zu 66% und nach §13(2) zu 28%. Weiterhin beträgt der mittlere Anteil Wind an der Gesamterzeugung während des Auftretens von §13(1)-Maßnahmen 16,5% und bei §13(2)-Maßnahmen 32%. Maximal möglich wären 45%. Dies legt nahe, dass ein hohe Windeinspeisung und geringe Netzlast nicht alleine für die Anwendung von §13 verantwortlich ist.

Merkmal	§13(1)	§13(2)
Maximum(MW)	4.651	150
Summe(MWh)	1.781.183	16.020
Anzahl 1/4h/Jahr absolut	5256	175
Korrelation zu W2V-Signal	66%	28%
mittlerer Anteil Wind während §13 Maßnahmen	16,5%	32%

Tabelle 12: §13(1) & §13(2) Anpassungen in der Regelzone 50Hertz Transmission 2010

Unter Verwendung real gemessener Ladevorgänge aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0 konnte die Gleichzeitigkeit von Ladevorgängen (Plug-In-Zeit, Dauer, Energiebedarf) und dem Auftreten der Maßnahmen durch den Netzbetreiber untersucht werden. Zur Potentialabschätzung ergibt sich somit eine Aussage über die mögliche Vermeidung der Maßnahmen nach §13 EnWG durch die gesteuerte Ladung von Elektro-Fahrzeugen. Bei der Untersuchung wurde eine Ladeleistung von 10,8 kW angenommen. Weiterhin wurde der Vergleich zu synthetischen Ladeprofilen angestrebt, welche ein Regelmäßiges Nutzerverhalten unterstellen und als Vergleich dienen. Der Energiebedarf der Flotte wurde dabei in allen Vergleichsprofilen als konstant zu den gemessenen Profilen angenommen. Nutzerprofile:

ungesteuert,W2V* – gemessene Ladevorgänge aus MINI E Berlin 1.0

W2V** - synthetische Ladevorgänge, Ladevorgänge im Rhythmus von 24 Stunden jeweils ab 18:00 Uhr mit einer Dauer von 12 Stunden

W2Vmax- synthetische Ladevorgänge mit theoretischem Maximum, Fahrzeug ist permanent an Ladeinfrastruktur angeschlossen

Merkmal	§13(1)				§13(2)			
Potential durch Elektrofahrzeuge in Regelzone	**Ungesteuert**	**W2V***	**W2V****	**$W2V_{ma}$**	**Ungesteuert**	**W2V***	**W2V****	**W2V**
Aufgenommen Energie während §13 Maßnahme (kWh/Fahrzeug)	215,9	248,67	255	354	11	12	11	14,7
Aufgenommen Energie bezogen auf Jahresbedarf des Fahrzeuges (1)	15,1%	17,4%	17,8%	24,8%	0,8%	0,8%	0,8%	1,0%
Verfügbare mittlere Leistung (MW) zur Vermeidung von §13 im Szenario 2020 in der Regelzone	74	110	268	340	96	126	282	360
Verfügbare Leistung (MW) bei Auftreten des Maximum von §13 im Szenario 2020 in der Regelzone	100	140	0	0	40	232	144	144

Tabelle 13: Wirksamkeit von windorientiertem Laden zur Vermeidung von Maßnahmen nach §13 EnWG

Für die Anwendungen nach §13(1) ergibt sich Potential von 216 kWh bis 354 kWh je Fahrzeug zur Aufnahme der anfallenden Energiemenge und 11 kWh bis 14,7 kWh je

Fahrzeug zur Aufnahme der bei §13(2) Anwendung anfallenden Energiemenge. Gemessen am Energiebedarf der Fahrzeuge lässt sich damit 15% bis 25% des Jahresbedarfs bei §13(1) und 0,8% bis 1% des Jahresbedarfs bei §13(2) decken. Skaliert man die Fahrzeugflotte auf die für das Jahr 2020 angenommen Größe in der Regelzone, so ergibt sich theoretisch eine aggregierte Leistung von 74 MW bis 340 MW, was gemessen am Leistungsbedarf für 2010 von ca. 4600 MW vernachlässigbar klein ist. Lediglich zur Vermeidung von §13(2)-Maßnahmen besteht ein relevantes Verhältnis von 96 MW bis 360 MW zu einem Bedarf von 150 MW im Jahr 2010.

Weiterhin ist noch die mögliche Leistung zum Zeitpunkt des Auftretens des Maximalbedarfs von Bedeutung, insbesondere im Hinblick auf Netzausbauverpflichtungen durch den ÜNB. Dabei ergibt sich ein Potential von 0 MW bis 140 MW für §13(1)-Maßnahmen und 40 MW bis 232 MW bei §13(2)-Maßnahmen. Interessanterweise ergibt sich das größte Potential für das Nutzerprofil MINI E Berlin 1.0.

Zum besseren Verständnis ist in **Abbildung 29** die Häufigkeit des Auftretens von §13-Maßnahmen und der mittleren Verfügbarkeit der Fahrzeuge an der Ladeinfrastruktur dargestellt. Das Auftreten der §13- Maßnahmen lässt sich als gleichverteilt beschreiben, woraus sich keine präferierte Tageszeit ableiten lässt. Dem kommt entgegen, dass die Verfügbarkeit der Fahrzeuge an der Ladeinfrastruktur für das gemessene Nutzerprofil zu keiner Zeit auf null absinkt. Im Hinblick auf das Potential zur Vermeidung von §13(2)-Maßnahmen erweist sich somit ein solches Profil als wertvoller gegenüber dem synthetischen Profil. Offen bleibt jedoch die Frage, in wie weit die Vernachlässigung des Netzes das Potential reduziert.

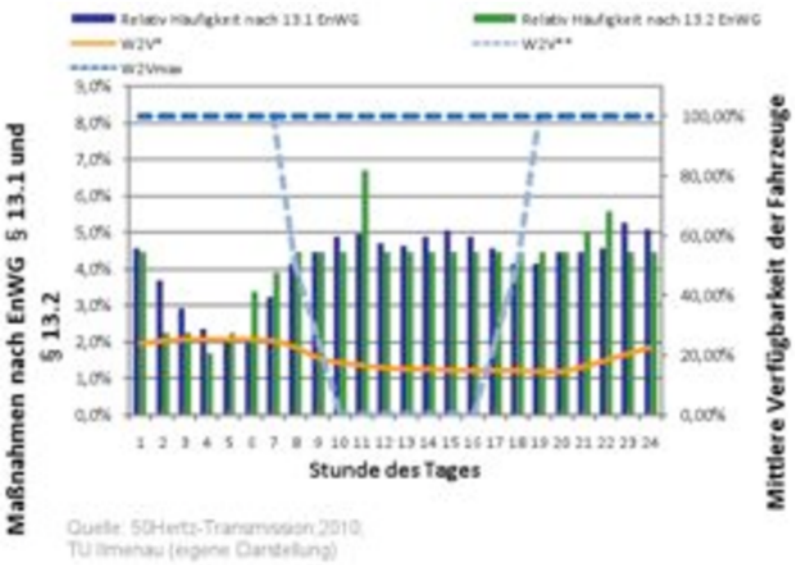


Abbildung 29: Häufigkeit Auftreten §13 Maßnahmen je Stunde eines Tages und Verfügbarkeit der Elektrofahrzeuge

In einem Erzeugerpark ohne überschüssigen Windstrom kann windoptimiertes Gesteuertes Laden die vorzuhaltende fossile Leistung nicht reduzieren

Auch im Szenario 2030 übersteigt die Einspeisung aus EEG-Anlagen zu keinem Zeitpunkt die Netzlast. Somit ergeben sich im Erzeugerpark auch keine Überlastsituationen. Daraus abgeleitet ergibt sich die Frage, ob Gesteuertes Laden zu Zeiten geringer Last die vorzuhaltende Kraftwerksleistung reduzieren kann. Da die Last der Fahrzeuge jedoch bei ausreichender Größe nicht mehr vernachlässigbar ist, führt die gesteuerte Ladung gleichzeitig zu einer erhöhten Nachfrage, was jedoch keine gesteigerte Einspeisung aus EEG impliziert. Weiterhin kann das gesteuerte Laden auch zu Zeiten erfolgen, in denen das Niveau der Windeinspeisung allgemein sehr gering ausgeprägt ist. Die zusätzliche Last der Fahrzeuge muss demnach vollständig durch fossile Erzeugerleistung gedeckt werden.

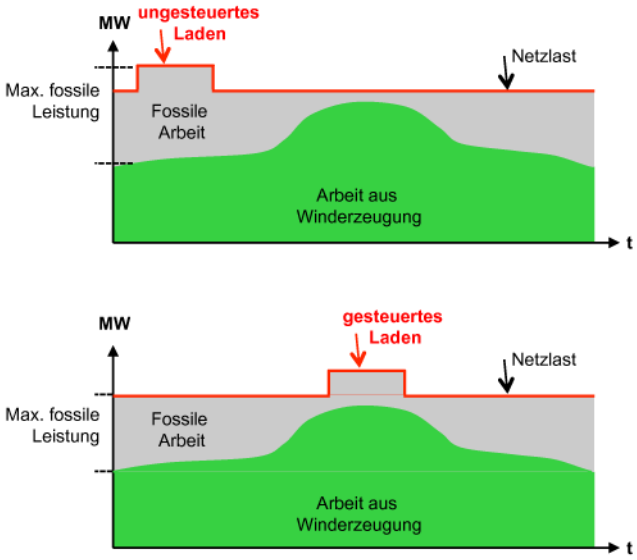


Abbildung 30: Wirkungsweise zur Reduzierung der vorzuhaltenden fossilen Kraftwerksleistung durch Gesteuertes Laden in einem Erzeugerpark ohne überschüssigen Windstrom

Mit einem auf den Erzeugungspreis optimierten gesteuertem Laden ändert sich die benötigte Spitzenleistung geringfügig

Ändert man das Steuerparadigma von reinem windorientierten Laden zu einem erzeugeroptimierten Laden könnte die Kraftwerksspitzenleistung gesenkt werden. Dies wäre der Fall, wenn im ungesteuerten Fall die Ladung so erfolgt, dass sich die Gesamtlast zu einigen Stunden im Jahr insgesamt erhöht und die gesteuerte Ladung diese zusätzliche Laststeigerung verhindert. Der sich damit ergebende Effekt würde bei gleicher Menge an erzeugter Energie mit einer geringeren Erzeugungskapazität auskommen und die bestehenden Anlagen mit höheren Nutzungsstundendauern begünstigen. Gleichzeitig reduziert sich die Nutzungsstundendauer für Spitzenlastkraftwerke mit hohen variablen Kosten. Folglich würden sich die Systemkosten reduzieren. Voraussetzung ist ein lastsensitives Gesteuertes Laden.

Da de facto keine Echtzeitlastdaten für eine solche Steuerung zur Verfügung stehen, wird auf die indirekte Preissteuerung zurückgegriffen. Es wird angenommen, dass sich eine geringe Last gleichzeitig in einem geringen Preis niederschlägt. Die gesteuerte Ladung wurde mit dem Stromhandelsmodell (Market Clearing Price, MCP) durchgeführt.

Für die Modellierung der Fahrzeugladevorgänge fanden die Profile aus MINI E Berlin 1.0 Anwendung. In Abbildung 31 ist das Ergebnis der Simulation in Form der geordneten Erzeugerkurve fossiler Kraftwerksanlagen dargestellt.

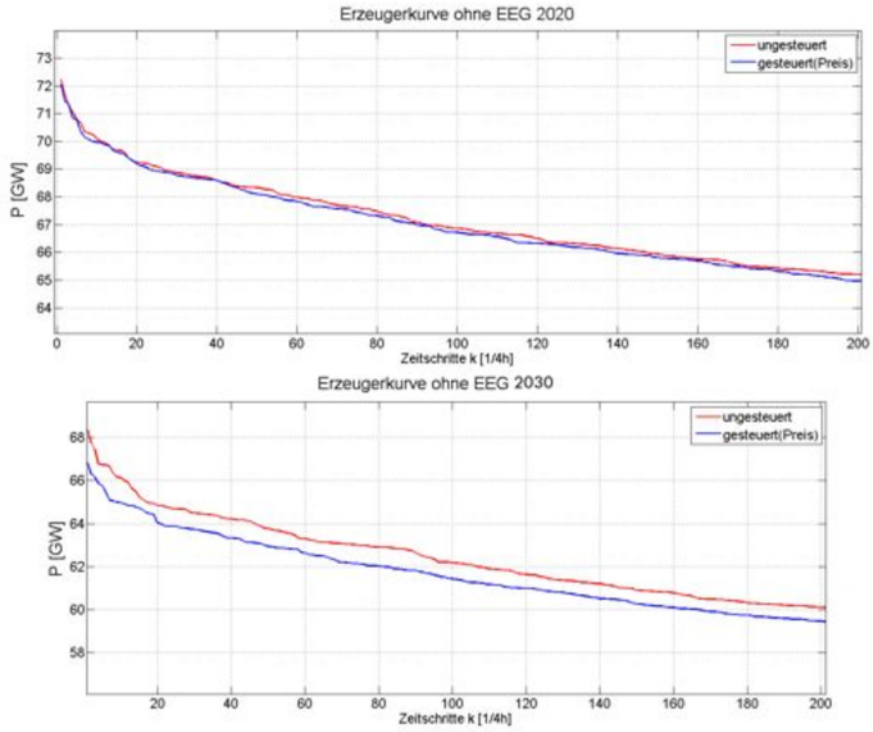


Abbildung 31: Geordnete Erzeugerkurve gesteuert und ungesteuert für die Szenarien 2020 und 2030

Es ist ersichtlich, dass die Spitzenlast durch das Gesteuerte Laden im Szenario 2020 um 180MW reduzierte werden könnte. Im Szenario 2030 kann die Spitzenlast um 1500MW reduziert werden. Der Steigerung erklärt sich hauptsächlich aus der zugrunde gelegten Steigerung der Gesamtanzahl an Elektrofahrzeugen und der damit verbundenen Systemrückwirkung. Trotz der Steigerung ist die Systemwirkung als gering einzuschätzen. Dies begründet sich in dem Allgemeinen geringem Systemgewicht der Elektrofahrzeuge im elektrischen Energiesystem.

Mit W2V können mit 1 Million gesteuert ladender EVs 40.000 t CO_2/Jahr gegenüber ungesteuert ladenden Fahrzeugen vermieden werden

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass mit Gesteuertem Laden im Szenario 2020 jährlich 40.000 t CO_2 pro Jahr gegenüber ungesteuerten Laden eingespart werden können. Für das Szenario 2030 erhöht sich die Ersparnis auf 240.000 t pro Jahr. Gemessen an den simulierten Gesamtemissionen von 306 Mio. t erscheint die Gesamtersparnis gering. Die Ergebnisse für das synthetische Profil liegen hinter den Ergebnissen des Realprofils zurück und steigern den CO_2-mindernden des windorientierten Ladens nicht.

Ausgehend von einem Vergleich von gesteuerter und ungesteuerter Ladung von Elektro-Fahrzeugen kann eine Aussage über die vermiedenen CO_2-Emissionen durch gesteuertes Laden abgeleitet werden. Da die CO_2-Emissionen vom zeitlich variablen Kraftwerkseinsatz bestimmt werden, kann durch eine Verlagerung der Ladezeitpunkte auch eine Reduktion gegenüber einer ungesteuerten und damit nicht verlagerten Ladung erreicht werden. Die Steuerung der Ladung erfolgt dabei nach dem W2V-Prinzip, welche Zeitpunkte mit hoher Windeinspeisung und geringer Netzlast priorisiert.

Zur Ermittlung wurden die Realladevorgänge des MINI-E Berlin 1.0 Versuches als Grundlagedaten genutzt und synthetische Profile als Vergleichswert herangezogen. Für beide Annahmen gilt rechnerisch ein täglicher Energiebedarf je Fahrzeug von 3,92kWh (1). Tatsächlich erfolgt im Feldversuch jedoch keine tägliche Ladung der individuellen Fahrzeuge. Sondern es ergaben sich vielmehr 5209 gemessene Ladevorgänge bei denen insgesamt 69MWh elektrischer Energie bezogen wurden. Rückschlüsse auf die Fahrleistung können daraus nicht valide abgeleitet werden.

Nutzerprofile:

- Ungesteuert, W2V – reale Ladevorgänge aus MINI-E Berlin 1.0(1)
- W2V** - synthetische Ladevorgänge, Ladevorgänge im Rhythmus von 24 Stunden jeweils ab 18:00 Uhr mit einer Dauer von 12 Stunden

Die Nutzerprofile wurden entsprechend der nach der erwartenden Marktdurchdringung[14] für 2020 auf eine Million und 2030 auf 5 Millionen Elektrofahrzeuge hochskaliert. Die CO2-Emissionsfaktoren basieren auf den für die Jahresszenarien angenommen Aus-

14 Vgl. Bundesregierung (2008)

baustufen für alle erneuerbaren Energien und dem voraussichtlichen verfügbaren Kraftwerkspark (ÜNB Studie, KKW ausstieg berücksichtigt, für 2030 wurde gleiches Verhalten wie für 2020 angenommen).

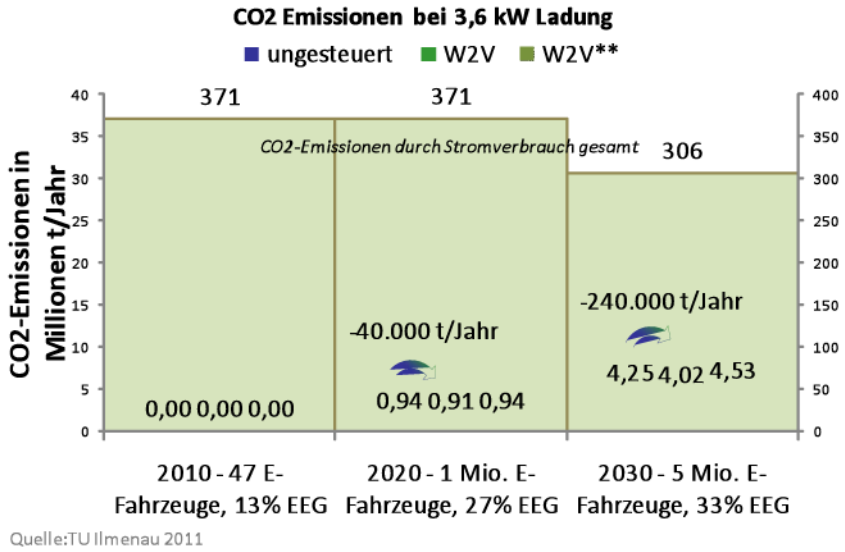


Abbildung 32: CO2-Emissionen durch gesteuertes und ungesteuertes Laden

Betrachtet man die spezifischen CO_2-Emissionen des Ladestroms für Elektro-Fahrzeuge in **Abbildung 34** für den gesteuerten und ungesteuerten Fall, so ergibt sich eine Reduktion um 18 g/kWh bis 33g/kWh. Durch eine Zunahme des EEG-Anteils steigt damit auch der Effekt durch Gesteuertes Laden. Durch den KKW-Ausstieg bis zum Jahr 2020 ist zunächst mit einem Anstieg der spezifischen CO_2-Emissionen zu rechnen, bevor dies durch den EEG-Ausbau im Jahre 2030 wieder kompensiert wird. In **Abbildung 34** ist dieser Umstand durch die Kennzeichnung des KKW-Offsets mit berücksichtig.

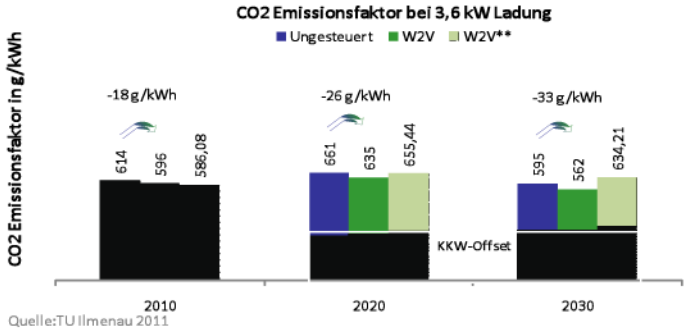


Abbildung 33: Spezifische CO_2-Emissionen gesteuert und ungesteuert

CO_2Dabei muss ebenfalls der spezifische Energieverbrauch der Fahrzeuge berücksichtigt werden. Angelehnt wurde die Auswahl an die Szenarien des 2. NPE Berichts vom Mai 2011[15]. Demnach lassen sich drei Segmente von Elektro-Fahrzeugen ausmachen, welche einen Energieverbrauch von 0,12kWh/km, 0,15kWh/km und 0,2kWh/km aufweisen. Es ist deutlich ersichtlich, dass das Gesteuerte Laden zwar die spez. CO_2-Emissionen senken kann, Maßnahmen am Fahrzeug zur Reduktion des Energiebedarfs jedoch den größeren CO_2-Vermeidungseffekt aufweisen.

Eine Vergleichbarkeit von Maßnahmen im Bereich der energetischen Vorkette durch Beeinflussung des Strommix mit fahrzeugseitigen Maßnahmen zur Energieverbrauchsreduzierung ist durch die Einstufung von Elektro-Fahrzeugen als „Null-Emissions-Fahrzeuge“ jedoch nicht direkt gegeben.

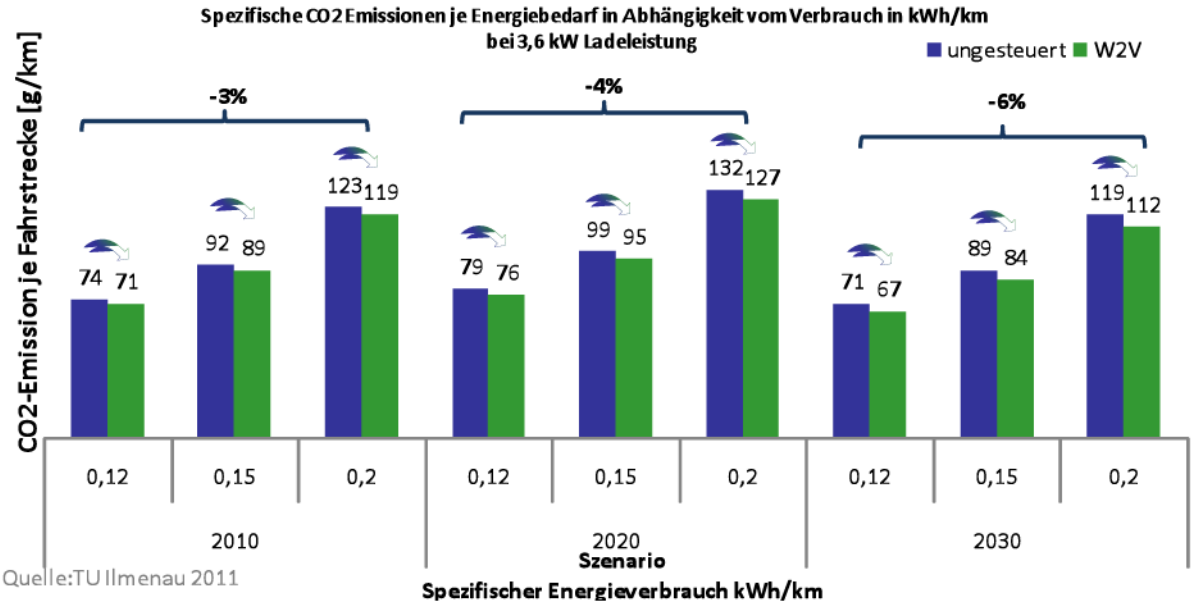


Abbildung 34: Spezifische CO_2-Emissionen der Fahrzeuge nach verschiedenen spezifischen Energieverbräuchen

Mit W2V wird gegenüber dem ungesteuerten Laden eine Reduktion der CO2-Emissionen je Kilometer um 3 bis 6% erreicht

Der im Verhältnis zum Gesamtsystem gering ermittelte CO_2-Vermeidungseffekt durch gesteuertes Laden lässt sich im Wesentlichen auf zwei Fakten zurückführen. Zunächst

15 Vgl. Nationale Platform Elektromobilität (2011)

einmal berücksichtigen das Szenario 2020 einen enormen Anstieg an zusätzlichen EEG-Anlagen gegenüber 2010 jedoch ist ebenfalls der Wegfall der KKW-Anlagen und Zubau von Kohlekraftwerken berücksichtigt, womit die CO_2-Bilanz insgesamt belastet werden dürfte. Des Weiteren basiert die Zielfunktion des gesteuerten Ladens nicht auf einer CO_2-Minimalität, sondern optimierte die Ladevorgänge hinsichtlich der Windeinspeisung. Weitere CO_2neutrale EEG Anlagen bleiben bei der Optimierung daher unberücksichtigt.

Mit zunehmendem Ausbau der Windenergie nimmt der Anteil der Windenergie an der Ladeenergie zu. Durch W2V kann bis zu 1/3 mehr Windenergie durch EV aufgenommen werden als bei ungesteuertem Laden

Ausgehend von den realen Ladevorgängen aus dem MINI-E Berlin 1.0 Versuch und synthetischen Profilen als Vergleichswert, wurde der windintegrierende Effekt des Gesteuertes Ladens untersucht. Die Ladung der Fahrzeuge wurde dabei auf den energetischen Anteil der Windeinspeisung an der aufgenommen Energie optimiert. D.h. in der Simulation wurde priorisiert zu Zeitpunkten (1/4h basiert) geladen, an denen das Verhältnis aus Windeinspeisung und Netzlast hoch war. Die Anzahl der Elektro-Fahrzeuge im Szenario 2010 ergab sich aus den ermittelten Ladevorgängen im Projekt MINI-E Berlin 1.0 und wurde entsprechend der Szenarien 2020 und 2030 hochskaliert. Die Szenarienparameter zum angenommen Energieverbrauch und der installierten Leistung aus Windkraftanlagen ist der nachfolgende Tabelle zu entnehmen:

Merkmal	2010	2020	2030
Nettoenergieverbrauch (TWh)	603	562,65	520,3
installierte Leistung Wind onshore (GW)	24	33	33
installierte Leistung Wind offshore (GW)	0,08	10,6	17,6
Anzahl EV's	47	1.000.000	5.000.000

Tabelle 14: Szenariendaten Windausbau

In der Simulation wurden weiterhin unterschiedliche Ladeleistungen angenommen (3,6kW und 10,8kW). Im Ergebnis ist festzuhalten, dass der mittlere Anteil an Windeinspeisung bei den Ladevorgängen durch gesteuertes Laden gesteigert werden kann. Im Szenario 2030 kann bei einer Leistung von 10,8kW der Anteil von ungesteuert 24% auf gesteuert 35%) gesteigert werden. Zum einen erhöhen höhere Ladeleistungen den Effekt, zum anderen begünstigt ein fortschreitender Ausbau an Windkraftanlagen den Anteil an Wind am Ladevorgang. Ein Vergleich zum synthetischen Profil, welches eine regelmäßige Ladung alle 24 Stunden und gleichen Energiebedarf zugrunde legt, ergibt eine weitere Steigerung des mittleren Windanteils um max. 3% im Szenario 2030.

Betrachtet man die rechnerische Gesamtmenge an Windstrom, welcher durch die Ladung von Elektrofahrzeugen aufgenommen wurde, so ist festzustellen, dass durch gesteuertes Laden bis zu 1/3 mehr Windenergie im Szenario 2030 aufgenommen werden kann und eine höhere Leistung die aufgenommene Menge Windstrom um weitere 13% erhöht. In Abbildung 35 ist die Windstrommenge für die Szenarien 2010, 2020 und 2030 dargestellt. Weiterhin der Gesamtbedarf der angenommen Elektromobilflotte (1). Die Menge an aufgenommen Windstrom kann dabei um ca. 23% gesteigert werden bezogen auf den ungesteuerten Fall, wenn die Ladung mit 3,6kW erfolgt. Erfolgt die Ladung mit dreifacher Leistung erhöht sich die mehr aufgenommen Windstrom um 43% von ungesteuert zu gesteuert.

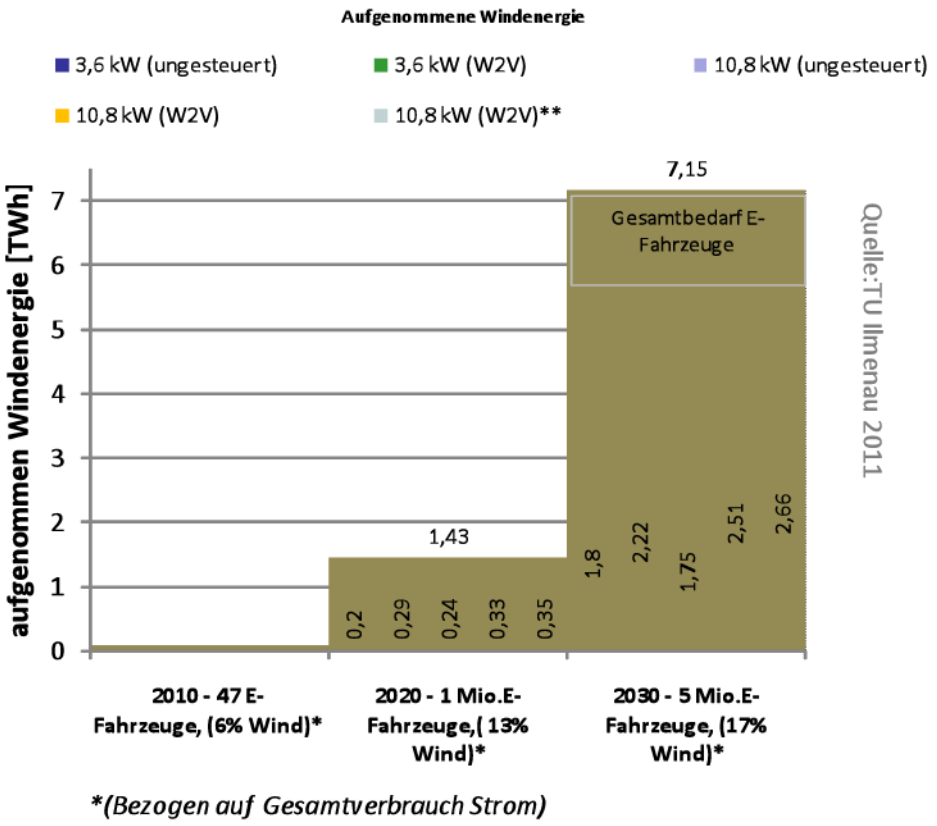


Abbildung 35: Aufgenommene Menge Windenergie

Eine höhere Verfügbarkeit der Fahrzeuge erhöht den Anteil Wind am Ladevorgang bzw. reduziert die CO2-Emissionen bei Anwendung von W2V

Aufgrund der Verwendung der Real-Ladevorgänge aus MINI-E Berlin 1.0 wurden keine synthetischen Nutzerprofile für die Simulationen verwendet, welche es erlaubten, verschiedene Nutzergruppen abzubilden. Da dem Nutzer jedoch für die Wirksamkeit des gesteuerten Laden eine wesentliche Rolle zukommt, wurden die Simulationen zum Anteil Wind und der vermiedenen CO_2-Emissionen mit synthetisch verlängerten Ladevorgängen simuliert. Dabei wurde der Zeitpunkt des Ansteckens an die Ladeinfrastruktur um zwei Stunden vorverlegt und der Zeitpunkt des Absteckens von der Ladeinfrastruktur um zwei Stunden in die Zukunft verschoben. Somit wurde die Dauer aller Ladevorgänge (Ansteck -bis Absteckzeitpunkt) von durchschnittlich 10,8 Stunden auf 14,8 Stunden erhöht. Im Ergebnis lässt sich feststellen, dass durch die längere Verweildauer an der La-

deinfrastruktur eine Steigerung der aufgenommen Menge Windenergie um 10 bis 40GWh pro Jahr erreicht werden kann. Für die CO_2-Emissionen ist eine Verringerung um 260 bis 6000 t pro Jahr möglich.

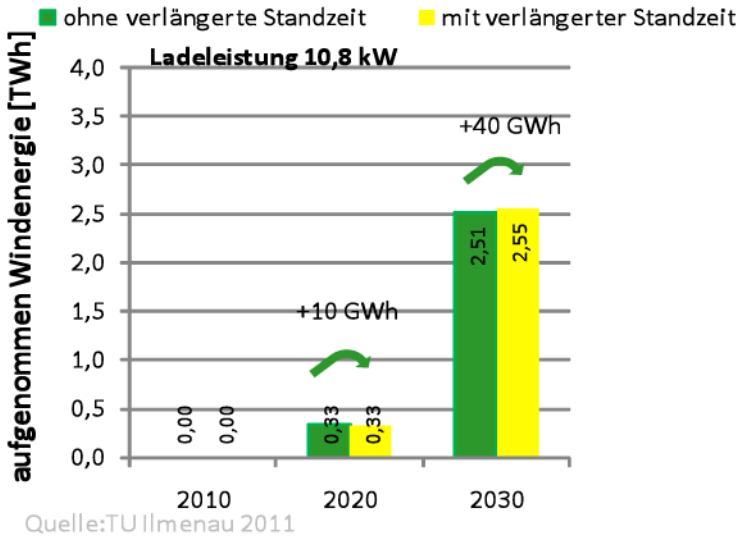


Abbildung 36: Vergleich erhöhte Verfügbarkeit Fahrzeuge für W2V-Performance

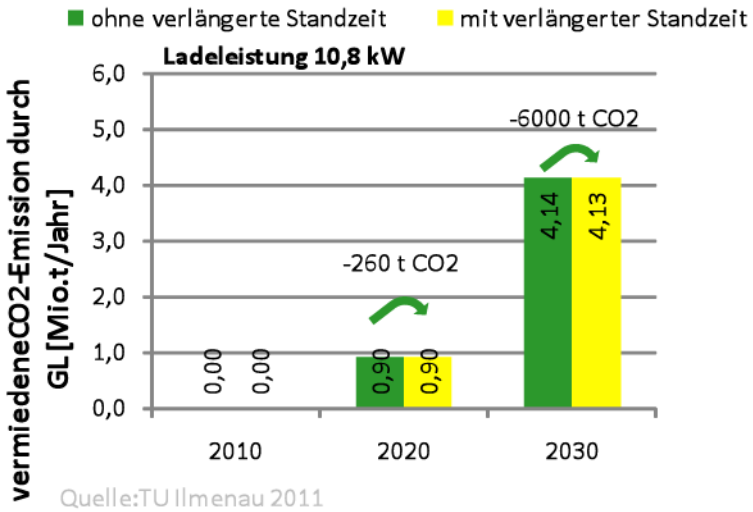


Abbildung 37: Vergleich erhöhte Verfügbarkeit Fahrzeuge für CO_2-Emissionen

Der Anteil Windenergie an der Gesamtladeenergie stellt im Gegensatz zum Korrelationskoeffizienten ein geeignetes Maß zur Bewertung des W2V-Erfolges dar.

Aus MINI E Berlin 1.0 ist bekannt, dass der Idealfall von maximaler Korrelation zwischen Einspeisung Windenergie und Summenladekurve der EV Flotte auf ein energieskaliertes Signal aufsetzt. D.h. wenn sich die EV Flottenlast exakt gleich zur Windeinspeisung verhält, ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 1,0. Um jedoch den ökologischen Nutzen zu maximieren, ist ein Steuerungsparadigma notwendig, welches auf den maximalen Anteil an Windenergie an der Ladung abzielt. Ausgehend von einer geringen Rückwirkung der Elektro-Fahrzeuge auf die Gesamtlast minimieren sich durch das gewählte Steuerungsparadigma die CO_2-Emissionen, da Zeitpunkte mit hohem Anteil regenerativer Einspeisung, im speziellen hier Wind, für die Ladevorgänge priorisiert werden. In der nachfolgenden Abbildung sei dies anhand eines Beispiels verdeutlicht. Der Einspeise-Mix im betrachteten Intervall hat einen mittleren Anteil der Windeinspeisung (blaue Kurve) von 20%. Elektrofahrzeuge verändern die Netzlast nur geringfügig (da klein gegenüber der restlichen Last).Nach dem Prinzip der korrelationsorientierten Ladung ergibt sich ein durchschnittlicher Windanteil von ca. 25% (grüne Fläche). Nach dem Prinzip der windorientierten Ladung (Gesteuertes Laden V2.0) ergibt sich ein durchschnittlicher Anteil Wind von ca. 38% (rote Fläche). Die Bilanz der Ladevorgänge weist mit der windorientierten Beladung einen höheren Windstromanteil auf und generiert somit eine geringe CO_2-Emission der Flotte an Elektro-Fahrzeugen.

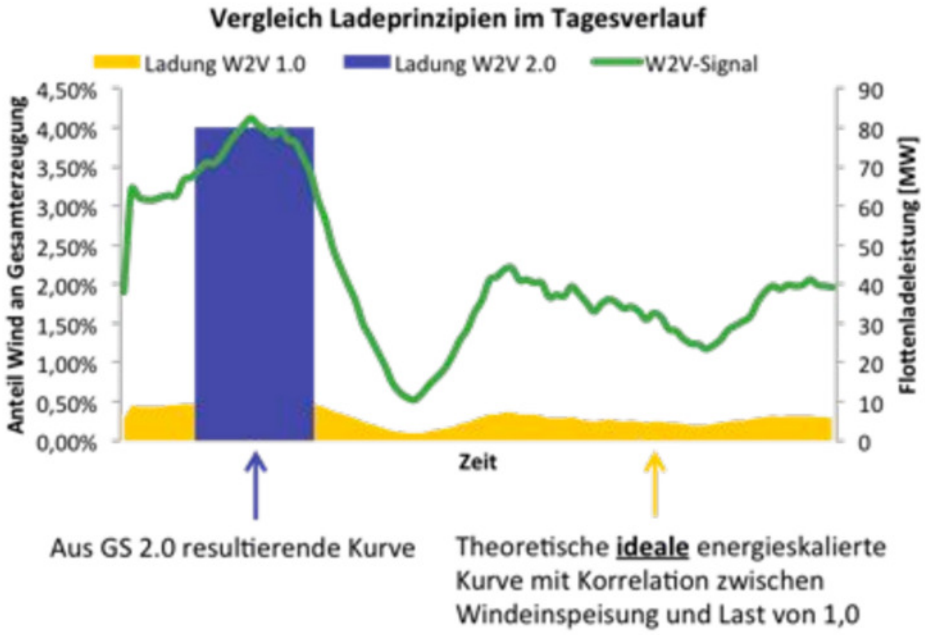


Abbildung 8: Vergleich Ladeprinzipien

Mit W2V2G enthalten die netzbezogenen Gesamtladungen rechnerisch gegenüber dem ungesteuerten Fall einen höheren Windenergieanteil.

Um den Windenergieanteil der netzbezogenen Gesamtladungen zu bestimmen, wurden zunächst nur die Haushalte untersucht, welche sich entweder innerhalb des Alten Netzwerkes oder innerhalb des Erneuerten Netzwerks befanden. Die drei Parkhäuser des Neuen Netzwerkes konnten für diese Ergebnisbewertung nicht herangezogen werden, da in diesen während des Simulationsdurchlaufs auch Fahrzeuge einen Ladeprozess durchliefen, deren Heimatadresse keinem der fokussierten Lupennetze zuzuordnen war. Zwar wurde für diese Fahrzeuge eine Ladeplanung vorgenommen, doch aufgrund der fehlenden Anbindung derer Haushalte an die Energienetzsimulation hätte eine Betrachtung dieser Fahrzeuge das Ergebnis verfälscht. Fahrzeuge, deren Haushalt also in keinem der betrachteten Lupennetze angesiedelt war, dienten also in erster Linie dem Generieren einer realistischen Auslastung der innerstädtischen Ladeinfrastruktur. Für die netzbezogenen Gesamtladungen wurden dann nur die Netze „Alt“ und „Erneuert“ herangezogen. Für die genaue Ermittlung des Wertes wurde zunächst jeder Ladevorgang für ein aus den beiden betrachteten Netzen stammendes Fahrzeug aufgezeichnet. Neben dem bloßen Festhalten der Ladezeiten wurde zudem das zu dem Zeitpunkt geltende Prioritätensignal von der Energienetz-Simulation der TU Ilmenau abgegriffen. Dem Prioritätensignal obliegt ein Wertebereich zwischen null und eins. Dieser spiegelt zu jedem Zeitpunkt den Anteil der im Energiemix enthaltenen Windenergie wieder. So würde z.B. ein Prioritätensignal von 1 für den aktuellen Zeitpunkt bedeuten, dass der gegenwärtige Energiemix zu 100 Prozent aus Windenergie gedeckt ist, wohingegen ein Prioritätensignal von 0 implizieren würde, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Windenergie in das Energienetz eingespeist wird. Das zur Verfügung gestellte Prioritätensignal unterlag dabei hinsichtlich des gewählten Ausschnitts keinen dynamischen Schwankungen und ist als konstante Kurve anzusehen. Auch jahreszahlübergreifend wurde auf Dynamik verzichtet, womit jedem Simulationsszenario hinsichtlich des Windenergieanteils am Anteil der Gesamteinspeisung dieselbe Voraussetzung zugrunde lag.

Um nun einen konkreten Wert für den Windenergieanteil zu erhalten wurde zu jeder erfolgten Lademinute zunächst das dafür geltende Prioritätensignal ermittelt und festgehal-

ten. Normiert über die geladenen Minuten ergab sich hier bereits der Gleichzeitigkeitsfaktor für die simulierten Szenarien. Allein am Gleichzeitigkeitsfaktor ist noch kein deutlicher Unterschied zwischen W2V2G-Fahrzeugen und solchen ohne Ladeassistenz abzulesen. Der Grund hierfür ist die fehlende zweite Dimension der potentiellen Steuerung des Ladestroms. Aus diesem Grund wurde in zweiter Instanz das Produkt aus angelegter Stromstärke und dazugehörigem Prioritätensignal gebildet und das Ergebnis zu den bislang erfolgten Produkten aus Prioritätensignal und Stromstärke addiert. Um nun einen durchschnittlichen Wert zu erhalten, wurde das Endergebnis über die Gesamtanzahl der erfolgten Lademinuten normiert, woraus sich der durchschnittliche Windenergieanteil an den erfolgten Gesamtladungen ergab. Das Ergebnis ist folgend dargestellt.

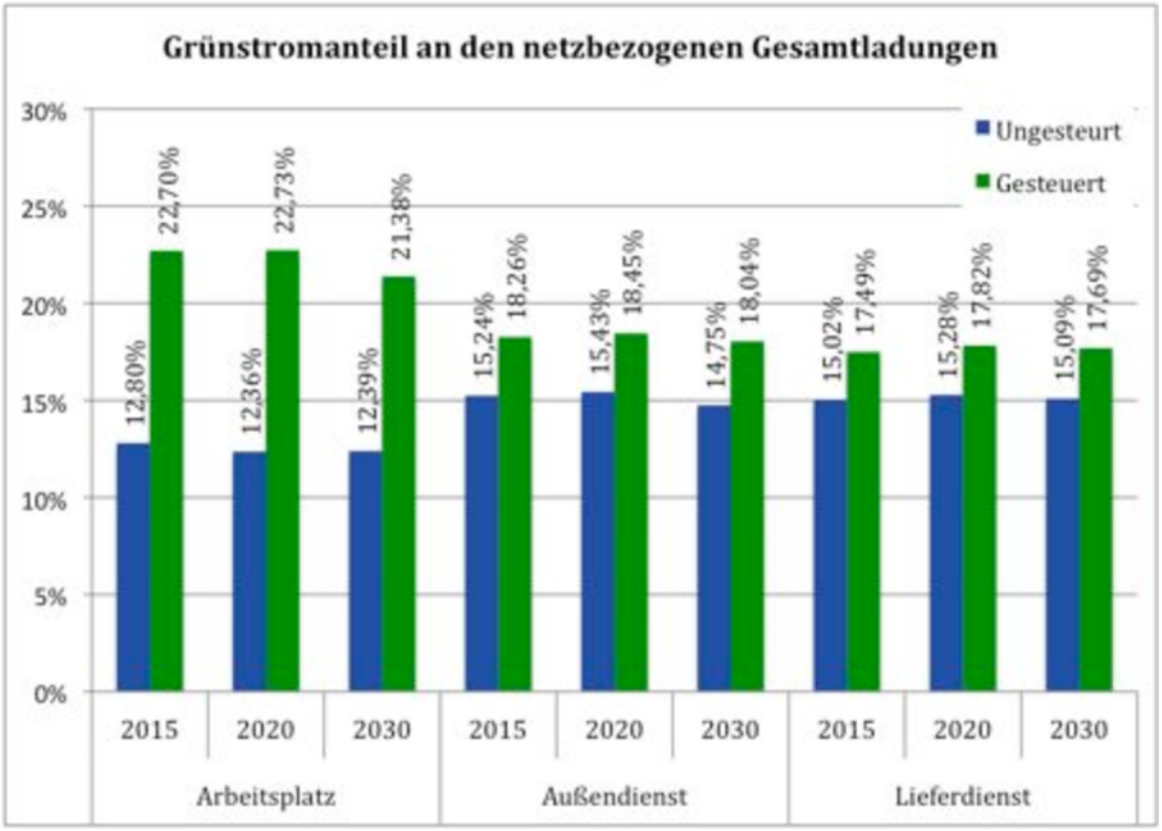


Abbildung 38: Grünstromanteil an den netzbezogenen Gesamtladungen

Es lässt sich zunächst deutlich erkennen, dass ein gravierender Unterschied zwischen den W2V2G-Fahrzeugen und jenen Fahrzeugen ohne Ladeassistenz besteht. Am gravierendsten ist dieser Unterschied im Arbeitsplatzszenario ausgeprägt, da hier das Elektrische Fahrzeug nicht an seine Reichweitengrenzen stößt und ein entsprechend großer

Spielraum für das Einplanen der Ladevorgänge gelassen wird. Mit zunehmender Nutzung der Fahrzeuge reduziert sich auch dieser Planungsspielraum, womit sich auch der Vorteil des Ladeassistenzsystems reduziert. Dies ist deutlich am Szenario „Lieferdienst“ zu erkennen, in welchem die Fahrzeuge Tagesfahrleistungen von rund 400 km zu absolvieren hatten. Der Windenergieanteil der erfolgten Ladevorgänge konnte hier im W2V2G-Fall gegenüber ungesteuert ladenden Fahrzeugen nur noch um rund 2 Prozentpunkte gesteigert werden.

Es lässt sich zudem festhalten, dass die Nutzungsprofile (hinsichtlich des Windenergieanteils) eine Unabhängigkeit von der Jahreszahl aufweisen. Als Erklärung dieses Sachverhalts kann hier genannt werden, dass für alle Jahreszahlen dieselbe Prioritätenfunktion herangezogen wurde. Dennoch lässt sich daraus auch ableiten, dass die Ladeassistenz unabhängig von der Fahrzeugmenge (zumindest für die untersuchten Zahlen) in der Lage ist, konstant den optimalen Windenergieanteil für die Ladevorgänge zu realisieren. Da die Einplanung der Ladevorgänge unter Berücksichtigung des ÖLM-Signals erfolgte ist zudem die Netzstabilität sichergestellt.

Es ist zudem zu erwähnen, dass die in der Simulation gewonnenen Werte stark durch den für die gewählten Simulationszeitraum und die damit verbundene Prioritätenfunktion vorgegeben sind. Die Werte für die Prioritätenfunktion befinden sich für den gewählten Zeitraum stets und zumeist deutlich unter der 45 Prozent Marke. Es kann daher nicht generell geschlossen werden, dass eine Verbesserung des Windenergieanteils in Ladevorgängen bei bestenfalls 10% liegt. Diese Verbesserung ist ausschließlich auf die verwendete Prioritätenfunktion bezogen. Dass es sich jedoch bei der verwendeten Kurve um ein eher ungünstiges Szenario für das Ladeassistenzsystem handelte, ist die errechnete prozentuale Steigerung auch eher als minimal zu erwartende Verbesserung zu betrachten.

Um zu belegen, dass das implementierte Ladeassistenzsystem zu einer verstärkten Nutzung von Ladezeiträumen mit hohem Windenergieanteil beiträgt, bedurfte es wie beim vorherigen Ergebnis auch dem Aufzeichnen der Ladevorgänge inklusive der zu jeweils angelegten Stromstärken. Wie bereits weiter oben geschildert, wurde der Fokus der Betrachtung auch bei dieser Analyse ausschließlich auf das Alte Netzwerk und das Erneuerte Netzwerk gelegt. Im Gegensatz zum vorherigen Ergebnis wurde jedoch die bezogene Energie nicht akkumuliert, sondern dem jeweiligen Ladezeitpunkt zugeordnet,

was in der Konsequenz zu einer Energiebezugskurve über die gesamte Simulationszeit führte. Insgesamt wurde für jedes simulierte Szenario ein Vergleich zwischen Fahrzeugen mit Ladeassistenz und jenen ohne Ladeassistenz vorgenommen. Ein solcher Vergleich ist für das Szenario Arbeitsplatz 2020 im folgenden Diagramm (Abbildung 36) dargestellt.

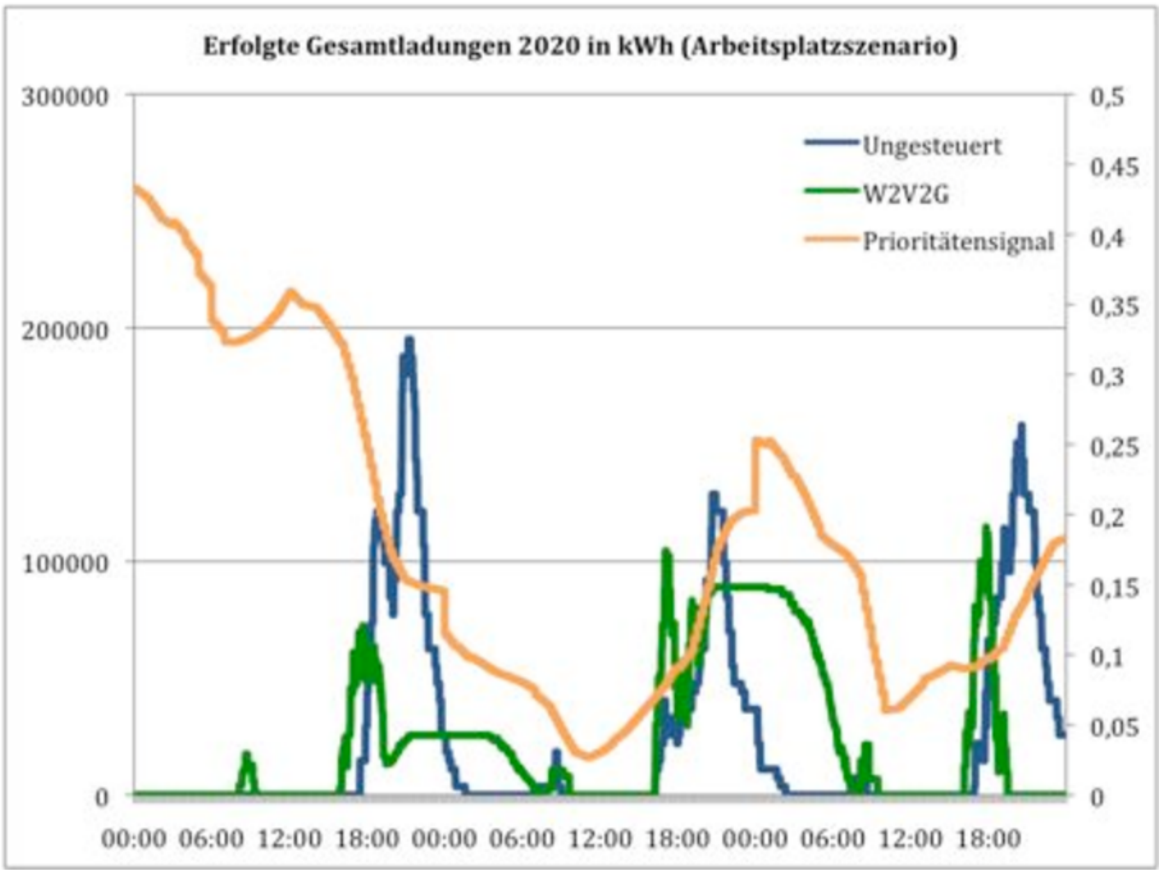


Abbildung 39: Gesamtenergiebezug für das Simulationsszenario 2020, Arbeitsplatz

Im Diagramm dargestellt sind die Energiebezüge der W2V2G-Fahrzeuge (blaue Kurve), die Energiebezüge der Ungesteuerten Fahrzeuge (rote Kurve) sowie das Prioritätensignal über die Simulationszeit (grüne Kurve, Sekundär-Achse). Es lässt sich zunächst deutlich erkennen, dass die Energiebezüge der W2V2G-Fahrzeuge zunächst in ihrer Dauer über einen längeren Zeitraum gestreckt werden, um Lastspitzen und damit auftretende Netzinkonsistenzen zu vermeiden. Zudem wird die Kernaussage, dass Zeitpunkte mit hohem Windenergieanteil effektiver genutzt werden in dem Diagramm deutlich. Die betreffenden Stellen sind im Diagramm durch die Pfeile markiert. Es ist deutlich zu er-

kennen, dass zu Zeiten eines gesteigerten Windenergieanteils auch der Energiebezug der Fahrzeuge mit Ladeassistenz im Vergleich zu denen ohne Ladeassistenz zunimmt.

Die vorausschauende Planung von W2V2G reduziert die Anzahl von Fahrzeugen mit Mobilitätseinschränkungen.

Um die Anzahl der Fahrzeuge mit Mobilitätseinschränkungen zu bestimmen, bedurfte es sowohl auf Seiten der Ladeassistenz als auch auf Seiten des Fahrermodells, welches für die Simulation der Fahrzeuge ohne Ladeassistenz herangezogen wurde, bestimmter Plausibilitätskriterien. Ein reeller Fahrer z.B. würde nur in ausweglosen Situationen riskieren sein Fahrzeug zu nutzen, wenn der Ladezustand für die geplante Fahrt nicht ausreichend wäre. Im Ladeassistenzsystem wurde diese Fehlererkennung bereits bei der Planungszeit durchgeführt. Wann immer der Ladezustand während der Planung für ein bestimmtes Fahrzeug unter den für den Fahrtbetrieb nötigen Mindeststand abfiel, so wurde dieses Fahrzeug als Fahrzeug mit Mobilitätseinschränkung markiert und die betreffende Fahrt aus dem Kalender des Fahrzeugs gestrichen um wieder zu einem konsistenten Planungszustand zu gelangen.

Für die Fahrzeuge ohne Ladeassistenz musste diese Überprüfung während der Laufzeit der Simulation durchgeführt werden, da auch ein reeller Fahrer nicht seinen gesamten Fahrtenplan validiert, sondern in der Regel nur um ein bestimmtes Zeitfenster in die Zukunft blickt. Für Fahrzeuge ohne Ladeassistenz wurde daher vor jeder anstehenden Fahrt evaluiert, ob das angestrebte Ziel von der derzeitigen Position aus problemlos zu erreichen sei und ob die dort erwartete Standzeit ausreicht, um das Fahrzeug bis zu einem Batteriestand aufzuladen, der auch eine anschließende Heimfahrt problemlos ermöglichte. Erst im Falle einer positiven Auswertung der Bedingung wurde die Fahrt auch tatsächlich durchgeführt. Im Fall einer negativen Auswertung wurde auf die Fahrt verzichtet und – wie im Fall der Fahrzeuge mit Ladeassistenz – eine Mobilitätseinschränkung verzeichnet. Die Ergebnisse aller Simulationsdurchläufe sind als Anteil Fahrzeuge mit Mobilitätseinschränkung (FME) in Abbildung 40 dargestellt.

Es lässt sich deutlich feststellen, dass der Anteil der Fahrzeuge mit Mobilitätseinschränkungen im Fall der W2V2G-Fahrzeuge deutlich niedriger ausfällt als der Anteil Ungesteuerter Fahrzeuge. Besonders deutlich fällt dieser Unterschied im Außendienstszena-

rio aus, in welchem eine Verbesserung von etwa 83 Prozent erzielt werden kann. Die vorrausschauende Planung ist dem menschlichen Planungsverhalten signifikant überlegen, da – insbesondere für den Menschen nicht einfach nachvollziehbare – Einschränkungen wie z.B. das ÖLM-Signal von diesen nicht berücksichtigt werden können. Es lässt sich zudem feststellen, dass auch im Fall der Ladeassistenz keine hundertprozentige Garantie für uneingeschränkte Mobilität gewährleistet werden kann. Der Grund hierfür ist vor allem in den Fahrerprofilen zu suchen. Mit rund 100 Tagesfahrkilometern stellt das fahrtenärmste Szenario „Arbeitsplatz“ bereits hohe Anforderungen an die Elektrischen Fahrzeuge. Durch eine ungünstige Terminkonstellation kann die Energienetztopologie bereits hier zu Fehlerfällen führen, wenn das ÖLM-Signal einfach keine passenden Lademöglichkeiten zulässt. Im Fall des Lieferdienstszenarios stößt dann das Elektrische Fahrzeug mit rund 400 zu absolvierenden Tagesfahrkilometern deutlich an seine Grenzen und so musste – auch geschuldet durch strukturelle Energienetzbeschränkungen – bei 48% aller Fahrzeuge auf mindestens eine Fahrt verzichtet werden. Dennoch ist es möglich, unter Zuhilfenahme des Ladeassistenzsystems den Anteil der Fahrzeuge ohne Mobilitätseinschränkungen signifikant zu erhöhen.

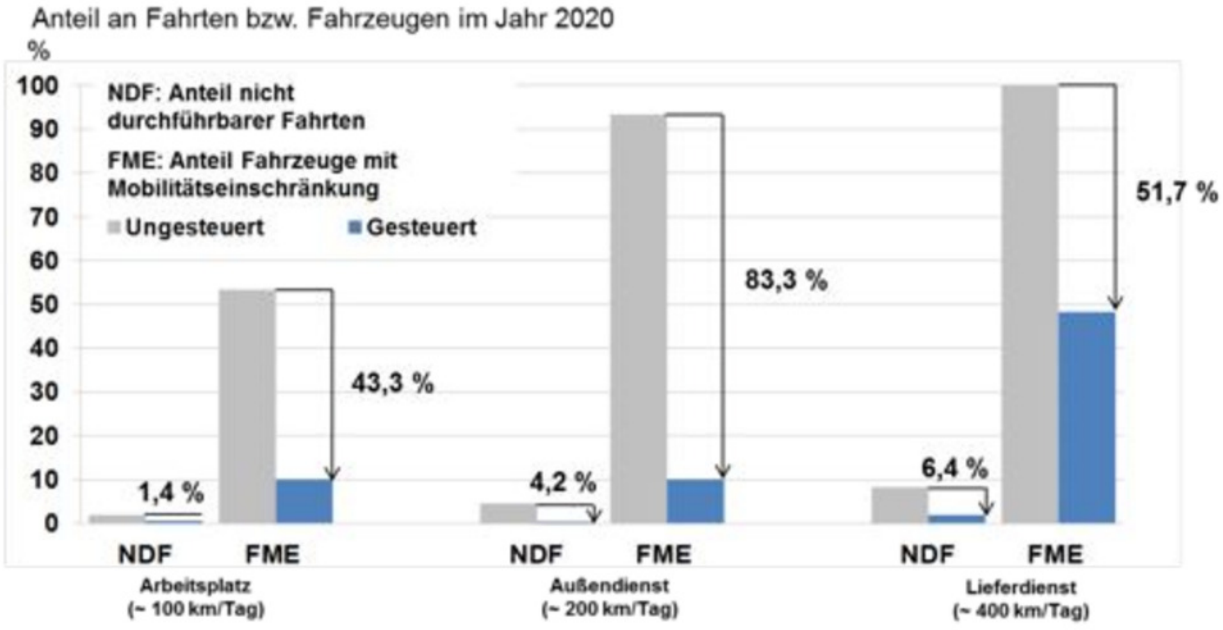


Abbildung 40: Effekt von W2V2G auf die Mobilität der Fahrzeuge im Jahr 2020

Für drei Nutzerszenarien erhöht die vorausschauende Planung des Ladeassistenten die Zahl durchführbarer Fahrten und erweitert die Mobilität.

Um den Anteil der durchführbaren Fahrten zu bestimmen, wurde analog vorgegangen wie bereits bei der Bestimmung des Anteils der Fahrzeuge mit Mobilitätseinschränkungen. Es musste zunächst wieder zwischen Fahrzeugen mit Ladeassistenzsystem und solchen ohne Ladeassistenzsystem unterschieden werden. Im Ladeassistenzsystem wurde eine Mobilitätseinschränkung wie weiter oben bereits zur Planungszeit erkannt. Im Gegensatz zum weiter oben beschriebenen Ergebnis wurde nun aber nicht das Fahrzeug selbst, sondern die betreffende Fahrt protokolliert und aus dem Kalender des Fahrzeugs gestrichen. Für die Fahrzeuge ohne Ladeassistenz wurde ähnlich vorgegangen. Die Prüfung auf Durchführbarkeit der Fahrt erfolgte analog zum weiter oben stehenden Ergebnis zur Laufzeit der Simulation. Im Falle einer Verletzung der Reichweitenbeschränkung wurde auch in diesem Fall die Fahrt protokolliert und gestrichen. Letztlich wurden die gestrichenen Fahrten den erfolgten (und erfolgreich durchgeführten) Fahrten gegenübergestellt, woraus sich der Anteil ersterer an der Gesamtanzahl aller ursprünglich geplanten Fahrten ergab. Die Ergebnisse aller durchgeführten Simulationsdurchläufe sind als Anteil nicht durchführbarer Fahrten (NDF) ebenfalls in Abbildung 40 dargestellt.

Zunächst ist deutlich zu erkennen, dass der Anteil der gescheiterten Fahrten von W2V2G-Fahrzeugen deutlich unter dem Anteil gescheiterter Fahrten von Fahrzeugen ohne Ladeassistenz liegt. Die erzielte Verbesserung steigt dabei mit erhöhtem Nutzen des Fahrzeugs. Wo im Arbeitsplatzszenario lediglich eine Verbesserung von 1,4 Prozent erzielt werden kann, so konnte für das Lieferdienstszenario bereits eine Verbesserung von über 6 Prozent erreicht werden. Es lässt sich jedoch auch feststellen, dass auch im Fall von W2V2G keine absolute Garantie für Mobilität erbracht werden kann. Gerade beim Arbeitsplatzszenario überrascht diese Erkenntnis zunächst, lässt sich aber durch die sehr geringe Anzahl von gescheiterten Fahrten auf unglückliche Einzelfälle zurückführen (Ausfall der Ladesäule, ungünstiges ÖLM-Signal).

Gerade für den Lieferdienst lässt sich der Anteil der gescheiterten Fahrten signifikant verbessern, jedoch liegt die Ausfallquote mit knapp 2 Prozent deutlich über dem, was ein solches Unternehmen zu dulden bereit wäre, womit die reibungsfreie Verwendung

von Elektrischen Fahrzeugen (bei der eingestellten Tageskilometerfahrleistung von 400 Kilometern) auch durch ein weitläufiges Planungssystem nicht gewährleistet werden könnte und eine Verwendung letzterer für einen Auslieferbetrieb zu überdenken wäre.

4.1.2.4.13 Ergebnisse der Sozialwissenschaftliche Analysen

Auf Basis der durchgeführten sozialwissenschaftlichen Analysen anhand einer Fokusgruppe und eines Online-Fragebogens werden Gesteuertes Laden und ökologisches Verhalten in einem Verhaltenskontext in Bezug zueinander gesetzt, um die relevanten Forschungsergebnisse zu Akzeptanz und Motivation Gesteuerten Ladens und ökologisches Verhalten zu extrahieren. Anhand einer Fokusgruppe, bestehend aus acht ehemaligen Teilnehmern des Projekts MINI E Berlin 1.0, konnte das Erfahrungswissen von Endnutzern von Elektro-Fahrzeugen in das vorliegende Projekt integriert werden. Zentrale Fragestellungen zielten auf die identifizierten Verhaltensmerkmale, die Einfluss auf die Qualität und Freiheitsgrade Gesteuerten Ladens nehmen. Diese sind Barrieren und Anreize für regelmäßiges Anstecken von Fahrzeugen zur Erhöhung der Verfügbarkeit und damit Teilnahme am Gesteuerten Laden. Weiterhin wurde das Konzept V2G vorgestellt, um Akzeptanzfragen aus Nutzersicht zu eruieren. Ergebnis der Fokusgruppenbefragung ist, dass die Nutzer sich nicht in der Verantwortung sehen, durch besonders häufiges oder zeitlich abgestimmtes Anstecken der Fahrzeuge einen Beitrag zur Erhöhung der Freiheitsgrade Gesteuerten Ladens zu leisten. Die Faktoren, die ausschließlich häufiges Anstecken der Fahrzeuge verhindern sind Bequemlichkeit und Gewohnheit. Gesteigert werden kann die Bereitschaft zu häufigeren Anstecken durch finanzielle Anreize, kostenlose Parkplätze mit Lademöglichkeit, verbesserte Ladeinfrastruktur und verringertem Nutzeraufwand. Nach abschließender Bewertung stellt sich heraus, dass die Ladeinfrastruktur für die Fragestellung Gesteuerten Ladens den größten Einfluss nimmt. Darüber hinaus bedarf es tieferen Verständnisses ökologischer Sachverhalte, die die Motivation für eine Nutzung von W2V-Techniken erhöht. Ausgehend von der durchgeführten Literaturrecherche und den Ergebnissen der Befragung der Fokusgruppe wurde ein Online Fragebogen konzipiert, an dem 105 Personen teilnahmen. Insgesamt zeigten sich die Studienteilnehmer sehr offen gegenüber umweltrelevanten Fragestellungen. Sie waren sich durchaus darüber bewusst, dass Elektrofahrzeuge nur dann umweltfreundlich sind, wenn sie mit Strom aus erneuerbaren Energien geladen werden. Allerdings fand die Aussage, dass Elektrofahrzeuge ausschließlich mit zertifiziertem Strom aus erneuerbaren Energien geladen werden sollten, eher geteiltes Echo. Insgesamt konnten

sich 87% der Befragten vorstellen, an W2V teilzunehmen, wenn sie ein Elektrofahrzeug besäßen. Die Befragten gaben an, dass sie voraussichtlich bereit wären, das Fahrzeug in der Nacht und tagsüber an ihrer Arbeitsstelle anzustecken. Weniger Bereitschaft zeigten sie hinsichtlich der regelmäßigen Einstellung der Abweichungen von ihren Standardzeiten. Wenn ihnen W2V zur Verfügung stünde, erwarteten die Befragten nicht, dass sie die Sofortladefunktion bevorzugen würden. Finanzielle Anreize wurden insgesamt als am wichtigsten bewertet, wobei sie für die Teilnahme an W2V noch wichtiger zu sein schienen als für die Teilnahme an V2G, siehe dazu Abbildung 41.

Abbildung 41: Bewertung Maßnahmen und Aussagenübersicht finanzielle Anreize

Des Weiteren waren die Verbesserung der Ladetechnologie und der Infrastruktur wichtige Ansatzpunkte. Das Bereitstellen von Informationen wurde nur wenig wertgeschätzt. Auch die Verfügbarkeit eines Rückmeldesystems, das den Anteil von Windenergie beim Laden anzeigt, wurde im Vergleich zu den technisch-organisatorischen Veränderungen als weniger wichtig betrachtet. Auch der Ausbau der Infrastruktur war den Teilnehmern der Onlinebefragung sehr wichtig. Am ehesten ließ sich festhalten, dass den Befragten ähnlich wichtig war, dass mehr öffentliche Ladesäulen zur Verfügung stünden, die unabhängig vom Energielieferant sind, dass die Ladeinfrastruktur im Umfang vergrößert werden sollte, dass Informationen über den Standort von verfügbaren Ladesäulen bereitge-

stellt werden sollten und dass mehr Lademöglichkeiten an Mietshäusern und Arbeitsplätzen installiert werden sollten. Verhalten ist praktisch immer durch Ziele motiviert, die die agierende Person erreichen möchte, siehe dazu Abbildung 42.

Abbildung 42: Aussagenübersicht Verbesserung der Technik und Ausbau der Infrastruktur

Von besonderer Wichtigkeit war den Befragten, dass das Elektrofahrzeug immer genau dann benutzt werden kann, wenn es benötigt wird – die Einschränkungen durch Gesteuertes Laden auf die persönlichen Freiheitsgrade somit minimal sind. Dabei soll der Ladevorgang möglichst einfach gestaltet sein. Des Weiteren ist es besonders wichtig, dass die Ladung von Elektrofahrzeugen möglichst umweltfreundlich durch die vorwiegende Nutzung regenerativer Energien erfolgt und Deutschland im Allgemeinen durch die Nutzung erneuerbarer Energien unabhängiger vom Energieimport wird. Soziale Ziele erscheinen wichtiger als die Erfüllung persönlicher Ziele. Personen, die angaben, durch die Nutzung von Erneuerbaren Energien eine Vorbildfunktion einzunehmen, zeigten eine erhöhte Teilnahmebereitschaft am Gesteuerten Laden. Demgegenüber zeigten Personen, die ihr Elektrofahrzeug ohne die Einstellung von Start- und Endzeiten nutzen wollten bzw. die nicht wollen, dass ihr Elektrofahrzeug durch Dritte gesteuert wird, weniger Teilnahmebereitschaft. Wem die Befragten die Verantwortung für die Stromversorgungsprobleme bzw. für die Umsetzung des Gesteuerten Ladens zuschrieben, stand in keinem Zusammenhang mit der Teilnahmebereitschaft am Gesteuerten Laden. Ein letz-

ter Faktor, der möglicherweise einen Einfluss auf die Akzeptanz des Gesteuerten Ladens haben könnte, sind die Konsequenzen, von denen die Befragten Personen erwarten, dass sie sich aus der Teilnahme am System ergeben. Einerseits erwarteten die Studienteilnehmer, dass sie einen Beitrag zur grünen Stromversorgung leisten und ihr Elektrofahrzeug durch die Teilnahme am Gesteuerten Laden umweltfreundlicher wäre. Andererseits befürchteten die Nutzer – allerdings in einem geringerem Ausmaß – dass sie einen höheren Aufwand zur Planung der Fahrten haben und dass die Reichweite des Elektrofahrzeuges bei Teilnahme am W2V zuweilen für spontane Nutzungen zu gering sein könnte. Die größte Befürchtung der V2G-Teilnehmer bestand darin, dass die Fahrzeugbatterie schneller verschleißen könnte. Die Nutzer erwarteten kaum, dass ihre Fortbewegungsmöglichkeiten durch die Teilnahme am Gesteuerten Laden im Vergleich zu anderen ungerecht eingeschränkt würden. Die zu V2G befragten Personen gaben viel stärker als die zu W2V befragten Personen an, dass sie erwarteten, finanziell weniger Kosten als Nicht-Teilnehmer zu haben bzw. eine günstigere Stromversorgung zu bekommen, siehe dazu Abbildung 43.

Abbildung 43: Ziele und von den zu W2V2G-befragten EV Nutzern erwartete Konsequenzen

4.1.3 Deliverable 1.2: W2V-Applikation V2.0

4.1.3.1 Management Summary

Im Deliverable D1.2 wird die W2V-Applikation entwickelt, die eine zentrale Komponente für Gesteuertes Laden darstellt. Die Applikation stellt eine Zielfunktion zur Verfügung, die für die Lösung des Optimierungsproblems der Berechnung der Ladehüllkurve von Elektrofahrzeugen verwendet wird.

Die W2V-Applikation hat das Ziel, den Windstromanteil eines Ladevorgangs und des Gesamtsystems zu maximieren. Sie ist ein integraler Bestandteil des Gesteuerten Ladens. Durch Verwendung der W2V-Zielfunktion wird ein der Windeinspeisung folgender Bedarf, respektive einer Nachfrage der Ladung von Elektrofahrzeugen mit besonders hohem Windstromanteil, während der Ansteckphase der Fahrzeuge an der Ladeinfrastruktur erreicht. Damit minimiert sie den rechnerischen CO_2-Anteil des Fahrstroms. Gleichzeitig bewirkt die W2V-Anwendung, dass Nutzer- und Fahrzeuganforderungen erfüllt werden und kritische Netzsituationen (Drosselung von Windkraftanlagen oder marktbezogener Maßnahmen aufgrund hoher Windeinspeisung) verringert oder sogar vermieden werden.

Im Projekt Gesteuertes Laden bildet der Anteil des aus Windkraft erzeugten Stroms an der Gesamtstromeinspeisung (in %) den wichtigsten KPIs zur Bewertung des Erfolgs ab. Der zeitliche Verlauf dieses KPIs ist durch die Zielfunktion beschrieben. D.h, je besser sich die tatsächliche Ladekurve der Zielfunktion nähert, desto größer ist auch der Windstromanteil im Ladevorgang. Die Ausrichtung des Ladevorgangs auf diese Zielfunktion führt dazu, dass nicht zwangsläufig in den windreichen Zeiten geladen wird, sondern in all den Zeiten, in denen der Strommix besonders windreich zusammengesetzt ist.

Auch zeigt die Auswahl diese KPIs bzw. dieser Zielfunktion, dass ein einfaches Verfolgen der Windeinspeisekurve mit der Ladekurve, wie im MINI E Berlin 1.0-Vorprojekt, also eine hohe Korrelation dieser beiden Verläufe, kein geeignetes Erfolgskriterium darstellt.. Im Fall eine Korrelation von 100% würde auch in Zeiten mit hoher Windeinspeisung geladen werden, jedoch mit geringem Windanteil an der Gesamterzeugung.

Gesteuertes Laden ist also erfolgreich, maximal wenn der Anteil der aus Windkraft erzeugten Energiemenge in einem Ladevorgang 100% beträgt.

Für jedes Fahrzeug wird aufgrund der W2V-Zielfunktion und der im Deliverable D1.4 beschriebenen Restriktionen eine Ladehüllkurve berechnet, die als Steuerungsfunktion für die Batterieladung dient. Die Ladehüllkurve ist das Ergebnis einer Optimierung zur Erreichung der W2V-Zielfunktion unter Einhaltung der Restriktionen, die sich Nutzer-, Fahrzeug-, und Stromnetzseitig ergeben.

Optimierung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Windeinspeisung in dem Fahrzeugverfügbarkeitszeitraum maximal ist und daher für den Ladevorgang bevorzugt wird.

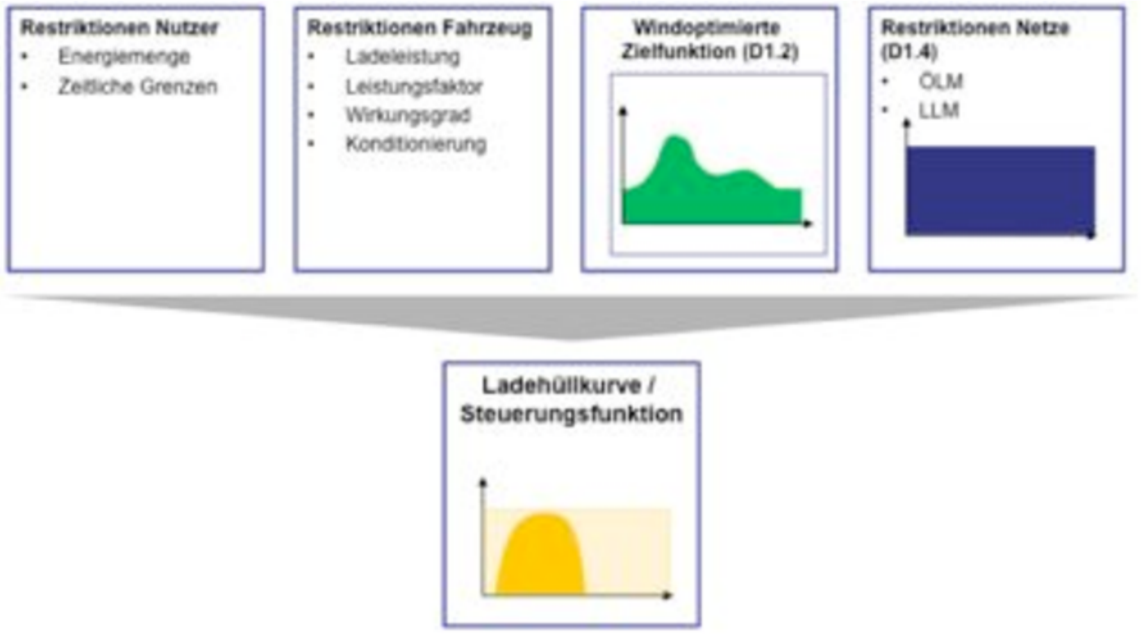


Abbildung 44: Überblick W2V-Applikation

Die W2V-Applikation steuert den Optimierungsprozess unter Einhaltung der Restriktionen. Darüber hinaus koordiniert sie den Prozess zwischen der Fahrzeugseite einerseits und der Ladeinfrastruktur andererseits, um die Ladehüllkurve mit dem Ladebefehl für das Fahrzeug zu erzeugen und technisch auszuhandeln.

4.1.3.2 Ziele und Aufgaben

Aufbauend auf den Simulationen und Systemanalysen im Deliverable D1.1 sind Aufgaben und Ziele der Applikation Wind-2-Vehicle V2.0 zu definieren. Zielsetzung ist dabei die Anforderungen und das Verbesserungspotenzial aus Netz- und Fahrzeugsicht sowie

aus Nutzerperspektive zu ermitteln und die Applikation des Vorgängerprojektes Wind-2-Vehicle V1.0 zu einer Version W2V V2.0 weiterzuentwickeln. Die W2V- Applikation V2.0 wird implementiert und für den Probebetrieb bereitgestellt.

Zwischen Fahrzeugseite und Ladeinfrastrukturseite ist ein Verhandlungsprozess zu entwickeln und umzusetzen, der dem aktuellen Normenstand bzw. den ISO-Ansätzen (ISO15118 CD2) und dem Daimler/RWE-Ansatz entspricht. Für den Verhandlungsprozess gelten zwei Prämissen:

- Die finale tatsächliche Ladekurve ist eine Sollwertkurve und wird vom Fahrzeug bzw. Backend des Fahrzeugherstellers vorgegeben.
- Die Stromnetzrestriktionen stellen eine niemals zu überschreitende obere Grenze dar.

4.1.3.3 Vorgehen, Methodik

Die Erfahrungen im Vorläuferprojekt MINI E Berlin powered by Vattenfall (W2V V1.0) wurden aufbereitet und hinsichtlich der Optimierungspotenziale analysiert. Die betrieblichen Anforderungen aus Sicht Netz, Fahrzeug und Nutzer wurden im Bezug zu den Zielen des W2V-Ansatzes gespiegelt. Die Anforderungsparameter und limitierenden Faktoren wurden identifiziert und operationalisiert.

Anforderungen:

- Die W2V-Zielfunktion berechnet für jeden Zeitschritt im 1/4h Takt einen skalaren Wert, der dem Anteil Wind an der Gesamteinspeisung in Werten zwischen 0 und 100% entspricht.
- Die Daten der W2V-Zielfunktion werden aus der 1/4h Prognose Windeinspeisung und Gesamteinspeisung der Regelzone 50-Hertz-Transmission abgeleitet.
- Jeder Ladevorgang erhält maximal 96 Einzelwerte. Dies entspricht dem Optimierungshorizont von einem Tag.
- Die Güte für den Erfolg eines optimierten Ladevorgangs ist das Aggregat aus dem Fahrzeug je 1/4h Zeitschritt ermittelbaren Anteils Wind. Dies wird errechnet, indem die W2V-Zielfunktion je Zeitschritt mit der erzielten Ladeenergiemenge multipliziert wird und die Summe über alle Zeitschritte bezogen wird auf die Gesamtlademenge.

- Die Güte der Zielfunktion ergibt sich aus ihrem Abgleich mit der tatsächlichen IST-Kurve von Windeinspeisung und Gesamterzeugung.

Auf Grundlage der Anforderungen wurde die W2V-Applikation V2.0 spezifiziert und der Informationsfluss zwischen Ladeinfrastruktur (LI) bzw. LI-Backend einerseits und Fahrzeug bzw. der das Fahrzeug steuernden Instanz andererseits entwickelt. Die am gesamten Prozess des Gesteuerten Ladens beteiligten Instanzen sind analysiert und hinsichtlich deren informationstechnischer Lokalisierung und Implementierung bei den einzelnen Kooperationspartnern separiert. Die fahrzeugseitigen Funktionen sind im BMW-Backend hinterlegt, die Funktion LLM im Vattenfall-Backend und die Berechnung ÖLM und W2V im Backend der TU Ilmenau.

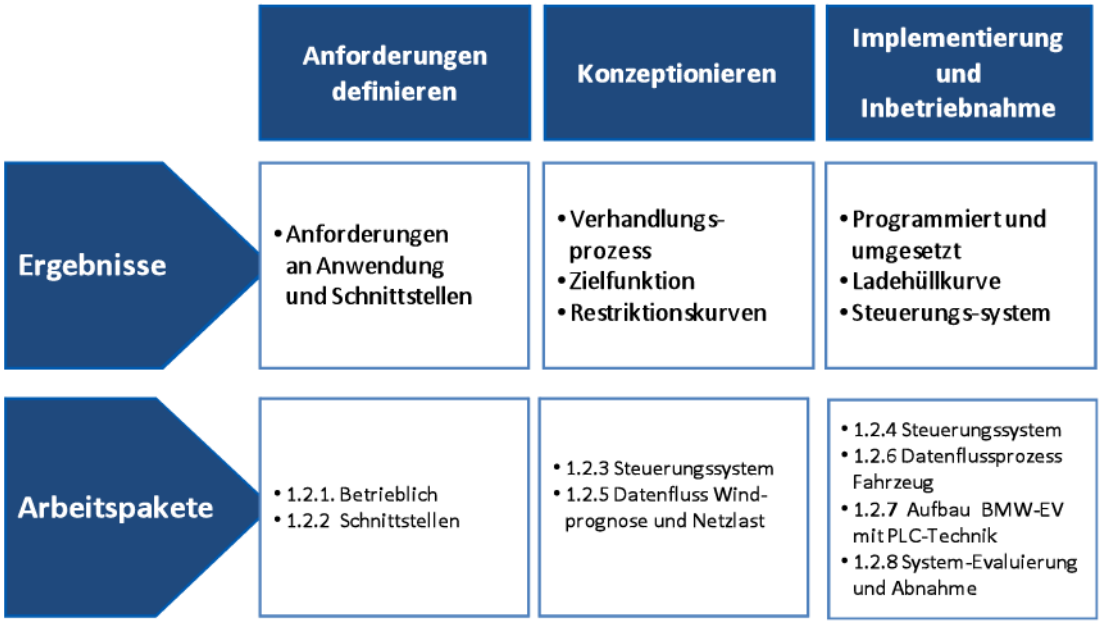


Abbildung 45: Vorgehen D1.2: W2V-Applikation mit AP-Zuordnungen

4.1.3.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1.3.4.1 W2V-optimierte Zielfunktion

Die Wind-2-Vehicle V2.0-Zielfunktion liefert aus den Inputgrößen Windeinspeise- und Gesamtstromerzeugungsprognose einen Funktionsverlauf, der die Zeitpunkte eines maximalen Windstromanteils widerspiegelt.

Die Optimierung des Ladevorgangs zielt darauf ab, den Ladezeitraum möglichst in die Zeiten des maximalen Windstromanteils zu legen und so die W2V-Zielfunktion bestmöglich mit dem Ladevorgang einzuhalten.

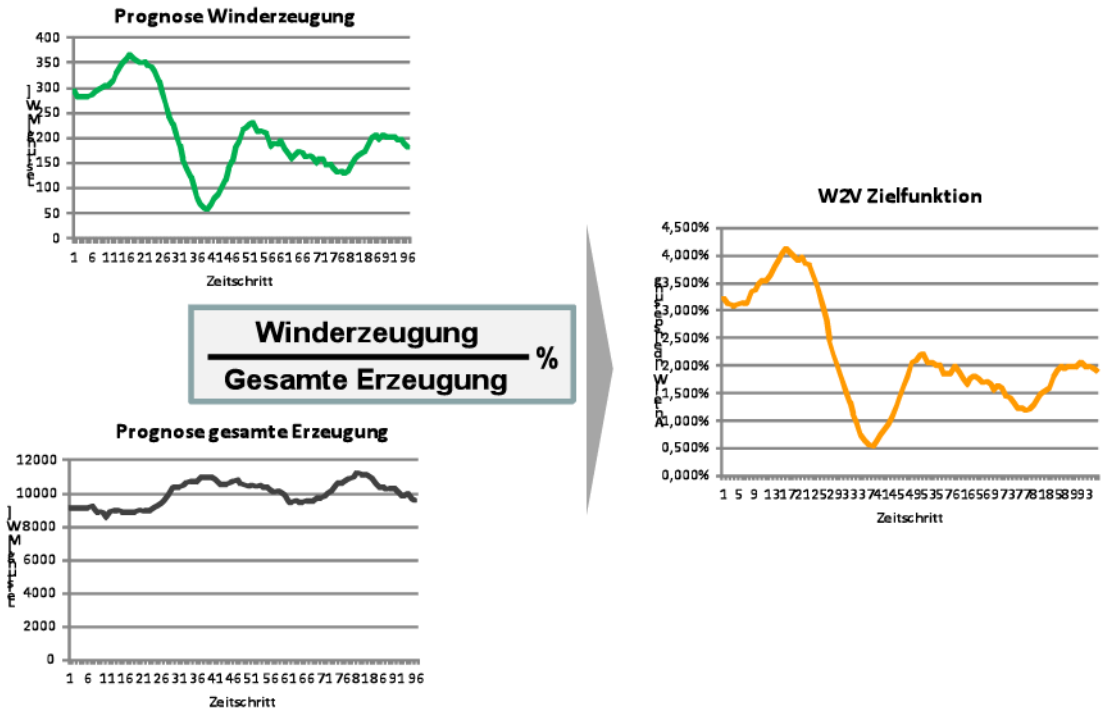


Abbildung 46: Berechnung der windoptimierten W2V Zielfunktion

Die Zielfunktion indiziert den Anteil der Windeinspeisung je Zeitpunkt und ist der Quotient aus prognostizierter Windstromeinspeisung zur gesamten prognostizierten Einspeisung. Ladevorgänge werden bevorzugt zu Zeitpunkten mit hohem W2V-Signal durchgeführt. Diese Zeitpunkte sind bei ausschließlicher Betrachtung der Windeinspeisung maximal ökologisch für die Beladung von Fahrzeugen.

4.1.3.4.2 Zeitverlauf der Funktion des Gesteuerten Ladens

Die Ladehüllkurve ist definiert durch den maximal möglichen Strom der im Verfügbarkeitszeitraum fließen kann. Die Zielfunktion bestimmt den Ladezeitraum, die Restriktionskurve die Höhe des Ladestroms

Die Ladehüllkurve spiegelt das Ergebnis einer Überlagerung aus der maximal möglichen Erreichung der W2V-Zielfunktion und der drei Restriktionskurven wider. Mit den vier Funktionen ist die Ladehüllkurve sowohl hinsichtlich der Stromhöhe, als auch der zeitli-

chen Lage bestimmt und dient so als Steuerungsvorgabe für den physischen Batterieladevorgang. Die Überlagerung der Funktionen im Zeitverlauf ist in Abbildung 4 dargestellt.

Der Nutzer definiert die Randparameter des Ladevorgangs durch Angabe seiner Kennwerte Plug-Off (= nächste Abfahrtszeit) und Energiebedarf (in kWh) resultierend aus der vom Kunden gewünschten Reichweite (in km) und einer ggf. vom Kunden gewünschten klimatischen Vorkonditionierung des Fahrzeug-Innenraums (diese ist bei einem Elektrofahrzeug von besonderer Bedeutung, da die benötigten Energiemengen für Heizung und Klimatisierung nicht zu Lasten der verfügbaren Reichweite des Fahrzeuges gehen, solange dies an der Ladestelle erfolgt. Für die Erstellung und Lage der Ladehüllkurve genügt diese grobe Anforderung aus Nutzersicht. Detailliertere Anforderungen aus Nutzersicht werden in der Steuerungskurve des Fahrzeugs/Batterie) unterhalb der Ladekurve realisiert. Hierzu wurden folgende Anforderungen identifiziert: Es muss mindestens die angeforderte Energiemenge, auch für den Worst-Case (Laden eines vollständig entladenen Speichers + notwendige Energie zum Vorkonditionieren) durch den Kunden/das Elektrofahrzeug sicher innerhalb des Zeitfensters zwischen Anstecken und Abstecken/nächstfolgendem Abfahrtszeitpunkt bereitgestellt werden.

Die technischen Parameter des Fahrzeugs wie Leistungsfaktor und Wirkungsgrad des AC/DC-Wandlers werden bei der Berechnung des Energiebedarfs berücksichtigt, da diese die effektiv zu ladende Energiemenge bestimmen.

Die Stromnetzseitigen Restriktionskurven werden durch die beiden Anwendungen ÖLM (öffentliches Lastmanagement) und LLM (lokales Lastmanagement) von der Ladeinfrastrukturseite bereitgestellt. (Erläuterungen zur Entstehung der Funktionen im Deliverable D1.4)

Die beiden Anwendungen LLM und ÖLM grenzen den maximalen Ladestrom/die maximale Ladeleistung über das Intervall des Ladevorgangs (Plug-In Plug-Off) ein. Kriterien für LLM/ÖLM Grenzen sind technische Parameter des Hausanschlusses (max. Stromtragfähigkeit/Anschlussleistung des Hausanschlusses) bzw. Belastungsgrenzen im speisenden, vorgelagerten Verteilnetz. Die Berechnung der LLM/ÖLM-Signale mündet in eine effektive Stromnetzrestriktionskurve.

Die durch die Wind-2-Vehicle (W2V) Applikation zur Verfügung gestellte Zielfunktion indiziert besonders „günstige“ Zeitpunkte in denen ökologisches Laden möglich ist mit

dem Ziel, einen dieser ökologischen Zeitpunkte folgenden bzw. der Erzeugungssituation folgenden Verbrauch durch die Elektrofahrzeugflotte zu realisieren.

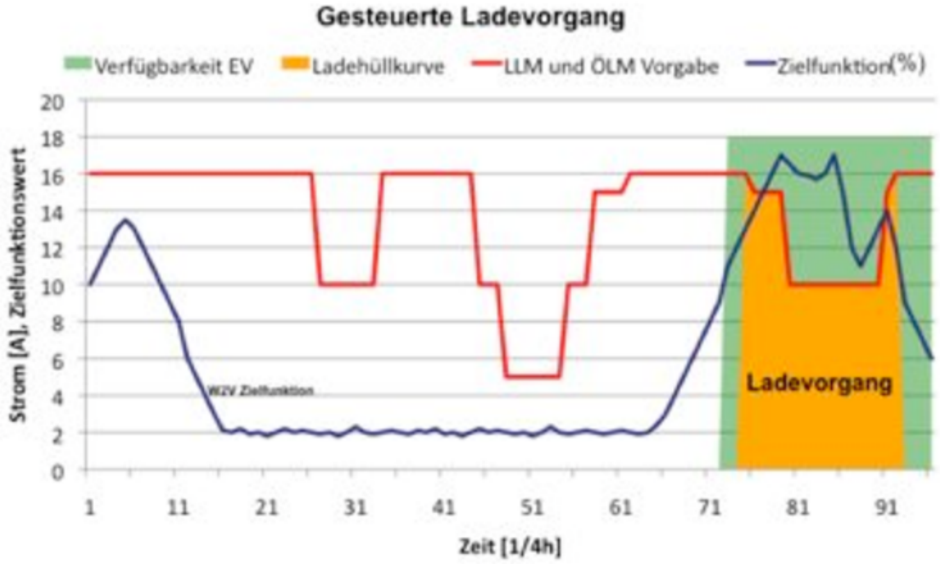


Abbildung 47: Zeitverlauf der Funktionen des Gesteuerten Ladens

Der Abbildung kann der Leser folgende Informationen entnehmen:

- Die rote Kurve beschreibt die Netzrestriktion durch LLM/ÖLM. Zum Zeitpunkt 51 ist ein Tiefpunkt für W2V, weil zum Beispiel im öffentlichen Netz gerade eine Lastspitze zu verzeichnen ist.
- Die blaue Kurve zeigt die prognostizierte Zielfunktion an (siehe oben).
- Das Fahrzeug steht nicht über den gesamten Betrachtungszeitraum am Netz zur Verfügung. Es wird zum Zeitpunkt 72 angeschlossen und zum Zeitpunkt 96 wieder abgesteckt.
- Die orange Fläche zeigt die maximal ladbare Energiemenge
- Der Ladevorgang beginnt nicht unmittelbar mit dem Anstecken zum Zeitpunkt 72, sondern erst zum Zeitpunkt 74. Die Stromstärke folgt nicht der Zielfunktion allein, sondern berücksichtigt die LLM Restriktion.
- Die Dauer des Ladevorganges ergibt sich aus der Energiemenge, welche in einer vordefinierten Zeit geladen werden soll (Information kommt aus Fahrzeug), und der Maximierung der Zielfunktion unter der Berücksichtigung der Restriktion LLM/ÖLM.

Die effektiv maximal zu ladende Energiemenge entspricht der Fläche unter der Ladehüllkurve. Sie entsteht unter Berücksichtigung des W2V-Zielsignals mit der durch LLM/ÖLM maximal vorgegebenen Leistung/maximal vorgegebenen Stroms. Dabei werden Zeitpunkte mit besonders „günstigem“ W2V-Signal (je höher desto besser) bevorzugt.

Innerhalb dieser Ladehüllkurve wird die Sollwertkurve für die eigentliche Laderegelung der Batterie ermittelt. Das geschieht im Fahrzeug-Backend-Server.

Im realen Einsatz zeigte sich, dass die tatsächliche am Fahrzeug gemessene Ladesollkurve wie erwartet sowohl dem Windprioritätssignal folgt und die Restriktion der LLM-Kurve einhält.

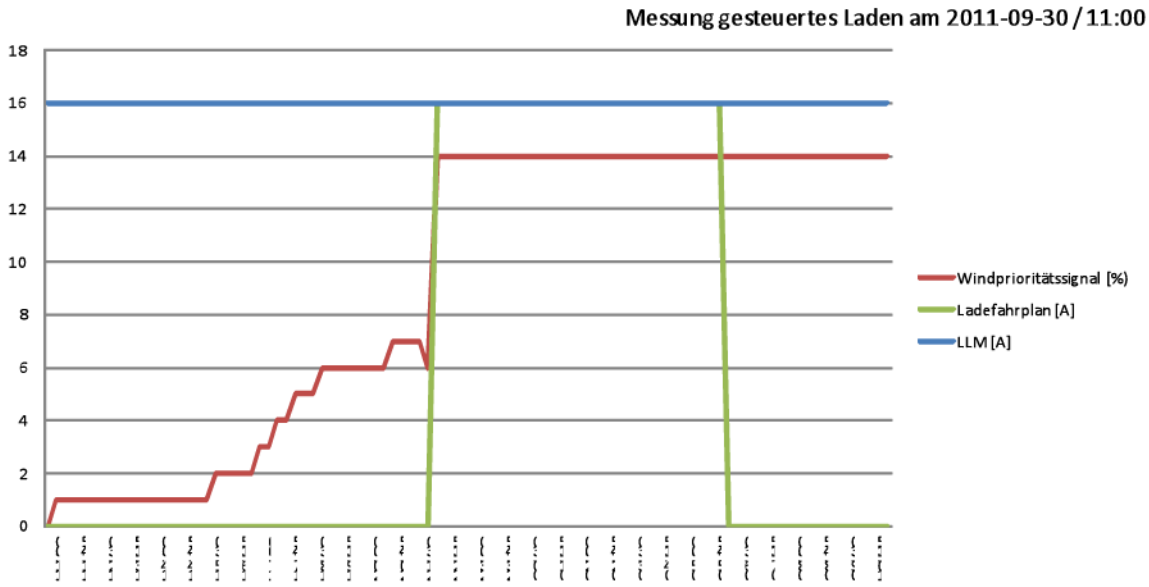


Abbildung 48: Messungen des zeitlichen Verlaufs der Ladefunktionen

4.1.3.4.3 Technischer Verhandlungsprozess für die Ladehüllkurve

Am Ende des Verhandlungsprozesses zwischen der Ladeinfrastruktur und der Fahrzeugseite steht die Ladehüllkurve mit dem Ladebefehl für das Fahrzeug.

Der in Abbildung 5 dargestellte Verhandlungsprozess stellt den für den gesteuerten Ladevorgang relevanten Ausschnitt aus dem Gesamtkommunikationsprozess dar. Beispielsweise sind der diesem Verhandlungsprozess vorausgehende Plug-In-Prozess, der

Authentifizierungs- und Autorisierungsprozess, sowie der nachgelagerte Abrechnungsprozess nicht dargestellt.

Der technische Verhandlungsprozess lässt sich wie folgt beschreiben:

- Ausgangspunkt ist die Übermittlung der technischen Daten bzw. der Restriktionen des Fahrzeugs (BMW ActiveE) an das Fahrzeug-Backend (BMW-Server), Kerninformationen sind dabei der Ladezustand und Temperaturdaten von Batterie, Fahrzeug und Umgebung. Im BMW-Backend liegen zusätzlich die Nutzeranforderungen wie etwa Abfahrtzeit oder Vorkonditionierung vor (nachrichtlich).
- Das BMW-Backend sendet nun eine Ladeanfrage an das Ladeinfrastruktur-Backend (Vattenfall-Server).
- Das LI-Backend nimmt die Ladeanfrage zum Anlass, die W2V-Zielfunktion (3a) und die Netzrestriktionskurven (3b) zu ermitteln und an das BMW-Backend zu übertragen.
- Im Fahrzeug-Backend liegen nun alle Restriktionsfunktionen und die W2V-Zielfunktion vor, so dass daraus die Ladehüllkurve ermittelt und an das LI-Backend übertragen wird.
- Das LI-Backend prüft die Ladekurve und erteilt bei Einhaltung der LLM/ÖLM Restriktion die Freigabe an das BMW-Backend, (Sicherheitsschleife!)
- Das BMW-Backend sendet den Befehl für den Ladevorgang an das Fahrzeug.

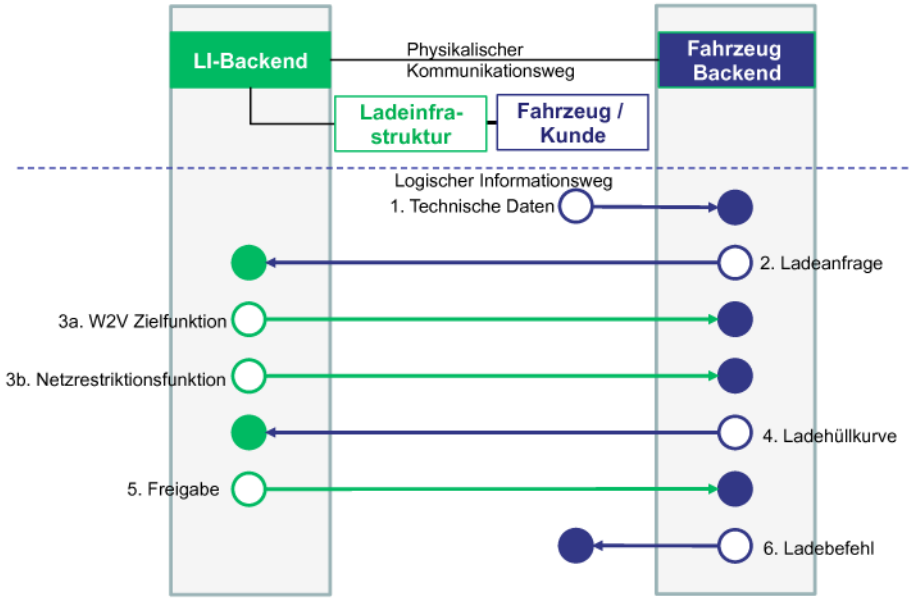


Abbildung 49: Verhandlungsprozess für Ladehüllkurve und -befehl

Über die beschriebene Infrastruktur erfolgt die Ausregelung des Fahrzeugs bei der Beladung, indem der BMW-Server die bestätigte Hüllkurve als Sollsignal an den Laderegler im Fahrzeug ¼-stundengenau sendet.

4.1.3.4.4 Technische Realisierung der Kommunikation

Fahrzeug und Ladeinfrastruktur müssen aus drei Gründen miteinander kommunizieren: zur technischen Umsetzung des Verhandlungsprozesses, zur Steuerung sowie zur Abrechnung des Ladevorgangs. Für diese Kommunikationsbedarfe wird eine Kombination aus verschiedenen Technologien eingesetzt:

- Verhandlung: TCP/IP zwischen LI-Backend und Fahrzeug-Backend
- Steuerung. PLC oder GSM
- Abrechnung: PLC oder GSM in Verbindung mit TCP/IP

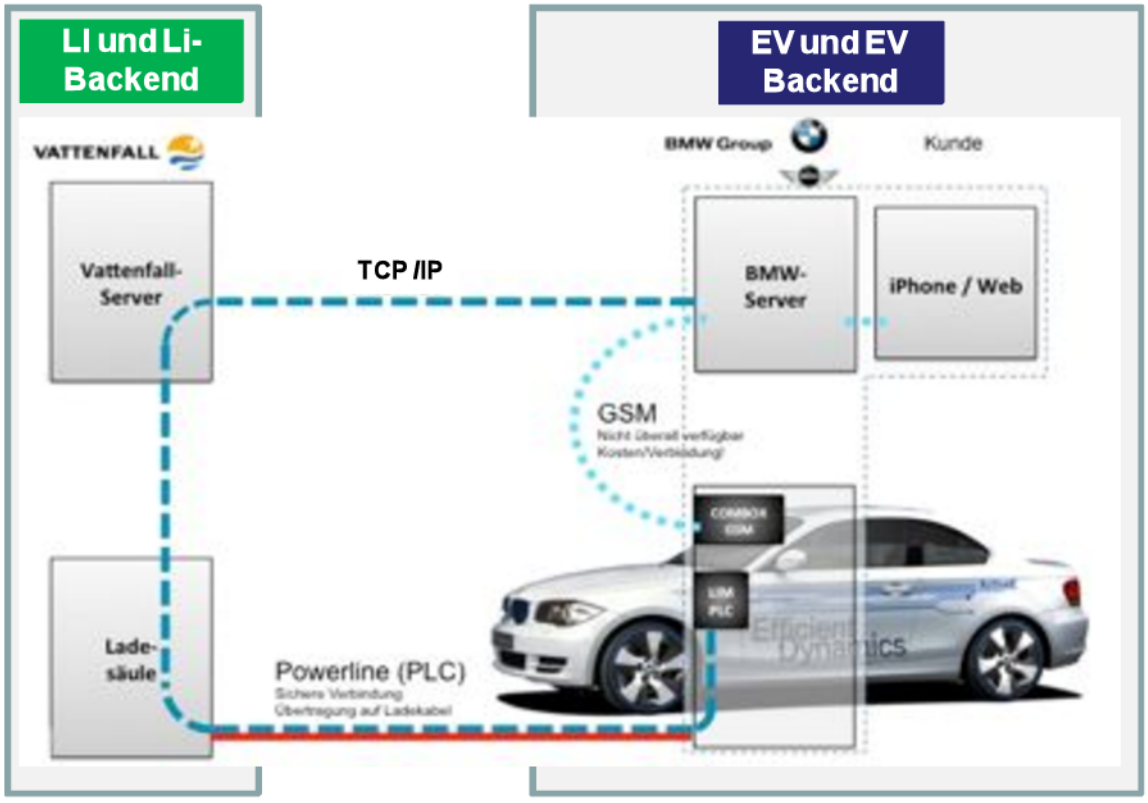


Abbildung 50: Technische Realisierung der Kommunikation

Für die Kommunikationsanbindung des Fahrzeuges bestehen drei besondere Herausforderungen:

- Kommunikationssicherheit: Ein Zugriff Dritter auf Systeme und Funktionen im Fahrzeug ist allein schon aus Produkthaftungsgründen aus der Sicht des OEM unzulässig.
- Verfügbarkeit: Eine ausschließlich GSM-gestützte Kommunikation hat in Zonen (z.B. Tiefgaragen) und Zeiten eingeschränkter Netzverfügbarkeit auch gleichzeitig Einschränkungen bei der Erreichbarkeit des Fahrzeuges zur Folge.
- Wirtschaftlichkeit: Die Kommunikation darf nur minimale Betriebskosten zur Folge haben.

Daher werden im Projekt zwei parallele Kommunikationswege dargestellt und nutzbar gemacht: Das Fahrzeug kann entweder direkt oder indirekt mit dem Fahrzeug-Backend kommunizieren. Die direkte Kommunikation erfolgt über den Mobilfunkstandard GSM (Global System for Mobile Communication) und die indirekte über die Ladeinfrastruktur mittels PLC (Powerline Communication) und TCP/IP.

Bei der Wahl der Kommunikation über GSM erfolgt eine direkte Punkt-zu-Punkt-Kommunikation zwischen Fahrzeug und BMW-Server. Kommunizieren die Fahrzeuge mittels PLC, so werden die Informationen zwischen Fahrzeug und BMW-Server über die Ladesäule und den Vattenfall-Server übertragen. Die kundenspezifischen Daten werden direkt mit dem BMW-Server über Webanwendungen bzw. Smartphones (Bsp.: iPhone) per Internet übertragen.

4.1.4 Deliverable 1.3: V2G Applikation V2.0

4.1.4.1 Management Summary

Im Rahmen dieser Applikation wurde ein dezentrales W2V2G System entwickelt, das unter Berücksichtigung des prognostizierten Nutzerverhaltens und der netzseitigen Vorgaben entsprechende Lade- und Entladevorgänge hinsichtlich ökologischer Aspekte (z.B. Windenergieanteil an der Gesamterzeugung) einplant und entsprechend optimiert. Dabei wurde auf die Einsatzfähigkeit des Systems im Alltag geachtet und die Entwicklung der relevanten Komponenten darauf ausgelegt. Die Funktionalität und Nutzbarkeit des Systems wurde im Probebetrieb getestet und validiert (siehe TP5). Der ökologische und ökonomische Mehrwert des Gesamtsystems wurde mit Hilfe eines eigens dafür entwickelten Simulationsmodells „Flotte“ aufgezeigt (siehe D1.1), das den spezifischen Ansatz von W2V2G abbildet.

Die wesentlichsten Ergebnisse und Erkenntnisse, die von diesem Projektteil geliefert wurden und im Ergebnisteil genauer erläutert werden, sind wie folgt:

- Mit W2V und zusätzlich mit W2V2G kann die Ausnutzung der Windstromerzeugung gegenüber dem ungesteuerten Laden erhöht werden
- W2V2G erfüllt die Voraussetzungen für die Bereitstellung von Regelleistung bzw. -energie, wobei es für die Bereitstellung von Primärregelleistung eines gesonderten Ansatzes bedarf
- Die Höhe der Bereitstellung von Regelleistung durch Elektrofahrzeuge ist sehr stark abhängig vom Ansteckverhalten der beteiligten Nutzer, wobei Fahrzeuge mit einer langen Ansteckzeit die besten Voraussetzungen mitbringen
- Mit W2V2G können Erlöse aus der Bereitstellung von Systemdienstleistungen (Positive und negative Regelenergie) erzielt werden
- Mit W2V2G können Erlöse aus der aktiven Teilnahme am Energiehandel erzielt werden (Arbitrage aus Strompreisschwankungen)
- Zusätzliche V2G-Entladevorgänge bewirken eine schnellere Alterung der Batterie, wodurch ein Stromhandel auf Basis rückspeisender Fahrzeuge unter derzeitigen Bedingungen noch als unwirtschaftlich anzusehen ist
- Die energetische und wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit von V2G gegenüber anderen Speichertechnologien erscheint unter bestimmten Annahmen erreichbar
- Der W2V2G-Algorithmus berechnet Fahrten-, Lade- und Rückspeisepläne für den Prognosezeitraum basierend auf dem Terminkalender des Nutzers
- Die gewählte dezentrale agentenbasierte IT-Architektur bietet vor allem Redundanz und damit höhere Sicherheit gegen Ausfall einzelner Komponenten
- Der V2G-Ladeassistent eignet sich als Schnittstelle zwischen dem Nutzer und dem W2V2G-System
- Im bidirektionalen Betrieb beträgt der Wirkungsgrad der Batterieladung und -entladung je 87%
- Die Ladestationen im Freilandlabor sind durch zusätzliche Komponenten V2G-fähig ausgestattet und erfüllen die wesentlichen Sicherheitsanforderungen

Im Projekt „Gesteuertes Laden V2.0“ wurden zwei parallele Ladeinfrastrukturen nach unterschiedlichen Konzepten errichtet. Neben der Vattenfall-Ladeinfrastruktur, an der BMW ActiveE laden, wurde in einem Freilandlabor im Rahmen des Deliverable D1.3 eine spezielle V2G-fähige Ladeinfrastruktur für V2G-fähige MINI E entwickelt und umge-

setzt. Trotz der unterschiedlichen Architekturkonzepte wurde eine gegenseitige Kompatibilität der Fahrzeuge sichergestellt. So könnten alle Elektrofahrzeuge mit einem Stecker gemäß VDE-AR-E 2623-2-2 an den V2G-Ladestationen im Freilandlabor nach Bereitstellung einer entsprechenden Authentisierungsmethode zur Freischaltung laden und alle V2G-MINI E können an allen öffentlichen Ladesäulen mit einer dazu passenden Buchse sogar gesteuert laden.

4.1.4.2 Ziele und Aufgaben

Ziel war es, die Rückspeisefähigkeit von Elektrofahrzeugen zu untersuchen und zu realisieren sowie deren Funktionstüchtigkeit und Nutzbarkeit praktisch im Probebetrieb unter realen Bedingungen zu evaluieren. Die Rückspeisung elektrischer Energie vom Fahrzeug ins Netz soll dabei sowohl der optimalen Nutzung eingespeister Windkraft als Spitzenlast oder Regelenergie als auch einer möglichst effizienten Auslastung der Stromnetze dienen. Eine dynamische Einbindung einzelner Fahrzeuge in das verteilte Speichersystem muss möglich sein. Aufgrund der volatilen Verfügbarkeit der verteilten Batteriespeicher bei V2G gegenüber stationären Energiespeichern galt es darüber hinaus ein Modell zu entwickeln, mit dem Lade- und Entladevorgänge basierend auf dem prognostizierten Verhalten des Nutzers so eingeplant werden können, dass bei gleichzeitiger Gewährleistung der Mobilität ein möglichst großer ökologischer Effekt erzielt wird. Dabei ist zu beachten, dass zusätzliche Entladevorgänge eine schnellere Alterung der Batterie darstellen, was quantitativ bewertet worden ist.

Des Weiteren war die Eignung der EVs als mobile Batteriespeicher zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen für den Netz- und Systembetrieb im Vergleich zu stationären Batteriespeichern und anderen Speichersystem zu bewerten. Neben technischen Aussagen zu Antwort- und Reaktionszeiten ist V2G auch einer wirtschaftlichen Betrachtung zu unterziehen. Somit kann festgestellt werden, ob sich dadurch die Amortisationszeit von Elektrofahrzeugen auch unter Berücksichtigung der zusätzlichen Batteriebelastung verkürzen lässt und somit möglicherweise die Akzeptanz gesteigert werden kann. Durch eine fortschreitende Verbreitung der Elektromobilität könnte so der Anteil an tatsächlich verwendeter Energie aus regenerativen und volatilen Quellen gesteigert und Investitionen in zusätzliche Energiespeicher reduziert werden.

Um diese Forschungsfragen zu beantworten, waren aus Sicht der V2G-Anwendung insgesamt folgende Aufgaben vorgesehen:

- Klärung der Anforderungen an die Fahrzeugarchitektur und Ladeinfrastruktur zur Umsetzung der V2G-Funktion
- Aufbau von drei V2G-fähigen Fahrzeugen sowie Ladestationen
- Entwicklung eines alltagstauglichen dezentralen V2G-Softwaresystems, das teilweise automatisiert und auf Basis von Netz-, Infrastruktur-, Fahrzeug- und Nutzerdaten die Rückspeisung von Energie in das Stromnetz ermöglicht
- Integration und Erprobung von Algorithmen zur Berechnung geeigneter Lade- bzw. Entladepläne auf Grundlage der Einschränkungen und Zielvorgaben von Netzbetreiber und Fahrzeugnutzer
- Integration der W2V2G-Planungskomponenten in das in D1.1 entwickelte Flottensimulationsmodell
- Entwicklung eines V2G-Ladeassistenten für die Interaktion des Fahrzeugnutzers mit dem V2G-System
- Modellbasierte Untersuchung der technischen Randbedingungen für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch eine Menge V2G-fähiger Fahrzeuge sowie deren Einfluss auf das Gesamtverhalten

4.1.4.3 Vorgehen, Methodik

Im Rahmen der Anforderungsanalyse wurden in einem Agilen Verfahren insgesamt über 100 Anforderungen aus Sicht der Nutzer, Fahrzeughersteller, Ladeinfrastrukturbetreiber, Netzbetreiber und Stromvertriebe identifiziert und in einem Lastenheft beschrieben (siehe auch Deliverable D3.1), von denen 70 Anforderungen als relevant für das V2G-System eingestuft und wiederum 40 Anforderungen im Rahmen des V2G-Freilandlabors später auch umgesetzt wurden. Basierend auf diesen Anforderungen erfolgte die Spezifikation der Anwendungsfälle, die bei der Entwicklung des W2V2G-Systems berücksichtigt wurden.

Für die Evaluierung der V2G-Applikation in einem „Freilandlabor“ wurden auf Basis des MINI E drei V2G-fähige Fahrzeuge aufgebaut und bereitgestellt sowie mehrere V2G-fähige Ladestationen aufgebaut, die im Rahmen von TP3 aufgestellt und an das Versorgungsnetz angeschlossen wurden. Sowohl in die Fahrzeuge als auch Ladestationen

wurden für das dezentrale Steuerungssystem geeignete Hardwarekomponenten integriert, um auf die benötigten Schnittstellen zugreifen zu können. Parallel dazu erfolgte die Entwicklung des dezentralen Planungs- und Steuerungssystems, die in mehrere Phasen unterteilt war. So wurde zunächst eine Grobspezifikation der notwendigen Komponenten vorgenommen, auf deren Basis die Schnittstellen zwischen Vattenfall Europe, TU Ilmenau und TU Berlin abgestimmt wurden. Für die genaue Beschreibung der einzelnen Module wurden daraufhin Prozessdiagramme entworfen, die die Grundlage für die Implementierung bildeten. Während der eigentlichen Implementierungsphase wurden zunächst Basisdienste wie die Kalenderanbindung und Routenberechnung entwickelt bzw. verfeinert, mit deren Hilfe dann die Mobilitäts- und Ladeplanung umgesetzt wurde. Daraufhin wurden die Ladesteuerungs- und Umplanungsalgorithmen entwickelt, die für den Einsatz im Feldtest relevant sind. Während der Entwicklungsphase des dezentralen Planungs- und Steuerungssystems erfolgte zeitgleich die Konzeption und Entwicklung des V2G-Ladeassistenten und der darin befindlichen Nutzerschnittstellen, Funktionalitäten und Schnittstellen zum W2V2G-System.

Die entwickelten Module wurden entsprechenden Unit-Tests unterzogen sowie nach und nach in das Gesamtsystem integriert. Erkenntnisse aus den Integrationstests flossen wiederum in die Weiterentwicklung bzw. Verbesserung der bestehenden Komponenten ein. Dieser iterative Prozess setzte sich bis zum Start des Probebetriebs und teilweise auch darüber hinaus fort.

Die entwickelten W2V2G-Planungskomponenten wurden darüber hinaus in das in Deliverable D1.1 beschriebene Flottensimulationsmodel integriert. Dafür wurden zusätzlich Schnittstellen definiert, die den Austausch von Eingabe- und Ausgabeparametern zwischen Simulation und Planung ermöglichen. Die im Rahmen des W2V2G-Systems entwickelten Steuerungskomponenten wurden in der Flottensimulation nicht genutzt, stattdessen wurden simulationsspezifische Steuerungsmodule verwendet.

Für die Untersuchung der Möglichkeit zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch eine Menge V2G-fähiger Fahrzeuge sowie deren Einfluss auf das Gesamtverhalten wurden zuerst Randbedingungen definiert und eine Voranalyse durchgeführt sowie anschließend das Modellnetz implementiert (siehe D1.1).

4.1.4.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Ein wichtiges Ergebnis dieses Deliverables ist die Fertigstellung eines Probebetriebs mit drei funktionsfähigen W2V2G-Ladeinfrastruktur- und Fahrzeugsystemen. Alle Systemtests wurden nach Anpassungen und üblicher Fehlerbehebungen erfolgreich bestanden, so dass die drei Fahrzeuge und die drei Ladesäulen im Probebetrieb des Freilandlabors zum Einsatz kamen (siehe TP5).

Darüber hinaus lieferte dieser Projektteil eine Reihe von wichtigen Erkenntnissen und Ergebnissen, die in den nachfolgenden Abschnitten geeignet untermauert werden.

4.1.4.4.1 Erhöhte Ausnutzung der Windstromerzeugung durch W2V2G

Das W2V2G-System wurde mit Hilfe des in D1.1 entwickelten Flottensimulationsmodells überprüft und bewertet. Dabei konnte gezeigt werden, dass die errechneten Lade- und Entladevorgaben unter verschiedenen Bedingungen zu einer Erhöhung des Windstromanteils in der Ladung der Fahrzeuge um bis zu 11% gegenüber ungeplanten Verhaltensmustern führen. Der höhere Windstromanteil entspricht einer Reduzierung des CO_2-Anteils eines einzelnen Ladevorgangs. Die Auswirkungen auf das Gesamtsystem werden an dieser Stelle nicht behandelt, sondern in D1.1.

Abbildung 51: Durchschnittliche Windausnutzung des Fahrzeuges bei mäßigem Wind

Abbildung 51 zeigt den durchschnittlichen Windstromanteil einer Ladung an Tagen mit mäßigem Wind auf (am Beispiel vom 1.-3. April 2011 mit einem durchschnittlichen Windstromanteil an der Gesamterzeugung von 18%). Das darin evaluierte Szenario entsprach einem Arbeitsplatzszenario mit durchschnittlich 105 km Fahrleistung aufgeteilt auf 3 bis 6 externe Termine pro Tag, einem Verbrauch von 0,2 kWh/km, einer Batteriegröße von 35 kWh sowie einem optimalen Wirkungsgrad für das Laden und Rückspeisen von 1,0. Dabei wurden drei Ansätze verglichen: das ungeplante Ladeverhalten, die ausschließliche Berechnung von Ladeintervallen[16] und die Berechnung sowohl von Lade-, als auch Rückspeiseintervallen jeweils unter Verwendung der in D1.3 durch die TU Berlin entwickelten Algorithmen. Da das Rückspeisen mathematisch dem Laden einer negativen Energiemenge entspricht, wurde bei dem W2V2G-Ansatz dem rückspeisenden Fahrzeug der positive Effekt zugeordnet, den die anderen Fahrzeuge bei entsprechender Anpassung des Windenergieanteils an der Gesamterzeugung hätten, was in der gegebenen Simulationsumgebung nicht möglich war. Mit Hilfe der geplanten Ansätze konnte der Anteil in diesem Szenario um 7,94 % bzw. 9,9 % gesteigert werden. Auch im Falle von Starkwind (siehe Abbildung 52 am Beispiel vom 9.-11. März 2011 mit einem durchschnittlichen Windstromanteil an der Gesamterzeugung von 36%, sonst gleiches Szenario) konnten mit Hilfe des W2V2G-Systems Verbesserungen von 7,24 % bzw. 10,43 % erreicht werden.

16 Die Simulationsergebnisse für W2V (TUB), d.h. die ausschließliche Berechnung von Ladeintervallen als Teil von W2V2G, sind mit den Simulationsergebnissen für W2V (TUI) aus D1.2 nicht vergleichbar. Das liegt daran, dass bei W2V2G eine vorausschauende Planung der Fahrten und Ladevorgänge basierend auf den Terminen des Nutzers erfolgt, wohingegen W2V (TUI) eine ladevorgangsbezogene Optimierung basierend auf der vom Nutzer vorgegebenen Abfahrtszeit und Reichweite vornimmt. Aufgrund dieser verschiedenen Ansätze unterscheiden sich die zugehörigen Simulationen sowohl in ihrer Vorgehensweise als auch in den Parametern. Das führte unter anderem zu unterschiedlichen Nutzerdefinitionen (drei verschiedene Typnutzer gegenüber den Nutzern aus MINI E Berlin 1.0), die einen gewissen Einfluss auf das simulierte Ergebnis aufweisen.

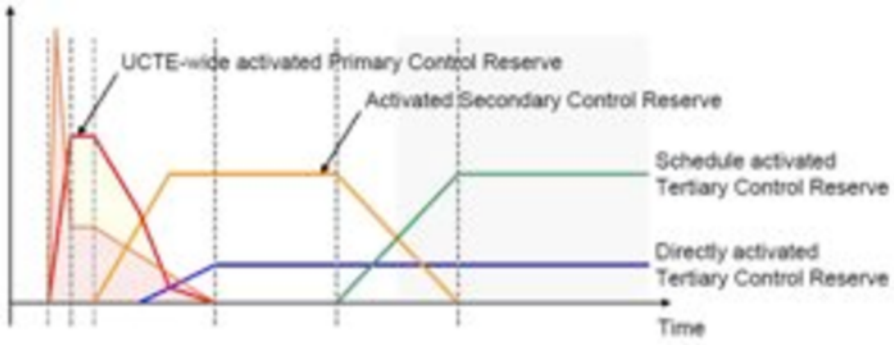
Abbildung 52: Durchschnittliche Windausnutzung des Fahrzeuges bei starkem Wind

In den Simulationsläufen konnte mit der Erweiterung des W2V-Algorithmus um die V2G-Einspeiseplanung immer eine Verbesserung des Windstromanteils erreicht werden, solange die Tagesfahrleistung nicht so hoch konfiguriert wurde, dass faktisch keine günstigen Möglichkeiten zum Einspeisen mehr bestanden. Generell zeigte sich, dass das W2V2G-System bei abnehmender Tagesfahrleistung des Fahrzeuges den Windstromanteil effizienter ausnutzen konnte, was in der höheren Flexibilität für die Auswahl von Lade- und Entladevorgängen begründet liegt. Die Evaluation bei unterschiedlichen Netzbedingungen zeigte auf, dass eine Effizienzsteigerung nicht nur bei - aus ökologischer Sicht - optimalen Netzbedingungen möglich ist, sondern auch bei schwächeren Windquoten. Allerdings zeigten die Simulationsläufe wie erwartet auch auf, dass stark schwankende Windkurven geeigneter für die Erhöhung des Windstromanteils im Fahrzeug sind als tendenziell konstant verlaufende Zeitintervalle, gerade auch im Hinblick auf V2G.

4.1.4.4.2 Bereitstellung von Systemdienstleistungen

Technisch ist W2V2G heute für die Bereitstellung von Sekundär- und Tertiärregelleistung sowie mit Modifikationen auch für die Primärregelung geeignet. Für das Bestehen einer möglichen Präqualifikation zur Teilnahme am Regelenergiemarkt sind jedoch eini-

ge Voraussetzungen zu erfüllen. Die wesentlichsten Voraussetzungen sind dabei die Mindestangebotsgröße, die maximale Aktivierungsdauer sowie die maximale Reaktions- und Aktivierungszeit. Im aktuellen Eckpunktpapier der Bundesnetzagentur wird vorgeschlagen, die Mindestangebotsgröße bei Tertiärregelung von 15MW auf 5MW zu reduzieren.



Regelenergieart	Mindest-angebotsgröße	Aktivierungs-dauer	Reaktions-zeit	Aktivierungs-zeit	Eignung W2V2G
Primärregelung	+/- 1 MW (permanent)	< 15 min	sofort	< 30 sec	nur mit Modifikationen geeignet
Sekundärregelung	+/- 5 MW (Mo-Fr 8-20h, sonst)	< 4 h	-	< 5 min	geeignet
Tertiärregelung	+/- 5 MW (6 Zeitscheiben)	< 4 h	-	< 15 min	geeignet

Tabelle 15: Voraussetzungen für die Teilnahme am Regelenergiemarkt

Aufgrund der geforderten unverzüglichen Reaktion bei der Primärregelung ist ein gesonderter Ansatz nötig, bei dem die Aushandlung des Regelungsanteils jedes einzelnen Fahrzeuges permanent im Vorfeld erfolgt (siehe

Abbildung 53 links). Die Fahrzeuge müssen zudem über einen frequenzbasierten Laderegler verfügen, um im Regelungsfall sofort aktiv werden zu können. Die im Probebetrieb gemessene Aktivierungszeit des Ladereglers beim MINI E erfüllt mit weniger als zehn Sekunden den geforderten Wert von maximal 30 Sekunden.

Bei der Sekundär- und Tertiärregelung ist ein einfacherer Ansatz möglich, bei dem die Aushandlung des Regelungsanteils jedes Fahrzeuges erst nach Anforderung durch den Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) erfolgt (siehe

Abbildung 53 rechts). Die Leistungsbereitschaft eines Fahrzeuges ergibt sich entweder aus dem LLM- bzw. ÖLM-Signal abzüglich der aktuellen Ladeleistung oder dem Regelpuffer, der bis zum Ende der Umplanung von W2V2G ausreichen muss, ohne dass die Mobilität gefährdet wird. Der Regelungsanteil kann dann beispielsweise entsprechend prozentual dem Anteil der angeforderten Leistung an der Summe der verfügbaren Leistung berechnet werden (Dreisatz). Da es sich bei dieser Berechnung um einen linearen Aufwand handelt, kann bei heutiger Rechenleistung die Rechenzeit selbst bei großer Anzahl von Fahrzeugen vernachlässigt werden. Entscheidend ist demzufolge der Kommunikationsaufwand zwischen den Fahrzeugen und dem Poolbetreiber. Expertenschätzungen ergaben, dass 10 Sekunden für eine Übertragung von 100kByte über eine UMTS-Verbindung selbst bei ungünstigen Verhältnissen mehr als ausreichend sind. Im Freilandlabor wurden Werte zwischen 200 und mehr als 2000 Millisekunden gemessen. Somit liegen die zu erwartenden Reaktionszeiten inklusive der Reaktion des Laderegelers weit unter der geforderten Aktivierungszeit von 5 bzw. 15 Minuten.

Abbildung 53: Mögliche Ansätze für Primärregelung[17] (links) sowie Sekundär- und Tertiärregelung (rechts)

Wird während eines Regelungsfalles ein Fahrzeug abgesteckt oder ist die Batterie bereits voll bzw. der minimale Ladestand für die Gewährleistung der Mobilität erreicht, so muss der Poolbetreiber unverzüglich informiert werden, um den Leistungsanteil auf die anderen noch verfügbaren Fahrzeuge aufteilen zu können. Im Falle der Primärregelung ergibt sich aufgrund der notwendigen Exaktheit der Steuerung ein höherer Synchronisationsaufwand.

[17] Vgl. David Dallinger, Daniel Krampe, Martin Wietschel (2010)

Die geforderte maximale Aktivierungsdauer von 15 Minuten bei der Primärregelung bzw. 4 Stunden bei der Sekundär- und Tertiärregelung wird durch eine ausreichende Anzahl an Fahrzeugen dann erreicht, wenn innerhalb dieses Zeitraumes bei Ausschöpfung der verfügbaren Regelenergiemenge eines Fahrzeuges aufgrund dessen Batterieladestands immer genug andere Fahrzeuge einspringen können.

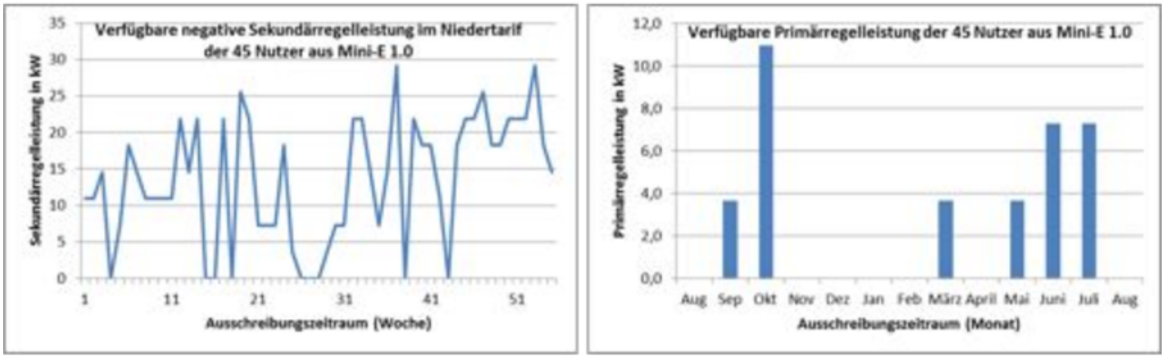


Abbildung 54: Einfluss Ansteckverhalten auf verfügbare Regelleistung

Für die Erfüllung der Mindestangebotsgröße wird ebenfalls eine große Anzahl an Fahrzeugen benötigt, da diese jeweils nur einen kleinen Teil der geforderten Leistung erbringen können. Die verfügbare Gesamtregelleistung hängt dabei entscheidend vom Ansteckverhalten jedes einzelnen Nutzers und vom Ladezustand der Fahrzeuge ab. Da die angebotene Leistung über den ganzen Angebotszeitraum verfügbar sein muss, ergibt sich rein rechnerisch die Mindestanzahl an teilnehmenden Fahrzeugen aus der minimalen verfügbaren Leistung aller Zeitpunkte innerhalb des Betrachtungszeitraumes. Gibt es beispielsweise Zeitpunkte zu denen kaum Fahrzeuge angeschlossen sind, so ist eine Teilnahme am Regelenergiemarkt nicht möglich (siehe Abbildung 54 am Beispiel der Nutzer aus MINI E Berlin 1.0 allerdings mit vier Stunden verlängerter Ansteckzeit und einem Aufladen nur bis 75% Batterieladestand). Die Primärregelung ist dabei am kritischsten zu sehen, da die angebotene Leistung in beide Richtungen und zu jeder Tageszeit verfügbar sein muss, d.h. beispielsweise auch während des Berufsverkehrs wenn viele Fahrzeuge unterwegs sind. Die niedrigste Anzahl an Fahrzeugen wird theoretisch benötigt, wenn immer alle Fahrzeuge angeschlossen sind bzw. sich optimal ergänzen. Es ist also zu beachten, dass aufgrund der nur bedingten Vorhersehbarkeit des Nutzerverhaltens die Bereitstellung einer angebotenen Regelleistung allein durch BEV nicht zu 100% garantiert werden kann. Mit steigender Anzahl an Fahrzeugen erhöht sich

jedoch die Wahrscheinlichkeit. Für die sichere Bereitstellung einer gewissen Regelleistung scheint daher die Kombination von BEVs mit einer Gasturbine oder Pumpspeicheranlage sinnvoll.

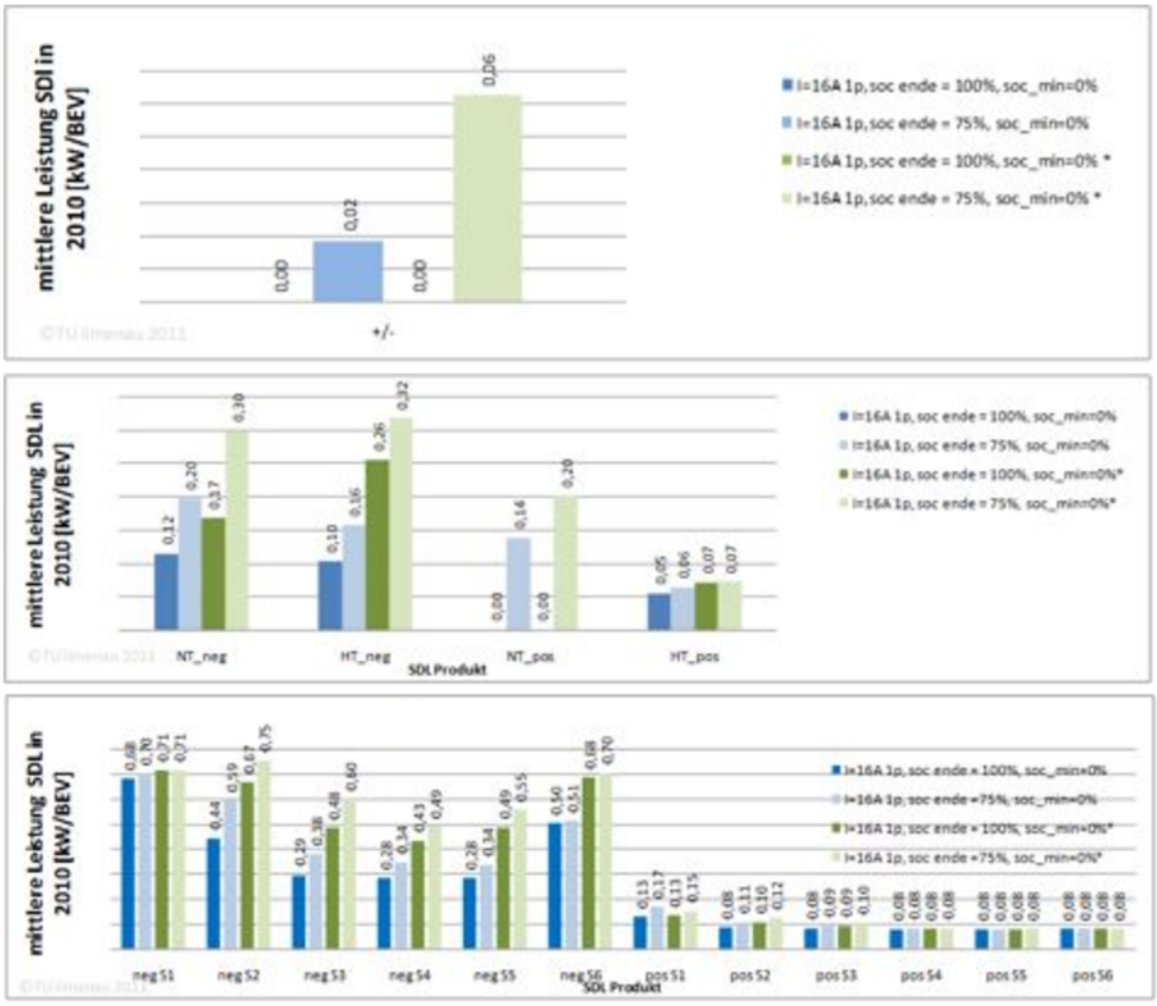


Abbildung 55: Erforderliche Fahrzeuganzahl für Systemdienstleistungen

Bei der Berechnung der verfügbaren Regelleistung und der daraus resultierenden Erlöse haben wir die im Probebetrieb MINI E Berlin 1.0 über ein Jahr gemessenen empirischen Daten der Nutzer zugrunde gelegt. Die darin enthaltene Streuung des Nutzerverhaltens ist für die Bewertung der Regelleistung unumgänglich, da sich andererseits fest definierte Typnutzer entgegen der Realität jeden Tag gleich verhalten würden. Bei MINI E Berlin 1.0 handelt es sich um Privatnutzer mit Heimlademöglichkeit bis 16 Ampere und einem durchschnittlichen Gleichzeitigkeitsfaktor der Ladung in den Nachtstunden von nur etwa 30%. Durch Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit des Gesteuerten Ladens und durch

Einsatz geeigneter Anreizmechanismen dürfte aber in Zukunft ein häufigeres und längeres Anstecken der Fahrzeuge und somit ein größerer Gleichzeitigkeitsfaktor zu erwarten sein, was wiederum zu einer etwas höheren verfügbaren Regelleistung führen wird.

- Hinsichtlich der verfügbaren Primärregelleistung eines Fahrzeuges aus dem MINI E Berlin 1.0-Probebetrieb ist zu erkennen, dass in diesem Fall eine Teilnahme an der Primärregelung nur möglich ist, wenn die Fahrzeuge zuvor nicht voll aufgeladen wurden, da sonst keine Regelenergie mehr aufgenommen werden kann. Hingegen beim Aufladen nur bis 75% ergibt sich im Schnitt über alle Ausschreibungszeiträume eine Primärregelleistung von knapp 0,02 kW pro Fahrzeug (siehe Abbildung 55 oben, hellblauer Balken). Um die Angebotsgröße von 1MW zu erreichen sind also durchschnittlich mindestens 50.000 Fahrzeuge notwendig. Würde sich jedoch die Ansteckzeit jedes Fahrzeuges um 4 Stunden pro Tag verlängern, so erhöht sich die verfügbare Leistung auf gut 0,06kW pro Fahrzeug (siehe hellgrüner Balken), wodurch im Schnitt rein theoretisch bereits etwa 16.700 Fahrzeuge ausreichend wären.
- Bei der Sekundärregelung wird zwischen Niedertarif (NT = 20-8 Uhr, Sa, So, Feiertag) und Hochtarif (HT = Mo-Fr 8-20 Uhr) sowie negativer und positiver Regelleistung unterschieden. Die höchste Regelleistung ergibt sich mit knapp 0,20 kW pro Fahrzeug bei negativer Leistung im Niedertarif bei Ladung nur bis 75% (siehe Abbildung 55 mittig, hellblauer Balken). Daraus ergibt sich eine minimale Anzahl von 25.000 Fahrzeugen um die geforderten 5 MW zu erreichen. Auch hier würde sich die notwendige Anzahl an Fahrzeugen durch eine längere Ansteckzeit deutlich verringern.
- Für die verfügbare Tertiärregelung wird neben negativer und positiver Regelleistung auch zwischen 6 Zeitscheiben a 4h unterschieden. Die höchste Regelleistung ergibt sich mit etwa 0,7kW pro Fahrzeug bei negativer Leistung in der Zeitspanne S1 (0-4 Uhr) unabhängig von der Höhe des Endladezustandes (siehe Abbildung 55 unten). Rein rechnerisch hätten hier bereits ca. 7.150 Fahrzeuge für die Erreichung der demnächst geforderten 5MW ausgereicht.

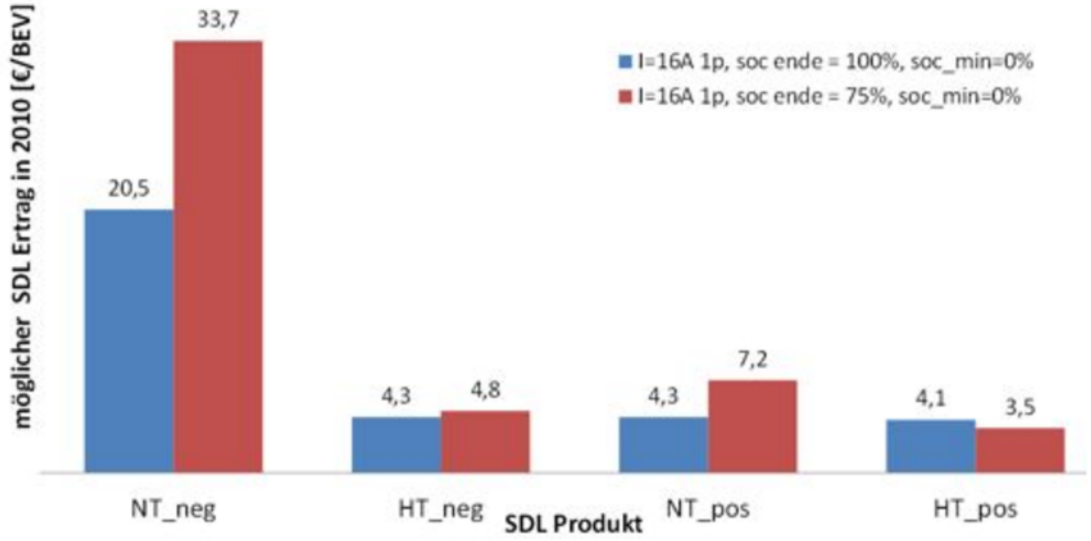


Abbildung 56: Möglicher Erlöse für Sekundärregelung am Beispiel der Nutzer aus dem Probebetrieb von MINI E Berlin 1.0

Rechnet man die Erlöse für die Teilnahme an der Sekundärregelung, die zu erzielen gewesen wären, auf ein einzelnes Fahrzeug um, so ergeben sich für den Fall eines Ladeanschlusses von 16A bei negativer Sekundärregelung im Niedertarif die höchsten Erlöse. Bei einem Laden nur bis 75% belaufen sich diese auf knapp 34€ pro Jahr und Fahrzeug (siehe Abbildung 56, roter Balken). Bei negativer Regelleistung werden die Erlöse bereits durch ladende Fahrzeuge erreicht, so dass eine Rückspeisefähigkeit die Erlöse nicht erhöht.

4.1.4.4.3 Wirtschaftlichkeit des Stromhandels mit BEV

Mit gesteuertem W2V2G können Erlöse aus der aktiven Teilnahme am Energiehandel erzielt werden (Arbitrage aus Strompreisschwankungen). Per Simulation konnte gezeigt werden, dass typische MINI E Berlin 1.0-Nutzer (Privatnutzer mit Heimlademöglichkeit) bereits mit preisgesteuertem Laden einen Erlösvorteil je nach Ladeleistung zwischen 15 und 18 € pro Jahr und Fahrzeug gegenüber ungesteuerter Ladung erhalten (siehe Abbildung 57, blaue und rote Balken). Eine längere Ansteckzeit von durchschnittlich 4 Stunden pro Tag erhöhen den Erlös auf 16 bis 20 € pro Jahr und Fahrzeug (siehe grüne und lila Balken). Rückspeisefähigkeit erhöht zwar den Erlös im Szenario 2020, bedingt aber einen zusätzlichen Batterieverschleiß.

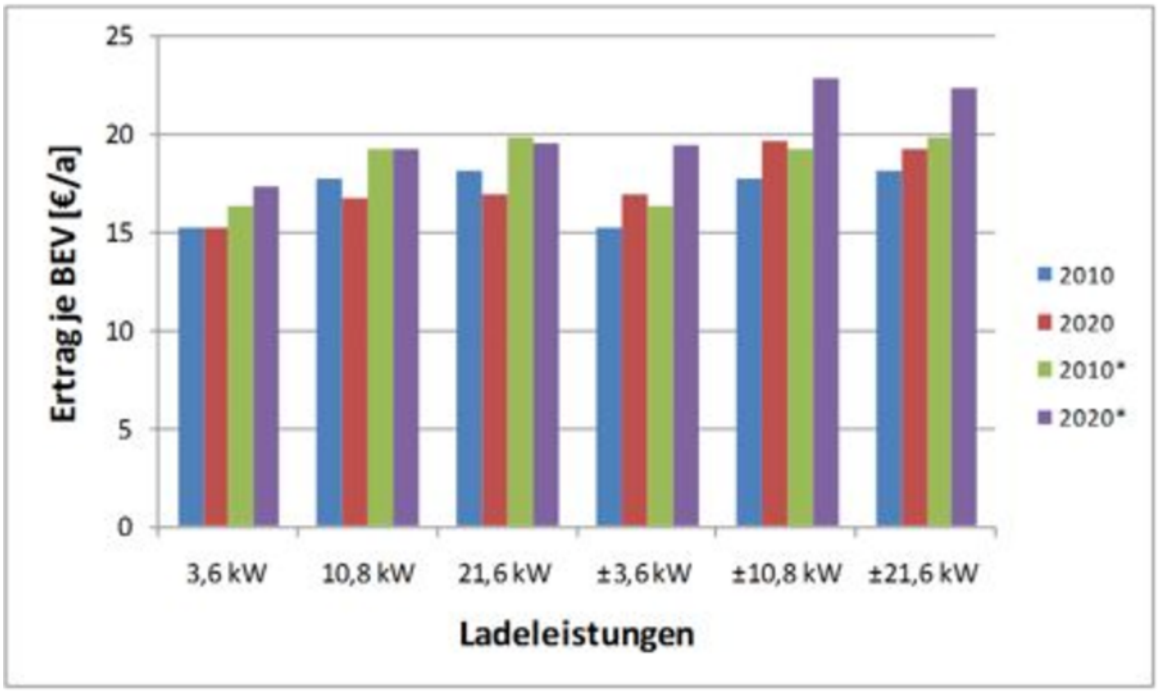


Abbildung 57: Mögliche Erlöse aus der aktiven Teilnahme am Energiehandel bei gesteuertem W2V2G (Arbitrage aus Strompreisschwankungen)

Die zusätzlichen Entladevorgänge durch Rückspeisung ins Netz bewirken eine schnellere Alterung der Batterie. Abbildung 58 zeigt die Worst-Case-Betrachtung eines Alterungsmodells, bei dem von einem Heißlandprofil, einem verschleißbedingten Ausfall bei unter 80% Restkapazität, einer Batteriegröße von 20 kWh und einer Jahresfahrleistung von 12.000 km ausgegangen wird. In diesem Fall reduziert sich die Lebensdauer der Batterie bei einer Rückspeisung von 1 kWh pro Tag von ca. 9,5 auf etwa 8,5 Jahre. Bei einer Rückspeisung von 5 kWh pro Tag reduziert sich die Lebensdauer sogar auf etwas über 6 Jahre, was einem Fahrzeugnutzer wohl kaum zumutbar ist, es sei denn ein Großteil der Verschleißkosten lassen sich durch entsprechende Erlöse abdecken.

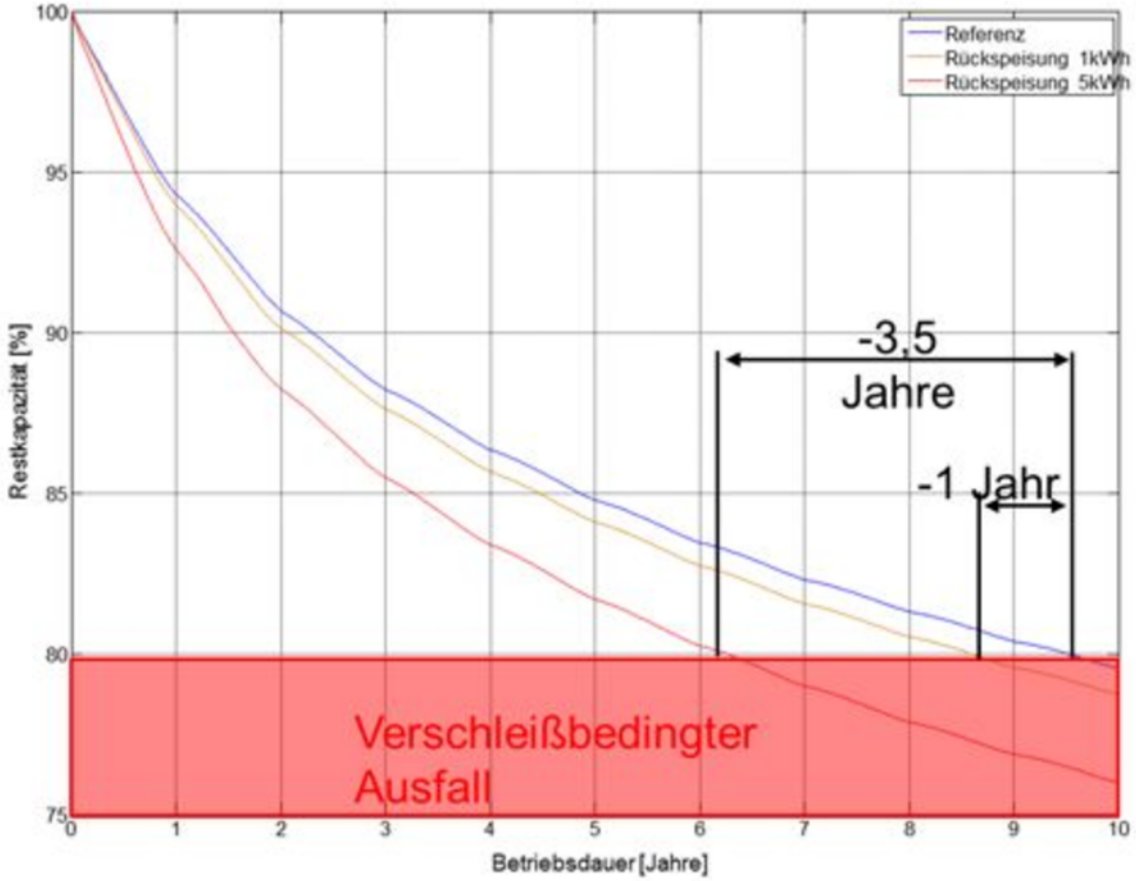


Abbildung 58: Einfluss der Rückspeisung auf die Lebensdauer der Fahrzeugbatterie

Der Vergleich eines virtuellen Energiespeichers aus E-Fahrzeugen mit alternativen Speichertechnologien anhand charakteristischer Parameter (vgl. Tabelle 16) zeigt, dass unter den gegebenen Annahmen und zur Verfügung stehenden Daten die energetische und wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit erreichbar erscheint.

	Virtueller Speicher aus E-Fzg. mit V2G-Funktion	Pumpspeicher-kraftwerk	Druckluftspeicher-kraftwerk	Wasserstoff BHKW
Gesamtwirkungsgrad in (%)	87%	80%	45%	50%
Investitionskosten (€/KWh) (Best Case)	18	71	50	667
Investitionskosten (€/KWh) (Worst Case)	51			
Zeit der Entladung bei üblicher Baugröße (h)	6,5	8,0	2,0	32,1
Max. Leistung (MW)	321,9	1060	321	0,7
Max. Arbeit pro volle Ladung (MWh)	1440	8500	642	25
Betriebs- und Wartungskosten (€/MWh)	15,00	15,00	55,00	35,00
Ertrag / MWh (€/MWh)	67	60	25	22,5
Ausbaupotentiale	Sehr hoch (Ziel der Bundesregierung: 1 Mio. E-Fahrzeuge bis 2020)	Gering (aufgrund geologischer Rahmenbedingungen)	Gering (aufgrund geologischer Rahmenbedingungen)	Sehr groß, da viele Windkraftanlagen in DE vorhanden. Ressourcenunabhängig.
Lebensdauer	ca. 2000 Zyklen	> 50 a	25.000 h (für Turbine: Pilotanlage seit 1976)	BHKW 80.000h
Ruheverluste	tbd.	0-0,5 %/d (Quelle C)	0-10%/d (Quelle C)	0-1%/d (Quelle C)
Ansprechzeit (% Ausgangsleistung)	< 10 sec.	100s → 100%	3 min → 50%	Wenige Minuten da es sich um einen Verbrennungsmotor handelt.

Tabelle 16: Vergleich von V2G gegenüber anderen Speichertechnologien

In diesem Vergleich wurden keine Kosten auf Grund von zusätzlichem Batterieverschleiß berücksichtigt. Unter der Annahme, dass pro Tag weniger als 1 KWh zusätzlicher Energiedurchsatz auf Grund einer V2G-Funktion die Batterie belastet, wird diese Größe hier vernachlässigt. Die Eingangsprämissen für die Berechnungen (siehe Tabelle 17 bis Tabelle 20) stammen aus folgenden Quellen.

- A: Vortrag im Rahmen des Seminars Zukunftsenergien an der FH Aachen, Verfasser: Sebastian Müller, Christian Nacken und Daniel Prümper
- B: http://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherwerk_Goldisthal
- C: Abgleich des Elektrizitätsangebots aus erneuerbaren Energien und der Nachfrage , VDI
- D: Energiespeicher und Elektromobilität, Tobias Steinle
- E: http://de.wikipedia.org/wiki/Druckluftspeicherkraftwerk
- F: Bine Informationsdienst, Projektinfo 05/07
- G:http://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/sonstiges/Greenpeace_Energy_Gutachten_Windgas_Fraunhofer_Sterner.pdf
- H:https://www.enertrag.com/download/prospekt/hybridkraftwerk_kurzinfo_090417.pdf
- I: https://www.kwh-Preis.de
- J: https:// www.Energielandschaft.de

Darüber hinaus wurden Annahmen auf Basis von Experten getroffen.

Eingangsprämissen E-Fahrzeuge	Best Case	Worst Case	Einheit	Quelle
Fahrzeuge in 2021	100.000	100.000	Stück	BMW Group
Wirkungsgrad (einfach)	87	87	(%)	BMW Group
Maximale Ladeleistung / Fahrzeug	3,7	3,7	(KW)	BMW ActiveE
Speicherkapazität pro Fahrzeug	20	20	(KWh)	BMW ActiveE
Betriebs- und Wartungskosten	15,00	15,00	(€/MWh)	Annahme
Einkaufspreis	10,00	10,00	(€/MWh)	A
Verkaufspreis	90,00	90,00	(€/MWh)	A
Kosten PLC	20,00	20,00	(€)	BMW Group
Bidirektionales Ladegerät	120,00	120,00	(€)	BMW Group
Zusätzl. Maßn. Bordnetz (n. spez.)	80,00	500,00	(€)	BMW Group
Zeit der Entladung bei übl.Baugröße	6,50	6,50	(h)	BMW Group
Anteil beteiligter Kunden	90%	90%	(%)	Annahme
Anteil daraus verfügbarer Fahrzeuge	80%	80%	(%)	Annahme

Tabelle 17: Eingangsprämissen für Elektrofahrzeuge

Eingangsprämissen Pumpspeicherkraftwerk	Wert	Einheit	Quelle
Gesamtinvestitionen	6E+08	(€)	A
Systemwirkungsgrad	80	(%)	A
Maximale Leistung des Kraftwerks	1.060	(MW)	B
Speicherkapazität	8.500	(MWh)	A
Betriebs- und Wartungskosten	15,00	(€/MWh)	F
Einkaufspreis	10,00	(€/MWh)	A
Verkaufspreis	90,00	(€/MWh)	A

Tabelle 18: Eingangsprämissen für Pumpspeicherkraftwerk (am Beispiel Anlage Goldisthal)

Eingangsprämissen Druckluftspeicherkraftwerk	Wert	Einheit	Quelle
Investitionskosten / KWh	50	(€/KWh)	H
Systemwirkungsgrad	45	(%)	A
Maximale Leistung des Kraftwerks	321	(MW)	A
Betriebs- und Wartungskosten	15,00	(€/MWh)	A
Einkaufspreis	10,00	(€/MWh)	A
Verkaufspreis	90,00	(€/MWh)	A
Gasverbrauch	40,00	(€/MWh)	I
Zeit der Entladung bei üblicher Baugröße	2,00	(h)	A

Tabelle 19: Eingangsprämissen für Druckluftspeicherkraftwerk (am Beispiel des Hybridkraftwerks der Enertrag)

Eingangsprämissen Wasserstoffspeicher	Wert	Einheit	Quelle
Gesamtinvestitionen (Anlage)	21.000.000	(€)	H
Gesamtinvestitionen (Windräder)	6.000.000	(€)	I
Systemwirkungsgrad	50	(%)	Annahme
Leistung	0,70	(MW)	H
Betriebs- und Wartungskosten	15,00	(€/MWh)	F
Einkaufspreis	10,00	(€/MWh)	A
Verkaufspreis	90,00	(€/MWh)	A
Gasverbrauch	20,00	(€/MWh)	I
Tankinhalt	1.350	(kg)	H
Brennwert H2	33,33	(kWh/kg)	H

Tabelle 20: Eingangsprämissen für Wasserstoffspeicher

4.1.4.4.4 W2V2G Planungsalgorithmen

Die Grundlage des W2V2G-Systems ist ein ladevorgangsübergreifender Planungsansatz, bei dem über den Zeitraum der verfügbaren, prognostizierten Windanteilskurven, also den Zielkurven, nach idealen Intervallen für W2V- bzw. V2G-Vorgänge gesucht wird. Damit diese Intervalle nicht im Konflikt zu den Nutzerinteressen stehen, wurde eine Nutzerverhaltensprognose auf Basis eines Terminkalenders entwickelt, aus der sich wichtige Eingangsgrößen für das System ergeben. So werden aus den Terminen ortsabhängige Standzeiten abgeleitet, die eine Berechnung der zu erwartenden Mobilität und damit des Energieverlaufes der Fahrzeugbatterie ermöglichen (Mobilitätsplanung).

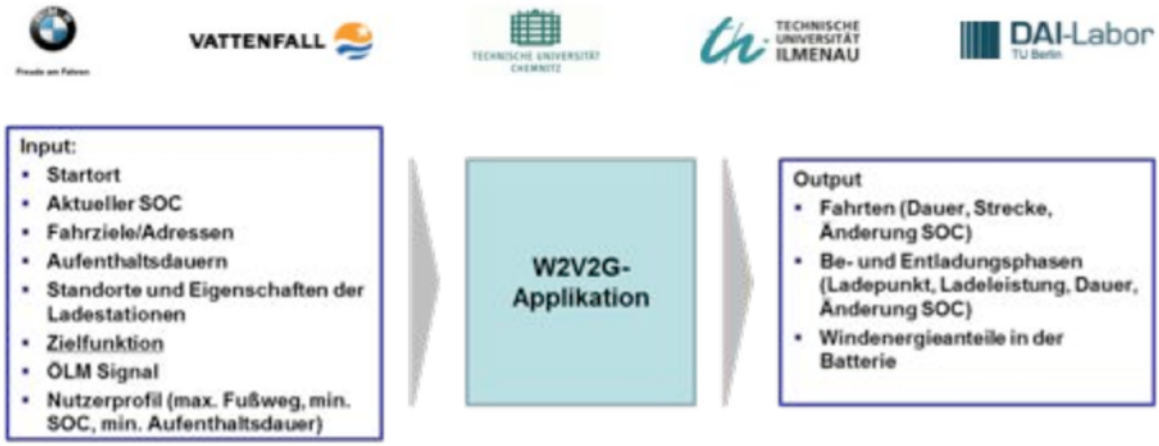


Abbildung 59: Eingangs- und Ausgangsgrößen der W2V2G-Applikation zur Simulation des Lade- und Entladeverhaltens der Fahrzeuge

Darüber hinaus greift die W2V2G-Applikation auf weitere Informationen zurück, um eine Planung durchzuführen (siehe Abbildung 59). So muss das System sowohl Kenntnis über den aktuellen Standort und Ladezustand (SOC) des Fahrzeuges besitzen, um einen Ausgangspunkt für die Berechnung zu haben, als auch Zugriff auf die Ladeinfrastruktur mit den notwendigen Details in der entsprechenden Region. Darüber hinaus gibt es nutzer- bzw. netzbezogene Parameter, die als Rahmenbedingungen für das W2V2G-System zu interpretieren sind. So ist der Nutzer in der Lage mit Hilfe verschiedener Parameter das Planungsverhalten in seinem Sinne zu beeinflussen. Zu diesem Nutzerprofil gehört der maximale Fußweg von der Ladestation zum Terminort, der garantierte Mindest-SoC in der Fahrzeugbatterie und die minimale Aufenthaltsdauer am Arbeitsplatz zwischen zwei Terminen (bei Verletzung berechnet die Mobilitätsplanung eine Direktfahrt von dem ersten Termin zu dem darauf folgenden). Von der Netzseite wird dem W2V2G-System das ÖLM-Signal angeboten, was einer Restriktion hinsichtlich der Lade- bzw. Einspeiseintensität entspricht und damit den Spielraum des Systems bei steigender Last senkt. Darüber hinaus bietet die Netzsimulation eine Prioritätenfunktion an, die den zu erwartenden Windanteil im Netz zeitabhängig widerspiegelt. Diese Funktion dient dem W2V2G-System als Zielfunktion, auf dem dieses seine Entscheidungen für Lade- und Einspeiseintervalle optimiert.

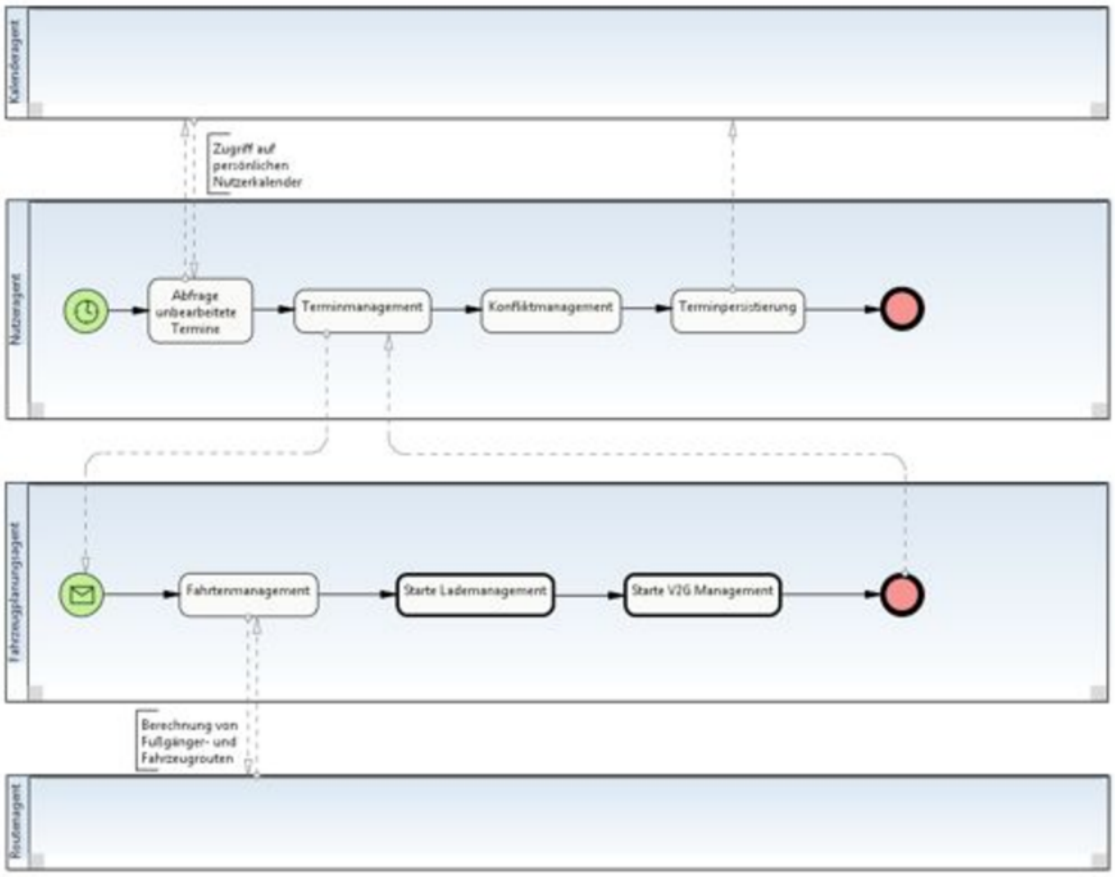


Abbildung 60: Das W2V2G-System berücksichtigt bei der Ladeplanung die Nutzervorgaben und integriert die Planung in den Tagesablauf des Nutzers

Das W2V2G-System verfolgt somit einen restriktions-basierten Ansatz, bei dem auf Grundlage von nutzer-, fahrzeug- bzw. netzseitigen Einschränkungen der Wertebereich für die zwischenzeitliche Lösungsmenge minimiert wird. Aus dieser resultierenden Menge wird daraufhin eine Optimierung mit Hilfe der Zielfunktion durchgeführt, was schließlich zu der evaluierten Mobilitäts- und Ladeplanung führt.

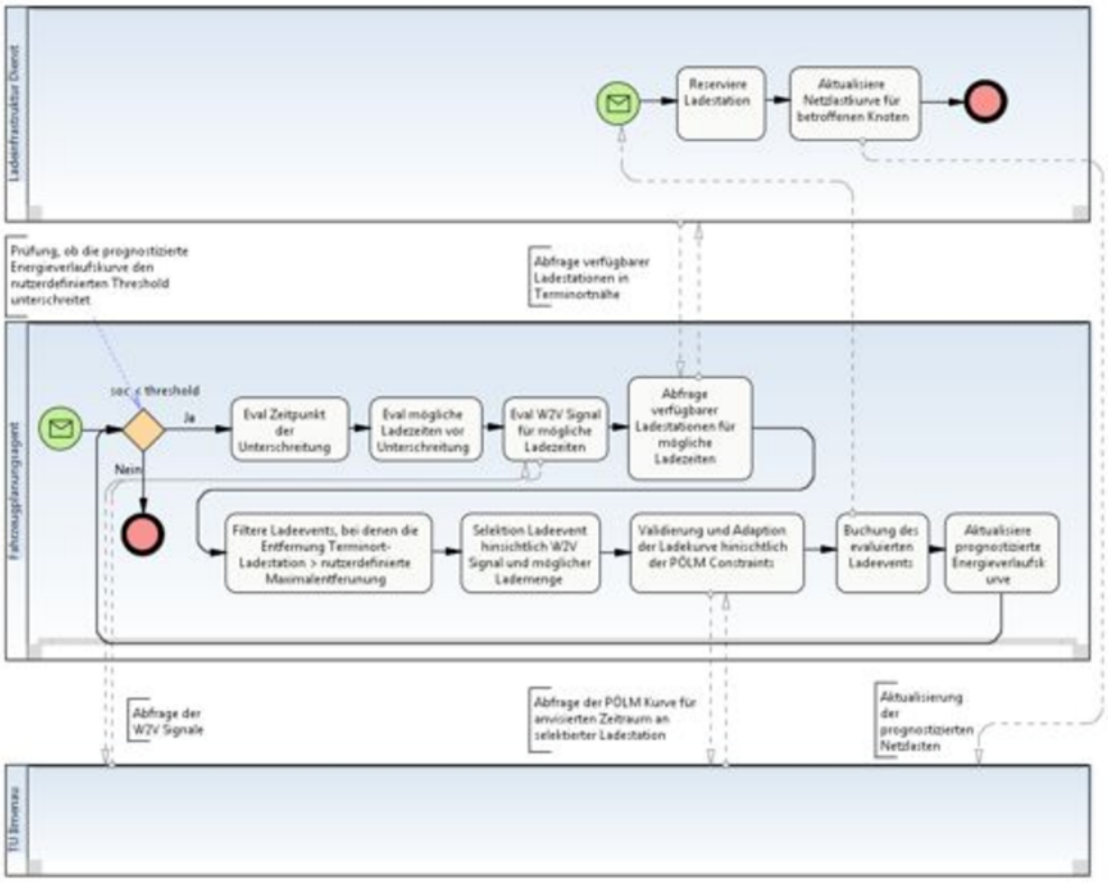


Abbildung 61: Der W2V Algorithmus stellt die Mobilitätsgarantie auf Grundlage der Nutzervorgaben sicher und optimiert diese hinsichtlich der netzseitigen Zielfunktion

Der Planungsablauf selbst (siehe Abbildung 60) lässt sich im Groben wie folgt beschreiben: aus dem vom Nutzer verwalteten Kalender werden dessen Termine und die dazugehörigen Terminorte abgefragt. Auf dieser Grundlage wird ein Fahrtenmanagement vom Fahrzeugplanungs-Agenten durchgeführt, welches in einer Menge von prognostizierten Fahrten resultiert. Diese und der aktuelle SoC innerhalb des Fahrzeuges wiederum erlauben es dem System eine erste Energieverlaufskurve der Fahrzeugbatterie für den betrachteten Zeitraum zu erstellen. In diesem Punkt setzt das Lademanagement (siehe Abbildung 61) ein, das zunächst prüft, ob eine prinzipielle Notwendigkeit zur Aufladung aus Mobilitätsanforderungen besteht. Ist dem so, wird nach Ladestationen in der Nähe gesucht und hinsichtlich der Nutzervorgaben (Distanzrestriktion zwischen Ladestation und Terminort) gefiltert. Darüber hinaus werden nur Zeitintervalle in Betracht gezogen, die die prognostizierte Verletzung der Mobilitätsanforderung aufheben können. Die

abschließende Auswahl der Ladeintervalle erfolgt auf Grundlage der Prioritätenfunktion unter Berücksichtigung des ÖLM Signals.

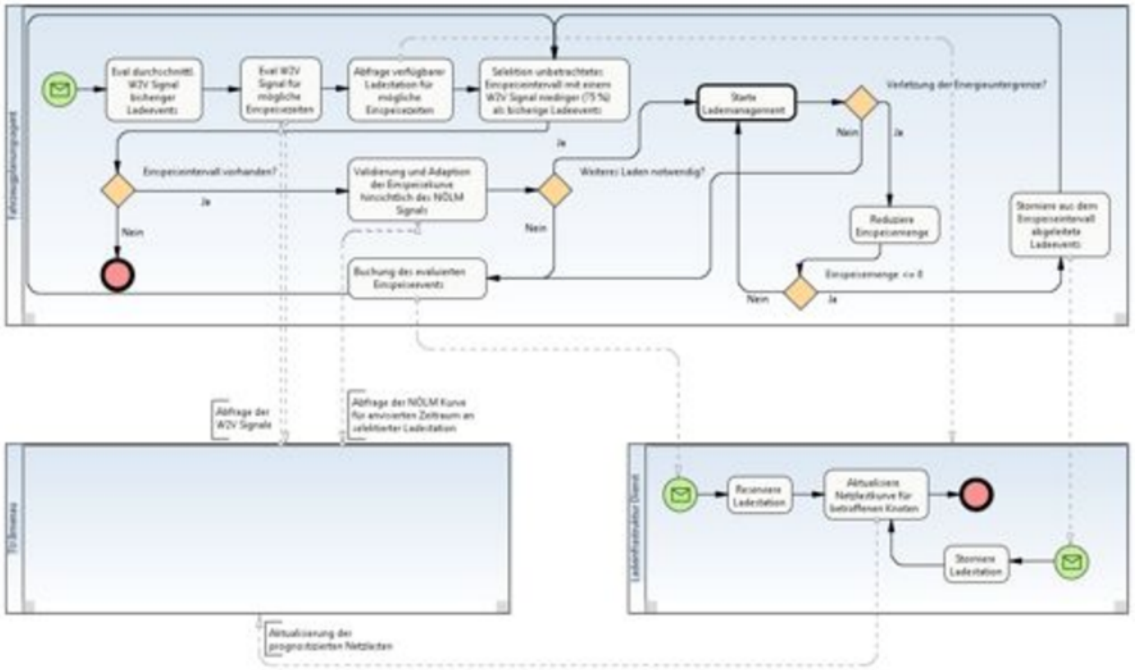


Abbildung 62: Der V2G Algorithmus verbessert die Energiebilanz eines Fahrzeuges durch Einplanung von Rückspeiseintervallen

Darauf aufbauend wird das V2G Management (siehe Abbildung 62) aktiviert, das nun nach noch nicht reservierten Zeitintervallen filtert, die eine Standzeit an einer Ladestation erlauben und deren Prioritätenwert maximal 75 % des durchschnittlichen Wertes der bereits gebuchten Aufladevorgänge entspricht. Diese werden dann intern temporär eingeplant und das W2V Management wird erneut aufgerufen, um eventuell aus der Rückspeiseplanung entstandene Mobilitätsverletzungen wiederum aufzuheben. Kann durch das W2V Management keine Kompensation erreicht werden, wird das potentielle Rückspeiseintervall verworfen. In der Folge wird wiederum geprüft, ob der hypothetisch selektierte Rückspeiseevent sich immer noch im Verhältnis zu den Ladevorgängen in Bezug auf die Prioritätenfunktion rechnet. Ist dem so, wird der Rückspeisevorgang gebucht, andernfalls nicht.

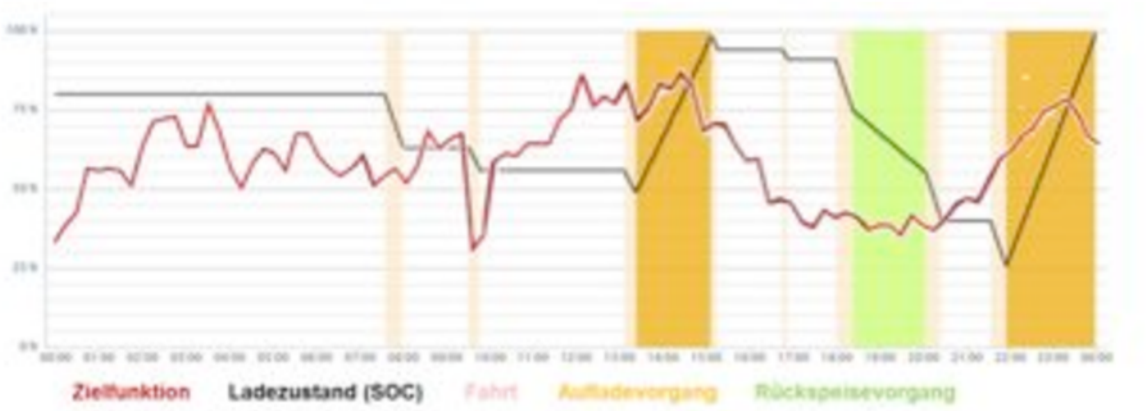


Abbildung 63: Planungsergebnis am Beispiel einer gegebenen Zielfunktion

Abbildung 63 zeigt das Ergebnis einer Planung durch das W2V2G-System auf. Die dargestellten Balken sind vom System geplante Ereignisse: Fahrten, Lade- und Rückspeisevorgänge. Die schwarze Kurve stellt den zu erwartenden Energieverlauf der Fahrzeugbatterie dar, während die rote Kurve den prognostizierten Windanteil widerspiegelt und somit als Zielfunktion des Systems dient. Der erste, eingeplante Ladevorgang wurde aufgrund der Mobilitätsanforderung des Nutzers berechnet, da die Energieverlaufskurve andernfalls drei Fahrten später unterhalb des vom Nutzer definierten Mindestladestands von 20 % gelegen hätte. Gleichzeitig wurde der Ladeevent für ein Intervall eingeplant, in dem die Zielfunktion sich – zumindest für den prognostizierten Bereich – auf einem hohen Niveau bewegt. Der einzige Rückspeiseevent in diesem Beispiel liegt entsprechend dem oben beschriebenen V2G Algorithmus in einem Intervall mit niedrigen Zielfunktionswerten, und die abgegebene Energiemenge wird in der Nacht durch einen Aufladevorgang kompensiert. Betrachtet man noch einmal die Zielfunktionswerte in den Auflade- bzw. Rückspeiseintervallen, so wird deutlich, dass das W2V2G-System in der Lage ist, den Windstromanteil im Fahrzeug zu steigern.

4.1.4.4.5 Verteiltes dezentrales W2V2G Softwaresystem

Das W2V2G-System wurde als agentenbasiertes, verteiltes Softwaresystem entwickelt, bei dem darauf geachtet wurde dieses möglichst modular zu strukturieren und dabei dem Agentenparadigma auf Grundlage des Agentenframeworks JIAC V[18] zu folgen. Ei-

18 Java Intelligent Agent Componentware V (JIAC V): www.jiac.de

ne verteilte Softwarearchitektur mit einem dienst-orientierten Ansatz bietet eine Reihe von Vorteilen gegenüber einem zentralen Backend-System, die im Folgenden beschrieben werden, wobei auch auf die Schwierigkeiten dieses Ansatzes hingewiesen wird.

Die Verteilung der Softwarekomponenten auf unterschiedliche Hardwareentitäten bietet zwei entscheidende Vorteile. So kann zum einen - für den Fall dass Teilsysteme abstürzen - durch die redundante Platzierung wichtiger Dienste (z.B. Routendienst) eine Ausfallsicherheit des gesamten Systems gewährleistet und somit so genannte Flaschenhälse vermieden werden. Zum anderen bietet die Platzierung von Diensten in Hardwarekomponenten, denen sie auch logisch zuzuordnen sind, den Vorteil, dass auch bei Kommunikationsproblemen die lokale Funktionalität (eingeschränkt) umgesetzt werden kann (Offline-Fähigkeit). So kann das W2V2G-System beispielsweise Lade- und Entladepläne auch ohne Kommunikationsmöglichkeit zum Backend von der fahrzeugseitig installierten Steuerungskomponente umsetzen lassen, so lange es diese einmalig empfangen hat. Auf Veränderungen in der Backend Planung kann die Steuerungskomponente während der Ausfallszeit der Kommunikation dann natürlich nicht eingehen. Darüber hinaus bietet der dienste-orientierte Ansatz die Möglichkeit Komponenten dynamisch in das laufende System zu integrieren und diese (durch die klare Definition von Eingabe- und Ausgabeparametern) in einem anderen Kontext wiederzuverwenden. Die Platzierung der Funktionalitäten in die Hardware der jeweiligen Entitäten (Fahrzeug, Nutzer, Netzbetreiber) erhöht den Grad der Privatsphäre, da jede Komponente nur die Informationen nach außen preis gibt, die zwingend notwendig sind. Ein weiterer Vorteil der Verteilung liegt in der Erhöhung an nebenläufiger Rechenleistung was jedoch wiederum gegen den erhöhten Kommunikationsaufwand aufgewogen werden muss. Gleichzeitig stellt der Kommunikationsbedarf im Falle eines Ausfalles einen Nachteil dar, dem jedoch durch Redundanz hinsichtlich der Kommunikationswege (LAN, WLAN, UMTS, PLC) entgegengewirkt werden kann. Als aufwendig in der Erstellung von verteilten Systemen stellt sich die Testphase dar, was in der zumeist höheren Komplexität der Software begründet liegt. Die hohe Flexibilität, die sich aus einem verteilten System ergeben, hebt die genannten Nachteile nach unserem Verständnis auf.

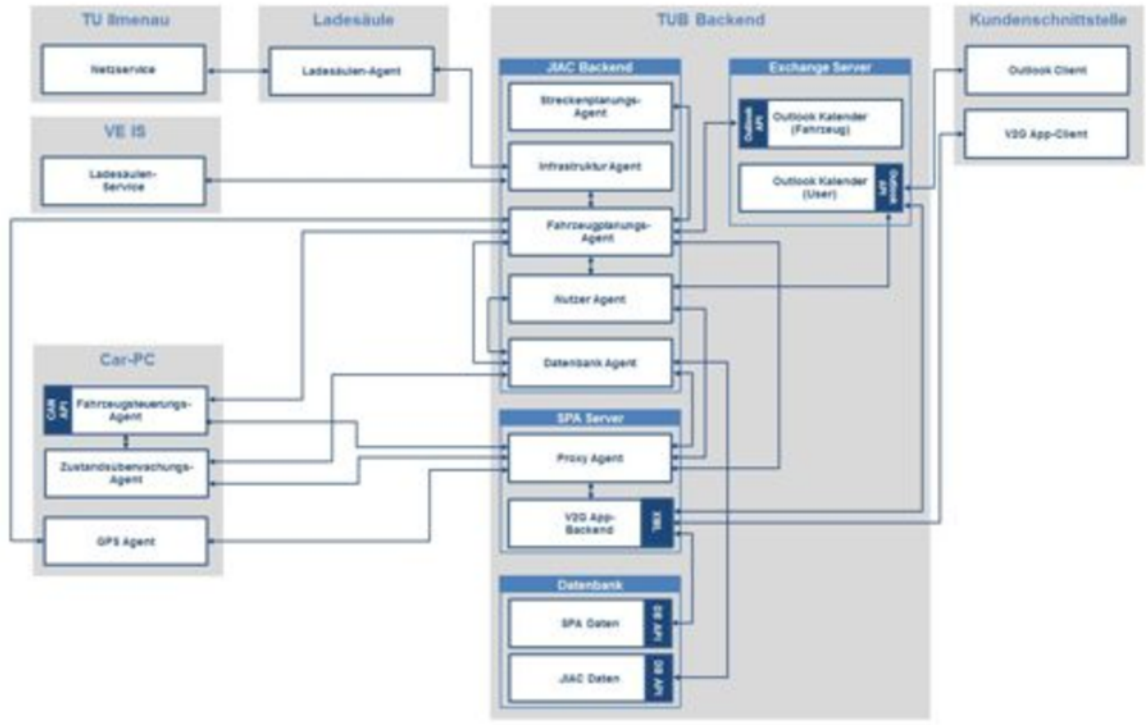


Abbildung 64: Architektur des verteilten W2V2G-Softwaresystems im Detail

Abbildung 64 zeigt die Architektur des W2V2G-Systems auf. Die Software des Systems wurde auf mehrere Hardwaregeräte im Fahrzeug, im Backend, in der Ladestation und auf dem Smartphone des Nutzers verteilt. Die zentralen Algorithmen zur Berechnung der Lade- und Rückspeisevorgänge wurden im Backend in der *Fahrzeugplanungs-Agent* Komponente umgesetzt. Um diese zentralen W2V2G Algorithmen wurden weitere Komponenten entwickelt, die zur Bereitstellung relevanter Eingabeparameter notwendig sind bzw. die Weiterverarbeitung der Ausgabeparameter ermöglichen. Im Folgenden werden diese mit Erläuterungen für die Relevanz im Rahmen des W2V2G-Systems aufgeführt:

- Nutzerverhalten: das Nutzerverhalten wird durch mehrere Komponenten repräsentiert bzw. abgeleitet. So wurde ein Kalenderdienst (*Outlook API)* für die Aufstellung des prognostizierten Nutzerverhaltens entwickelt, der den automatisierten Zugriff auf Microsoft Exchange Kalender ermöglicht. Die Umsetzung erfolgte mittels Web Services und bietet die Möglichkeit zur Abfrage von Terminen inklusive Dauer und Ortsspezifikation an sowie die persistente Speicherung evaluierter Fahrten und Ladeevents. Darüber hinaus wurde ein *V2G APP-Client* entwickelt, der die Nutzerschnittstelle zum System darstellt und in 7.4.5 näher erläutert

wird. Die Verwaltung und Einbindung der Nutzerpräferenzen, der Termine, sowie der berechneten Pläne erfolgt in der *Nutzer-Agent* Komponente. Diese hat direkten Zugriff auf die *Fahrzeugplanungs-Agent* Komponente und ist in der Lage die Planung anzustoßen.

- Fahrzeugverhalten: die eigentliche Planung des Fahrzeuges hinsichtlich der Lade- und Entladevorgänge liegt wie erwähnt im Backend in der *Fahrzeugplanungs-Agent* Komponente. Diese wurde explizit nicht im Fahrzeug selbst implementiert, da sie einen hohen Kommunikationsaufwand aufweist und somit im Backend bei zuverlässiger Verbindung effizienter erschien. Die Zustandsdaten des Fahrzeuges werden von zwei Komponenten abgefragt, dem *GPS Agent* und dem *Fahrzeugsteuerungs-Agent*. Ersterer liefert dem Namen entsprechend die aktuellen GPS Koordinaten des Fahrzeuges, während letzterer die CAN-Bus Daten (SoC, Ladestrom, Fahrzeugzustand) wiedergibt. Die eigentliche Umsetzung der Fahrzeugpläne wird von der *Zustandsüberwachungs-Agent* Komponente durchgeführt. Diese fragt in regelmäßigen Intervallen das Backend nach den aktuellen Vorgaben ab, und setzt diese dann um. Innerhalb dieser Komponente wird ebenfalls sichergestellt, dass sich das Fahrzeug auch an einer Ladestation befindet, die die Vorgaben des Systems hinsichtlich des Ladestroms umsetzen kann. Somit kann garantiert werden, dass nur an V2G-fähigen Ladestationen Rückspeisevorgänge angestoßen werden. Weitere Details zu den fahrzeugseitigen Algorithmen finden sich in 7.4.6 wieder.
- Ladeinfrastruktur: Um die Planung von Ladezeiten im realen Betrieb zu ermöglichen, bedurfte es der Information über aktuelle Ladestationen im Berliner Stadtgebiet. Diese wurden von Vattenfall mittels eines Webservices bereitgestellt (*Ladesäulen-Service*) und von uns im Rahmen der *Infrastruktur-Agent* Komponente eingebunden. Darüber hinaus wurde für die an der TU Berlin installierten Ladestationen ein Buchungssystem entwickelt, das deren exklusive Reservierung für Zeitintervalle ermöglichte. Dies und die Suche nach einfachen Parkplätzen in der Nähe von Terminorten wurden ebenfalls im *Infrastruktur-Agent* umgesetzt.
- Netzbetreiber: Zentraler Bestandteil für die W2V2G Planungsalgorithmen ist die Berücksichtigung der netzseitigen Prioritätenfunktion, die vom System als Zielfunktion interpretiert wird. Darüber hinaus bedurfte es der Einbindung der ÖLM Restriktionen (netzseitige Beschränkung hinsichtlich der Lademengen). Diese In-

formationen werden von der TU Ilmenau berechnet und mittels eines Webdienstes bereitgestellt (*Netzservice*). Die Einbindung dessen wurde konzeptionell für die *Ladesäulen-Agent* Komponente vorgesehen, die die relevanten Daten abfragen und übermitteln soll. Da die ÖLM Restriktionen allerdings ausschließlich im simulierten Betrieb (aufgrund von fehlenden ÖLM Informationen für die realen V2G Ladestationen) beachtet wurden und da die Zielfunktion im Rahmen des Projektes global ausgelegt war, erfolgte zunächst eine direkte Einbindung des *Netzservices* durch die *Infrastruktur-Agent* Komponente.

- Sonstiges: Damit sich das W2V2G-System im alltäglichen Gebrauch als einsatzfähig darstellt, bedurfte es der Möglichkeit, Nutzerpräferenzen und evaluierte Lade- und Entladepläne persistent zu speichern. Es wurde daher ein Datenbankdienst (*Databank-Agent)* entwickelt, der die Sicherung dieser ermöglicht. Darüber hinaus wurde eine Routenplanungskomponente (*Streckenplanungs-Agent*) umgesetzt, die aufbauend auf OpenStreeMap[19] Karten schnellste und kürzeste Routen berechnet.

4.1.4.4.6 V2G Ladeassistent

Der V2G-Ladeassistent bietet dem Nutzer den Zugang zum entwickelten W2V2G-System in Form von graphischen Nutzerschnittstellen. Diese sind über das Smart Phone des Nutzers mobil verfügbar und können so unterwegs problemlos genutzt werden um den Nutzer zu unterstützen. Der V2G-Ladeassistent erlaubt dem Nutzer mit dem W2V2G-System zu interagieren, um seine Vorgaben mitteilen und Empfehlungen für das Laden bzw. Rückspeisen abrufen zu können. Die Applikation basiert dabei auf dem SPA-Framework[20]. Das SPA-Framework erlaubt die Entwicklung von Diensten, welche dann automatisch auf verschiedenen Plattformen verfügbar sind, ohne Mehraufwand. Für das Projekt waren die mobilen Plattformen iOS (iPhone) und Android von besonderer Bedeutung.

19 OpenStreetMap: http://www.openstreetmap.org/

20 Smart Personal Assistant: http://smartassistantsolutions.de

Abbildung 65: Unterschiedliche Aspekte des V2G-Ladeassistenten: von links nach rechts: Home Screen, Kalender mit Tagesplan, Einstellungen, Fahrzeugdetails und -Einstellungen, Ladehistorie und Ladestationssuche

Die Integration der einzelnen Funktionen erfolgte, dem Interaktionsparadigma des SPA-Frameworks gemäß, in Form von kleineren Teilapplikationen, welche eine Modulare Entwicklung und Nutzung der einzelnen Funktionalitäten erlauben und dem Nutzer einen einfachen Überblick verschaffen sollen. Die Funktionalitäten werden dem Nutzer in Form eines Home-Screens, zu welchem er jederzeit navigieren kann, angeboten (Abbildung 65, links).

Da es regelmäßig notwendig ist Informationen zwischen den Funktionen zu überführen (z.B. Anzeige von Ladestationen oder Kalender-Events in der Karte) ermöglicht das Framework eine informationsbasierte Verschränkung dieser Informationen, welche automatisch auf Grund von semantischen Beschreibungen der Daten und Funktionen berechnet wird. Dieses Konzept heißt Service Interconnection.

Für den V2G-Ladeassistenten wurden Nutzerschnittstellen für folgende Applikationen erstellt und mit der Hintergrundfunktionalität verknüpft:

- Nutzereinstellungen: Innerhalb seines Nutzerprofils (Abbildung 65, 3. von Links) hat der Nutzer die Möglichkeit die V2G Ladeplanung durch seine Einstellungen

zu beeinflussen. Hierfür hat er die Möglichkeit, neben allgemeinen Einstellungen wie seiner Heimatadresse und E-Mail-Adresse, Spezielle Einstellungen für den Kalenderdienst einzugeben, welche die Ladeplanung beeinflussen. Der Nutzer kann einstellen zu welcher Zeit er im Normalfall zur Arbeit und nach Hause fährt, ab welcher Zeitspanne es sich für ihn lohnt zwischen zwei Terminen noch einmal zur Arbeit zurückzufahren und welchen Fußweg er maximal von seinem Parkort (z.B. Ladestation) zu seinem Zielort zurücklegen will. Diese Einstellungen werden an den Mobilitätsplaner übergeben, welcher diese bei der Ladeplanung mit einbezieht.

- Kalender mit Tagesplan: Der Kalender (Vgl. Abbildung 65, 2. von Links) ist an den Outlookkalender des Nutzers angebunden. In diesen sind sowohl seine Termine als auch seine Fahrten eingetragen. Zusätzlich erhält der Nutzer Informationen über seine Ladepläne. Für jeden Termin wird der entsprechende Ladeplan abgefragt und der Kalender für den Nutzer um zusätzliche Lade-, Rückspeise- und Parkevents ergänzt. Diese Events stellen sich dem Nutzer wie zusätzliche Termine dar. Weiterhin werden aus der Ladeplanung semantische Informationen zu den Terminen extrahiert. Diese erlauben es die Termine und Routen in der Karte einzusehen und ermöglichen die Anzeige zusätzlicher Informationen zu den Terminen (z.B. Dauer des Ladevorgangs).
- Fahrzeugzustandsübersicht: In der Fahrzeugübersicht (Vgl. Abbildung 65, 4. von Links) erhält der Nutzer eine Liste aller seiner verfügbaren Fahrzeuge (Da im Probebetrieb jeweils ein Fahrzeug einem Nutzer fest zugeteilt war enthielt diese Liste nur ein Fahrzeug). In der Detailansicht zu jedem Fahrzeug erhält der Nutzer Informationen über den aktuellen Zustand des Fahrzeuges. Aus dem Car-PC wird hier angezeigt, welchen Ladestand und Stromfluss die Batterie momentan zu verzeichnen hat und ob das Fahrzeug an die Ladesäule angeschlossen ist. Im Falle eines Ladevorgangs erhält der Nutzer die Möglichkeit diese kurzfristig zu steuern, indem er das Kommando zum Sofortladen oder Entladen gibt. Weiterhin hat er hier die Möglichkeit das Sofortladen wieder zu beenden (dem Fahrzeug die Steuerung des Ladevorgangs zu überlassen) und das Fahrzeug zum Abstecken bereit zu machen. Zur Sicherheit des Nutzers kann hier die Mindestreichweite, welche das Fahrzeug in jedem Fall noch erreichen soll, in Kilometern eingestellt werden. Diese Einstellung wird vom Ladeassistenten beachtet.

- Ladestationssuche: In der Ladestationssuche (Vgl. Abbildung 65, Rechts) hat der Nutzer die Möglichkeit nach kompatiblen Ladestationen von Vattenfall zu suchen. Die Liste mit Ergebnissen kann hier nach dem Bezirk gefiltert werden. Alternativ kann auch eine Adresse für eine Umkreissuche angegeben werden um die Ladesäulen nach Entfernung zu dieser Adresse anzuordnen.
- Ladehistorie: Die Ladehistorie (Vgl. Abbildung 65, 2. von rechts) ermöglicht dem Nutzer eine Übersicht über vergangene Ladevorgänge. Hier wird in einem Diagramm in Tages, Wochen und Monatsansicht angezeigt, wann das Fahrzeug wie viel Energie verfahren, geladen und rückgespeist hat. Zusätzlich wird die Prioritätenfunktion angezeigt um dem Nutzer einen Einblick in die Zeitliche Lage der Ladevorgänge und der Ladeempfehlung zu geben.

Im Gegensatz zum W2V-Ladeassistenten (siehe D2.2), der zur Steigerung der Motivation zur Teilnahme am Gesteuerten Laden (W2V) auf eine leichte Bedienbarkeit ausgelegt ist, lag der Fokus des V2G-Ladeassistenten rein auf der Bereitstellung einer funktionalen Schnittstelle für den Zugriff auf die kalenderbasierte W2V2G-Anwendung. Dennoch konnte im Rahmen des V2G-Probebetriebs im Freilandlabor eine Akzeptanzuntersuchung durchgeführt werden (siehe D5.4), die wertvolle Erkenntnisse für mögliche Verbesserungen ermöglichte.

4.1.4.4.7 V2G-fähige Fahrzeuge

Der V2G-Betrieb erfordert auf Seite des Fahrzeugs die Möglichkeit, zumindest den Zeitpunkt als auch die Richtung des Energieflusses festzulegen. Die Einstellung der Stromstärke ist nicht zwingend erforderlich, erlaubt aber eine feinere Steuerung der Lade- und Einspeiseprozesse. Die bedarfsgerechte Steuerung in Abstimmung mit der Netzinfrastruktur benötigt darüber hinaus einen Datenaustausch mit externen Systemkomponenten (z.B. Diensten im Backend).

Die Steuerung des V2G-Betriebs sowie die externe Kommunikation wurden auf Basis einen Car-PCs realisiert. Dieser nimmt auch weitere Aufgaben, wie z.B. die Nutzerauthentisierung an der Ladestation mittels Powerline Communication (PLC), wahr. Zu diesem Zweck wurde ein handelsüblicher embedded PC um zusätzliche Module erweitert (CAN-Bus, PLC/HomeplugAV, UMTS). Zusätzlich verfügt der Car-PC über einen Anschluss an die Weckleitung des Fahrzeugs, um das Bordnetz zu aktivieren, wenn bei abgestelltem Fahrzeug eine Anforderung über die Ladeschnittstelle erfolgt. Über den

CAN-Bus ist es der Software auf dem Car-PC möglich, den Zeitpunkt, die Richtung und Stärke des Stromflusses zwischen Fahrzeug und Netz zu steuern, wobei die sicherheitsrelevanten Funktionen im Fahrzeug selbst realisiert wurden. Der Car-PC ermittelt aber zuvor die durch den Typ der Ladestation vorgegebene maximale Stromstärke.

Auf Fahrzeugseite wurde in der Software eine neue Schnittstelle geschaffen, die dem Car-PC ein Kommunikationsportal zum Fahrzeug öffnet. Dieses Portal steht nur zur Verfügung, wenn das Fahrzeug an ein Ladekabel angeschlossen ist und damit für den Fahrbetrieb gesperrt ist. Damit ist sichergestellt, dass im Fahrbetrieb keinerlei Wechselwirkung mit den neu geschaffenen Funktionen stattfinden kann.

Wird bei angeschlossenem Ladekabel eine Ladestation erkannt übernimmt der Car-PC die Steuerung des Lade- bzw. Entladevorgangs der Fahrzeugbatterie im Rahmen der Grenzen, die die Ladestation und das Fahrzeugsystem vorgibt, wie maximaler Lade- oder Entladestrom, Kontrolle der Netzspannung, Kontrolle der Batterieparameter, etc. Erfolgt hingegen keine Steuerung durch den Fahrzeugrechner, so wird die Fahrzeugbatterie wie bei allen MINI E mit den im Bordcomputer eingestellten Parametern geladen, bis die Batterie voll ist. Die V2G-Applikation kann diesen Vorgang jederzeit unterbrechen und die Steuerung des Lade- und Entladevorgangs übernehmen.

Aufgrund der Arbeitsweise in der Entwicklung und der Wartung im Testbetrieb war es notwendig, den Car-PC einfach zugänglich zu installieren, so dass auch Mitarbeiter ohne spezielle Zulassungen Zugang dazu hatte. Daher wurde als Einbauort der Fahrzeuginnenraum (unter dem Beifahrersitz) gewählt. Die dafür notwendigen Kabel (Stromversorgung, CAN-Bus, USB, Ethernet) wurden entsprechend im Fahrzeug vorbereitet.

Die Kommunikation zwischen Ladestation und Fahrzeug erfolgt per PLC über das Ladekabel auf Basis von HomeplugAV. Zur Übertragung der Datensignale zum Car-PC im Fahrzeuginnenraum war eine Auskoppelung des Signals von den spannungsführenden Leitungen notwendig. Dazu wurde ein spezielles Übertragungsmodul entwickelt und in das Fahrzeug integriert.

Der Datenaustausch mit den Backendkomponenten zur Koordination des Lade- und Einspeiseprozesses erfolgt über die Ladestation oder über das in den Car-PC integrierte UMTS-Modul.

Die Interaktion mit dem Nutzer zur Abfrage des Fahrzeugzustandes und zur manuellen Steuerung des Ladevorgangs erfolgt ausschließlich über eine Smartphone-Applikation (siehe vorheriger Abschnitt), da im MINI E selbst keine Bedienoberfläche sinnvoll angebracht werden konnte.

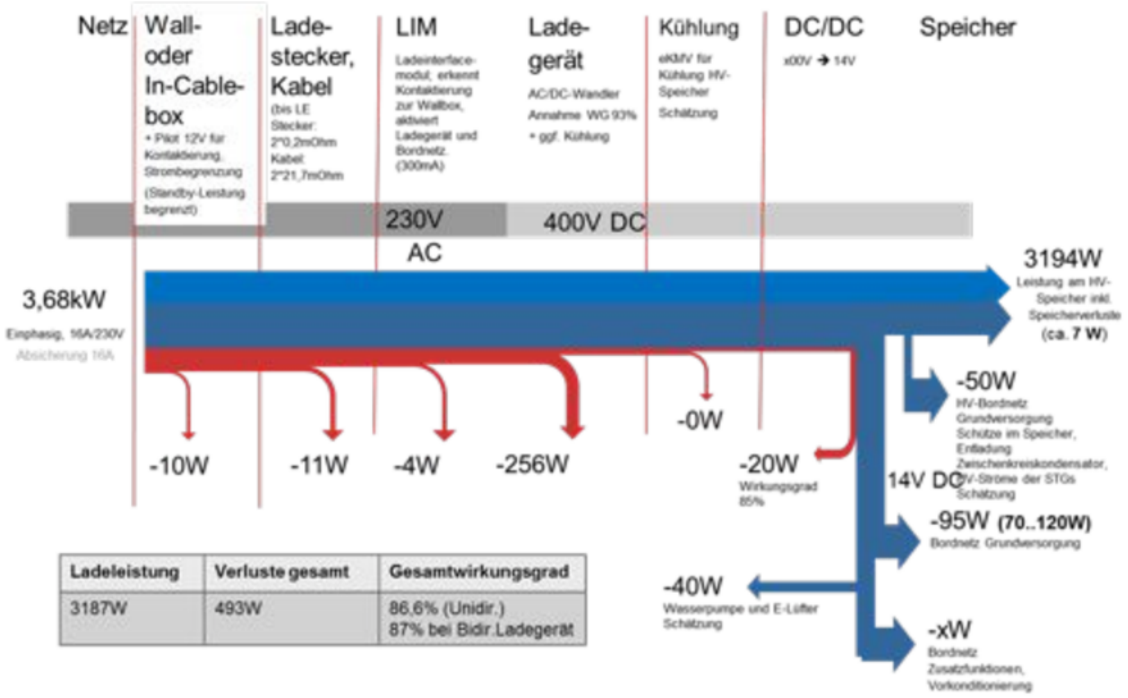


Abbildung 66: Leistungsfluss für das Auf- und Entladen von Elektro-Fahrzeugen

Abbildung 66 zeigt die Wirkungsgradkette bzw. den Leistungsfluss in einem Elektro-Fahrzeug beim Laden und Rückspeisen. Im bidirektionalen Betrieb landen etwa 87% der an der Ladestation abgenommenen Energie in der Batterie. Der gleiche Wirkungsgrad ergibt sich für die Energie auf dem Weg von der Batterie zur Ladestation (V2G). Die restliche Energiemenge wird von den verschiedenen involvierten Komponenten, wie Ladegerät, Bordnetz, Kühlung, Stecker und Kabel verbraucht.

4.1.4.4.8 V2G-fähige Ladestationen

Für den Aufbau V2G-fähiger Ladestationen wurden ausrangierte Ladestationsprototypen von Vattenfall verwendet. Dazu wurde der gesamte innere Aufbau vollständig neu entworfen, von der originalen Ladestation wurden nur der Korpus und einzelne Komponenten weiter verwendet. Die wesentlichen, neu umzusetzenden Funktionen waren:

- Standardisierte Ladebuchse gemäß VDE-AR-E-2623-2-2: Zur Kompatibilität mit aktuellen und zukünftigen Elektrofahrzeugen wurde die Ladestation mit einer standardisierten Ladebuchse einschließlich der dazugehörigen Steuerungskomponenten ausgestattet.
- Elektrische Ausstattung für den V2G-Betrieb: Die Einspeisung ins Energienetz an der Ladestation erfordert spezielle Anpassungen. Dazu zählen eine Netzüberwachungskomponente („Selbsttätige Freischaltstelle“ entsprechend DIN V VDE V 0126-1-1), eine Spannungsüberwachung an der sowie ein Zweirichtungszähler zur getrennten Erfassung von bezogener und rückgespeister Energie.
- Datenkommunikation zum Fahrzeug: Im V2G-Freilandlabor wird eine direkte Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladestation für zwei Zwecke eingesetzt, einerseits die Nutzerauthentisierung an der Ladestation und andererseits zur Steuerung des Lade-/Einspeiseprozesses. Dazu wurde Power Line Communication (PLC) nach dem HomeplugAV-Standard verwendet. Aufgrund der Einschränkungen der verfügbaren Standardmodule musste ein eigenes Übertragungsmodul zur spannungsfreien Auskopplung des Datensignals entwickelt werden. Es dient der Kommunikation mit dem Fahrzeug über die anfänglich spannungsfreie Ladeleitung.
- IT-Komponenten für Steuerung der Ladestation und V2G-Applikation: Zur Steuerung der Ladestation wurde ein embedded Computer in die Ladestation integriert. Dieser dient als Basis für die eigene Software und ist für die Steuerung und Datenerfassung aller Komponenten der Ladestation (z.B. Klappe, Freigabe der Ladespannung, Energiezähler etc.) zuständig. Dieser Computer bietet ausreichend Leistungsreserven für Weiterentwicklungen (z.B. zusätzliche Überwachungsfunktionen, Datenverschlüsselung usw.). Darüber hinaus wurde ein embedded PC als Plattform für weitergehende V2G-Dienste vorgesehen und bietet durch größere Leistungsreserven ausreichend Potenzial für komplexe V2G-Funktionen. Die Kommunikation zum Backend erfolgt über einen VPN-Router, je nach Standort der Ladestation, über UMTS oder Ethernet.

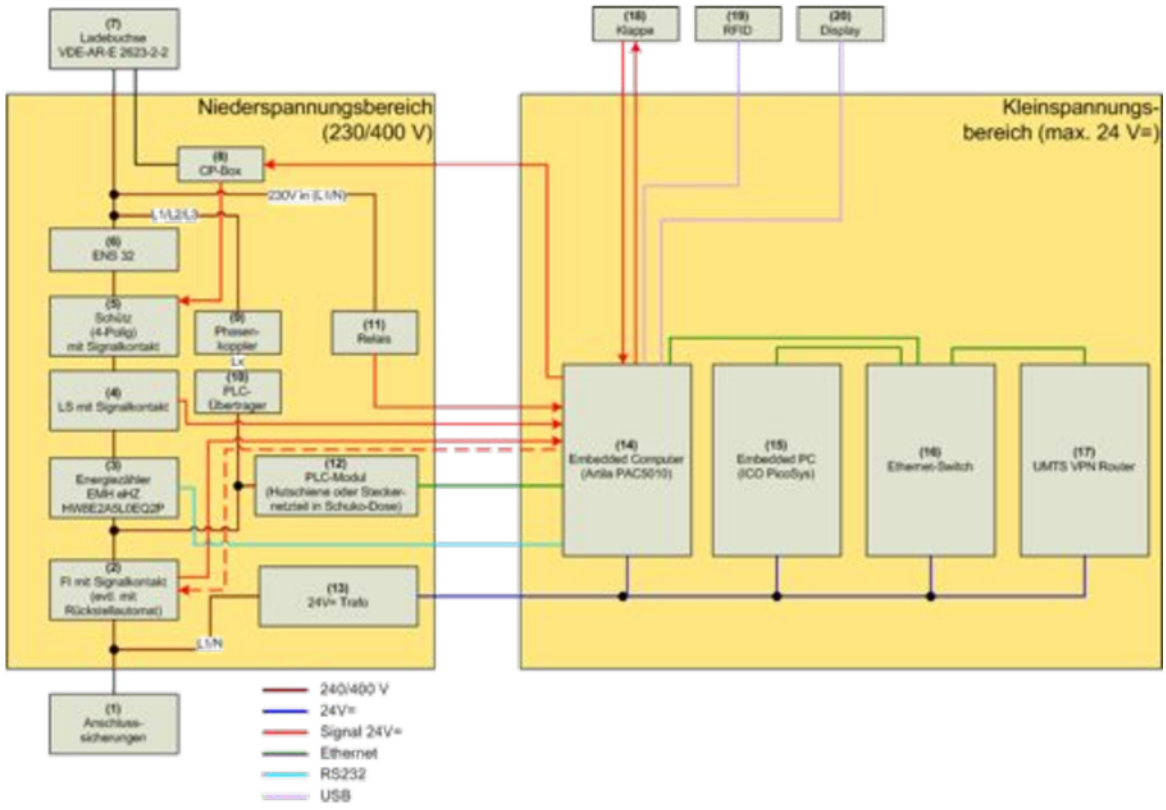


Abbildung 67: Aufbau der V2G-Ladestationen

Die V2G-Ladestationen enthalten dabei folgende Sicherheitsvorkehrungen, um eine gefahrlose Rückspeisung durch Fahrzeuge zu ermöglichen:

- "Type 2"-Stecker (VDE-AR-E 2623-2-2) mit berührungsgeschützten Kontakten (Nummer 7)
- Auswertung Pilotkontakt etc. über CP-Box, um nur bei angeschlossenem Fahrzeug freizuschalten (Nummer 8)
- Signalisierung des max. Stroms (32A) über CP-Box (Nummer 8)
- Netzüberwachung mittels ENS32 (Abschaltung, wenn Verbindung zum Stromnetz verloren geht oder die Netzparameter nicht stimmen) (Nummer 6)
- Klappe wird nicht freigegeben, wenn noch Spannung an Ladebuchse anliegt (in Software realisiert) (Nummer 11)
- Spannung wird nicht freigegeben, solange Klappe nicht verriegelt ist (in Software realisiert) (Nummer 18)

Im Rahmen des Projektes wurden existierende Standards und Normen untersucht, die insbesondere auch für den Bereich V2G relevant sein könnten (siehe TP3). In diesem

Zusammenhang erfolgte eine Gegenüberstellung der beiden Alternativen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur für die Verortung der in der DIN V VDE V 0126-1-1 beschriebenen ENS. Unabhängig eines möglichen generellen Fazits zu diesem Vergleich war der Einbau der ENS in die Ladestationen aufgrund der im Projekt vorgegebenen Rahmenbedingungen seitens der Fahrzeuge der einzig praktikable Weg.

4.1.5 Deliverable 1.4: Lokales Lastmanagement mit Prioritätsregeln

4.1.5.1 Management Summary

Mit dem entwickelten Verhandlungsprozess zur Ermittlung der Ladehüllkurve für Gesteuertes Laden V2.0 sind zwei grundlegende Funktionen eingeführt, auf deren Grundlage der Ladevorgang eines Elektrofahrzeugs berechnet wird.

- Die Zielfunktion (im Deliverable D1.2 als Wind-2-Vehicle Funktion beschrieben) wird zusammen mit
- einer Restriktionsfunktion, die die maximale Ladeleistung vorgibt,

an das Fahrzeug bzw. dem Fahrzeug-Backend –Server übertragen.

Ziel des D1.4 ist die Ermittlung der Restriktionsfunktion, die die maximalen Grenzwerte hinsichtlich des Hausanschlusses und des vorgelagerten Niederspannungsverteilnetzes definiert.

Dazu wurden zwei Applikationen entwickelt, welche Netzrestriktionen bei der Berechnung der Restriktionsfunktion berücksichtigen. Dadurch werden Überlastungen von Betriebsmitteln und damit Betriebsausfälle vermieden. Die Hausanschlüsse werden beim Ladevorgang so ausgesteuert, dass die vorhandene Netzkapazität optimal ausgenutzt wird.

Die erste Anwendung *lokales Lastmanagement* (LLM) verarbeitet hierfür Informationen aus dem Netzbereich hinter dem Hausanschluss.

Die zweite Anwendung *öffentliches Lastmanagement* (ÖLM) verarbeitet hierfür Informationen aus dem Ortsnetz vor dem Hausanschluss.

Die beiden Anwendungen sind modular aufgebaut und können alleinstehend oder auch in Kombination zur Anwendung kommen.

Da die Anwendungen – zumindest für die Einführungsphase der Elektromobilität - ein Substitut für Netzausbaumaßnahmen darstellen, lässt sich ihr wirtschaftlicher Nutzen anhand der Opportunitätskosten quantifizieren, die durch einen Netzausbau im jeweiligen Wirkungsbereich anfallen würden. Für die Phase der weiter fortgeschrittenen Etablierung der Elektromobilität wird sich im Einzelfall der Netzausbau durch LMM und ÖLM nicht vermeiden lassen.

In den im Projekt betrachteten Szenarien konnte folgendes festgestellt werden:

- Mit ÖLM ließ sich die Anzahl gleichzeitig ladbarer Fahrzeuge ohne Netzausbaumaßnahmen bis zum Faktor 5 steigern.
- Mit LLM ließ sich die Anzahl der ladbaren Fahrzeuge je Anschluss verdoppeln.

4.1.5.2 Ziele und Aufgaben

Ziel des Lastmanagements mit Prioritätsregeln ist es, die gesamte zu ladende Energiemenge bei gegebenen Netzrestriktionen vor und hinter dem Netzanschluss des Anwenders zu maximieren. Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem öffentlichen Bereich (mit dem speisenden Verteilnetz -ÖLM, Niederspannungsortsnetz vor dem Hausanschluss bis zum ersten Ortsnetztrafo) und dem privaten Bereich (mit LLM hinter dem Hausanschluss, Haus- oder Firmennetz).

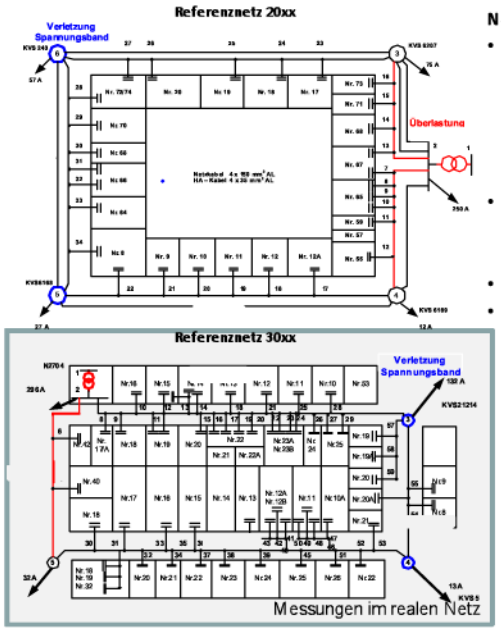
Um die Umsetzung der Anwendung im Gesamtkontext zu betreiben und mit der W2V-Applikation (D1.2) zu integrieren, sollten die entsprechenden Schnittstellen-Instanzen definiert werden.

Zusätzlich zu den oben genannten Applikationen war für den Einsatz im V2G-Freilandlabor (D1.3), in dem die Rückspeisefähigkeit verschiedener Konstellationen von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastrukturen erprobt werden sollte, ein gesondertes dezentrales Lade-Management-System zu entwerfen und zu implementieren. Mit diesem System sollte speziell im V2G-Rückspeise-Umfeld eine optimierte Ladung von simulierten und realen Fahrzeugen erfolgen, in dem unter Berücksichtigung vorab bekannter Informationen, wie z.B. Bedürfnisse des Fahrers, Ladebedarf des Fahrzeugs, W2V-Zielfunktion und Netzrestriktionen ein Planungsalgorithmus angewendet wird.

4.1.5.3 Vorgehen, Methodik

In einem ersten Schritt wurden die Randbedingungen und Anforderungen des Netzbetriebs, repräsentiert durch den Verteilnetzbetreiber Vattenfall Distribution System Operator (DSO), abgeleitet und die Methodik LLL/ÖLM zur Berechnung von Netzrestriktionen einschließlich Kriterien und möglicher Instanzen definiert. Die Anwendungen zur Berechnung der Netzrestriktionen wurden in der Systemanalyse entworfen und simuliert, für den Probebetrieb entwickelt und anhand von definierten Testszenarien validiert.

Eingangsdaten wurden für ÖLM durch Messungen elektrischer Kenngrößen (Strom, Spannung, Leistungsfaktor) in einem Berliner Ortsnetz gewonnen (siehe auch TP5). Aus drei alternativen Ortsnetzen wurde dasjenige ausgewählt, das altersbedingt relativ schwach dimensioniert ist, so dass zusätzliche starke Verbraucher und Ladestationen Grenzwertverletzungen verursachen würden.



Netzrestriktionen

- Netzsimulation (stationär, symmetrisch) DSO-Netz Berlin
  - Referenznetzname: 10xx-innerstädtischen NS-Netz (433)
  - Referenznetzname: 20xx-äußerer Netzbereich (neues Netz) NS-Netz (133 Haushalte)
  - Referenznetzname: 30xx-äußerer Netzbereich (altes Netz) rekonstruiert NS-Netz (174 Haushalte)
- Grenzbedingung Netz
  - Belastung Transformator/Kabel = 70% (relevant für Netzausbauplanung)
  - Spannung = 90% Nennspannung
- Ladung an NS-Anschluss
- Nachweis der Notwendigkeit von ÖLM durch Anzahl maximal gleichzeitig ladender BEV

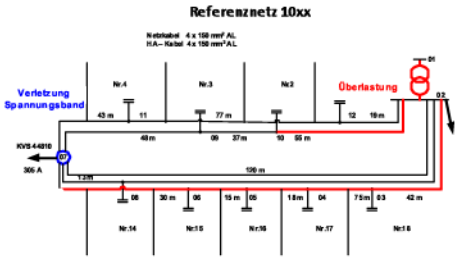


Abbildung 68: Modellnetze für die Simulation und für reale Messungen

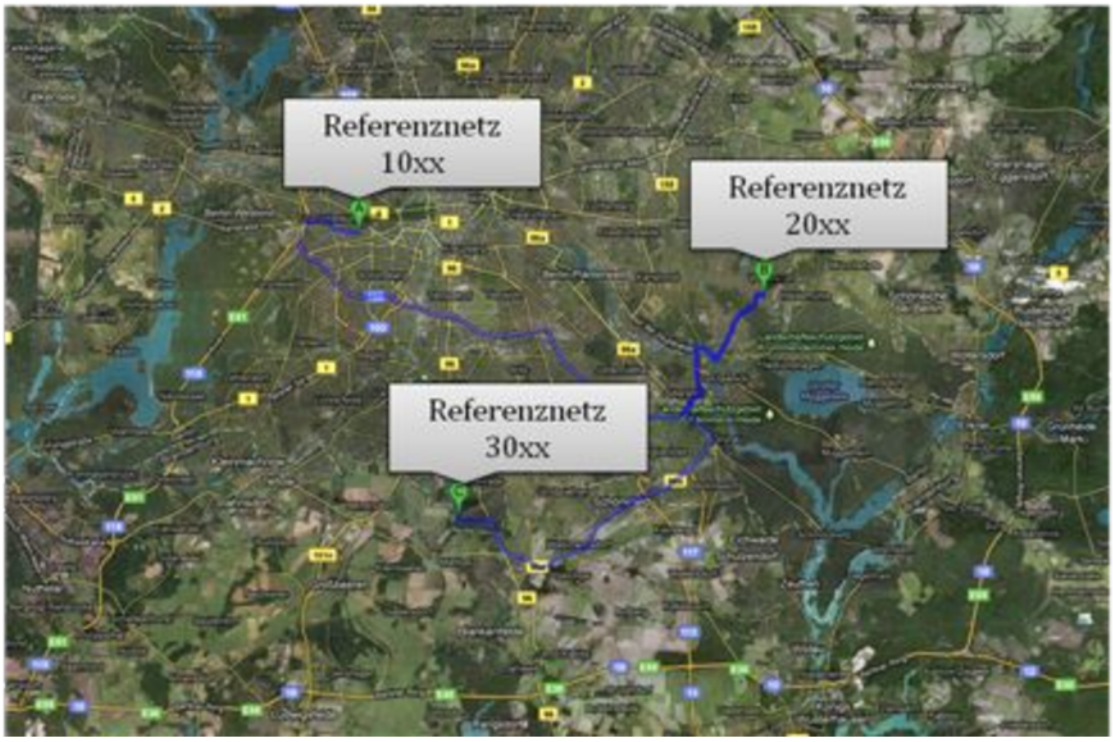


Abbildung 69: Übersicht Standort Referenznetze

Abbildung 70: Referenznetz 10xx

Abbildung 71: Straßenansicht Referenznetz 10xx

Abbildung 72: Referenznetz 20xx

Abbildung 73: Straßenansicht Referenznetz 20xx

Abbildung 74: Referenznetz 30xx

Abbildung 75: Straßenansicht Referenznetz 30xx

4.1.5.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1.5.4.1 Differenzierung der Netzrestriktionen

Unterschieden wird zwischen dem *Lokalen Lastmanagement* (LLM) und dem *Öffentlichen Lastmanagement* (ÖLM). Dabei geht es beim LLM um die Belastungsgrenzen des Hausanschlusses (im lokalen Bereich) einerseits und beim ÖLM um die Belastungsgrenzen der Betriebsmittel und die Einhaltung des zulässigen Spannungsbandes und Betriebsmittelbelastung des vorgelagerten Niederspannungsverteilnetzes (im öffentlichen Bereich) andererseits.

Die Trennung in einen öffentlichen und einen lokalen Bereich ist notwendig, da die Betriebsmittel und die Stromnetzinfrastruktur rechtlich und ökonomisch verschiedenen Instanzen zuzuordnen sind und beide Bereiche eine unterschiedliche Informationsdichte und -qualität aufweisen:

- Die Betriebsmittel vor dem Hausanschluss befinden sich im Eigentum des Netzbetreibers und sind bekannt. Dazu sind im Zuge einer Umsetzung Daten zur Netz-Nutzung und -Auslastung in Echtzeit zu beschaffen. Eine Kommunikation zwischen LLM und Netzbetreiber ist notwendig.
- Die Lastverursacher hinter dem Hausanschluss befinden sich in Privateigentum des Anschlussnutzers oder Dritter. Die technischen Restriktionen des Hausanschlusses sind statisch (Spannung, Stromtragfähigkeit, max. verfügbare Wirkleistung). Die tatsächliche Inanspruchnahme der Anschlusskapazitäten durch andere Verbraucher gestaltet sich komplexer, der Netzbetreiber spielt hierbei jedoch keine Rolle.

Abbildung 76 beschreibt die unterschiedlichen Wirkprinzipien von LLM und ÖLM. Während LLM eine räumlich und zeitlich konstante Limitierung vorgibt, berücksichtigt ÖLM den geschätzten zeitlichen Verlauf des Netzzustands des vorgelagerten Verteilnetzes mit einer zweiten daraus abgeleiteten Restriktionskurve.

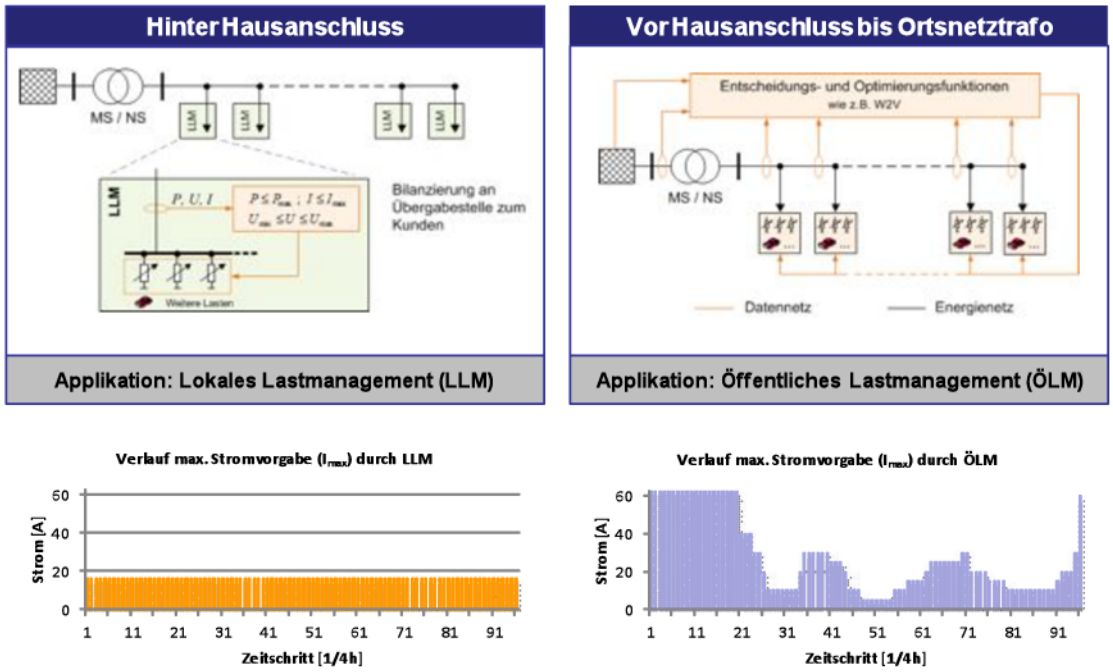


Abbildung 76: Gegenüberstellung LLM und ÖLM

4.1.5.4.2 LLM-Funktion

Mit LLM wird die gesamte zu ladende Energiemenge über mehrere Fahrzeuge an Ladepunkten nach den lokalen Netzgegebenheiten hinter einem Hausanschluss innerhalb der Grenzen kontrolliert. Die wesentliche technische Nebenbedingung, die zu Restriktionen der Ladeleistung hinter einem Hausanschluss führt, ist die Auslegungsleistung des Hausanschlusses bzw. der Auslösestrom der Hausanschlusssicherung. Aufgabe der Applikation LLM ist es, Fahrzeugladevorgänge an einem Netzanschluss so zu steuern, dass die Restriktionen am Hausanschluss eingehalten werden, insbesondere wenn der Summenladestrom gleichzeitig ladender Fahrzeuge nominal die Hausanschlussstromgrenze übersteigen würde. Weitere Nebenbedingungen stellen die zeitlichen Verfügbarkeiten und Ladebedürfnisse der zu ladenden Fahrzeuge sowie die Beanspruchung des Anschlusses durch andere lokale Verbraucher dar.

Das Funktionsprinzip der Anwendung und Systemgrenzen des LLM zeigt Abbildung 77.

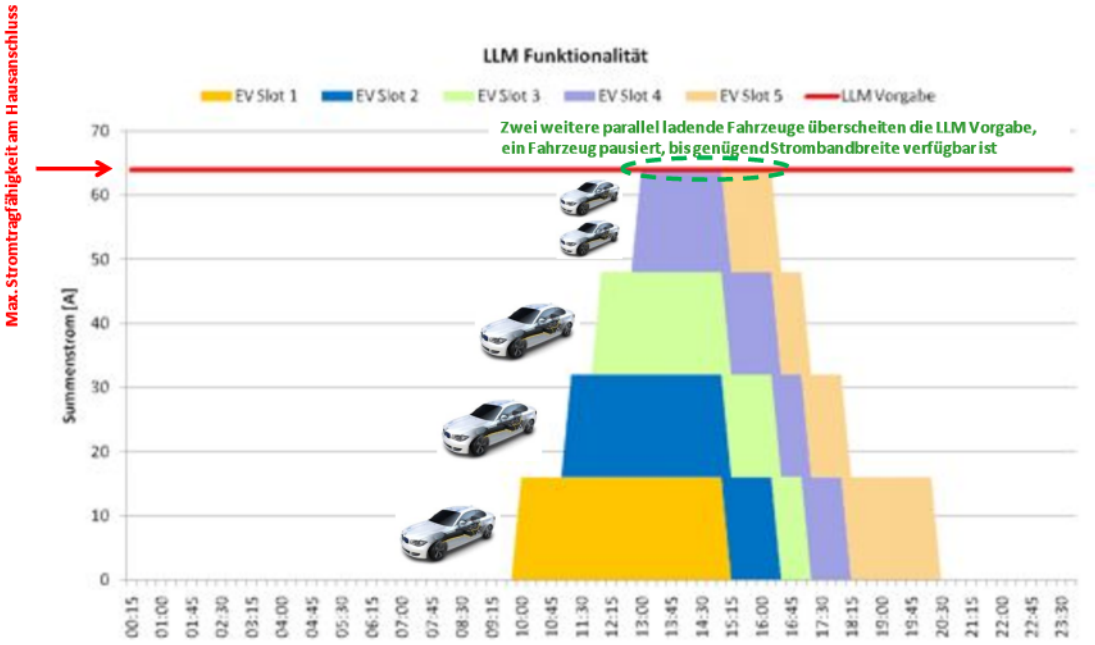


Abbildung 77: Funktionaler Nutzen LLM (schematisch)

Die maximale Stromtragfähigkeit des Hausanschlusses (rote Linie) entspricht im dargestellten Beispiel der Ladeleistung von vier Fahrzeugen. Beim ungesteuerten Laden würde der Anschluss des fünften Fahrzeugs die Sicherung auslösen und damit den Abbruch aller Ladevorgänge bewirken. Die Applikation LLM berücksichtigt hingegen, dass die maximale Stromtragfähigkeit bereits erreicht ist und sorgt dafür, dass die Ladung des fünften Fahrzeugs erst dann einsetzt, wenn der Ladevorgang des ersten Fahrzeugs abgeschlossen ist.

Die für die LLM-Applikation relevanten Restriktionsfunktionen basieren auf netzanschlussspezifischen Informationen, wie zum Beispiel Normwerten der Sicherungen im Hausanschlusskasten oder in einer Ladestation mit eigener Absicherung. So aufgenommen, werden die Stromgrenzwerte dann in das LLM als Restriktionswert eingegeben und stehen zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung.

Die für den Probebetrieb entwickelte Anwendung des LLM orientiert sich ausschließlich an der Einhaltung des maximal zulässigen Stroms der Hausanschlusssicherung. Grundsätzlich können jedoch auch andere Restriktionskriterien eingesetzt werden: Z.B. die Einhaltung definierter Grenzwerte der Spannung oder maximalen Wirkleistung.

Mit den aufgenommen Restriktionswerten errechnet der LLM-Steuerungsalgorithmus die resultierende maximal verfügbare Stromstärke, die dem sich anmeldenden Fahrzeug nach einem einfachen „First Come First Served“ (FCFS)-Prinzip jeweils noch zur Verfügung gestellt werden kann.

Interessant ist die LLM-Applikation für Netzanschlüsse, an denen zukünftig mehrere Fahrzeuge zeitgleich geladen werden sollen, denkbar z.B. bei Flottenbetreibern oder Unternehmen mit kommerziellen elektrischen Fuhrparks. In sogenannten Master-Satellit-Ladeinfrastrukturen werden z.B. mehrere Fahrzeuge für den täglichen Lieferverkehr nachts regelmäßig über einen definierten und bekannten Zeitraum gleichzeitig angeschlossen und geladen. LLM steuert die einzelnen lokalen Ladevorgänge je Fahrzeug in der Art, dass die lokale Netz- oder Hausanschlusskapazität optimal ausgenutzt wird.

Für den praktischen Einsatz ist zu beachten, dass eine genügend große Sicherheitsmarge im LLM eingestellt wird, da das Last- und Abnahmeverhalten anderer lokaler Verbraucher und auch Einspeiser (z.B. PV) nicht bekannt ist. Je mehr Daten und Informationen von anderen Verbrauchern/Erzeugern vorliegen, umso geringer kann diese Sicherheitsmarge ausfallen. Im Idealfall stehen die Daten und Informationen aller anderen Verbraucher und Einspeiser mit Hilfe von Smart Metern in Echtzeit zur Verfügung.

4.1.5.4.3 Wirtschaftlicher Nutzen LLM

Der wirtschaftliche Nutzen von LLM ist stark situationsabhängig, insbesondere von der Verfügbarkeit der Elektrofahrzeuge sowie der Konfiguration eines vorhandenen Netzanschlusses.

Das nachfolgend kalkulierte Beispiel orientiert sich an einem realitätsnahen Anwendungsfall, der in ähnlicher Form bei Verbreitung der Elektromobilität zu erwarten ist:

Ein Unternehmen verfügt über einen Netzanschluss im Niederspannungsnetz mit 100 Ampere/230 V (Anschlussleistung 70 kW) und einen Fuhrpark mit 18 Diesel-Fahrzeugen. Die Fahrzeuge stehen jeweils zwischen 20 und 6 Uhr im Depot.

Die Geschäftsleitung beschließt den Fuhrpark auf Elektrofahrzeuge umzustellen, 9 Fahrzeuge im ersten Jahr und 9 Fahrzeuge im darauffolgenden Jahr. Beim Fahrzeugtyp handelt es sich um das Modell BMW ActiveE (1-phasige Ladung mit 32 Ampere, Ladedauer 5 Stunden, Fahrzeug-Ladeleistung 7,4 kW). Außerdem werden in Summe 18 Ladepunkte benötigt.

Da über Nacht keine Last durch andere Verbraucher anfällt, können die im ersten Jahr beschafften Fahrzeuge ohne Probleme laden. 9 Fahrzeuge mit je 7,4 kW beanspruchen bei gleichzeitigem Laden 66 kW. Mit Inbetriebnahme der zweiten Fahrzeugtranche würde es jedoch zu einer Verletzung der Stromtragfähigkeit des Netzanschlusses kommen, sobald das zehnte Fahrzeug mit einem Ladepunkt verbunden würde. Durch Auslösen einer Sicherung würde die Versorgung mehrerer Fahrzeuge unterbrochen werden.

Mit LLM können die Ladevorgänge jedoch so gesteuert werden, dass mit demselben 70-kW-Netzanschluss innerhalb des Verfügbarkeitsfensters alle 18 Fahrzeuge geladen werden können, ohne dass es zur Verletzung technischer Belastungsgrenzen und damit zu Versorgungsunterbrechungen kommt. Dies ist ein funktionaler Nutzen von LLM (Abbildung 78).

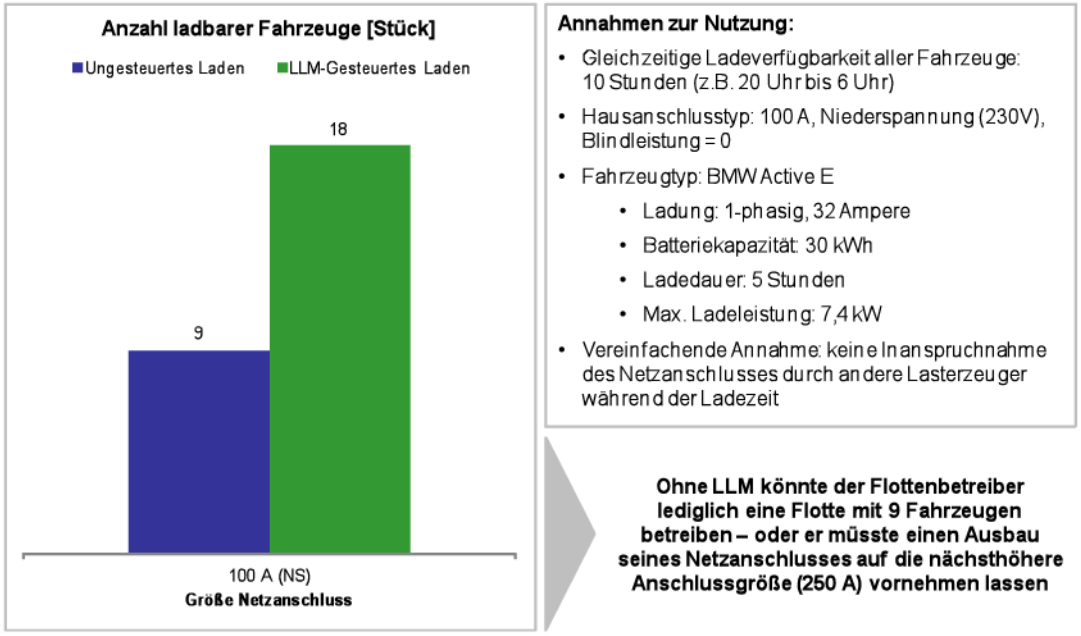


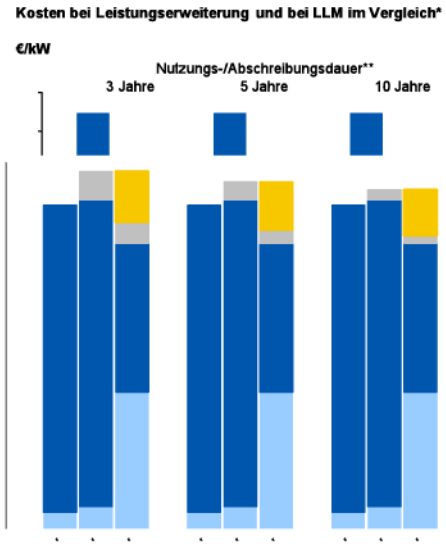
Abbildung 78: Funktionaler Nutzen LLM (Beispiel)

Der wirtschaftliche Nutzen von LLM ergibt sich in diesem Beispiel zunächst aus den vermiedenen Kosten für den Netzanschlussausbau. Im Berliner Verteilnetz würden diese einmalig etwa 2.000 Euro betragen. Zusätzlich werden außerdem Netznutzungsentgelte für eine zusätzliche Leistungsbereitstellung vermieden, da die maximal in Anspruch genommene Leistung weiterhin bei 66 kW liegen würde gegenüber 132 kW beim Netzanschlussausbau. Dem steht eine Investition in die LLM-Infrastruktur gegenüber, die in

dem hier vorgestellten Beispiel mit 1500 Euro angenommen wird, einem Anhaltswert für die Kosten bei Serienproduktion.

Die Einsparung von Netznutzungsentgelten durch LLM ist der Saldo aus zwei gegenläufigen Effekten: In dem Beispiel wird das derzeitige Tarifmodell der Vattenfall Distribution zugrunde gelegt, bei dem oberhalb einer Zahl von 2500 Jahresbenutzungsstunden ein erheblich niedrigerer Arbeitspreis für die Netzbenutzung und ein deutlich höherer Leistungspreis gelten. Der Glättungseffekt von LLM führt zu einem Anstieg der Jahresbenutzungsdauer auf einen Wert oberhalb von 2500 Stunden. Bei Einsatz von LLM kommt der Abnehmer daher in den Genuss des niedrigeren Arbeitspreises, zahlt aber den höheren Leistungspreis für die Netznutzung.

In Abbildung 79 sind jeweils die drei Situationen 9 Fahrzeuge, 18 Fahrzeuge mit Anschlussausbau und 18 Fahrzeuge mit LLM dargestellt. Darüber hinaus sind jeweils drei unterschiedliche Szenarien für die Nutzungsdauer gerechnet, über die die Abschreibung der Investitionen für Anschlussausbau bzw. für LLM erfolgt.



		Keine Maßnahme	Ausbau 100A→250A	LLM
Anzahl Fahrzeuge		9	18	18
Investition ** in €		0	2.000	1.500
Netzentgelt	Arbeitspreis in €/MWh ***	37,8	37,8	18,3
	Leistungspreis in €/kW/a ***	4,25	4,25	54,57
Benutzungsstunden/a		2.124	1.594	3.188

W Ladeleistung der Fahrzeuge
ilverzinsung 5% p.a.
le/de/distribution/file/
:549762.pdf (Stand 21.10.2011)

Abbildung 79: Wirtschaftlicher Nutzen LLM (Beispiel)

Zur besseren Vergleichbarkeit mit dem 9-Fahrzeuge-Fall sind in Abbildung 79 die Kosten in € je kW Ladeleistung angegeben.

In dem gewählten Beispiel ergibt sich eine Einsparung von 9 bis 10 Euro je kW Fahrzeugladeleistung durch LLM gegenüber dem Anschlussausbau entsprechend rund 1200 bis 1300 Euro im Jahr für die 18 Fahrzeuge.

Das in Abbildung 79 gezeigte Beispiel illustriert den Glättungseffekt bei der Leistungsinanspruchnahme durch LLM: Während die Leistungskomponente des Netzentgeltes in Höhe von 4,25 €/kW/a im Fall des Anschlussausbaus fast in gleicher Höhe zu Kosten je kW Fahrzeug-Ladeleistung führt, bedeuten 55 EUR/kW/a leistungsbezogener Netzentgeldanteil im Fall von LLM lediglich 27 € je kW Fahrzeug-Ladeleistung

4.1.5.4.4 ÖLM-Funktion

Mit dem öffentlichen Last-/Lademanagement (ÖLM) werden die Ladevorgänge nach den örtlichen Netzgegebenheiten vor dem Hausanschluss bis zum ersten Ortsnetz-Trafo in ihrer max. Ladeleistung/ihren max. Ladestrom limitiert.

In den numerischen Analysen wurde nachgewiesen, dass eine ausschließliche Betrachtung des Netzanschlusses nicht ausreicht. In einem öffentlichen Ortsnetz kann es durch das gleichzeitige Laden von mehreren Elektrofahrzeugen hinter je einem Netzanschluss zu Überlastsituationen im vorgelagerten Verteilernetz kommen, ohne dass der einzelne Netzanschluss überlastet wäre. Durch die gleichzeitigen Ladevorgänge kann es jedoch zu Überlastungen und Grenzwertverletzung an Betriebsmitteln (Leitungen oder Transformatoren) kommen.

Um die netztechnischen Restriktionen im Wirkungsbereich des ÖLM zu berücksichtigen, wird neben der Stromtragfähigkeit der Betriebsmittel auch die Einhaltung des Spannungsbands direkt am Netzanschluss und an den Verknüpfungspunkten im Verteilnetz herangezogen. Das Wirkprinzip und der Nachweis der generellen Funktionsfähigkeit des Ansatzes ist in Agsten2011[21] als LLM im Smart Grid beschrieben.

Grundlegende Voraussetzungen für die Anwendung des ÖLM-Prinzips sind Verfügbarkeit passiver und aktiver Netzdaten. Die passiven Netzdaten bilden das stromlose Netz mit Ersatzkennwerten und Grenzwerten für die Betriebsmittel nach. Die „aktiven“ Netzdaten werden aus aktuellen Messdaten und Prognosen im Ortnetz (Strom, Spannung, Ein- und Ausspeisung) gebildet. Im ÖLM werden beide Arten, passive und aktive Netz-

[21] AGSTEN2011"Einfluss Gesteuerten Ladens von Elektrofahrzeugen auf die Netzbetriebsführung bei volatiler Windeinspeisung", http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=19121

daten, zu einer Restriktion für den maximal zulässigen Ladestrom verarbeitet, siehe Abbildung 80.

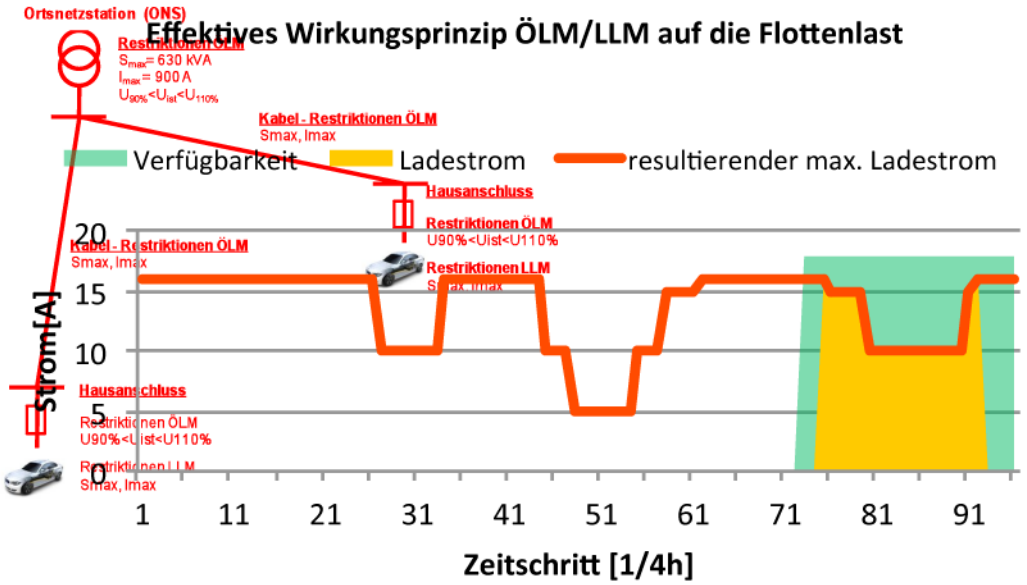


Abbildung 80: Funktionaler Nutzen ÖLM (schematisch)

Die Verfügbarkeit aktiver Netzdaten hängt maßgeblich vom Überwachungsgrad des Verteilnetzes ab. In heutigen Verteilnetzen liegen in der Regel keine Überwachungsdaten vor. Ansätze, um auf den aktuellen Netzzustand in Echtzeit rückzuschließen und prognostizieren zu können, sind einerseits die Einrichtung und permanente Auswertung geeigneter Messstellen sowie die Verwendung künftiger Smart Meter Daten, die Eingangsdaten für eine Netzzustandsschätzung durch Anwendung der Leistungsflussrechnung bilden können.

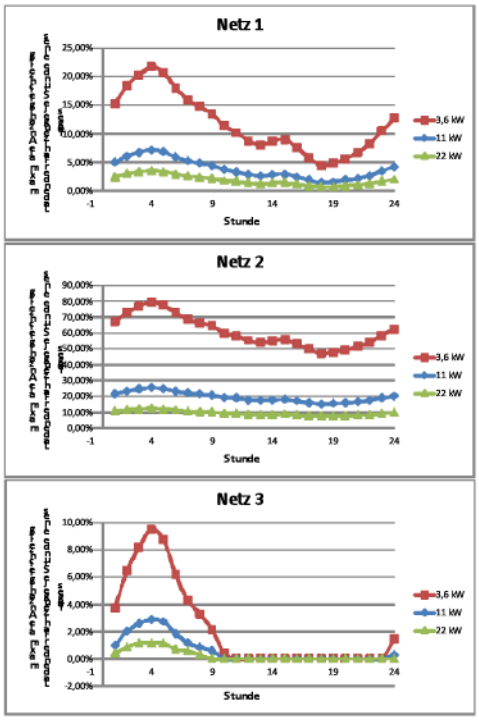
4.1.5.4.5 Wirtschaftlicher Nutzen ÖLM

Mit ÖLM kann die Anzahl ladbarer Fahrzeuge ohne Ausbaumaßnahmen je betrachtetem Netz bis um den Faktor 5 gesteigert werden.

Durch die Limitierung der Ladeleistung/des Ladestroms von Elektrofahrzeugen unter Berücksichtigung vorgegebener Kriterien des gesamten vorgelagerten Niederspannungsverteilnetzes werden zu jedem Zeitpunkt Betriebsmittelbelastung und Verletzung des Spannungsbands vermieden. Die Motivation für die Anwendung eines ÖLM belegt Abbildung 81. Die vom DSO Vattenfall Berlin zur Verfügung gestellten Modellnetze sind

auf Grundlage ihrer heutigen Belastung hinsichtlich gleichzeitig ladbarer Elektrofahrzeuge analysiert worden. Das zugrunde liegende Worst-Case-Verfahren ist:

- Ladung am spannungsschwächsten Knoten, bis die Anzahl der zu ladenden Fahrzeuge die Anzahl definierter Ladepunkte im Netz (äquivalent der Anzahl Haushalte) erreicht ist (weitere Fahrzeuge werden an den zweit-, dritt-, ... schwächsten Knoten geladen) oder das Spannungsniveau an einem Knoten im Modellnetz unterschritten wird bzw. ein Betriebsmittel überlastet ist (finale Anzahl ist ermittelt).
- Die Belastung durch gleichzeitig ladende Elektrofahrzeuge ist durch geeignete Maßnahmen für niedrige Ladeleistungen (3,6kVA oder weniger) symmetrisch, Ladungen mit 11kVA oder 22 kVA sind technisch symmetrisch.
- Unterer Grenzwert für das Spannungsniveau ist 90%.
- Oberer Grenzwert für die Betriebsmittelbelastung ist 70%.



Netz 1-innerstädtisch

- Minimal sind 0,7% (3 EVs) (22kW) bis 4,33% (18 EVs) (3,6kW) gleichzeitig ladbar zur ungünstigsten Stunde des Tages (gesteuert/ungesteuert)
- Basis: 433 Haushalte
- ◊ ÖLM erhöht die Anzahl der je Tag ladbaren Fahrzeuge um den Faktor 5

Netz 2-äußerer Netzbereich rekonstruiert

- Minimal sind 7,52% (10 EVs) (22kW) bis 47% (62 EVs) (3,6kW) gleichzeitig ladbar zur ungünstigsten Stunde des Tages
- Basis: 133 Haushalte
- ◊ ÖLM erhöht die Anzahl der je Tag ladbaren Fahrzeuge um den Faktor 1,8

Netz 3–äußerer Netzbereich nicht rekonstruiert

- Minimal sind 0% (0 EVs) gleichzeitig ladbar zur ungünstigsten Stunde des Tages
- Basis: 174 Haushalte
- ÖLM ist Grundlage, dass überhaupt ohne Netzausbau geladen werden kann

Abbildung 81: Funktionaler Nutzen ÖLM (Beispiel)

Die Abkehr der Betrachtung einer gleichverteilten Last durch Elektrofahrzeuge lässt sich begründen mit der gegenüber der vorhandenen Vorbelastung deutlich gesteigerten Last, selbst bei 3,6kVA. In der Annahme, dass der Einzelhaushalt mit einer Maximallast von

3kVA betrachtet wird, verdoppelt ein mit relativ geringer Ladeleistung ladendes Elektrofahrzeug die gesamte Haushaltslast bzw. verfünffacht diese im Fall der 11kVA Ladung. Elektrofahrzeuge sind demzufolge aus Niederspannungsverteilnetzsicht diskrete Lasten, ohne Vergleichmäßigungseffekte an Niederspannungsnetzknoten. Je nach Nutzerverhalten ergeben sich eine Vielzahl von konzentrierten oder teilkonzentrierten Szenarien, die durch das diskrete Lastverhalten schwer allgemeingültig zu beschreiben ist. Durch Verwendung des Worst-Case-Verfahrens wird damit gewährleistet, dass die Untersuchungen der Modellnetze mit Sicherheit technische Grenzen aufweisen, ohne einschränkende Annahmen bezüglich des Nutzerverhaltens zu treffen.

Die erzielten Ergebnisse der betrachteten Modellnetze zeigen, dass die Anzahl gleichzeitig ladbarer Fahrzeuge eine Funktion der Tageszeit ist, die sich aus dem angenommenen Lastverhalten der Nutzer nach dem Standardlastprofil für Privathaushalte ergibt. Das mit Abstand schwächste Netz 3 im äußeren Netzbereich ist bereits so stark belastet, dass Elektrofahrzeuge ausschließlich in den Nachtstunden geladen werden können.

Weniger kritisch stellen sich die Situationen in den Netzen 1 und 2 dar, die auch Ladungen über den Tag hinweg erlauben. Die Angaben über die Anzahl gleichzeitig ladbarer Fahrzeuge in den Modellnetzen können durch Verwendung des im Projekt MINI E Berlin 1.0 ermittelten Gleichzeitigkeitsfaktor von 30% zeitgleich angeschlossener Fahrzeuge auf die max. Anzahl in den Netzen zulässiger Fahrzeuge normiert werden, durch Multiplikation aller Werte mit rund 3,33. Vor dem Hintergrund des Szenarios 2030 von rund 12,5% Anteil Elektrofahrzeuge am Kraftfahrzeugpark (angenommen je Haushalt 1 Kraftfahrzeug) erweisen sich die Modellnetze 1 und 2 als unkritisch, sofern mit 3,6kVA (bei geeigneter Symmetrierung des einphasigen Ladens) geladen wird. Ladeleistungen von 7 kW und mehr, wie von Fahrzeug-Herstellern künftig ebenfalls angeboten, lassen eine Überprüfung der Anschlussleistung und der Lademöglichkeit sowohl auf Seiten des Gebäudenetzes als auch auf Seiten des örtlichen Verteilnetzes als zwingend geboten erscheinen.

Das Modellnetz 3 wird nur durch Anwendung ÖLM oder Netzausbau bei den gewählten Kriterien geeignet sein Elektrofahrzeuge zu beladen. Dies gilt sowohl für den gesteuerten als auch ungesteuerten Fall.

Bezugnehmend auf die Ziele des Gesteuerten Ladens ist kritisch zu würdigen, dass ÖLM als Restriktionsfunktion die Freiheit der Optimierung einschränkt und damit eine Reduktion der Güte des Gesteuerten Ladens im Sinne der Optimierung auf eine Zielfunktion hin erfolgt. Durch die gewählte Beschränkung können unter Umständen besonders günstige Zeitpunkte nicht genutzt werden, so dass z.B. bei Anwendung windgesteuerten Ladens das globale Ziel einer der Windeinspeisung folgenden Last durch Netzrestriktionen nicht vollumfänglich erreicht werden kann. Ob sich daraus die Technologie des ÖLM entwertet und der Zwang zum Netzausbau abgeleitet werden kann, ist an dieser Stelle nicht bewertet, da es sich hier um ausschließliche Betrachtungen zu technologischen Alternativen zum Netzausbau aufgrund der Ladung von Elektrofahrzeugen handelt.

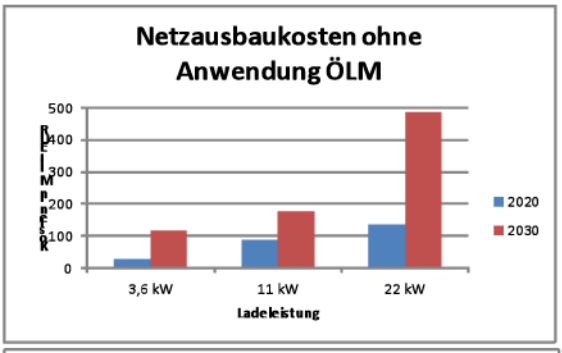
Mit ÖLM wird ein wirtschaftlicher Nutzen aus vermiedenem Netzausbau erzielt.

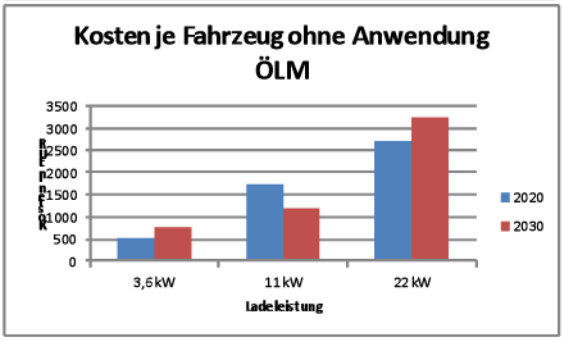
Der Ansatz zur Ermittlung des wirtschaftlichen Nutzens von ÖLM ergibt sich durch einen vermiedenen Netzausbau im Niederspannungsnetz. Es wird davon ausgegangen, dass ein ÖLM die Einhaltung der maximalen Betriebsmittelbelastungen zu jeder Zeit gewährleisten kann. Im Extremfall (=drohender Überlast) würde einem Fahrzeug die Ladung komplett verweigert. Die Einhaltung der Betriebsmittelgrenzen würde aus Sicht der Versorgungssicherheit damit gegenüber den individuellen Mobilitätsanforderungen priorisiert. ÖLM könnte somit die Netzausbaumaßnahmen vollumfänglich vermeiden, würde aber damit die Ausbreitung der Elektro-Mobilität limitieren. Unter Netzausbaumaßnahmen wird der Tausch von Betriebsmitteln betrachtet. Lösungsmöglichkeiten durch Aufbau neuer Netztopologien werden außer Acht gelassen. Kosten, die durch Anpassungen des Netzschutzes entstehen oder zusätzlich anfallende Personalkosten für Wartung und Betrieb, werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Die LLM-Funktionalität kommt nicht zur Anwendung, wenn von max. einem Fahrzeug je Hausanschluss ausgegangen wird. Zielführend kann nur ein Abgleich zwischen dem Kundeninteresse am jederzeit sicheren Laden seines Elektro-Fahrzeugs und der wirtschaftlichen Sicherstellung der Betriebs- und Versorgungssicherheit durch den Verteilnetzbetreiber sein. Daraus resultiert die Beherrschung eines bedarfsgerechten Netzausbaus: Gemäß der Annahmen zur Ermittlung der Notwendigkeit von ÖLM, ergeben sich je nach Anzahl der Elektrofahrzeuge in den betrachteten Netzen verschiedene Ausbaustufen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit. Die Ermittlung der Höhe der Kosten der Maßnahmen erfolgt dabei durch ein Stufenmodell:

- Simulative Bestimmung einer Grenzwertverletzung an einem Betriebsmittel
- Falls erforderlich Anpassung der Betriebsmittel durch Ersetzen mit nächst größerem Querschnitt für Kabel und nächst höherer Leistungsklasse für Transformatoren
- Akkumulieren der Ausbaumaßnahmen und Bestimmen der Ausbaukosten mittels Häufigkeitsschlüssel der Referenznetze und Kostenschlüssel für Betriebsmittel

Abhängig von der Ladeleistung würden sich demnach ohne ÖLM zum Laden von 50.000 Fahrzeugen in Berlin im Jahr 2020 und 150000 Fahrzeuge im Jahr 2030 Gesamtkosten für eine Niederspannungsnetzerweiterung von ca. 26 Mio. € (Ladeleistung 3,6kW je Fahrzeug, 2020) bis zu 500 Mio. € (bei einer Ladeleistung von 22kW, je Fahrzeug bis zum Jahr 2030) ergeben.

Die Investitionssumme je Fahrzeug beträgt - über einen Investitionszeitraum von 20 Jahren - 530€ für 3,6kW-Fahrzeuge im Jahr 2020 und ca. 3200€ für 22kW-Fahrzeuge in 2030 über einen Investitionszeitraum von 20 Jahren.





Annahmen

- Basis Referenznetze DSO-Berlin
- Iterative Leistungsflussrechnung mit virtuellem Netzausbau des Referenznetzes bis Betriebsmittelgrenzen nach Strom und Spannung unterschritten werden
- Netzausbaukosten ergeben sich aus notwendigen Ausbaumaßnahmen unter Verwendung eines entsprechenden Kostenschlüssels
  - Transformatortausch: 25000 € / Stk
  - Erweiterung mit Kabeln: 130 €/m
- Anzahl äquivalenter Berliner Referenznetze im DSO Bereich
  - 10xx: 2380
  - 20xx: 5180
  - 30xx: 840
- Anzahl EVs im Berliner Netzgebiet
  - 2010 200 EVs (de facto kein Netzausbaubedarf)
  - 2020 50.000 EVs
  - 2030 150.000 EVs

Ergebnis *

- Bis in das Jahr 2020 (9 Jahre Horizont) sind je EV zwischen 60€/Jahr (3,6kW) und 300€/Jahr (22 kW) zu investieren
- Bis in das Jahr 2030 (19 Jahre Horizont) sind je EV zwischen 85€/Jahr und 360€/Jahr zu investieren
- *) Diagramme enthalten die Summenwerte über den jeweiligen Zeithorizont von 9 bzw. 19 Jahren

Abbildung 82: Wirtschaftlicher Nutzen ÖLM

4.1.5.4.6 Zusammenwirken der Restriktionen

Der tatsächlich fließende maximale Ladestrom ergibt sich aus dem kleinsten Wert der Überlagerung der Vorgaben aus LLM, ÖLM und dem tatsächlich abgenommenen Ladestrom des Elektrofahrzeugs.

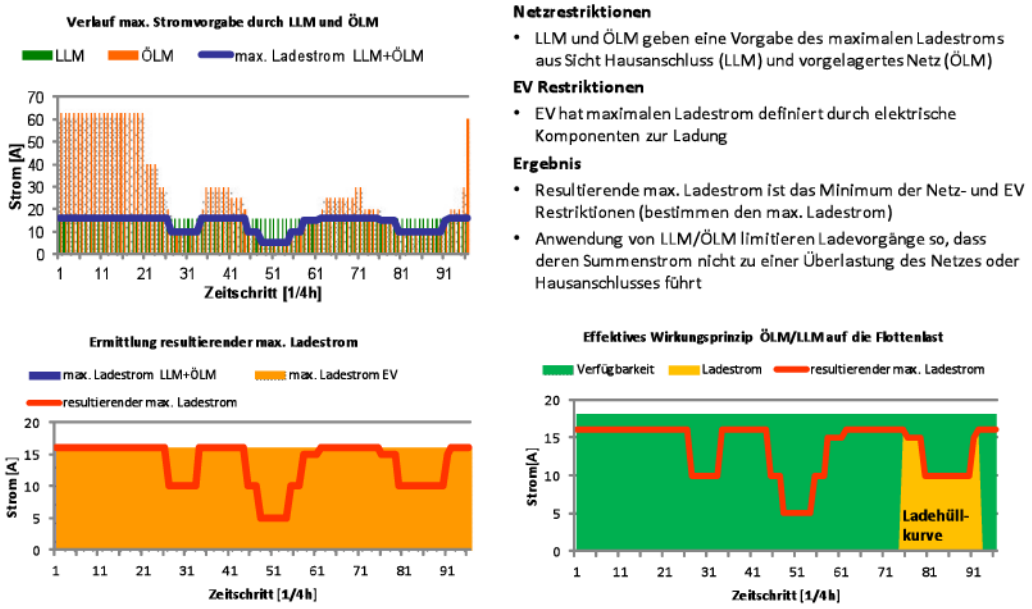


Abbildung 83: Zusammenwirken von LLM und ÖLM

Die berechneten Restriktionen der ÖLM-Anwendung und der LLM-Anwendung wirken zusammen und ergeben, ergänzt um die Fahrzeugrestriktion eines maximalen Ladestroms, den tatsächlich fließenden maximalen Strom. Der kleinste der drei Restriktionswerte bildet den Maximalwert für den Ladestrom bzw. die maximale Ladeleistung eines Fahrzeuges. Oder anders ausgedrückt: Die ermittelte Netzrestriktionskurve ist ein Hüllkurve, die sich als Minimum aus der ÖLM- und LLM-Kurve ergibt.

4.1.5.4.7 Messungen ÖLM im Probebetrieb

Im Rahmen des geplanten Probebetriebs wurden reale Messungen in einem öffentlichen Netz durchgeführt, um Rückschlüsse auf die tatsächlichen elektrischen Verhältnisse im Niederspannungsortsnetz zu erhalten und das Simulationsmodell dagegen abzugleichen. Im Netzbereich Berlin-Lichtenrade werden kontinuierlich Messdaten (Strom, Spannung, Scheinleistung) aufgenommen. Es wird auf die Dokumentation in TP5 verwiesen.

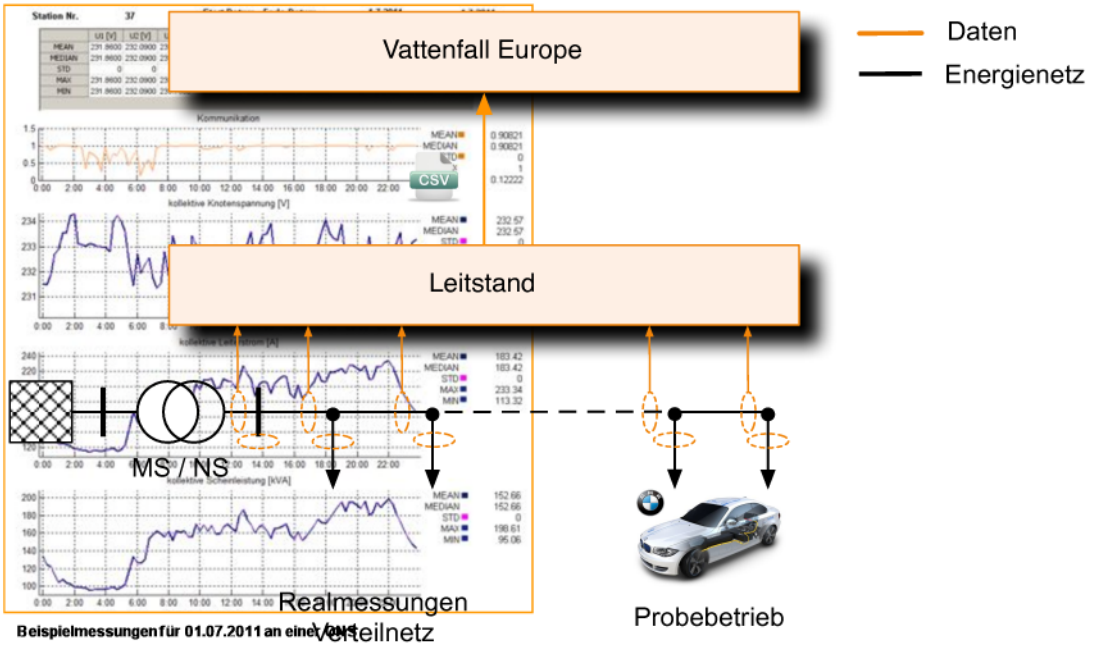


Abbildung 84: Beispielhafte Implementierung ÖLM

Die ÖLM-Anwendung verarbeitet die Messdaten zusammen mit den Netzkenngrößen und Netzzustandsdaten zu einem ÖLM-Ausgangssignal.

Aus Vereinfachungsgründen wird für den Integrationstest und die Vorbereitung des Probebetriebs das ÖLM-Signal für den gesamten Ladevorgang konstant gesetzt. Die ÖLM-Anwendung und ihr Algorithmus wurden im Rahmen dieses Projektes in Simulationen, dargestellt in D1.1, nachgebildet, jedoch nicht umgesetzt.

4.1.5.4.8 Umsetzung LLM für den Probebetrieb

Die Umsetzung des LLM erfolgte für sechs Ladepunkte auf einem Vattenfall Firmengelände in Berlin als Master-Satelliten-Aufbau mit sechs Ladepunkten für insgesamt sechs gleichzeitig anschließbare Fahrzeuge (siehe TP5). Der vorhandene Netzanschluss ist so dimensioniert, dass das gleichzeitige Laden aller sechs Fahrzeuge zu einer Grenzwertüberschreitung führen würde.

Durch LLM werden die Ladevorgänge so verwaltet, das es zu keiner Auslösung der Sicherungsautomaten kam und alle Fahrzeuge zum gewünschten Zeitpunkt die gewünschte Strommenge geladen hatten. Das LLM-System als solches arbeitet robust un-

ter Anwendung des First-Come-First-Served-Prinzips. Die Abstimmung zwischen Ladeinfrastruktur und E-Fahrzeug ist erfolgreich nachgewiesen. Es wurden mehrere Szenarien analysiert, die u.a. direktes Laden zeitlich dicht nacheinander und zeitversetztes Laden mit Ladeunterbrechung abbilden (TP5).

4.1.5.4.9 Umsetzung LLM/ÖLM für das Simulationssystem „Flotten“

Für die Systemsimulation der Vehicle-2-Grid-Anwendung (Flotte) ist eine erweiterte LLM-/ÖLM-Funktionalität entwickelt und implementiert worden. Äquivalent zu der zeitlich variablen ÖLM-Funktion wurden für die V2G-Anwendung ein positives ÖLM-Signal für das Beladen und ein negatives ÖLM-Signal für das Entladen der Elektrofahrzeuge eingeführt. Die Kriterien für die Limitierung des Lade-/Entladestroms einzelner Fahrzeuge wurden auf Basis der prognostizierter zukünftiger Verläufe der Leistungsentnahme in den betrachteten drei Modellnetzen (siehe D1.1), sowie auf Basis einer geschätzten angenommenen Betriebsmittelbelastung und des berechneter Spannungsniveaus ermittelt.

4.2 Teilprojekt 2: Nutzerfreundlichkeit

4.2.1 Management Summary

4.2.1.1 Ziele und Aufgaben

Die Nutzerakzeptanz der Elektromobilität generell und die Funktionalität des Gesteuerten Ladens im Speziellen hängen entscheidend auch von der Nutzerfreundlichkeit ab. Im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen weisen elektrische Fahrzeuge, auf dem derzeitigen technischen Stand, wesentliche Unterschiede auf. Diese Unterschiede bestehen unter anderem darin, dass Fahrzeuge über mehrere Stunden geladen werden müssen (Im Gegensatz zu dem bisherigen Tankvorgang). Zusätzlich stehen kürzere Reichweiten zur Verfügung als bisher mit konventionellen Fahrzeugen gewohnt. Hinzu kommt, dass durch die neue Technik auch der Informationsbedarf der Nutzer zum Betrieb der Fahrzeuge steigt. Dies zeigt sich zum Beispiel in neuen Anforderungen zum Anzeige- und Bedienkonzept der Fahrzeuge.

Eine weitere Differenzierung zu herkömmlichen Fahrzeugen besteht in der Möglichkeit der Nutzung von umweltfreundlichem Strom aus erneuerbaren Energien im Elektrofahrzeug und somit in einer rechnerischen Verbesserung der CO_2-Bilanz. Regenerative und volatile Energiequellen können besser genutzt werden, wenn die Fahrzeuge möglichst lang am Stromnetz angeschlossen sind. Denn nur durch eine entsprechende zeitliche Verfügbarkeit der Elektrofahrzeuge am Stromnetz kann eine flexible Steuerung des Ladevorgangs unter Berücksichtigung verschiedenster Parameter realisiert werden.

Aus diesen Gründen war die Zielsetzung des Teilpaketes, Nutzer durch eine gezielte Applikation bei der Planung und Steuerung des individuellen Ladevorganges - unter Berücksichtigung der Funktionalität des Gesteuerten Ladens - zu unterstützen. Dadurch sollen Nutzer zum Anschließen des Elektrofahrzeugs am Stromnetz motiviert und Nutzungsbarrieren minimiert/beseitigt werden.

4.2.1.2 Vorgehen, Methodik

Um die Ziele zu erreichen, wurde ein iPhone-Applikation (der sogenannte „Ladeassistent“) und eine Methodik zur Evaluierung der iPhone-Applikation entwickelt. Diese Applikation ermöglicht dem Nutzer seine individuellen Mobilitäts- bzw. Reichweitenanforde-

rungen einzustellen. Dadurch definiert der Nutzer die Randbedingungen für die Ladevorgänge. Außerdem wird der Erfolg des Gesteuerten Ladens visualisiert. Der Nutzer erhält zudem Optimierungsvorschläge für sein individuelles Ladeverhalten, um ein ökologisch optimiertes Verhalten zu fördern. Zu diesem Zweck wird der W2V-Erfolg im User-Interface visualisiert und zwar mithilfe realisierter Ex-Post-Daten, ergänzt um Prognosedaten für das nächste erwartete grüne Windzeitfenster im Userinterface visualisiert. Ziel ist es die Ladevorgänge innerhalb der grünen Zeitfenster zu maximieren.

4.2.1.3 Ergebnisse

In Deliverable 2.1 wurden die konkreten Anforderungen der Nutzer aus dem Projekt „MINI E Berlin powered by Vattenfall V1.0“ aufgearbeitet und als Maßstab für die Entwicklung der Applikation in umzusetzende, funktionale Anforderungen transformiert. Eine zentrale Erweiterung, die aus der Anforderungsanalyse abgeleitet wurde ist die Umsetzung einer Remote-Funktion zur Eingabe individueller Mobilitätsanforderungen (Abfahrtszeitpunkt, Mindestreichweite). In MINI E Berlin 1.0 musste der Nutzer diese Einstellungen über ein Web-Portal vornehmen. Die Nutzerfreundlichkeit wird so deutlich erhöht. Des Weiteren erhalten die Nutzer in Version 1.0 noch keine Informationen zum Zusammenhang zwischen Windeinspeisung und Ladevorgängen und damit keine Rückmeldung zu ihrem individuellen W2V-Erfolg. Dies wird in Version 2.0 durch eine gezielte Visualisierung des W2V-Erfolgs ermöglicht. Als für den Nutzer zentrale Anforderung wurden außerdem dynamische Informationen zur Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur definiert. In Version 2.0 werden dem Kunden genauere und dynamisch aktualisierte Daten zur Verfügung gestellt. Zudem wurde eine Methodik zur Evaluierung der zu erstellenden Applikation aus wissenschaftlicher Sicht entwickelt.

In Deliverable 2.2 wurde die komplette technische Entwicklung des Ladeassistenten durchgeführt. Die iPhone-Applikation „Ladeassistent“ dient als Schnittstelle zwischen Nutzer, Fahrzeug und Energieversorger. Darin werden alle Angaben des Nutzers entgegengenommen und zusammen mit relevanten Fahrzeugdaten an ein zentrales OEM-Backend übertragen. Ziel ist es dem Nutzer die Eingaben seiner individuellen Mobilitätsanforderungen auf einfache Art zu ermöglichen. Gezielte Informationen sollen zu einer Optimierung seines individuellen Lademanagements beitragen. Dadurch soll die Motivation und damit die Bereitschaft zur Partizipation am Gesteuerten Laden gesteigert werden. In den untenstehenden Grafiken sind die zentralen Funktionen dargestellt.

Im Screen „E-Status“ Nutzer erhält der Nutzer alle relevanten Funktionen über den Ladestatus seines Fahrzeugs (SOC, Reichweite, verbleibende Restladezeit). Im Screen „Kalender“ kann der Nutzer seine Mobilitäts- bzw. Reichweitenanforderungen einfach angeben. So kann das für ihn optimale Lademanagement errechnet werden. Der Screen „Information“ liefert dem Nutzer Informationen zu seinem Ladeverhalten. Als zentrale Information stehen im Angaben zum Windenergieanteil zur Verfügung. Die gezielte Visualisierung soll Ihn dazu motivieren am gesteuerten Laden teilzunehmen.

Abbildung 1: Screenshots des Ladeassistenten

4.2.1.4 Abweichungen

Im Rahmen der Tätigkeiten für das Arbeitspaket 2.1.1 „Übergreifende nutzerbezogene Anforderungsanalyse der Applikationen auf Basis der gemeinsamen Hypothesendefinitionen“ wurde ein Anforderungskatalog erstellt. Durch die zusätzliche Integration individuellen Anforderungen zweier Fuhrparkmanager (möglicher Einsatzbereich von E-Fahrzeugen) und damit verbundenen Befragungen, verzögerte sich der Abschluss dieses Arbeitspaketes gegenüber der ursprünglichen Planung. Diese zeitliche Verzögerung konnte jedoch im Gesamtablauf des Forschungsprojektes an anderer Stelle kompensiert werden und hatte somit keine Auswirkungen auf die Qualität der Forschungsergebnisse.

Die Auswertungen der Usability-Untersuchungen im Arbeitspaket AP 2.1.5 wurden leicht verzögert fertig gestellt, was ohne Implikationen für die Zielerreichung blieb.

Aufgrund der technischen Herausforderungen bei der Realisierung des Gesamtsystems konnten Systemtest und Probebetrieb des Ladeassistenten nicht planmäßig durchgeführt werden. Die Systemtests fanden im September 2011 statt, etwa 2 Monate später als ursprünglich geplant. Der als Langzeituntersuchungen angelegt Probebetrieb wurde nicht durchgeführt. Daher können keine Aussagen über den Beitrag des Ladeassistenten zu geändertem Nutzerverhalten bzw. einer Motivationsförderung zur Teilnahme am Gesteuerten Laden getroffen werden. Obwohl damit eine zentrale Zielsetzung des Teilpakets nicht erfüllt werden konnte, lassen die Ergebnisse der Usability Test aus dem Deliverable 2.1 den Schluss zu, dass ein solcher Effekt durchaus realistisch ist. Das Budget wurde sowohl für das Teilpaket, als auch in den einzelnen Deliverables eingehalten.

4.2.2 Deliverable 2.1: Nutzeranforderungen und -akzeptanz

Anforderungsanalyse und entwicklungsbegleitende Evaluierung der Bedienerfreundlichkeit und Nutzerakzeptanz von Mehrwertdiensten

4.2.2.1 Management Summery

Die nutzerseitigen Anforderungen an mögliche Mehrwertdienste zum Gesteuerten Laden wurden mithilfe der qualitativen und quantitativen Daten aus Nutzerbefragungen des Projekts MINI E Berlin 1.0, einer Fokusgruppe mit Elektromobilitätsexperten sowie Telefoninterviews mit elektromobilitäts-erfahrenen Fuhrparkmanagern ermittelt. Als zusätzliche Anforderungen an Software und Mobilfunk-Applikationen dienten Ergebnisse einer Literaturrecherche zu Usability-Richtlinien, welche die Grundlage für eine Experteneva-luation und einen Nutzertest des Ladeassistenten mit 40 Testpersonen bildeten.

Die MINI E-Nutzer präferierten als Plattform für einen Ladeassistenten entweder eine Schnittstelle direkt im Fahrzeug oder eine Mobilfunk-Applikation. Diese sollte über den Vorgang des Gesteuerten Ladens informieren und dabei wichtige Bereiche wie beispielsweise die Sicherheit oder Flexibilität beim Laden umfassen. Mehrwertdienste sollten die Schwierigkeiten, die beim Gesteuerten Laden auftreten können, reduzieren, wenig Zeit und Aufwand erfordern und ortsunabhängig einsetzbar sein. Wichtige Funktionen, die Nutzer als Bestandteil von Mehrwertdiensten sehen, sind Rückmeldungen über

den Ladeprozess, Informationen über die öffentliche Ladeinfrastruktur und Einzelfunktionen wie Kalender, Anreizsysteme und Feedback zum Energieverbrauch bzw. den Kosten.

Um die Verwendung von Elektrofahrzeugen für Flotten attraktiver zu gestalten und den Ladevorgang zu vereinfachen, sollten Mehrwertdienste für Fuhrparknutzer relevante Information wie die verfügbare Reichweite entsprechend des Ladezustands anzeigen und in das Buchungssystem integrieren. Problematisch für Fuhrparknutzer stellt sich die Einschränkung der Flexibilität der Fahrzeuge durch die langen Ladezeitfenster dar. Um diesbezüglich negative Effekte des Gesteuerten Ladens abzufangen, bietet die Applikation die Möglichkeit der einfachen Umstellung auf Sofortladen, damit kurzfristig eingehende Buchungen abgedeckt werden können. Allgemein empfiehlt es sich für Fuhrparks, ein System zur Unterstützung des Gesteuerten Ladens zu entwickeln, das sich in die bestehenden Organisationssysteme und Planungstafeln integrieren lässt.

Zur Bewertung der Usability des Ladeassistenten und speziell zur Ableitung von Nutzeranforderungen von Mobilfunk-Applikationen wurde der wissenschaftliche State-of-the-art zu Software/Dialogsystem- und iPhone-Usability genutzt. Usability-Experten schätzten den Ladeassistenten überwiegend positiv ein, wobei einige allgemeine Usability-Probleme wie fehlende Scrollbalken und Back-Buttons oder missverständliche Symbole bemängelt wurden. Im Rahmen der Nutzertests wurden 40 Testpersonen Szenarien vorgelegt, die typische Situationen repräsentierten, in denen der Ladeassistent zukünftig eingesetzt werden soll. Der Ladeassistent wurde in seiner Funktionalität als ein wichtiges Hilfsmittel betrachtet, um das Gesteuerte Laden zu ermöglichen. Trotz der Notwendigkeit, kleinere Änderungen zur Verbesserung der Usability durchzuführen, zeigten sich die Nutzer mit der aktuellen Version sehr zufrieden und schätzten den Ladeassistenten als hilfreich ein.

4.2.2.2 Zielsetzung

Das Ziel dieses Deliverables bestand darin

- konkrete nutzerseitige Anforderungen an mögliche Mehrwertdienste zu eruieren (AP 2.1.1.),
- Hypothesen zu generieren (AP 2.1.2, AP 2.1.3, AP 2.1.4), um eine Methodik zur Evaluierung dieser Mehrwertdienste entwickeln zu können,

- entsprechende Untersuchungen durchzuführen (AP 2.1.5).

Im Unterschied zum Projektantrag gibt es an dieser Stelle nicht mehrere Applikationen, sondern mehrere Funktionen, die in einer umfangreichen Applikation integriert sind.

4.2.2.3 Vorgehen, Methodik

Zur Erstellung der Anforderungsprofile wurden in AP 2.1.1 relevante Daten aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0 themenfokussiert ausgewertet. Des Weiteren gingen die Ergebnisse einer Fokusgruppe mit Elektromobilitätsexperten aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0 und die Ergebnisse zweier Telefoninterviews mit elektromobilitäts-erfahrenen Fuhrparkmanagern in den Anforderungskatalog ein. Als zusätzliche Information zu Anforderungen an Software und Mobilfunk-Applikationen dienten Ergebnisse einer Literaturrecherche zu Usability-Richtlinien. In den Arbeitspaketen AP 2.1.2, AP 2.1.3 und AP 2.1.4 stellten die jeweiligen Projektpartner Hypothesen zusammen, die anschließend in den Usability-Tests untersucht werden sollten. Im Rahmen des AP2.1.5 wurde für den im Deliverable 2.2 entwickelten Ladeassistent eine Usability-Untersuchung geplant. Die Konzeption der Erhebungsinstrumente beinhaltete u.a. eine Literaturrecherche und die Entwicklung von Kurzinterviews zum Aufdecken von Potenzialen. Daran anschließend folgten Durchführung und Auswertung der Untersuchung.

4.2.2.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.2.2.4.1 Anforderungsprofile

4.2.2.4.1.1 Themenfokussierte Auswertung relevanter Daten aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0

Im Rahmen des Projekts MINI E Berlin 1.0 nutzten 80 Personen über insgesamt sechs Monate das Elektrofahrzeug MINI E sowie Ladeinfrastruktur in Form von Wallboxen und öffentlichen Ladesäulen. Diese Personen wurden im Rahmen der Nutzerstudie mehrmals befragt. Qualitative und quantitative Daten einer Befragung nach dreimonatiger Nutzung des MINI E und einer Befragung nach Beendigung der sechsmonatigen Nutzungsdauer sowie einer zusätzlichen Befragung zu einer Mobilitätsapplikation, dem sogenannten Mobility-Assistant, wurden themenfokussiert ausgewertet.

Bevorzugte Plattform für einen Ladeassistenten

Im Projekt MINI E Berlin 1.0 wurden die Nutzer zu Verbesserungsvorschlägen für das Gesteuerte Laden befragt. Die geäußerten Vorschläge betrafen vor allem die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Die Nutzer wünschten sich sowohl Erweiterungen des Internetportals als auch zusätzliche Mensch-Maschine-Schnittstellen. Nach Ansicht der Teilnehmer sollte ein Ladeassistent entweder direkt im Fahrzeug oder über eine Mobilfunk-Applikation (11% der Nutzer) angeboten werden. Auch aufgrund des geringen Aufwandes bei der Nutzung von Handyanwendungen und der daraus resultierenden Akzeptanz eines solchen Systems ist diese Implementierungsform für den Ladeassistenten empfehlenswert.

Weiterhin gaben 61% der Befragten an, sie wünschten sich ein Programm auf dem Handy, das ihnen anzeigt, zu welchen Zeiten gesteuert geladen wurde. Die Eingabe von Abfahrtszeiten über ein Programm auf dem Handy hätten 63% der Befragten begrüßt. Demgegenüber gaben 61% der Befragten an, dass sie es sehr stören würde, wenn sie einem Handyprogramm ständig Ausnahmen ihrer Abfahrtszeit mitteilen sollten. Daher erscheint es sinnvoll, Informationen über Abweichungen vom normalen Rhythmus direkt aus dem Terminkalender des Nutzers in die Applikation zu überführen und auf Grundlage dieser Informationen neue Ladepläne zu entwerfen.

Nutzerverhalten in Bezug auf das Laden

In offener Form wurden die Nutzer befragt, was sie in Bezug auf das Laden anstrebten und was sie zu vermeiden versuchten. Die Antworten lassen sich in die Kategorien „günstige Strompreise nutzen“, „Akku schonen“, „Sicherheit“ und „Flexibilität“, „geistige Ressourcen schonen“ und „komfortables Laden“ einordnen. Diese Bereiche sollten demnach in einer Applikation zur Unterstützung des Gesteuerten Ladens berücksichtigt werden.

Schwierigkeiten beim Gesteuerten Laden

Weiterhin wurden die Nutzer nach den Problemen befragt, die ihnen beim Gesteuerten Laden begegneten. Die Einstellungen der Ladevorgänge über das Internetportal empfanden die Nutzer als umständlich, v.a. wenn das Auto unplanmäßig sofort geladen werden musste. Die Nutzer wünschten sich, dass die Funktionen des Ladeassistenten und der Ladeassistent im Allgemeinen so gestaltet seien, dass sie möglichst wenig Zeit und Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen. Die geplante Mobilfunk-Applikation ist in diesem

Sinne besser als das Internetportal geeignet, die Bedürfnisse der Nutzer zu erfüllen, weil sie ortsunabhängig und ohne großen Aufwand verwendet werden kann.

Eine weitere Gruppe von Anmerkungen zum Gesteuerten Laden lässt sich am besten mit dem Schlagwort „Verbesserung der Kommunikation zwischen dem Nutzer und dem System“ beschreiben.

Wenn das Auto zum Gesteuerten Laden angesteckt wurde, fehlte den Nutzern eine Rückmeldung darüber, ob das Anstecken erfolgreich war, denn eine Rückmeldung war nur vorgesehen, wenn das Fahrzeug auch tatsächlich geladen wurde. Außerdem wünschten sich die Nutzer mehr Rückmeldung darüber, warum ihr Fahrzeug manchmal nicht vollständig aufgeladen war. Des Weiteren wünschten sie sich eine Anzeige, in welchem Lademodus sich das Fahrzeug befindet (z.B. Gesteuertes Laden/Direktladen, Amperezahl etc.). Die realisierte Mobilfunk-Applikation sieht die gewünschten Rückmeldungen vor.

Wünsche an einen Ladeassistenten

In zukünftigen Entwicklungen sollen öffentliche Ladesäulen entstehen, an denen ebenfalls gesteuert geladen werden kann. Aus diesem Grund sind auch Daten zu diesem Thema von Interesse. Einige Nutzer berichteten, dass sie sich ungern auf öffentliche Ladesäulen verlassen – aus Angst, dass die gewünschte Ladesäule nicht benutzbar ist (kaputt, besetzt etc.). Außerdem wurden Probleme in Bezug auf das Auffinden von Ladesäulen berichtet.

Auch die Lösung dieser beiden Probleme ist mit der Mobilfunk-Applikation möglich. In die Applikation sollte ein Ladesäulen-Leitsystem integriert werden. Die Ladesäulen und deren Standorte sollten detailliert beschrieben und eventuell mit Fotos zusätzlich präzisiert werden. Außerdem sollte – falls technisch und rechtlich umsetzbar – eine Ladesäulen-Reservierungsfunktion entwickelt werden.

Vereinzelt sprachen die Nutzer weitere Probleme an: So wünschten sich einige Personen die Ladezeiten genauer definieren zu können, um von ihren besonderen Strompreiskonditionen zu profitieren. Nutzer wünschten sich einen einfachen manuellen Mechanismus, mit dem das Sofortladen schnell gestartet werden kann, ohne dass erst eine Software benutzt werden muss. Dies sei für spontane Ausnahmen der komfortabelste Weg (insofern man nicht an einer öffentlichen Ladesäule lädt). Auch das flexible Um-

schalten zwischen Gesteuertem Laden und Sofortladen wurde von den Nutzern gewünscht, damit im Falle von Terminänderungen der jeweils passende Modus eingeschalten werden kann – unabhängig davon, welche Einstellungen beim Anstecken des Fahrzeuges vorgenommen wurden. Besonders wichtig zu erwähnen ist im Zusammenhang mit dem Internetportal, dass das Eingeben von Username und Passwort als sehr aufwendig empfunden wurde.

4.2.2.4.1.2 Befragung von Elektromobilitätsexperten im Rahmen einer Fokusgruppe

An der Fokusgruppe nahmen acht ehemalige MINI E-Fahrer teil. Davon stammten zwei Personen aus der ersten Nutzungsphase und sechs Personen aus der zweiten Nutzerphase des Projekts MINI E Berlin 1.0. Der überwiegende Teil der Teilnehmer war männlich (sieben von acht Personen). Die Gruppe bestand hauptsächlich aus den Personen, die während der sechsmonatigen Nutzungszeit von der wissenschaftlichen Begleitforschung regelmäßig befragt wurden (sieben von acht Personen). Ein Überblick über die Charakteristika der Teilnehmer ist in der folgenden Tabelle abgebildet.

Merkmal	Ausprägung
Geschlecht	1 weiblich 7 männlich
Alter	Ø 52,5 Jahre
Höchster Abschluss	12,5% Lehre 87,5% Hochschulabschluss
Nutzung des Internetportals zum Einstellen veränderter Abfahrtszeiten im Rahmen des Vorgängerprojekts (subjektive Angabe)	50% stimmten zu 50% stimmten nicht zu

Tabelle 21: Charakteristika der Fokusgruppenteilnehmer

Alle Personen hatten während des Projekts MINI E Berlin 1.0 Erfahrung mit dem Gesteuerten Laden gesammelt und konnten sich daher auf ihren bisherigen Wissensstand berufen. Die Hälfte der Teilnehmer hatte das Internetportal zum Einstellen der Zeiten genutzt.

Die Fokusgruppe wurde anhand eines Leitfadens durchgeführt und dauerte 2,5 Stunden. Es sollten Anforderungen an die Mobilfunk-Applikation hinsichtlich

- gewünschter Einzelfunktionen,
- Systemrückmeldungen und
- motivationaler Faktoren für die Teilnahme am Gesteuerten Laden

erfasst werden. Zur Beantwortung dieser Fragen wurde die Methodik der Fokusgruppe ausgewählt, weil in einer leitfadengestützten Gruppendiskussion besonders viele Ideen generiert werden können.

Den Teilnehmern der Fokusgruppe wurde anfangs mitgeteilt, dass ein Assistent zur Erleichterung des Gesteuerten Ladens entwickelt werden sollte. Anschließend wurden sie zu folgenden Aspekten befragt:

- Welche Informationen sollte solch ein Assistent bereitstellen, damit die Teilnehmer stärker motiviert wären, an W2V teilzunehmen und wie werden spezifische Einzelfunktionen (z.B. eine Kalenderfunktion) bewertet?
- Welche Darstellungsweise wird jeweils präferiert?

In den folgenden Absätzen soll konkret auf die Ergebnisse eingegangen werden. Zur Illustration werden Beispielkommentare aus der Fokusgruppe genannt. Die Beispielkommentare stellen keine wortwörtlichen Zitate dar.

Kalender

Zur Kalenderfunktion wurden diverse Angaben gemacht. In Anbetracht ihrer bisherigen Erfahrungen hielten die Teilnehmer der Fokusgruppe fest, dass die Einstellung der Abweichungen von Standardzeiten über das Internetportal sehr aufwändig war. Daraus entwickelte sich v.a. dann ein Problem, wenn das Auto zeitlich flexibel benötigt wurde. Aus diesem Grund wären einfache Eingabemechanismen, z.B. ein Sofortladen-Schalter an der Autostrombox oder in einer Mobilfunk-Applikation, sehr hilfreich.

Die Teilnehmer betonten, dass eine Kalenderfunktion so wenig wie möglich zusätzlichen Aufwand erfordern sollte. Optimal wäre eine direkte Verschränkung des (Smartphone-)Kalenders mit dem Ladeassistenten, sodass die Startzeiten aus dem Kalender erschlossen werden können. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass manche Nutzer keinen elektronischen Kalender besitzen. Auch für diese Gruppe sollten attraktive Lösungen angeboten werden.

Kommentar TN Links 1:

Ich hätte gern vom Hersteller Technik, die nicht bei mir die Steuerungsnotwendigkeit ablädt. Bin auch bereit das zu finanzieren. Das ist technisch möglich – man schiebt Verantwortung auf Nutzer, die ich nicht haben will.

Rückmeldungen

Einige Teilnehmer wünschten sich detailliertere Informationen zu ihrem Energieverbrauch. Dementsprechend könnte im Elektrofahrzeug oder im Rahmen einer Mobilfunk-Applikation – äquivalent zur Darstellung des durchschnittlichen Verbrauchs in Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb – eine Anzeige installiert werden, die den ökologischen Anteil des eingespeisten Stroms darstellt. Damit die Nutzer lernen können, welche Verhaltensweisen einen Einfluss auf den Anteil ökologischen Stroms haben, ist außerdem wichtig, dass der Nutzer *sofort* sehen kann, wenn er Windstrom genutzt hat. Die Feedbacksysteme sollten allerdings optional gestaltet werden, d.h. abschaltbar oder auswählbar sein, da einzelne Nutzer solche Anzeigen ablehnen.

Zur Gestaltung einer Rückmeldung des ökologischen Anteils am geladenen Strom wurden verschiedene Ideen generiert: eine Darstellung als Tortendiagramm, als Smiley oder in Form von Punkten, wobei mehr Punkte vergeben werden, je besser, öfter oder grüner geladen wurde.

Kommentar TN Rechts 3:

Wenn ich die Rechnung sehe, sehe ich ja auch, was ich normal bezahle.

Kommentar TN Links 4:

… als Auswertung für den Monat, wie gut man im Monat geladen hat. Daran könnte der ökologisch genutzte Anteil dargestellt werden. Wie im normalen Auto – durchschnittlicher Verbrauch.

Anreizsysteme

Um eine bessere Akzeptanz und Teilnahmemotivation an W2V zu erreichen, könnte es sinnvoll sein, die Höhe des ökologischen Anteils des eingespeisten Stroms mit finanziellen Anreizen zu koppeln. Alternativ dazu könnte ein Bonussystem etabliert werden.

Während finanzielle Anreize von der großen Mehrheit der Befragten positiv eingestuft wurden, wurden Bonussysteme gemischt aufgenommen. Von den meisten ablehnenden

Personen wurde das *abstrakte* Punktesammeln, welches die Teilnehmer an Payback-Systeme erinnerte, nicht als sinnvoll angesehen. Andererseits wurden spezifische Bonussysteme, wie z.B. die Bonusmeilensysteme in der Luftfahrt, kollektiv als positiv bewertet. Aus den Äußerungen der Fokusgruppenteilnehmer lässt sich schließen, dass konkrete und relevante Bonuspunkte, wie Kilowattstunden oder Kilometer gesammelt werden sollten. Die Belohnungen, die man am Ende einlösen kann, sollten auf den Verkehrs- oder Umweltbereich angepasst werden, z.B. Gratis-Tankladungen betreffen.

Ein weiterer Anreiz, der zur Teilnahme am Gesteuerten Laden beitragen könnte, ist die Möglichkeit, durch das Anstecken des Fahrzeugs an öffentlichen Ladesäulen kostenlose und freie City-Parkplätze benutzen zu können.

> Kommentar TN Links 2:
>
> *Der Umweg über Bonuspunkte ist nicht sinnvoll.*
>
> Kommentar TN Links1:
>
> *Ich nehme grundsätzlich an so etwas nicht teil, es nervt.*
>
> Kommentar TN Rechts 3:
>
> *Ich bin dafür, z.B. Bonusmeilen bei Lufthansa. (…) z.B. 1 Monat gratis tanken wäre ein Anreiz stärker drauf zu achten.*

Öffentliche Ladesäulen

Vor allem in Verbindung mit der Möglichkeit kostenloser City-Parkplätze könnte ein Ladesäulen-Leitsystem die Nutzung von W2V2G erhöhen. Außerdem wünschten sich die Teilnehmer der Fokusgruppe reichhaltigere Informationen zu öffentlichen Ladesäulen. Im Speziellen wurden eine genaue Beschreibung des Ortes, eine Anzeige der Verfügbarkeit und die Bereitstellung von Informationen zur technischen Ausstattung der Ladesäulen (z.B. Anzahl der Anschlüsse) als wichtigste Parameter genannt.

> Kommentar TN Rechts 0:
>
> *Ein wichtiger Punkt ist, dass daran die Möglichkeit gebunden ist, einen Parkplatz zu bekommen. (…) Wenn kein Stecker dran steckt, kostet der Parkplatz Geld – das motiviert.*

Anzeigeort

Die Informationen des Ladeassistenten sollten auf einem mobilen Gerät, wie dem Apple iPhone, oder direkt im Fahrzeug bereitgestellt werden. Die Alternative, Information im Haus abzurufen (z.B. im Internet), wurde gegenüber den anderen beiden Alternativen weit weniger präferiert. Dabei bewerteten die Teilnehmer die Alternativen, indem sie drei Punkte für den wichtigsten Aspekt, zwei Punkte für den zweitwichtigsten und einen Punkt für den drittwichtigsten vergaben. Summiert man die Punkte aller Teilnehmer, ergaben sich als favorisierte Orte der Informationspräsentation Auto (13 Punkte) und iPhone (12 Punkte) vor Haus (kein Punkt).

Die Nutzer scheuten sich vorerst vor jeglicher Art Zusatzaufwand, der für die Teilnahme am Gesteuerten Laden getätigt werden muss. Daher wird jeder zusätzliche Aufwand die Akzeptanz des Systems verringern.

Kommentar TN Links 1:

> *Kundenfreundlichkeit ist nicht zu erkennen, wenn eine Nutzung ohne Nachzudenken nicht umgesetzt wird. Der Nutzer sollte nicht gegängelt werden, da sonst die Durchsetzung des Elektrofahrzeuges erschwert wird. Wir sind bereit mehr zu zahlen, aber wir sind trotzdem sehr bequem. Wir wollen nicht darüber nachdenken, wann und wie wir gesteuert laden – dafür zahle ich lieber mehr.*

4.2.2.4.1.3 Telefoninterviews mit elektromobilitäts-erfahrenen Fuhrparkmanagern

Fuhrparks bergen aufgrund der großen Anzahl und langen Standzeiten der darin befindlichen Fahrzeuge ein großes Potenzial für das Gesteuerte Laden. Es erscheint also sinnvoll, die Verwendung von Elektrofahrzeugen für Flotten attraktiver zu gestalten und den Ladevorgang zu vereinfachen. Aus diesem Grund wurden in Telefoninterviews Anforderungen erhoben, die Fuhrparkmanager an ein Ladeassistenzsystem stellen. Weiterhin wurden Aspekte des normalen Fuhrparkbetriebs erfragt, um Ansatzstellen zu finden, wie diese Anforderungen am besten umgesetzt werden können.

Stichprobe

Die Befragung erfolgte mit Verantwortlichen aus zwei verschiedenen Fuhrparks desselben Konzerns. Sie sollten stellvertretend für Fuhrparks stehen, die durch ein Fuhrparkmanagement organisiert werden. Beide Fuhrparks hatten bereits Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen sammeln können. Dabei handelte es sich vor allem um Kleinstwagen wie den MINI E, aber auch E-Transporter und Hybrid-Fahrzeuge.

Gesteuertes Laden im Fuhrpark

Da die meisten Fahrzeuge über einen längeren Zeitraum nicht in Benutzung sind, ist das Gesteuerte Laden zumindest über Nacht, wenn nicht sogar unregelmäßig über weite Teile des Tages, gut möglich:

> *„Allgemein ist es so, dass es (das Elektrofahrzeug) einmal am Tag benutzt wird und ein paar Kilometer gefahren werden und am nächsten Tag wieder vermietet wird. Es geht vielleicht 9.00 Uhr los und ist 14.00 Uhr wieder zurück. Damit wurden vielleicht 30 Kilometer durch die Stadt gefahren. Man muss zum Feierabend sehen, dass das Fahrzeug spätestens am nächsten Tag wieder vollgeladen sein muss, wenn es benötigt wird“ (TN2).*

Außerdem befinden sich einige Fahrzeuge im Fuhrpark, die für feste Touren genutzt werden und deren Ladeintervall daher standardmäßig stärker ausgeweitet werden kann:

> *„Es gibt bei uns feste Touren. Das würde bei unserem E-Transporter sehr gut passen. Dieses Fahrzeug hat einen Einsatzzeitraum von 7.30 bis 16.00 Uhr und demzufolge kann man ihn von 16.00 bis 7.30 am nächsten Tag planmäßig laden“ (TN1).*

Gerade am Tag könnte das Gesteuerte Laden ein Risiko für die Möglichkeit spontaner Buchungen sein, denn die Fahrzeuge sind möglicherweise nicht vollgeladen, wenn sie kurzfristig gebucht werden:

> *„Es kann durchaus sein, dass gleich eine Fahrzeuganforderung kommt und das Fahrzeug soll in fünf Minuten rausgehen. Wenn dann die Ladung des Fahrzeuges mit Strom zeitlich eingegrenzt ist – so habe ich es zumindest herausgelesen –, dann kann es unter Umständen passieren, dass das Fahrzeug nicht vollgeladen ist, weil die Stromladung zu einem späteren Zeitpunkt stattfindet als das Auto raus soll. Dann haben wir Schwierigkeiten“ (TN1).*

In Hinblick auf das Gesteuerte Laden war interessant, dass es für das Fuhrparkmanagement prinzipiell denkbar ist, die Fahrzeuge nicht vollgeladen, sondern nur ausreichend geladen zu vergeben:

> *„Bei einem E-Fahrzeug muss man es sehen. Nach Möglichkeit sollte das Fahrzeug natürlich voll sein. Wenn das Fahrzeug aber zweimal verkauft wird… ich denke mal nicht, dass mit einem E-Fahrzeug solche weiten Wege gefahren werden“ (TN2).*

„Das hängt davon ab, wie die Ladekapazität der Akkus ist. Wenn das Auto voll im Einsatz war, dann geben wir es nicht raus, weil es dann nicht mehr die Kapazität hat. Es nutzt dem Nutzer nicht, wenn das Auto stehen bleibt“ (TN1).

Bisher war es bei beiden Fuhrparks die praktizierte Vorgehensweise nur vollgeladene Elektrofahrzeuge an die Nutzer zu übergeben:

„Das ist unser Ziel und unser Wunsch, weil wir nicht immer wissen, wie weit der Nutzer das Fahrzeug bewegen möchte. Der kann das Fahrziel zwar eingeben, aber das kann sich auch kurzfristig oder spontan bei ihm ändern durch einen dienstlichen Grund. Deswegen versuchen wir schon, unsere Fahrzeuge nur vollgeladen rauszugeben“ (TN1).

Außerdem befürchten die Fuhrparkmanager, dass das Gesteuerte Laden einen erhöhten Zeitaufwand für sie bedeuten könnte:

„Das einzige Problem wäre ein erhöhter Zeitaufwand“ (TN2).

Anforderungen an einen Assistenten zur Unterstützung des Gesteuerten Ladens

Weiterhin wurden die Fuhrparkmanager gefragt, welche Funktionen in einem Assistenten zur Unterstützung des (Gesteuerten) Ladens integriert sein sollten. An dieser Stelle ist eine Unterscheidung sinnvoll zwischen dem Formular der Fahrzeuganforderung, welches vom späteren Nutzer ausgefüllt wird und der Planungstafel, in der der Fuhrparkmanager die Fahrzeuge organisiert.

Bei Buchung durch den Nutzer (im Formular der Fahrzeuganforderung) sollte bei der Auswahl des Elektrofahrzeugs ein Hinweis auf dessen Reichweite angezeigt werden, wenn die Entfernung zum Fahrziel die Reichweite des Elektrofahrzeugs überschreitet. Diese Maßnahme würde sich v.a. deshalb anbieten, da derzeitig bereits alle Nutzer standardmäßig Angaben über die Entfernung des Fahrziels machen müssen. Um diesen Punkt aber endgültig realisieren zu können, müssen Elektrofahrzeuge an irgendeiner Stelle, beispielsweise unter „Fahrzeugklassen" oder „Extras", gesondert als Eintrag aufgeführt werden.

Die weiteren Anforderungen beziehen sich auf die Planungstafel bzw. das Programm des Fuhrparkmanagements. Eine sinnvolle Funktion zur Unterstützung der Organisation von Elektrofahrzeugen könnte ein Abgleich zwischen dem Ladezustand des Fahrzeugs während eines stattfindenden Ladevorgangs (und der Antizipation des Ladezustands bis

zum Abholzeitpunkt) und dem Fahrziel eines buchenden Nutzers darstellen, sodass das Elektrofahrzeug nur als nicht verfügbar gekennzeichnet wird, wenn die Entfernung des Fahrziels die antizipierte Reichweite übersteigt.

Außerdem könnte bei der Buchung eines Elektrofahrzeugs automatisch die Reichweite, die der nächste Nutzer benötigt (inkl. Puffer) in den Ladeplan integriert werden, sodass das Gesteuerte Laden automatisch beim Anstecken des Fahrzeugs gestartet und das Ladefenster bis zur nächsten Buchung definiert werden kann.

> *„Dass man Zeiten eingibt, wann das Fahrzeug fertig geladen sein muss unter Berücksichtigung des neuen Fahrertrages, wo der darauffolgende Kunde mit hinfahren möchte, wo eine Kilometerzahl eingegeben wird. Das heißt, das Fahrzeug hat eine maximale Laufleistung von 100 Kilometern wenn es vollgeladen ist, aber es fährt dann planmäßig nur 20 Kilometer am nächsten Tag, sodass man aber einen Puffer von 50 Kilometer nimmt, der in Zahlen eingegeben wird. Dass man es also geplant gesteuert laden kann“ (TN2).*

Weiterhin wünschten sich die Fuhrparkmanager, dass das Ladefenster automatisch mit der Disponierung definiert wird. Auf diese Weise müssten keine Abfahrtszeiten definiert werden und das Gesteuerte Laden könnte automatisch beim Anstecken des Fahrzeugs gestartet werden. Das Ladefenster wäre automatisch bis zur nächsten Buchung definiert. Somit wäre kein zusätzlicher Personalaufwand notwendig, um die Fahrzeuge zu laden. Die Nutzer könnten die Fahrzeuge bei Fahrtende einfach an das Stromnetz anstecken, so wie sie normalerweise auch nur vollgetankte Fahrzeuge zum Fuhrpark zurückbringen.

Ein großes Problem mit den Elektrofahrzeugen im Fuhrpark besteht darin, dass die Flexibilität der Fahrzeuge durch die langen Ladefenster (insbesondere beim Gesteuerten Laden) eingeschränkt wird. Die Abholung der Fahrzeuge erfolgt meist erst am nächsten Tag oder am Nachmittag für Buchungen, die am Vormittag vorgenommen wurden. Regelmäßig werden Autos aber auch spontan gebucht, d.h. das Auto wird fünf Minuten bis eine Stunde nach der Buchung abgeholt. Die Fahrzeuge konnten aufgrund des niedrigen Ladezustands nach einer Nutzungsphase nicht kurzfristig hintereinander herausgegeben werden. Dies wurde vom Fuhrparkmanagement negativ beurteilt:

> *„Wir können die Fahrzeuge nicht kurzfristig hintereinander rausgeben, wenn der Wunsch besteht. Wir haben nur eine begrenzte Anzahl von Elektrofahrzeugen.*

Wenn der Bedarf größer ist, müssen wir dann entweder den Antrag schon im Vorfeld stornieren, weil wir wissen, dass das Fahrzeug nachdem es zurück kommt, erst einmal geladen werden muss. Das hat es auch schon gegeben“ (TN1).

Um diesbezüglich negative Effekte des Gesteuerten Ladens abzufangen, ist die Möglichkeit der kurzfristigen Umstellung auf Sofortladen angezeigt, damit kurzfristig eingehende Buchungen abgedeckt werden können.

Eine letzte sinnvolle Funktion, die durch die Interviews mit den Fuhrparkmanagern integriert werden konnte, ist die Möglichkeit Standardzeiten für jene Fahrzeuge zu definieren, die feste Routen fahren. Es sollte also am besten für Fahrzeuge die Wahl bestehen, die Ladefenster automatisch anpassen (für Fahrzeuge im unregelmäßigen Betrieb) oder mit feststehenden Zeiten arbeiten zu können (für Fahrzeuge mit regelmäßiger Nutzung).

Schlussfolgerungen

Allgemein lässt sich festhalten, dass es sich für die Fuhrparks empfiehlt, ein System zur Unterstützung des Gesteuerten Ladens zu entwickeln, das sich in die bestehenden Organisationssysteme und Planungstafeln integrieren lässt. Die Verantwortlichen wollen ungern mehrere Systeme zur Verwaltung ihrer unterschiedlichen Fahrzeugtypen benutzen.

Die Befragung der Fuhrparkmanager konnte das Potenzial der Fuhrparks für das Gesteuerte Laden aufgrund der teilweise sehr großen Standzeiten der Fahrzeuge enthüllen. Allerdings entstehen bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen in Fuhrparks Probleme, die vor allem das Laden betreffen. Diese Probleme könnten durch die Entwicklung eines Ladeassistenzsystems, das in die normale Organisation der Fahrzeuge eingegliedert werden sollte, behoben werden.

Es sollte berücksichtigt werden, dass der Stichprobenumfang dieser Befragung sehr gering (N = 2) war und sich auf eine bestimmte Art der Fuhrparkgestaltung beschränkte, nämlich der mit einem konkreten Fuhrparkmanagement. Es ist zu bedenken, dass andere Organisationsmethoden andere Anforderungen mit sich bringen. Beispielsweise kann der Fuhrpark ganz ohne Organisationseinheit funktionieren.

4.2.2.4.1.4 Recherche zu Usability-Richtlinien

Es existieren viele verschiedene Listen mit Kriterien zur Bewertung der Usability einer Mensch-Maschine-Schnittstelle. Für die Mobilfunk-Applikation wurden Software/Dialogsystem- und iPhone-Usability als relevant angesehen. Als Software-Usability-Kriterien wurde die ISO 9241-10 (International Organization for Standardization, 2006) und die Kriterien von Norman (1990) in den Anforderungskatalog aufgenommen. Als iPhone-Usability-Kriterien wurden die Listen von Overlander (2008), Nielsen (2010) und Fuchs (2010) berücksichtigt.

Die ISO 9241-10 beinhaltet die Kriterien Aufgabenangemessenheit (d.h. der Benutzer wird bei der Aufgabenerledigung effektiv und effizient unterstützt), Selbstbeschreibungsfähigkeit (d.h. die Dialogschritte sind unmittelbar verständlich oder werden auf Anfrage des Nutzers erklärt), Steuerbarkeit (d.h. der Benutzer ist in der Lage, den Dialog zu starten und seine Richtung und Geschwindigkeit zu beeinflussen, bis das Ziel erreicht ist), Erwartungskonformität (d.h. der Dialog ist konsistent und entspricht den Erfahrungen des Benutzers), Fehlertoleranz (d.h. das Arbeitsergebnis wird trotz fehlerhafter Eingaben korrekt erreicht bzw. der Korrekturaufwand ist minimal), Individualisierbarkeit (d.h. das Dialogsystem erlaubt Anpassungen an die Erfordernisse der Arbeitsaufgabe sowie die individuellen Fähigkeiten und Vorlieben des Benutzers) und Lernförderlichkeit (d.h. der Benutzers wird beim Erlernen des Dialogsystems unterstützt).

Norman (1990) definiert die Kriterien Sichtbarkeit (d.h. der Zustand des Systems, die Handlungsmöglichkeiten, Ergebnisse der Handlung und Funktionsweise des Gesamtsystems müssen direkt ersichtlich sein), Mapping (d.h. es besteht eine natürliche Beziehung zwischen Zielen und der technischen Umsetzung), Aufforderungscharakter (d.h. die unmittelbar wahrgenommenen Eigenschaften eines Objekts entsprechen der Nutzungsmöglichkeit), Beschränkungen (d.h. einschränkende Randbedingungen leiten zur richtigen Aktion), Konzeptmodell (d.h. Hervorrufen geeigneter mentaler Repräsentationen, sodass Funktionen simuliert werden können) und Feedback (d.h. Angebot von Informationen darüber, welche Aktion durchgeführt wurde und welches Ergebnis erzielt wurde).

Die Suche nach Kriterien für den relativ neuen Bereich der Mobilfunk-Applikationen gestaltete sich schwierig, sodass für diesen Bereich auch Informationen aus dem Internet herangezogen wurden. In den Anforderungskatalog gingen die Listen von Overlander

(2008), Nielsen (2010) und Fuchs (2010) ein. Overlanders (2008) Kriterien beziehen sich direkt auf mobile Schnittstellen. Er fasst zusammen, dass das Interface intuitiv und einprägsam gestaltet sein sollte, um die Lernkurve zu minimieren. Außerdem sollte dem Nutzer die Möglichkeit gegeben werden, das Interface selbst zu gestalten oder zu verändern sowie sich erfolgreich von Fehlern zu erholen. Wenn zwischen Interaktionsmodi gewechselt wird, sollte dem Nutzer diese Veränderung des Fokus klargemacht werden. Es sollten Vorkehrungen für den Fall getroffen werden, dass die Datenverbindung zeitweise unterbrochen wird. Es sollten verschiedene Eingabemöglichkeiten bereitgestellt werden. Es sollte sichergestellt werden, dass Nachrichten und Text genau und anschaulich geschrieben und Menüs und Optionen klar und sofort verständlich sind. Für fortgeschrittene Nutzer sollten intuitive Abkürzungen oder Nutzerbefehle bereitgestellt werden. Außerdem sollten Objekte passend zum Nutzerkontext – nicht zwingend funktional präzise – benannt werden. Nielsen (2010) weist in seiner Arbeit über iPhone-Apps darauf hin, dass diese keine Einstiegshürden aufweisen sollten. Des Weiteren betont er, dass Nutzer ihre Finger nicht so präzise positionieren können wie einen Mauszeiger. Die Anzahl der aktivierbaren graphischen Elemente sollte also geringer sein als bei einer Software für einen PC, sodass jedes Objekt größer dargestellt werden kann. Außerdem sollte eine Registrierung niemals der erste Schritt bei der Benutzung einer App sein. Auch Fuchs (2010) beschäftigte sich konkret mit iPhone-Apps und empfahl möglichst wenige Funktionen in einer App anzubieten, am besten eine einzige. Des Weiteren sollten die iPhone User Interface Standards (auch bei anderen Smartphones) genutzt werden, weil die Nutzer mit deren Konventionen bereits vertraut sind. Es sollten große Aktionselemente verwendet und mehrere Interaktionsmöglichkeiten zugelassen werden. Außerdem sollten Möglichkeiten bestehen, die Anzahl der Schritte, die für eine Zielerreichung notwendig sind, zu verringern. Fehlernachrichten sollten verständlich sein. Es sollte immer ein geeignetes visuelles Feedback gegeben werden (z.B. bei Ladevorgängen oder beim Drücken von Buttons) und Scrollmöglichkeiten sollten sichtbar gemacht werden (z.B. Bilder über den Rand clippen oder mehr Button anbieten).

Viele der aufgenommenen Listen überschneiden sich. Deshalb wurden in der Anforderungsanalyse nur die Kriterien der ISO-Norm als wichtigstes und verbindlichstes System berichtet. Kriterien, die sich nicht unter deren sieben Punkte subsummieren ließen, wurden zusätzlich aufgeführt.

4.2.2.4.1.5 Anforderungskatalog (AK)

Die folgende Tabelle 22 stellt zusammenfassend die Ergebnisse aus der Aufbereitung der Ergebnisse aus MINI E Berlin 1.0, der Fokusgruppe, der Befragung der Fuhrparkmanager und der Literaturrecherche zu Usability-Richtlinien dar.

ALLGEMEIN	
EINFACHHEIT	
Anforderung	**Einfache Bedienung**
Beschreibung	In Smartphone-Applikationen sollten so wenige Funktionen wie möglich angeboten werden. Überlegenswert wäre daher, den Ladeassistenten nach den Grundfunktionen aufzuteilen.
Quelle	Literaturrecherche Usability und state-of-the-art
Anforderung	**Einfacher Zugang**
Beschreibung	Von den Nutzern wurde es als lästig empfunden für jeden Vorgang auf dem Portal erst Nutzernamen und Passwort einzugeben. Ein einfacherer Zugang wäre wünschenswert.
Quelle	Interviews MINI E Berlin 1.0 Mittelerhebung Nutzungszeitraum 2
AUFGABENANGEMESSENHEIT	
Anforderung	**Aufgabenangemessenheit/Effizienz**
Beschreibung	„Ein Dialog ist aufgabenangemessen, wenn er den Benutzer unterstützt, seine Arbeitsaufgabe effektiv und effizient zu erledigen.“ Es sollten keine Pflichtangaben vom Nutzer verlangt werden, die für die Funktion nicht unbedingt notwendig sind. Die Schritte, die zum Erreichen des Ziels benötigt werden, sollten so gering wie möglich gehalten werden, z.B. durch standardmäßige Verortung des Cursor im relevanten Feld, Live-Vorschlägen in Formularfeldern, direkte Extraktion der Termine aus dem Terminkalender etc.
Quelle	Literaturrecherche Usability und state-of-the-art: ISO 9241-10
Anforderung	**Unterstützende Funktion**
Beschreibung	Der Ladeassistent sollte die Nutzer beim gesteuerten Laden unterstützen, sodass der Aufwand für das gesteuerte Laden stark reduziert wird.
Quelle	Fokusgruppe
SELBSTBESCHREIBUNGSFÄHIGKEIT	
Anforderung	**Selbstbeschreibungsfähigkeit und Feedback**
Beschreibung	„Ein Dialog ist selbstbeschreibungsfähig, wenn jeder einzelne Dialogschritt durch Rückmeldung des Dialogsystems unmittelbar verständlich ist oder dem Benutzer auf Anfrage erklärt wird.“ Symbole und Linkbeschriftungen sind so zu wählen, dass man vorhersagen kann, wohin sie führen. Sie sollten nicht zwangsläufig funktional korrekt, sondern eher

	kontextabhängig beschriftet werden. In einer Hilfefunktion können kontextspezifische Bedienhinweise abgerufen werden. Ladevorgänge werden durch Ladegraphiken angezeigt. Alle Handlungsmöglichkeiten müssen direkt ersichtlich sein. Wenn Nutzer einen Button drücken, sollten sie eine visuelle Rückmeldung bekommen, damit sie sehen, dass sie den Button auch getroffen haben.
Quelle	Literaturrecherche Usability und state-of-the-art: ISO 9241-10
STEUERBARKEIT	
Anforderung	**Steuerbarkeit**
Beschreibung	„Ein Dialog ist steuerbar, wenn der Benutzer in der Lage ist den Dialogablauf zu starten sowie seine Richtung und Geschwindigkeit zu beeinflussen bis das Ziel erreicht ist.“ Der Ladeprozess sollte jederzeit für den Nutzer auslösbar sein. Bestenfalls sollte eine Sofort-Laden-Funktion eingerichtet werden, die auf den Umweg über Smartphone oder Internet verzichtet. Dieser wird als umständlich empfunden. Etwas mehr Aufwand birgt eine Sofortladefunktion in sich, die per Smartphone schnell auswählbar ist. Indem man dem Nutzer die Möglichkeit bietet zwischen Gesteuertem und Sofortladen zu entscheiden, kann auch die Geschwindigkeit der Zielerreichung durch den Nutzer festgelegt werden. Zusätzlich sollte dem Nutzer die Möglichkeit gegeben werden seine Einstellungen auch während des Ladevorgangs zu ändern und beispielsweise vom Gesteuerten Laden zum Sofortladen zu schalten.
Quelle	Literaturrecherche Usability und state-of-the-art: ISO 9241-10 Interviews MINI E Berlin 1.0 Abschlusserhebung Nutzungszeitraum 2
ERWARTUNGSKONFORMITÄT	
Anforderung	**Erwartungskonformität**
Beschreibung	„Ein Dialog ist erwartungskonform, wenn er konsistent ist und den Merkmalen des Benutzers entspricht, z.B. seinen Kenntnissen aus dem Arbeitsgebiet, seiner Ausbildung und seiner Erfahrung sowie den allgemein anerkannten Konventionen.“ Im Bereich der Mobilen Applikationen stellen die iPhone User Interface Standards wichtige Orientierungshilfen dar. Den Umgang mit derart gestalteten Applikationen haben die Nutzer bereits erlernt. Daher empfinden sie den Umgang mit ähnlich aufgebauten Anwendungen als intuitiv. Beispielhaft soll hier der Aufbau einer solchen Oberfläche beschrieben werden: Mit dem Plusbutton kann man Neues hinzufügen; links oben kommt man immer zurück oder kann abbrechen; der Papierkorb ist immer sichtbar, um die gesamte Datei zu löschen; Suchboxen sind grundsätzlich oben und die Hauptnavigation unten.
Quelle	Literaturrecherche Usability und state-of-the-art: ISO 9241-10
FEHLERTOLERANZ	
Anforderung	**Fehlertoleranz**

Beschreibung	„Ein Dialog ist fehlertolerant, wenn das beabsichtigte Arbeitsergebnis trotz erkennbar fehlerhafter Eingaben entweder mit keinem oder mit minimalem Korrekturaufwand seitens des Benutzers erreicht werden kann.“ Beim Rückwärtsbrowsen in einer Web-Applikation mit der Back-Taste wird die Information immer aktualisiert, sodass nicht fälschlicherweise der Eindruck entsteht, Bearbeitungsschritte seien rückgängig gemacht worden. Über ein Skript werden die Daten eines Formulars auf Plausibilität, fehlende oder unvollständige Eingaben geprüft, bevor Sie abgesendet werden. Fehlermeldungen werden nicht technisch verklausuliert oder als Nummer angezeigt, sondern in der Sprache der Benutzer formuliert.
Quelle	Literaturrecherche Usability und state-of-the-art: ISO 9241-10
INDIVIDUALISIERBARKEIT	
Anforderung	**Individualisierbarkeit**
Beschreibung	„Ein Dialog ist individualisierbar, wenn das Dialogsystem Anpassungen an die Erfordernisse der Arbeitsaufgabe sowie an die individuellen Fähigkeiten und Vorlieben des Benutzers zulässt.“ Beispielsweise sollten verschiedene Interaktions- bzw. Eingabemöglichkeiten angeboten werden.
Quelle	Literaturrecherche Usability und state-of-the-art: ISO 9241-10
Anforderung	**Optionalität**
Beschreibung	Alle Funktionen des Ladeassistenten sollten ein- und ausschaltbar gestaltet sein oder problemlos ignoriert werden können, weil sie beispielsweise extra aufgerufen werden müssen.
Quelle	Fokusgruppe
LERNFÖRDERLICHKEIT	
Anforderung	**Lernförderlichkeit**
Beschreibung	„Ein Dialog ist lernförderlich, wenn er den Benutzer beim Erlernen des Dialogsystems unterstützt und anleitet.“ Beispielsweise könnten die Nutzer in einem Tutorial mit den wichtigsten Funktionen der Applikation vertraut gemacht werden.
Quelle	Literaturrecherche Usability und state-of-the-art: ISO 9241-10
GRAPHISCHE DARSTELLUNG	
Anforderung	**Aktionselemente**
Beschreibung	Die Aktionselemente einer Smartphone-Applikation sollten relativ groß abgebildet werden. Zwischen den Aktionselementen sollte relativ viel Platz eingeplant werden. Auf Touchscreens können die graphischen Objekte nicht so treffsicher wie mit einer Maus angesteuert werden, daher sollte darauf geachtet werden, dass die Nutzer nicht aus Versehen andere Objekte als die intendierten aktivieren. Desweiteren sollten die Aktionselemente Aufforderungscharakter besitzen. Es ist also darauf zu achten, dass man ihnen direkt ansieht, dass sie angesteuert

	werden können.
Quelle	Literaturrecherche Usability und state-of-the-art
Anforderung	**Design**
Beschreibung	Das Design sollte möglichst einfach und minimalistisch gewählt werden, um den Nutzer nicht von den relevanten Funktionen abzulenken
Quelle	Literaturrecherche Usability und state-of-the-art
PLATTFORM	
Anforderung	**Smartphone-Applikation**
Beschreibung	Aufgrund des geringen Aufwandes bei der Nutzung von Handyanwendungen und der daraus resultierenden Akzeptanz eines solchen Systems ist die Implementierung des Ladeassistenten empfehlenswert.
Quelle	Fragebogen MINI E Berlin 1.0 Abschlusserhebung Nutzungszeitraum 2
Anforderung	**Alternative Zugänge**
Beschreibung	Aufgrund der möglicherweise mangelnden Verfügbarkeit von Smartphones in bestimmten Nutzergruppen wäre es sinnvoll, den Ladeassistenten zusätzlich über das Internet zugänglich zu machen.
Quelle	Fokusgruppe
Anforderung	**Integration in bestehende Plattformen**
Beschreibung	Insbesondere in Bezug auf einen Ladeassistenten, der für Fuhrparkmanagements entworfen werden könnte, sollte die Kompatibilität zu weit verbreiteten Softwarelösungen für den PC angestrebt werden.
Quelle	Befragung Fuhrparkmanager
FUNKTIONSUMFANG	
W2V/V2G-RÜCKMELDUNG	
Anforderung	**Anschauliche Darstellung**
Beschreibung	Die Rückmeldung sollte leicht verständlich angezeigt werden, z.B. über ein Tortendiagramm, wobei der Anteil erneuerbarer Energien grün und der fossiler/atomarer Energien rot dargestellt werden könnte. Die Gestaltung des Feedbacks bezüglich des Anteils erneuerbarer Energien, der zum Laden genutzt wurde, sollte allerdings auch vom maximal erreichbaren Wert abhängig gemacht werden. Sind Werte um die 75 % nie erreichbar, könnte ein Tortendiagramm auch demotivierend wirken. Dann sollte auf andere Darstellungsvarianten zurückgegriffen werden, die nur anzeigen, ob der Anteil an erneuerbaren Energien klein, mittel oder groß ist. Dabei sollte anhand der Stufen erkennbar sein inwiefern sich beispielsweise die Teilnahme am gesteuerten Laden bzw. die Eingabe mehrere Standardzeiten auswirkt. Zur Minimierung der kognitiven Beanspruchung könnten auch kategoriale Symbole angezeigt werden, z.B. Smileys mit verschiedenen Gesichtsausdrücken.
Quelle	Fokusgruppe

Anforderung	**Plattform**
Beschreibung	Der Ladeassistent sollte entweder direkt im Fahrzeug oder über eine Mobilfunk-Applikation angeboten werden. Die Mobilfunkapplikation wird bevorzugt.
Quelle	Fokusgruppe Fragebogen MINI E Berlin 1.0 Abschlusserhebung Nutzungszeitraum 2
Anforderung	**Inhalt der Rückmeldung**
Beschreibung	Die rückgemeldete Information könnte den Anteil erneuerbarer Energien betreffen, der im letzten Monat in das Auto eingespeist wurde. Außerdem wäre der durchschnittliche Anteil erneuerbarer Energien pro Kilowattstunde sinnvoll im letzten Ladevorgang. Zusätzlich würde sich die Mehrheit der Nutzer wünschen, den Zeitpunkt des Gesteuerten Ladens abrufen zu können.
Quelle	Fokusgruppe
Anforderung	**Zeitliche Nähe/Kontingenz**
Beschreibung	Die Rückmeldung sollte direkt erfolgen, d.h. noch im Zusammenhang mit dem konkreten Ladevorgang. Monatliche Briefe lassen keinen direkten Schluss auf den konkreten Ladevorgang zu. Die Nutzer sollten direkt sehen, wie grün sie geladen haben.
Quelle	Fokusgruppe
LADESTATIONEN	
Anforderung	**Anzeige freier Ladesäulen**
Beschreibung	Während des Nutzungszeitraumes ist es wiederholt vorgekommen, dass die Nutzer keine freie Ladesäule gefunden haben. Dies führte zu einiger Verunsicherung und dazu, dass sie sich nie nur auf die öffentlichen Ladesäulen verlassen wollten. Sinnvoll wäre dementsprechend eine Funktion zur Anzeige freier Ladesäulen. Diese sollten hinsichtlich ihres Ortes vom Nutzer ausgewählt werden können.
Quelle	Interviews MINI E Berlin 1.0 Abschlusserhebung Nutzungszeitraum 2 Interviews MINI E Berlin 1.0 Mittelerhebung Nutzungszeitraum 2 Fokusgruppe
Anforderung	**Anzeige/Beschreibung des genauen Standortes der Ladesäulen**
Beschreibung	Während des Nutzungszeitraumes ist es vorgekommen, dass die Nutzer die gesuchte Ladesäule nicht gefunden haben. Dieses Problem könnte verstärkt werden, wenn zukünftig die Vielseitigkeit der Ladesäulengestaltung steigt. Sinnvoll wäre dementsprechend den Standort genau anzuzeigen oder zu beschreiben. Die Nutzer des Mobility Assistent schätzten außerdem die Anzeige der Ladesäulenstandorte als wichtig ein und einzelne Nutzer berichteten, dass diese noch detaillierter sein sollte.

Quelle	Interviews MINI E Berlin 1.0 Abschlusserhebung Nutzungszeitraum 2 Abschlussbefragung zum Mobility Assistent (N=10)
Anforderung	**Reservierung verfügbarer Ladesäulen**
Beschreibung	Sind Ladesäulen im Moment der Abfrage als verfügbar angezeigt, können sich die Nutzer dennoch nicht darauf verlassen, dass sie diesen Zustand zum Ankunftszeitpunkt noch besitzen. Aufgrund der bisher unbegrenzten Standzeit der Fahrzeuge ist es für den Nutzer daher schlecht berechenbar, ob eine Säule nutzbar ist. Aus diesem Grund ist eine Reservierungsfunktion empfehlenswert.
Quelle	Interviews MINI E Berlin 1.0 Abschlusserhebung Nutzungszeitraum 2 Abschlussbefragung zum Mobility Assistent (N=10)
KALENDER	
Anforderung	**kein Zusatzaufwand**
Beschreibung	Die Kalenderfunktionen sollten keinen Zusatzaufwand verlangen. Aufforderungen zum Anstecken des Autos sind unerwünscht und sollten auf jeden Fall einfach abschaltbar sein. Die Funktionen des Ladeassistenten sollten so gestaltet sein, dass sie möglichst wenig Zeit und Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen. Es wird von den Nutzern als praktisch empfunden, wenn man Standardzeiten definieren kann.
Quelle	Fokusgruppe Interviews MINI E Berlin 1.0 Abschlusserhebung Nutzungszeitraum 2
Anforderung	**Adaptivität**
Beschreibung	Die Mehrheit der Nutzer fühlte sich gestört, wenn sie häufige Abweichungen in den Startzeiten in einem Internetportal eingeben musste. Daher erscheint es sinnvoll, Informationen über Abweichungen vom normalen Rhythmus direkt aus dem Terminkalender des Nutzers in die Applikation zu überführen und auf Grundlage dieser Informationen neue Ladepläne zu entwerfen.
Quelle	Fragebogen MINI E Berlin 1.0 Abschlusserhebung Nutzungszeitraum 2
Anforderung	**Kontrollierbarkeit**
Beschreibung	Die Mehrheit der Nutzer würde es begrüßen, einzelne Abweichungen in der Startzeit selbst über das Handy vornehmen zu können. Außerdem wird die Einstellung einer Earliest-start-function gewünscht, damit niedrigere Nachtstrompreise genutzt werden können.
Quelle	Interviews MINI E Berlin 1.0 Abschlusserhebung Nutzungszeitraum 2 Interviews MINI E Berlin 1.0 Mittelerhebung Nutzungszeitraum 2
WEITERE SINNVOLLE FUNKTIONEN	
Anforderung	**Transparenz des Ladevorgangs**
Beschreibung	Einige Komponenten des Ladevorgangs sind im momentanen Zustand

	nicht transparent genug. Die bisherige Rückmeldung über das korrekte Anstecken des Ladekabels genügt den Nutzern noch nicht. Vor allem, wenn gesteuert geladen wird und dadurch der Ladevorgang nicht direkt nach dem Verbinden mit dem Stromnetz begonnen wird, wünschen sich die Nutzer eine bessere Rückmeldung, ob das Fahrzeug richtig verbunden ist. Außerdem könnte eine einfachere Anzeige über den derzeitigen Lademodus als hilfreich empfunden werden. Wenn zu einer Zeit, zu der der Nutzer das Auto nutzen möchte, es nicht ganz vollgeladen ist, wünschen sich die Nutzer eine Erklärung.
Quelle	Interviews MINI E Berlin 1.0 Abschlusserhebung Nutzungszeitraum 2 Interviews MINI E Berlin 1.0 Mittelerhebung Nutzungszeitraum 2
BESONDERE ANFORDERUNGEN IM FUHRPARK-SETTING	
Anforderung	**Bei der Buchung eines Elektrofahrzeuges durch die Nutzer sollten Hinweise zu den Einschränkungen vor dem Absenden der Fahrzeuganforderung angezeigt werden**
Beschreibung	Hinweis über die Reichweite des Elektrofahrzeuges, wenn die Entfernung zum Fahrziel die Reichweite des Elektrofahrzeugs überschreitet; Hinweis über den begrenzten Stauraum des Elektrofahrzeuges, wenn Elektrofahrzeug ausgewählt wird; Elektrofahrzeuge müssen bspw. unter "Fahrzeugklassen" oder "Extras" gesondert als Eintrag aufgeführt werden, damit die Hinweise über Reichweite und Stauraum angezeigt werden können.
Quelle	Befragung der Fuhrparkmanager
Anforderung	**Die Tauglichkeit eines Elektrofahrzeugs sollte für jede Fahrzeuganforderung automatisch geprüft werden.**
Beschreibung	Abgleich zwischen Ladezustand des Fahrzeugs während eines stattfindenden Ladevorgangs (und Antizipation des Ladezustands bis Abholzeitpunkt) und dem Fahrziel eines buchenden Nutzers, sodass das Elektrofahrzeug nur als besetzt gekennzeichnet wird, wenn die Entfernung des Fahrziels die antizipierte Reichweite übersteigt.
Quelle	Befragung der Fuhrparkmanager
Anforderung	**Das Ladefenster für das Gesteuerte Laden sollte beim Anstecken automatisch geöffnet werden, nachfolgende Fahrzeuganforderungen definieren automatisch das Ende des Ladefensters.**
Beschreibung	Möglichkeit, die Abfahrtszeit des nächsten Nutzers einzustellen und damit das Ladefenster zu definieren; Möglichkeit, die Reichweite einzustellen, die der nächste Nutzer benötigt (und Puffer); Möglichkeit Standardzeiten für jene Fahrzeuge zu definieren, die feste Routen fahren, am besten wäre hier eine Auswahlmöglichkeit pro Auto, zwischen automatischer Ladefensteranpassung (für Fahrzeuge im unregelmäßigen Betrieb) oder festem Ladefenster (für Fahrzeuge mit re-

	gelmäßiger Nutzung).
Quelle	Befragung der Fuhrparkmanager
Anforderung	**Flexibilität, um kurzfristigen Buchungen gerecht zu werden**
Beschreibung	Möglichkeit der Umstellung auf Sofortladen, damit kurzfristig eingehende Buchungen abgedeckt werden können.
Quelle	Befragung der Fuhrparkmanager

Tabelle 22: Anforderungskatalog für einen Ladeassistenten

4.2.2.4.2 Fragestellungen und Hypothesen der Projektpartner

In den Arbeitspaketen AP 2.1.2, AP 2.1.3 und AP 2.1.4 stellten alle Projektpartner Hypothesen zusammen, die anschließend in den Usability-Tests untersucht werden sollten. Die Hypothesen betrafen Anforderungen an das Laden allgemein, den Ladeassistent, die Ladeinfrastruktur, Akzeptanz des Gesteuerten Ladens sowie das Schnellladen. Für alle Hypothesen wurde geprüft, ob sie sich innerhalb des Projekts GL V2.0 testen lassen.

4.2.2.4.3 Fragestellungen und Hypothesen zu allgemeinen Anforderungen an das Laden

4.2.2.4.3.1 Zusammenfassung

Thema	Anzahl der Hypothesen			
	Prüfbar	Bedingt prüfbar	Nicht prüfbar	**Gesamt**
Anforderungen Laden	7	1	0	**8**

Tabelle 23: Anzahl der Hypothesen zu allgemeinen Anforderungen an das Laden.

4.2.2.4.3.2 Prüfbare Fragestellungen und Hypothesen zu allgemeinen Anforderungen an das Laden

Fragestellungen, die allgemeine Anforderungen an das Laden betrafen, sollten durch die Nutzerforschung der Technischen Universität Chemnitz beantwortet werden.

1. Welche Bedarfe hat der Kunde hinsichtlich neuer Funktionalitäten beim Laden des Elektrofahrzeugs?
2. Wo ist Aufladen nötig? Wann besteht die Möglichkeit gesteuert zu laden?

3. Welche unterschiedlichen Ladeszenarien können bei potenziellen Nutzern von E-Fahrzeugen identifiziert werden? Welche sind für Gesteuertes Laden essentiell?
4. Gibt es Bedenken, dass z.B. am Morgen die Batterie nicht rechtzeitig geladen ist oder für spontane Einsätze die Batterie genau dann nicht geladen sein könnte? Welche Informationsbedarfe ergeben sich für den Nutzer?
5. Unter welchen Umständen und in welchem Umfang wird die Batterie im Normalfall geladen?
6. Würde der MINI E immer noch als umweltfreundlich angesehen, wenn er nicht mit "grüner Energie" geladen würde/werden könnte?
7. Welches Verhältnis besteht zwischen Zeit/Situation und Laden? Hypothese: Arbeit = kein Zeitdruck, zu Hause = kein Zeitdruck, Supermarkt = mittlerer Zeitdruck, Parkhaus = mittlerer Zeitdruck, öffentliche Ladestation (wie Tankstelle) = hoher Zeitdruck

4.2.2.4.4 Fragestellungen und Hypothesen zum Ladeassistent

4.2.2.4.4.1 Zusammenfassung

Thema	Anzahl der Hypothesen			
	Prüfbar	Bedingt prüfbar	Nicht prüfbar	**Gesamt**
Allgemein	11	2	3	**16**
Nutzungsprofil und Ladeplanung	5	0	5	**10**
Fahrzeugstatus	4	1	1	**6**
Ladehistorie und ökologischer Nutzen	5	4	4	**13**
Kalenderfunktion	0	0	7	**7**
Navigation und Routenplanung	2	1	2	**5**

Tabelle 24: Anzahl der Hypothesen zum Ladeassistent.

4.2.2.4.4.2 Prüfbare Fragestellungen und Hypothesen zum Ladeassistent

Hinsichtlich des Ladeassistenten generierten die Partner Fragestellungen und Hypothesen, die innerhalb des Projektes GL V2.0 durch die BMW AG und die Technische Universität Chemnitz geprüft werden sollten.

Allgemein

1. Welche Anforderungen bestehen hinsichtlich des Anzeigeortes bei Funktionen zum Thema Laden (Infrastruktur, mobile Devices, Fahrzeug, PC, Internet)?
2. Welche Anforderungen bestehen hinsichtlich des Anzeigezeitpunktes bei Funktionen zum Thema Laden (Infrastruktur, mobile Devices, Fahrzeug, PC, Internet)?
3. W2V: Welche Anforderungen haben die Nutzer bzgl. Funktionalität und Informationsbedarf hinsichtlich Mehrwertdienste zum Thema W2V und Gesteuertem Laden?
4. V2G: Welche Anforderungen haben die Nutzer bzgl. Funktionalität und Informationsbedarf hinsichtlich Mehrwertdienste zum Thema V2G und Gesteuerten Laden? Was gibt es hier nutzerseitig zu beachten?
5. Die App hat genau die richtige Anzahl an Funktionen.
6. Menüstrukturen der App sind nicht zu tief/zu kompliziert angelegt.
7. Bei der Bedienung des Ladeassistenten bekommt der Nutzer genügend Feedback über seine Aktionen.
8. Der Nutzer kann sein Ziel bei der Bedienung des Ladeassistenten intuitiv erreichen.
9. Nutzer empfinden die Fehlertoleranz des Ladeassistenten als ausreichend hoch.
10. Nutzer kommen ohne lange Eingewöhnungsphase mit dem Ladeassistenten zurecht.
11. Die Möglichkeit über die App die Einstellungen für W2V vorzunehmen, ist nicht für alle Nutzer ausreichend. Sie benötigen weitere Zugänge über andere Medien.

Nutzungsprofil und Ladeplanung

1. Da die Nutzer über die App die Abweichungen von den Standardladezeiten einfacher eingeben können als es in MINI E Berlin 1.0 der Fall war, nutzen sie diese Funktion häufiger.
2. Möglicherweise werden die Nutzer die technischen Parameter: Lade-Management-Einstellung, Änderung der Ladeeinstellung, Nutzerpräferenzen, Er-

lernen von Präferenzen zwar als relevant oder wichtig einstufen, diese aber im Rahmen der Nutzung nicht berücksichtigen bzw. ändern.

3. Ein Grund für die Nichtnutzung ist, dass der unmittelbare Batterieverschleiß nicht beobachtet werden kann.
4. Der Kunde erwartet, dass es während des Ladevorgangs die Möglichkeit gibt vom gesteuerten Laden zum Sofortladen zu wechseln.
5. Nutzer finden es vorteilhaft, dass sie überall (auch mit großer räumlicher Distanz vom Fahrzeug) die Ladeeinstellungen verändern können.

Fahrzeugstatus

1. Durch die Rückmeldung, dass Fahrzeug und Ladesäule richtig miteinander verbunden sind, bzw. der Stecker ordnungsgemäß eingesteckt wurde, gibt es keine Situationen mehr, in denen das Fahrzeug nicht geladen wird, weil die Verbindung fehlerhaft ist.
2. Der Nutzer erwartet Darstellungen des Erfolgs und Nutzens des gesteuerten Ladevorgangs.
3. Wie werden Informationen zum "Grünen Laden" empfunden?
4. Die Anzeige der Ladezeit wird als positiver Informationsinput empfunden.

Ladehistorie und ökologischer Nutzen

1. Die Darstellung der Energiebilanz kann einen Anreiz darstellen, Änderungen im Ladeverhalten oder im Nutzerprofil vorzunehmen, wenn beispielsweise festzustellen ist, dass der Anteil regenerativer Energie bei bestimmten Verhaltensmustern tendenziell höher ist, als bei alternativen Verhaltensmustern.
2. Der Nutzer erwartet eine Darstellung des Erfolgs und Nutzens des gesteuerten Ladevorgangs.
3. Der Nutzer erwartet Transparenz bei der Darstellung des Erfolgs vom gesteuerten Laden.
4. Der Nutzer erwartet eine Sofortnachricht (z.B. SMS), wenn Ladevorgang nicht wie geplant läuft, damit er ggf. reagieren kann.
5. Durch die Rückmeldung über den W2V-Erfolg, haben die Nutzer ein besseres Verständnis bzgl. des Nutzens von W2V.

Navigation und Routenplanung

1. Eine Routenplanung zu Ladesäulen ist erwünscht, wird aber nur selten und in unbekannten Regionen genutzt.
2. Durch die Informationen über die Ladesäulen (Standort, Verfügbarkeit, Passung der Anschlüsse, Funktionstüchtigkeit) steigt die wahrgenommene Zuverlässigkeit/das Vertrauen in die Ladesäulen.

4.2.2.4.5 Fragestellungen und Hypothesen zur Ladeinfrastruktur

Thema	Anzahl der Hypothesen			
	Prüfbar	Bedingt prüfbar	Nicht prüfbar	**Gesamt**
Erwartungen der Nutzer bezüglich der Ladeinfrastruktur	33	0	1	**34**
Nutzerverhalten bezüglich der Ladeinfrastruktur	13	6	3	**22**
Besonderheiten bei Flotte	4	6	0	**10**
Technische Eckpunkte	0	3	0	**3**
Allgemein	9	0	0	**9**

Tabelle 25: Anzahl der Hypothesen zur Ladeinfrastruktur.

4.2.2.4.5.1 Prüfbare Fragestellungen und Hypothesen zur Ladeinfrastruktur

Hypothesen zur Ladeinfrastruktur sollten durch Tests der Technischen Universität Chemnitz innerhalb des Projektes GL V2.0 verifiziert werden.

Erwartungen der Nutzer bezüglich der Ladeinfrastruktur

1. Nutzer erwarten eine hohe Zuverlässigkeit der Ladeinfrastruktur.
2. Bei Restriktionen erwarten alle Nutzer hohe Transparenz auch über die Begrenzungen.
3. Der Nutzer erwartet eine hohe Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur.

4. Der Nutzer erwartet eine geringe Fehleranfälligkeit der Ladeinfrastruktur.
5. Der Nutzer erwartet eine Ladeinfrastruktur mit einfacher Bedienung („Usability“).
6. Nutzer wünschen eine schnelle und komfortable Bestätigung des erfolgreichen Autorisierungsprozesses und der Ladebereitschaft nach Anschluss an die Ladeinfrastruktur (auch wenn die faktische Ladezeit wesentlich später einsetzt).
7. Der Nutzer wünscht einfache und transparente Bezahlverfahren und Abrechnungsmodalitäten/Private Nutzer erwarten einen transparenten Abrechnungsprozess mit korrekten und einfachen Angaben zum Stromlieferanten, zur Menge, zu den Zeiten und zu den genutzten Ladestandorten.
8. Bei einem ungeplanten Abbruch des Ladevorgangs erwartet der Nutzer eine geordnetes Herunterfahren und keinen Systemzusammenbruch.
9. Sollte das Laden notdürftig unterbrochen werden müssen, erwartet der Nutzer einen zentralen Wiederaufnahme-Steuerbefehl, so dass die Ladung so bald wie möglich fortgesetzt wird.
10. Wenn die Kommunikation zwischen zwei oder mehr Instanzen ausfällt, erwartet der Nutzer dennoch einen Ladevorgang, ggf. ohne Gesteuertes Laden. Die Ladeinfrastruktur soll unter allen Umständen, auch im Falle eines Kommunikationsabbruchs, ein Beladen des Fahrzeuges und damit die Mobilität des Kunden sicherstellen.
11. Nutzer würden eine Instanz begrüßen, welche die Regelsätze des bezogenen Stroms und korrespondierende Vergütungssätze festlegt bzw. überwacht
12. 80% der privaten Nutzer akzeptieren eine Entladung nicht, wenn sie an einer öffentlichen Ladesäule stehen.
13. Private Nutzer erwarten bei Fahrtantritt von einer **privaten Ladeinfrastruktur** eine voll aufgeladene Batterie.
14. 80% der privaten Nutzer akzeptieren beim Laden an einer **öffentlichen Ladesäule** eine Teilaufladung von **+20%-SOC innerhalb von 2h.**
15. Private Nutzer akzeptieren Ladedauern an **privater Ladeinfrastruktur von 8h** bis zur 100%-Aufladung.
16. Privater Nutzer akzeptieren, dass es an öffentlichen Ladepunkten einen AAA-Prozess geben muss. Eine RFID-Karte und eine PIN werden an öffentlichen Ladepunkten akzeptiert.

17. Gibt es spezifische Anforderungen an die Funktion der Ladeinfrastruktur in Abhängigkeit an die Pendelstrecke/Fahrzeiten (z.B. Information, dass der Ladevorgang abgebrochen wurde, Garantie, dass das Fahrzeug geladen wird, dass das nicht unterbrochen wird, etc.)?
18. Wie und wann wird bevorzugt geladen?
19. Welche Anforderungen hat ein Nutzer ohne private Lademöglichkeit an ein EV im Gegensatz zu Nutzern, die zuhause eine Lademöglichkeit haben?
20. Der MINI E soll jederzeit geladen sein, wenn man ihn braucht.
21. Besteht die Bereitschaft auf Seiten der Nutzer, sich auf bestimmte Ladeorte festzulegen?
22. Nutzer erwarten/benötigen eine Lademöglichkeit, wenn sie ihr EV während der Arbeitszeit parken.
23. Nutzer erwarten, dass durch Benutzung einer Ladesäule ihr E-Fahrzeug vollständig und korrekt aufgeladen wird.
24. Nutzer erwarten, die Ladesäule erfolgreich benutzen zu können.
25. Nutzer erwarten, die Ladesäule fehlerfrei benutzen zu können.
26. Um eine Aufgabe an einer Ladesäule zu erledigen (Starten bzw. Beenden eines Ladevorgangs), erwarten Nutzer weniger als 5min zu benötigen.
27. Nutzer erwarten kurze Ladezeiten von unter 4 Stunden.
28. Nutzer erwarten Informationen über die Herkunft des Stroms.
29. Nutzer erwarten auch bei schlechtem Wetter bzw. schlechten Sichtverhältnissen ein problemloses Einleiten des Ladevorgangs.
30. Nutzer bevorzugen Feedback über den Ladevorgang eher im Fahrzeug als bei der Ladevorrichtung.
31. Nutzer können sich bei erstmaliger Nutzung einer öffentlichen Ladesäule an der Funktionsweise der privaten LI orientieren.
32. Unerfahrene Nutzer benötigen genauso viel Zeit wie erfahrene für eine reibungslose Verwendung der Ladesäulen.
33. Nutzer beurteilen die öffentliche Ladeinfrastruktur als ausreichend sicher gegen Missbrauch und Vandalismus.

Nutzerverhalten bezüglich der Ladeinfrastruktur

1. Nutzer von öffentlichen Ladepunkten bevorzugen für sie günstig gelegene, erfahrungsgemäß zuverlässige Säulen an attraktiven Standorten (Parken).
2. Ein privater Nutzer stellt das Fahrzeug nachts zu Hause und tagsüber bei seinem Arbeitgeber ab.
3. Nutzer mit Zugang zu privater Ladeinfrastruktur nutzen öffentliche Ladepunkte in erster Linie aus anderen Nicht-Ladegründen./80% der privaten Nutzer stehen an öffentlichen Säulen nicht primär zum Laden.
4. Ein am öffentlichen Ladepunkt abgewiesener privater Nutzer wartet nicht, sondern verzichtet auf das Laden und parkt an einem anderen Ort ohne zu laden.
5. Wie reagieren die Nutzer, wenn sie planen, das Auto zu laden, aber die Lademöglichkeit belegt ist?
6. Wo wird der MINI E/BMW ActiveE geladen (ausschließlich zu Hause, ausschließlich an öffentlichen Ladestationen, …)?
7. Wie häufig wird an der Wallbox aufgeladen? Was sind hierfür jeweils die Gründe?
8. Nutzer benutzen die Ladesäule erfolgreich.
9. Nutzer benutzen die Ladesäule fehlerfrei.
10. Um eine Aufgabe an einer Ladesäule zu erledigen (Starten bzw. Beenden eines Ladevorgangs), benötigen Nutzer weniger als 5min.
11. Nutzer können ohne größere mentale Anstrengungen eine Ladesäule bedienen.
12. Nutzer können ohne größere körperliche Anstrengungen eine Ladesäule bedienen.
13. Die Benutzerfreundlichkeit der Ladesäuleninfrastruktur steigert die Wahrscheinlichkeit, auch in Zukunft öffentliche Ladesäulen zu benutzen.

Besonderheiten bei Flotte

1. Professionelle Nutzer wollen die öffentliche LI nur als Fallback nutzen – die Nutzung gehört nicht in ihre Zeit- und Routenplanung.
2. Professionelle Nutzer erwarten eine voll aufgeladene Batterie bei Fahrantritt.
3. Professionelle Nutzer akzeptieren Ladedauern von bis zu 6h bei einer 100%-Aufladung.

4. Professionelle Nutzer erwarten, dass die Lademöglichkeit so lange wie möglich aufrechterhalten wird, da ihr Geschäft davon abhängt, dass das Fahrzeug fahrbereit ist.

Allgemein

1. Der Status der Ladesäule (z.B. Verfügbarkeit, Funktionsfähigkeit, etc.) ist gut erkennbar.
2. An der Ladesäule kann der Nutzer erkennen, welche Handlungsmöglichkeiten er hat.
3. Das Ergebnis einer Handlung wird an der Ladesäule klar und deutlich sichtbar.
4. Die Funktionsweise des Gesamtsystems der Ladesäule ist für den Nutzer erkennbar.
5. Die Bedienelemente der Ladesäule sind analog zu den jeweiligen Funktionen zu benutzen.
6. Kulturelle Standards/Konventionen/Normen werden an der Ladesäule eingehalten.
7. Nutzer nehmen die Eigenschaften der Ladesäule hinsichtlich ihrer Nutzung unmittelbar wahr.
8. Randbedingungen der Ladesäule (wie die Mündung für das Ladekabel) schränken die Anzahl der möglichen Handlungsalternativen für den Nutzer ein und ermöglichen eine leichtere Nutzung.
9. Die Vorstellungen der Nutzer über die Funktionen der Ladesäule stimmen mit den tatsächlichen Funktionen überein.

4.2.2.4.6 Fragestellungen und Hypothesen zum Nutzerverhalten

Thema	Anzahl der Hypothesen			
	Prüfbar	Bedingt prüfbar	Nicht prüfbar	**Gesamt**
Nutzerverhalten	4	0	1	**5**

Tabelle 26: Anzahl der Hypothesen zum Nutzerverhalten.

4.2.2.4.6.1 Prüfbare Fragestellungen und Hypothesen zum Nutzerverhalten

Die Fragestellungen und Hypothesen, die von den Partnern zum Nutzerverhalten generiert wurden, sollten vorrangig im Partnerprojekt MINI E 2.0 getestet werden.

1. Bis zu welchem Minimal-SOC fahren die Nutzer, bevor sie laden? Wie ist der Batteriestatus bei Ladebeginn (voll, halbvoll, nahezu leer)?
2. Das Ökolabel/der Imagegewinn durch den zertifizierten Grünstrom und die entfallenden Emissionen sowie die Hoffnung auf weniger Instandhaltungs- und -setzungskosten beim Fahrzeug (im Vergleich zum Verbrenner) sind die Treiber für die Projektteilnahme.
3. Für Fahrten bis 150 km Reichweite stellen sich die privaten Nutzer nicht um.
4. Für Fahrten bis 150 km Reichweite wird die gleiche Mobilität wie mit einem herkömmlichen Fahrzeug erwartet.

4.2.2.4.7 Fragestellungen und Hypothesen zur Akzeptanz von gesteuertem Laden

4.2.2.4.7.1 Zusammenfassung

Thema	Anzahl der Hypothesen			
	Prüfbar	Bedingt prüfbar	Nicht prüfbar	**Gesamt**
Akzeptanz Gesteuertes Laden	6	0	0	**6**
Wind to Vehicle	0	14	0	**14**
Vehicle to Grid	14	0	0	**14**

Tabelle 27: Anzahl der Hypothesen zur Akzeptanz von Gesteuertem Laden.

4.2.2.4.7.2 Prüfbare Fragestellungen und Hypothesen zur Akzeptanz von gesteuertem Laden

Die Fragestellungen und Hypothesen zur Akzeptanz von Gesteuertem Laden sollten innerhalb des Projektes GL V2.0 geprüft werden.

Akzeptanz Gesteuertes Laden

1. Welche Bedarfe hat der Kunde hinsichtlich spezifischer Informationen zum Thema Gesteuertes Laden?
2. Unter welchen Bedingungen wird das gesteuerte Laden akzeptiert?
3. Ist es für die Nutzer wichtig, gesteuert zu laden?
4. Wie wird eine Info zum "Grünen Laden" empfunden (auch beim Ladeassistent)?

5. Wird das Gesteuerte Laden als Einschränkung empfunden? Wird hier ein zu wenig individuelles Ladeverhalten vermutet/befürchtet?
6. Unter welchen Umständen akzeptiert der Nutzer das Gesteuerte Laden nicht oder sieht für sich keinen Mehrwert?

Vehicle to Grid

1. Besteht kein Problembewusstsein bzgl. der Schwierigkeiten bei Stromversorgung wird auch eine Maßnahme wie V2G weniger akzeptiert/ist die Teilnahmebereitschaft geringer.
2. Da eine gut ausgebaute Ladeinfrastruktur den Planungsaufwand für V2G beträchtlich senken könnte, wären die Nutzer aufgrund dieser Maßnahme eher bereit, das Fahrzeug häufiger und länger anzustecken.
3. Die Bereitschaft zur Teilnahme am V2G ist von der Einstellung zur Maßnahme abhängig.
4. Die Einstellung des sozialen Umfelds der Nutzer beeinflusst die Teilnahmebereitschaft an der Maßnahme V2G.
5. Die Nutzer sind eher bereit an V2G teilzunehmen, wenn sie sich selbst Verantwortung für das Problem der Energieversorgung bzw. für deren Lösung zuschreiben.
6. Die Nutzer sind eher bereit an V2G teilzunehmen, wenn die daraus resultierenden Verhaltensweisen nicht mit ihren eigentlichen Zielen kollidieren.
7. Die Rückmeldung über den V2G-Erfolg motiviert die Nutzer zur intensiveren Teilnahme an V2G.
8. Ein finanzieller Ausgleich in Form von einem Punktesystem wird als motivierend empfunden für die Teilnahme an V2G.
9. Informationskampagnen zu V2G werden von den Nutzern als wünschenswert empfunden.
10. Je weniger Aufwand die Teilnahme am V2G für die Nutzer bedeutet, desto eher sind sie bereit, regelmäßig am Programm teilzunehmen.
11. Nutzer benötigen mehr Informationen zum System, damit sie eher bereit sind, an der Maßnahme V2G teilzunehmen.
12. Nutzer erwarten einen finanziellen Ausgleich, wenn sie mehr Aufwand beim Laden betreiben, indem sie intensiv am V2G teilnehmen.

13. Wenn die Nutzer sich ungerecht behandelt fühlen, weil sie beispielsweise mit ihrem Verhalten für die Förderung der erneuerbaren Energien verantwortlich gemacht werden, werden sie das V2G weniger ~~gut~~ akzeptieren.
14. Wenn V2G subjektiv die Zielerreichung der Nutzer begünstigt (z.B. Förderung erneuerbarer Energiequellen), sind diese stärker motiviert am Programm teilzunehmen.

4.2.2.4.8 Fragestellungen und Hypothesen zum Schnellladen

4.2.2.4.8.1 Zusammenfassung

Thema	Anzahl der Hypothesen			
	Prüfbar	Bedingt prüfbar	Nicht prüfbar	**Gesamt**
Schnellladen	4	0	1	**5**

Tabelle 28: Anzahl der Hypothesen zum Schnellladen.

4.2.2.4.8.2 Prüfbare Fragestellungen und Hypothesen zum Schnellladen

Die prüfbaren Fragestellungen zum Schnellladen sollten innerhalb des Projektes GL V2.0 und alternativ auch im Projekt MINI E 2.0 untersucht werden.

10. Was bedeutet Schnellladen für die Nutzer?
11. Wann spricht man von Schnellladen?
12. Bei welchen Zeiten ist der Begriff Schnellladen angebracht?
13. Für welche Szenarien und Situationen benötigt man Schnellladen?

4.2.2.4.9 Spezielle Hypothesen zu Park & Ride

Thema	Anzahl der Hypothesen			
	Prüfbar	Bedingt prüfbar	Nicht prüfbar	**Gesamt**
Speziell Park & Ride	0	0	1	**1**

Tabelle 29: Anzahl der Hypothesen zu Park & Ride.

Zu dem speziellen Thema Park & Ride wurde eine Hypothese generiert, die jedoch als nicht prüfbar im Rahmen des Projektes eingestuft wurde.

4.2.2.4.10 Fragestellungen und Hypothesen zum Ladeassistenten des V2G-Systems

Die Technische Universität Berlin entwickelte parallel einen Ladeassistenten für das V2G-System. Für die Funktionen dieses Assistenten erstellte die Technische Universität Hypothesen zu den Themen Nutzerprofil, Ladeplanung, Fahrzeugstatus, Ladehistorie und Terminkalender. Da eine Analyse des Nutzerverhaltens im V2G-Probebetrieb nicht vorgesehen war, wurden diese Hypothesen im Vorfeld nicht nach Umsetzbarkeit bewertet.

Nutzerprofil

14. Die Konfiguration des (Ent-)Lade-Parameters bestimmt, wie viel Strom von der Batterie dem Netz zugespeist wird, bzw. wie viel Strom dem Netz entnommen wird.
15. Der für die Nutzer als relevant wahrgenommene Parameter ist die Mindestreichweite, die zu keinem Zeitpunkt unterschritten werden darf.
16. Parameter wie die maximale Ladeleistung sind für z.B. den Batterieverschleiß und somit für die indirekten Ladekosten auch relevant.
17. Möglicherweise werden die Nutzer diesen technischen Parameter zwar als relevant/wichtig einstufen, ihn aber im Rahmen der Nutzung nicht berücksichtigen bzw. ändern, da der unmittelbare Batterieverschleiß nicht beobachtet werden kann.
18. Der Benutzer kann in der Konfiguration der Nutzerpräferenzen z. B. die Mindestreichweite des Autos festlegen. Diese Reichweite in km wird zu keinem Zeitpunkt des Entladens unterschritten und bei der Verbindung mit dem Netz durch sofortiges Laden schnellstmöglich realisiert. Durch die Mindestreichweite wird die Range-Anxiety und somit die gefühlte Unsicherheit der Nutzer gegenüber dem V2G-System verringert werden. Ein gesteigertes Vertrauen der Nutzer in das System könnte sich dadurch bemerkbar machen, dass die Nutzer die Mindestreichweite, entsprechend dem von Ihnen im Laufe der Nutzung beobachteten Energieverbrauch herabsetzten.
19. Für den Bezug von Energie kann der Nutzer einen maximalen Preis, für die Rückspeisung einen minimalen Preis angeben. Dieser maximale Bezugspreis bezieht sich nur auf Energie, die laut Ladeplanung aktuell nicht unbedingt benötigt wird. Dieses Wertepaar ermöglicht es dem Nutzer, die Ladeplanung zu kon-

trollieren. Dadurch könnte das Vertrauen in eine automatisierte Lade- bzw. Entladesteuerung (auf Basis der Nutzerpräferenzen) gesteigert werden.

20. Das System kann aus dem Nutzerverhalten die Präferenzen des Nutzers lernen/ableiten und darauf aufbauend Vorschläge für die Optimierung der Systemparameter machen (z.B. Veränderung der Mindestreichweite). Der Nutzen, der aus den Vorschlägen für den Nutzer entstehen würde, kann dem Nutzer in Form eines absoluten Geldbetrages oder der absoluten CO_2-Einsparung für einen bestimmten Zeitraum dargestellt werden.
21. Alternativ könnte der Wert auch als Kosten bzw. CO_2 pro gefahrenen Kilometer für einen bestimmten Zeitraum formuliert werden.

Ladeplanung

1. Bei der Ladeplanung kann die Funktion V2G aktiviert oder deaktiviert werden. Im deaktivierten Zustand wird die Entladung der Batterie ausgeschlossen. Durch die Häufigkeit der Verwendung bzw. Aktivierung der Funktion kann die gefühlte Sicherheit bzw. das Vertrauen gegenüber der V2G-Funktion und der wahrgenommene Nutzen, der durch V2G entsteht erfasst werden.

Fahrzeugstatus

1. Durch die Darstellung des Anteils regenerativer Energie in der Batterie kann die Nutzerzufriedenheit mit dem System beeinflusst werden, wenn der Anteil entsprechend hoch ist. Es ist zu erheben, inwiefern sich die (möglicherweise geringen) realistischen Werte eignen, Verhaltensänderungen der Nutzer zu provozieren.

Ladehistorie

1. **Übersichtsfenster:** Die Energiebilanz, Kostenbilanz und Optimierungsfunktion wird von den Nutzern regelmäßig verwendet, um den ‚Erfolg' der Anwendung zu prüfen. Als Messpunkt kann die Aktivierung der einzelnen Funktionen (Energiebilanz, Kostenbilanz und Optimierung) genutzt werden, um ein steigendes oder sinkendes Interesse an den entsprechenden Funktionen zu messen. Es wird erwartet, dass die Nutzer die Optimierung nur in der Anfangsphase des Tests, nach einer Gewöhnung an das System nutzen. Die übrigen Funktionen werden während kurzer Wartezeiten im Alltag und am Abend genutzt.

2. **Ladehistorie:** In der Energiebilanz werden dem Nutzer die genutzte und rückgespeiste Energie sowie der Anteil regenerativer Energie zu den jeweiligen Zeitpunkten dargestellt. Er kann die zeitliche Auflösung der Ansicht verändern. Diese Darstellung kann einen Anreiz darstellen, Änderungen im Ladeverhalten oder im Nutzerprofil vorzunehmen, wenn beispielsweise festzustellen ist, dass der Anteil regenerativer Energie bei bestimmten Verhaltensmustern tendenziell höher ist, als bei alternativen Verhaltensmustern. In der Kostenbilanz können dem Nutzer analog zur Energiebilanz, für bestimmte Zeiträume die absoluten Energiekosten sowie die Kosten pro gefahrenem Kilometer präsentiert werden. Diese Darstellung kann in Verbindung mit dem Optimierungsfenster einen Anreiz zu Änderung des Nutzerprofils und des Lade- bzw. Entladeverhaltens darstellen.

3. **Optimierungsfunktion:** Durch diesen Service kann dem Nutzer eine Verhaltensoptimierung durch Vorhersage des ökonomischen- bzw. ökologischen Nutzens via E-Mail vorgeschlagen werden. Dabei werden für gelernte Verhaltensmuster aus historischen Daten ökonomisch und ökologisch Vorteilhafte Einstellungen des Nutzerprofils vorgeschlagen. Hier kann es sich z.B. um eine Verringerung der Mindestreichweite handeln, sowie um alternative Ladezeitpunkte. Vertraut der Nutzer auf die Funktionsweise des Systems und übernimmt die Parameter, so kann der persönliche du volkswirtschaftliche Nutzen der des Systems gesteigert werden.

Terminkalender

1. **Kalenderfenster:** Die wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit wird signifikant gesteigert, wenn der Kunde für jeden Termin wählen kann, ob er das Elektrofahrzeug nuten möchte oder nicht. Im Fall der Fahrzeugnutzung wird der Kunde direkt zur Stationsauswahl geleitet. Das Vertrauen in das System wird gesteigert wenn neben jedem Terminangezeigt wird, ob eine Ladung des Fahrzeuges in diesem Zeitraum stattfindet. Das Vertrauen in das System wird gesteigert wenn zu den beschriebenen Ladevorgängen, die neben dem Termin angezeigt werden, auch stets die zu erwartende Reichweite zu Beginn und am Ende des Vorganges angezeigt wird, sodass der Nutzer auf einen Blick sehen kann, wie sich sein Aktionsradius über den Tagesverlauf verhält.

2. **Detailansicht – Termin:** In der Detailansicht des Termins sind im Wesentlichen die gleichen Daten wie im Kalenderfenster angezeigt. Es gelten dieselben Hypothesen. Daneben wird die wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit gesteigert, wenn in der Terminansicht die Möglichkeit besteht, eine Ladestation in der Nähe zu suchen, auszuwählen, zu reservieren oder eine gewählte Station zu ändern.

3. **Detailansicht – Route:** Die wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit wird gesteigert, wenn auch in der Routenübersicht die prognostizierte Reichweite des Fahrzeuges am Ende der Route angezeigt wird.

4. **Detailansicht – Ladevorgang:** Für jeden geplanten Ladevorgang kann eine Detailansicht angezeigt werden, in der die Reichweite vor und nach dem Laden dargestellt ist, sowie die Adresse der Ladestation und die Anfangs- und Endzeit des Vorganges. Über Schieberegler kann der Kunde den gewünschten Endzeitpunkt des Ladevorganges und die gewünschte Mindestreichweite nach dem Laden anpassen. Dabei besteht eine Wechselwirkung (Ladedauer hängt bedingt von Ladezeit ab und vice versa), die die Wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit des Systems negativ beeinflussen kann, weil das System die gewünschten Angaben teilweise automatisch anpassen muss. Der Kunde bevorzugt es die Angabe über die gewünschte Mindestreichweite zu machen, anstatt Angaben über den State of Charge zu machen oder zu erhalten.

5. **Detailansicht – Stationsauswahl:** Der Kunde wählt meist/immer diejenige Station, die am nächsten zu der geplanten Terminadresse liegt, unabhängig davon ob andere Stationen über mehr Fähigkeiten verfügen oder günstigere Preise anbieten.

4.2.2.4.11 Verwertung der Fragestellungen und Hypothesen

Die vorgestellten Fragestellungen und Hypothesen, die als prüfbar innerhalb des Projekts GL V 2.0 befunden wurden, dienten als Ausgangbasis für die Planung und Umsetzung der Nutzertests in AP 2.1.5, AP 3.2.4 und AP 5.4.3. Bei der Erstellung des methodischen Designs wurde erneut geprüft, inwieweit sich die Fragestellungen unter den spezifizierten Versuchsbedingungen untersuchen lassen und das Versuchsdesign sowie die eingesetzte Methodik soweit möglich darauf ausgerichtet.

4.2.2.4.12 Evaluation des Ladeassistenten

4.2.2.4.12.1 Expertenevaluation

Es wurde eine Heuristische Evaluation mit drei Experten durchgeführt, die sich im Rahmen ihrer wissenschaftlichen und/oder beruflichen Laufbahn mit der Gebrauchstauglichkeit von Produkten beschäftigten. Die Experten untersuchten den Ladeassistenten unabhängig voneinander hinsichtlich wichtiger Heuristiken für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit eines Produkts. Sie nutzten bei ihrer Beurteilung die ISO-Norm 9241. Die folgende Tabelle listet die Funktionen des Ladeassistenten zum Zeitpunkt der Expertenevaluation auf.

Statusanzeige	Ladesteuerung/ Kalender	öffentliche Ladesäulen	Informationen
Anzeige Ladezustand (Grafik, Prozent)	Anzeige nächste Abfahrt	Anzeige des Standortes von Ladeassistent und Fahrzeug	Anzeige der Windbilanz mit Anzeige der vorher eingestellten und der tatsächliche Lade-Zeiten
Anzeige Ladestatus (lädt/lädt nicht)	Anzeige Standardzeiten (incl. Anzeige, ob zu der Zeit vortemperiert wird)	Anzeige Standort Ladesäulen	Anzeige des W2V-Erfolgs des letzten Ladevorgangs in Form von Grafik
Anzeige Gesteuertes Laden (GL/nur angesteckt)	Hinzufügen/ Löschen von Standardzeiten (incl. Einstellung von Mindestreichweite und Vortemperierung)	Anzeige Details zur Ladesäule (Belegung, GL-Fähigkeit, Entfernung vom Fahrzeug, Adresse, Öffnungszeiten, …)	Anzeige kWh und Dauer des letzten Ladevorgang, sowie einer Anzeige der voraussichtliche Kosten des letzten Ladevorgang
Anzeige verbleibende Ladezeit (sowohl für GL, als auch Sofortladen)	Anzeige von Ausnahmen	Wegbeschreibung zur Ladesäule (anhand Karte)	Benachrichtigungen über Anstecken des Fahrzeuges, Auslösung des Ladevorgangs, Beendigung des Ladevorgangs, etc.
Reichweitenanzeige	Hinzufügen/Löschen von Ausnahmen (incl. Einstellung von Mindestreichweite und Vortemperierung)	Ladesäulen in der Nähe eines Ortes suchen	Anzeige von Vorschlag um Gesteuertes Laden besser zu nutzen und Möglichkeit der Übernahme dieser Vorschläge
Erreichbarkeit Heim/Arbeitsstelle	Sofortladen auslösen	Anzeige einer Liste aller Ladesäulen in der Umgebung	
Anzeige Außen-, Innen- und Batterietemperatur	Klimatisieren auslösen		

Tabelle 30: Funktionen des Ladeassistenten zum Zeitpunkt der Expertenevaluation

Insgesamt äußerten sich die Experten überwiegend positiv über den Ladeassistenten. Einige Funktionen wurden explizit positiv hervorgehoben z.B. die dynamische Rückmeldung des Ladevorgangs im E-Status-Menü. Trotzdem konnten einige größere und kleinere Usability-Probleme identifiziert werden. Abbildung 1 stellt die von den Experten identifizierten Probleme nach Schweregrad und verletzter Heuristik dar. Insgesamt wurden 38 Probleme festgestellt. Sogenannte „Usability-Katastrophen“ (Schweregrad 4; sollten unbedingt behoben werden, bevor das Produkt auf den Markt kommt) bezogen sich auf

- fehlende Scrollbalken,
- fehlende Back-Buttons und
- einige wenige missverständliche Symbole.

„Große Usability-Probleme“ (Schweregrad 3; sollten mit hoher Priorität behoben werden) fanden sich vor allem hinsichtlich

- fehlender Back-Buttons,
- der fehlenden Möglichkeit der Einstellung des Schriftgrades und der Temperatur, auf die das Fahrzeug klimatisiert werden kann,
- des Aufforderungscharakters von einigen Anzeigen,
- missverständlichen Symbolen und Darstellungen und
- des Ortes, an dem manche Funktionen zu finden waren.

Des Weiteren wurden folgende Aspekte kritisiert:

- Die Löschen-Funktion im Kalender war nur mit viel Vorwissen über Smartphones zu finden.
- Die Wegbeschreibung der Ladesäulen-Suchfunktion ging vom Auto und nicht vom Mobiltelefon aus.
- Bei der Ladesäulensuche wurden manchmal Straßen statt Ladesäulen angezeigt.

Darüber hinaus wurden verschiedene „kleine Usability-Probleme“ (Schweregrad 2 und 1; können mit geringer Priorität behoben oder ignoriert werden) identifiziert.

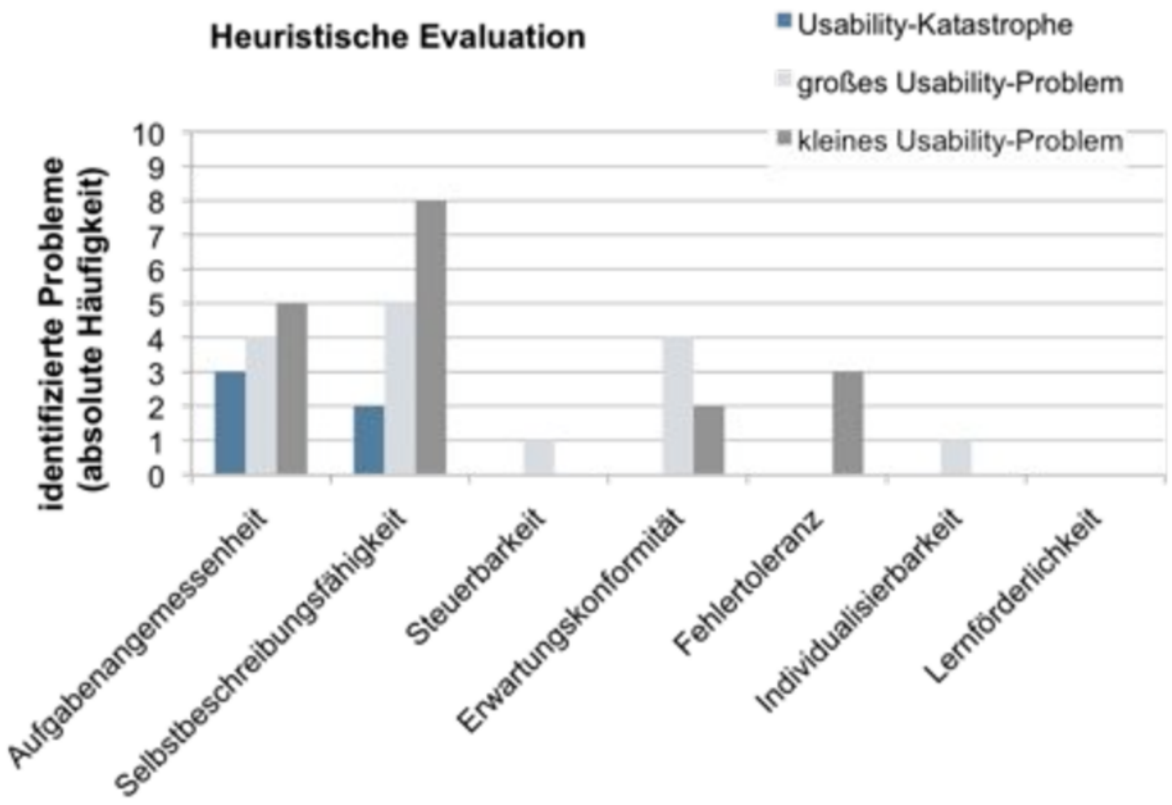


Abbildung 85: Ergebnisse der Heuristischen Evaluation nach Usability-Kriterien und Schweregrad

Die von den Experten identifizierten Probleme wurden in einem Katalog zusammengestellt und mit Verbesserungsvorschlägen an BMW verschickt. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden einige Änderungen an der Applikation vorgenommen.

4.2.2.4.12.2 Nutzertests

Im Rahmen der Nutzertests wurden 40 Testpersonen Szenarien vorgelegt, die typische Situationen repräsentierten, in denen der Ladeassistent zukünftig eingesetzt werden soll. Abbildung 2 illustriert den Ablauf der Nutzertests und enthält ein Beispielszenario. Insgesamt wurden 18 Szenarien überprüft, wobei jeder Teilnehmer 10 zufällig ausgewählte Szenarien bearbeitete. Während der Aufgabenbearbeitung hatten die Teilnehmer die Aufgabe, ihre Gedanken laut auszusprechen. Dieses Laute Denken wurde aufgezeichnet. Außerdem wurde die Interaktion der Teilnehmer mit dem Ladeassistent gefilmt. Im Anschluss an jedes Szenario wurde ein Kurzinterview durchgeführt (siehe Abbildung

2). Zudem wurden die Teilnehmer zu von ihnen noch unbearbeiteten Funktionen und Symbolen befragt. Dieses Vorgehen sollte sicherstellen, dass alle Probanden den gesamten Funktionsumfang der Applikation mit standardisierten Verfahren zur Erfassung von Akzeptanz und subjektivem Erleben der Gebrauchstauglichkeit bewerten konnten. Am Ende jeder Sitzung wurde den Teilnehmern verschiedene Designvarianten vorgestellt. Diese sollten sie hinsichtlich ihrer Präferenz ordnen und die positiven und negativen Aspekte der Varianten aufzählen.

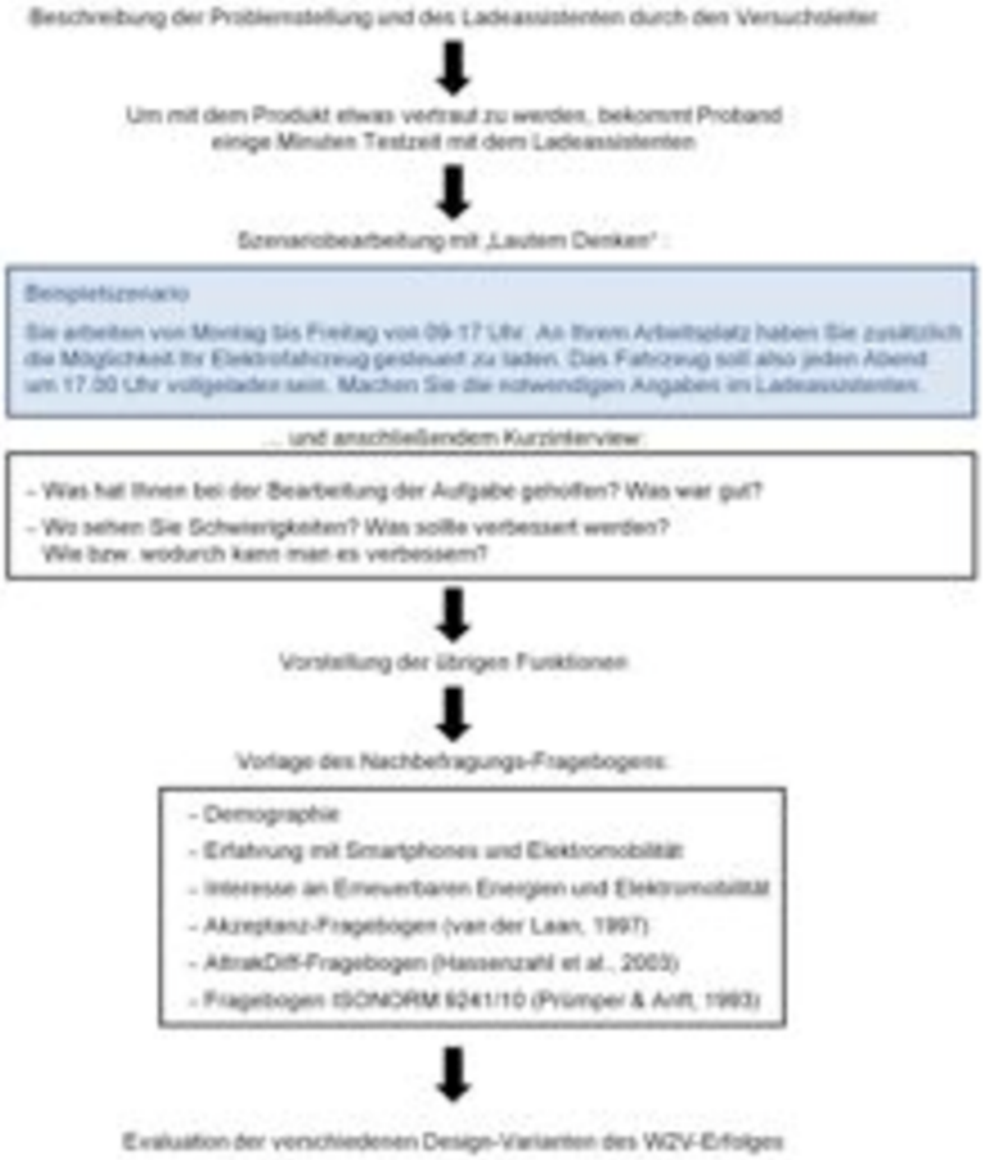


Abbildung 86: Ablauf der Usability-Tests

Etwa die Hälfte der Nutzertests wurde mit der gleichen Version des Ladeassistenten durchgeführt wie die Expertenevaluationen. In der anderen Hälfte kam eine überarbeitete Version zum Einsatz. Diese Version unterschied sich in folgenden Punkten von der Vorgängerversion:

- Es existierte eine Erläuterung zum persönlichen Erfolg der Teilnahme am Gesteuerten Laden.
- Die Windgrafik wurde verbessert: Es existierte nun die Möglichkeit, die Standardzeiten für den nächsten Ladevorgang mittels Drag & Drop direkt in der Windprognose für die nächsten 24 Stunden zu verändern.
- Die Terminologie „Klimatisieren“ wurde in „Vortemperieren“ umbenannt.
- Es existierten zwei weitere Möglichkeiten, sich Informationen über vergangene Ladevorgänge anzeigen zu lassen (als Statistik und in Form einer Liste).
- Das Icon zum Starten des Ladeassistenten wurde verändert.

Insgesamt nahmen 40 Personen an den Nutzertests teil. Über Smartphone-Erfahrung verfügten 10 Personen, 6 Personen hatten ein Elektrofahrzeug bereits probeweise getestet. Der überwiegende Teil der befragten Personen interessierte sich für Entwicklungen im Bereich der erneuerbaren Energien. Das Interesse an den Entwicklungen im Bereich der Elektromobilität war hingegen geringer, wenngleich nur 20% der Nutzer angaben, bislang keinerlei Interesse daran gehabt zu haben (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 87: Interesse der Teilnehmer an den Projektthemen

Effektivität

Die Effektivität eines Produktes gibt an, wie gut es den Nutzer bei seiner Zielerreichung unterstützt. Zur Einschätzung der Effektivität des Ladeassistenten wurden zwei Maße herangezogen: Die Lösungswahrscheinlichkeit der vorgegebenen Szenarien und das Ausmaß, in dem die Testpersonen Hilfe benötigten, um die Szenarien zu lösen. Es ergab sich eine sehr hohe Lösungswahrscheinlichkeit der Aufgaben: Alle Aufgaben konnten von nahezu allen Testpersonen gelöst werden. Darüber hinaus konnten mehr als drei Viertel der Testpersonen die meisten Aufgaben ohne Hilfestellung lösen (siehe Abbildung 4) Besonders viele Probanden benötigten jedoch Hilfe, um Informationen über den Ladestatus (Ist das Fahrzeug gerade angesteckt? Lädt es? Lädt es gesteuert?) sowie zur Verbesserung der Ökobilanz zu finden und um zu überprüfen, ob sie mit der Restreichweite ihren Wohnort oder ihre Arbeitsstelle erreichen können. Da diese Funktionen nicht tief im Menü verankert, sondern zumeist direkt auf der Startseite eines Hauptmenüs zu finden waren, könnten eine mangelnde Verständlichkeit der verwendeten Symbole oder der Umstand, dass Nutzer die Funktionen an anderer Stelle vermuteten, diese Ergebnisse erklären.

Effizienz

Die Effizienz eines Produktes gibt an, wie viel Aufwand der Nutzer benötigt, um mit dem Produkt ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Um die Effizienz des Ladeassistenten einzuschätzen, wurde einerseits der Anteil der Personen herangezogen, die das Szenario über den optimalen Weg löste. Andererseits wurde erhoben, wie viele Schritte die Nutzer im Mittel benötigten, um an ihr Ziel zu gelangen. Diese Zahl wurde an der Anzahl der Schritte im optimalen Lösungsweg relativiert. In der folgenden Abbildung ist der Anteil der Versuchspersonen, die den optimalen Weg nutzten, dargestellt. Besonders viele Testpersonen nutzten den kürzesten Weg, als sie überprüfen wollten, ob die Restreichweite ausreicht, um nach Hause zu gelangen. Außerdem gelang es ihnen gut, zusätzliche Standardzeiten einzustellen, Standardzeiten zu löschen und Ausnahmen hinzuzufügen. Im Gegensatz dazu hatten besonders viele Personen Probleme herauszufinden, wie man die Standardzeiten einstellt (dies war immer das erste Szenario), wo der Erfolg des Gesteuerten Ladens abzurufen ist, wo man sich eine Wegbeschreibung zu einer Ladesäule anzeigen lassen kann und wo Informationen über den Ladestatus zu finden sind. Die Tatsache, dass die Testpersonen sehr effizient zusätzliche Standardzeiten ein-

stellen konnten, obwohl sie große Probleme bei der Einstellung der ersten Standardzeiten hatten, spricht für die Konsistenz und Erlernbarkeit dieser Funktion.

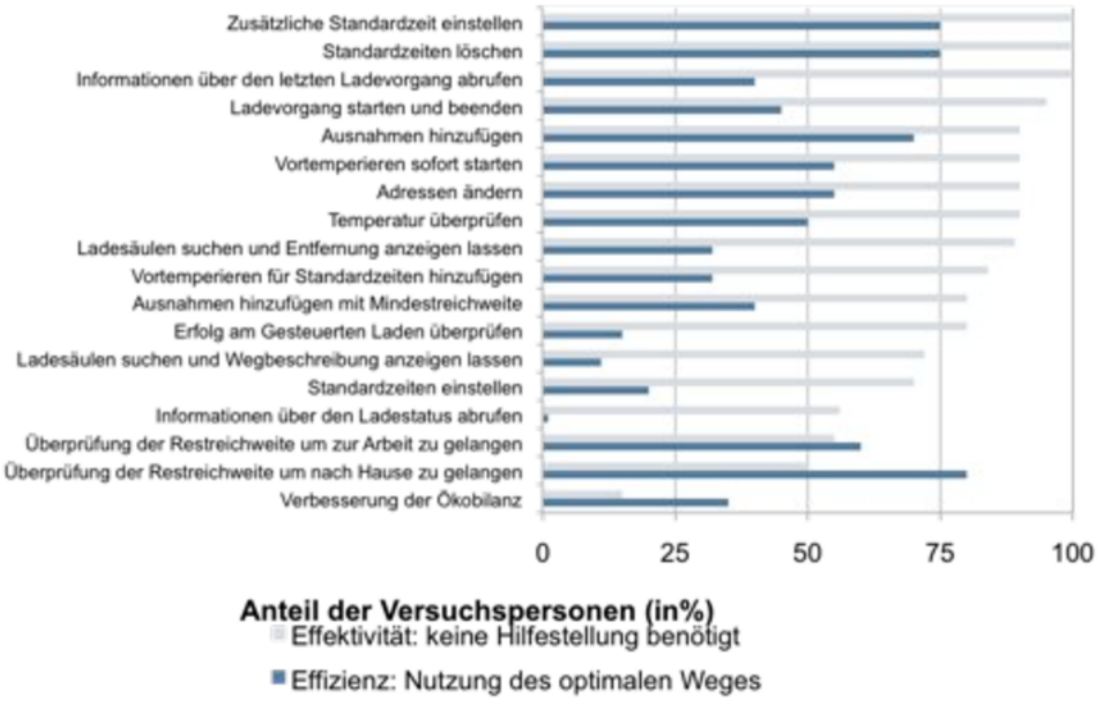


Abbildung 88: Effektivität und Effizienz des Ladeassistenten

Als zweites Maß für die Effizienz des Ladeassistenten wurde die mittlere Anzahl der benötigten Schritte mit der Anzahl der tatsächlich benötigten Schritte für jedes Szenario verglichen (siehe folgende Abbildung). Dieses Verhältnis fiel besonders ungünstig beim Abruf von Informationen über den Ladestatus (Faktor 4,5), Abruf von Informationen zur Verbesserung der Ökobilanz (Faktor 3,5), Einstellen der Vortemperierungsfunktion für Standardzeiten (Faktor 3,3), ersten Einstellen der Standardzeiten (Faktor 3,3), Löschen von Standardzeiten (Faktor 2,8) und der Wegbeschreibungssuche zu einer Ladesäule (Faktor 2,1) aus. Doppelt so viele Schritte wie beim optimalen Lösungsweg benötigten die Testpersonen, um Ausnahmen mit Mindestreichweite hinzuzufügen, ihren Erfolg am Gesteuerten Laden zu überprüfen, Temperaturen und Informationen über den letzten Ladevorgang abzurufen und um zu überprüfen, ob die Restreichweite für ein Erreichen des Wohnortes ausreicht.

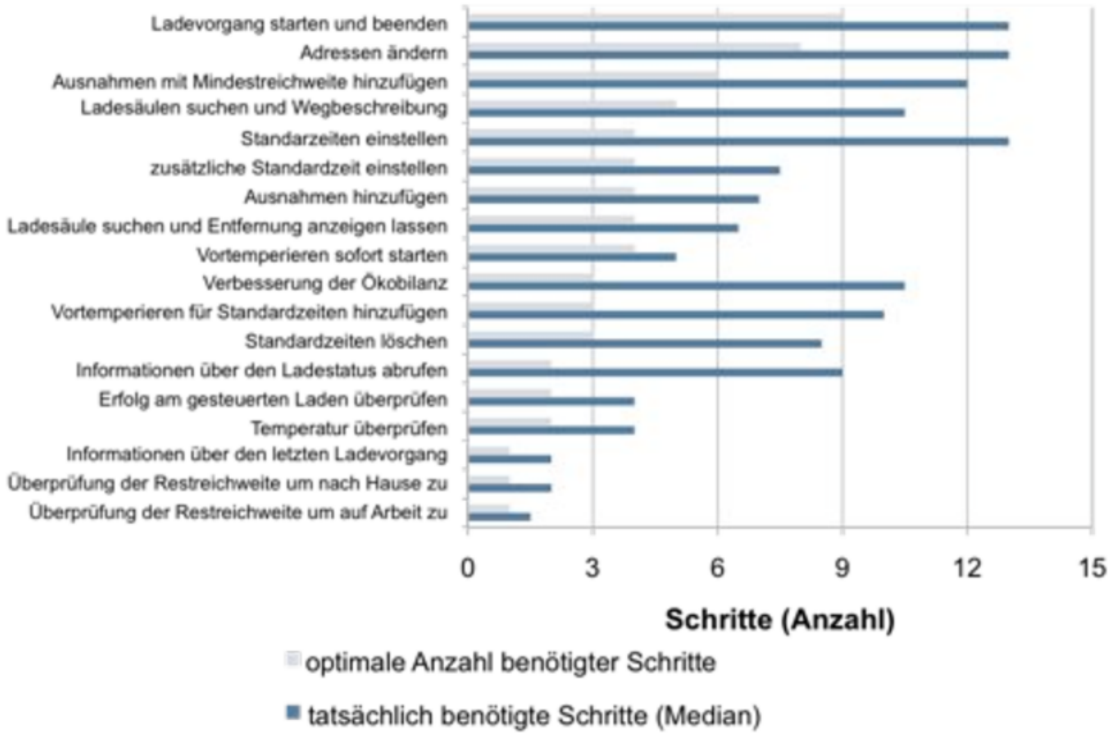


Abbildung 89: Effizienz des Ladeassistenten

Zufriedenheit

Zur Erfassung der Akzeptanz des Ladeassistenten kamen drei Fragebögen zum Einsatz. Die *van der Laan-Akzeptanzskala* (van der Laan, 1997) erfasst sowohl Nützlichkeit eines Systems als auch die Zufriedenheit mit diesem. Beide Faktoren wurden für die Anwendung positiv von den Teilnehmern bewertet (siehe folgende Abbildung). Nur wenige Personen waren mit dem Ladeassistenten nicht zufrieden. Praktisch alle Testpersonen beurteilten den Ladeassistenten als nützlich.

Abbildung 90: Ergebnisse der van der Laan-Skala

Der AttrakDiff (Hassenzahl et al., 2003) bildet vier Dimensionen ab: pragmatische Qualität, Identität und Stimulation als zwei Dimensionen hedonistischer Qualität und Attraktivität. Die pragmatische Qualität gibt an, ob der Nutzer seine Ziele mit Hilfe des Produkts erreichen kann. Die Identitätsskala bildet ab, wie gut sich ein Nutzer mit dem Produkt identifizieren kann. Die Stimulationsskala zeigt, wie gut das Produkt geeignet ist, das Bedürfnis des Nutzers nach Weiterentwicklung zu unterstützen, z.B. indem es neuartige, interessante und anregende Funktionalitäten, Inhalte sowie Interaktions- und Präsentationsstile bietet. Die Attraktivitätsskala repräsentiert eine globale Bewertung der subjektiven Attraktivität des Produktes. Auf allen vier Skalen erreichte der Ladeassistent leicht positive Werte (siehe folgende Abbildung).

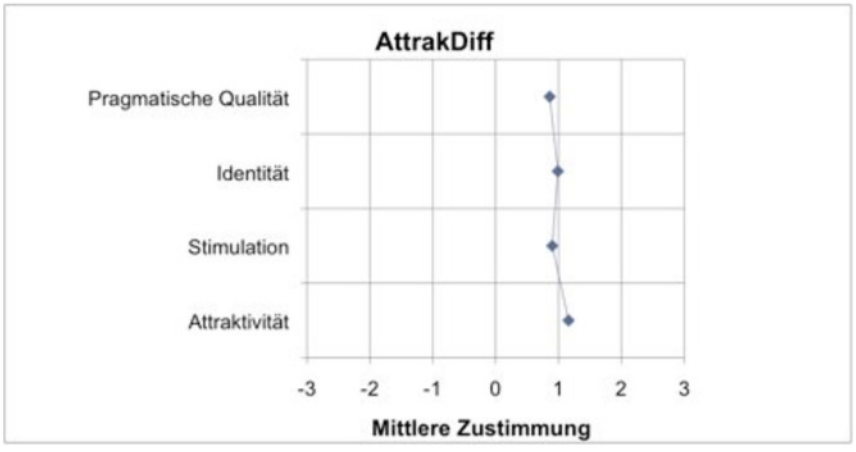


Abbildung 91: Ergebnisse des Fragebogens AttrakDiff

Mit einem weiteren Fragebogen (Prümper & Anft, 1993) wurde erfasst, wie die Teilnehmer den Ladeassistenten hinsichtlich der Kriterien der ISO-Norm 9241-10 bewerten. Die ISO-Norm 9241-10 besteht aus sieben Kriterien, die bereits im Rahmen der Heuristischen Evaluation definiert wurden.

Hier zeigte sich wie bereits in der Heuristischen Evaluation durch die Experten, dass hinsichtlich der Selbstbeschreibungsfähigkeit des Ladeassistenten die meisten Defizite bestanden (siehe Abbildung 92). Zusätzlich waren die Nutzer mit der Fehlertoleranz des Ladeassistenten unzufrieden. Alle anderen Kriterien wurden vergleichsweise positiv bewertet.

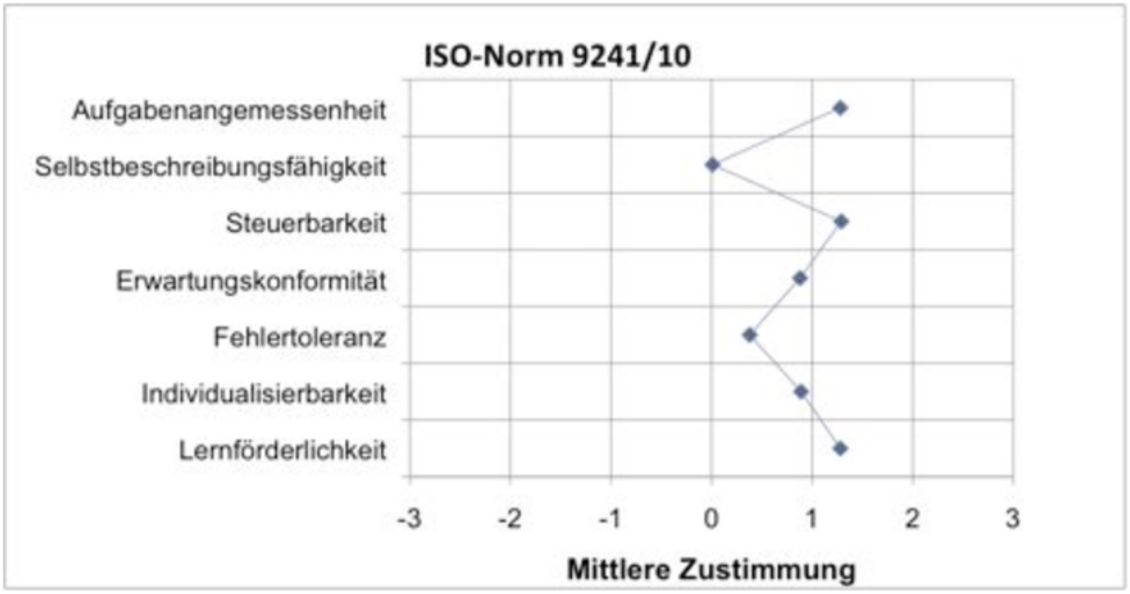


Abbildung 92: Ergebnisse des Fragebogens ISO-Norm 9241-10

Eine differenzierte Untersuchung der negativ bewerteten Kriterien ergab, dass die Nutzer in Bezug auf die Selbstbeschreibungsfähigkeit vor allem ein Fehlen situationsspezifischer Erklärungen bemängelten, die das System weder von selbst noch nach Aufforderung zur Verfügung stellte (siehe Abbildung 93). Außerdem wurde die Verständlichkeit der Begriffe als relativ niedrig eingestuft.

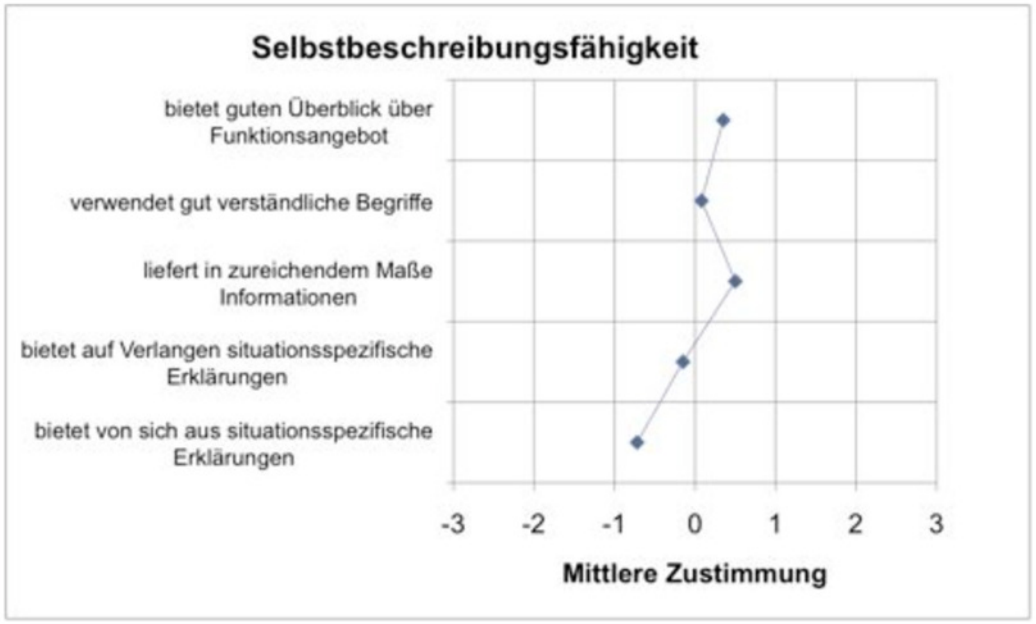


Abbildung 93: Detaillierte Ergebnisse zur Selbstbeschreibungsfähigkeit nach ISO 9241/10

Hinsichtlich der Fehlertoleranz wurde negativ bewertet, dass zu wenige Hinweise zur Fehlerbehebung und zu späte Informationen über fehlerhafte Eingaben gegeben wurden (siehe Abbildung 94).

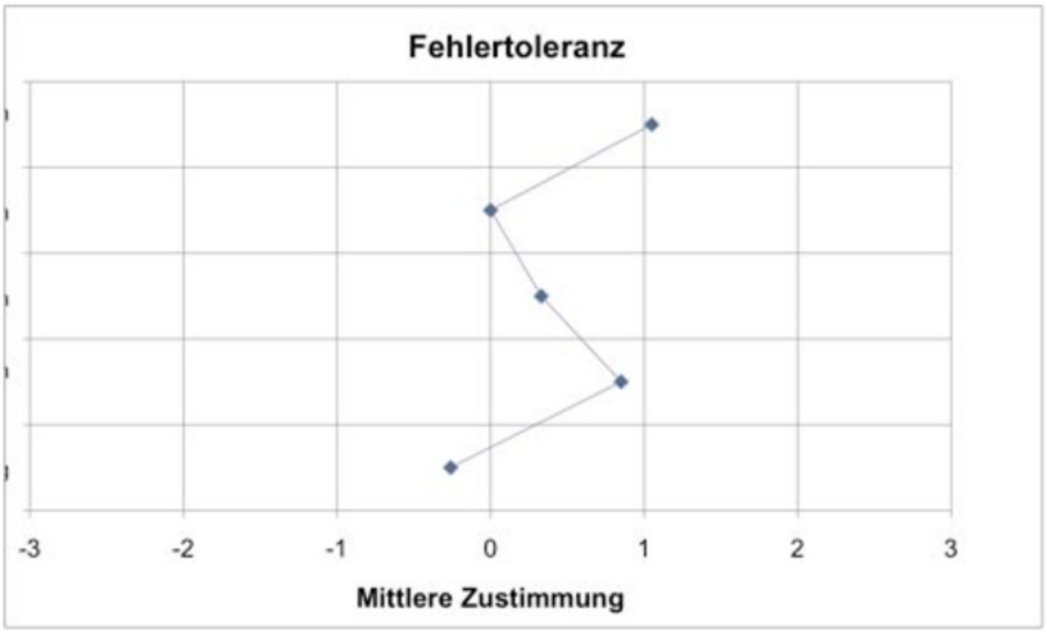


Abbildung 94: Detaillierte Ergebnisse zur Fehlertoleranz nach ISO 9241-10

Im Rahmen der Untersuchung moderierender Variablen wurde darüber hinaus geprüft, inwieweit sich die beiden Versionen des Ladeassistenten hinsichtlich ihrer Akzeptanz unterschieden. Die zweite Version des Ladeassistenten wurde in Bezug auf Steuerbarkeit (ISO 9241-10) und Identität (AttrakDiff) signifikant besser bewertet als die erste Version. Die Nutzer nahmen demnach bei der zweiten Version einen stärkeren Einfluss darauf wahr, in welcher Art und Weise sie mit dem Produkt arbeiteten. Außerdem kommunizierte die zweite Version die gewünschte Identität der befragten Personen besser. Auch bei Individualisierbarkeit (ISO 9241-10), Attraktivität (AttrakDiff) und Stimulation (AttrakDiff) wurden Verbesserungen erzielt, jedoch nicht in dieser Deutlichkeit (Signifikanzen auf dem 10%Niveau). Bei der Untersuchung des moderierenden Einflusses der Smartphone-Erfahrung traten keine Unterschiede zwischen Probanden mit und ohne Smartphone-Erfahrung auf.

Verständlichkeit

Zur Identifikation der genauen Probleme der Selbstbeschreibungsfähigkeit wurden 13 zufällig ausgewählte Teilnehmer nach der Bearbeitung der Szenarien zu ihrem Verständnis verschiedener Symbole befragt (siehe Abbildung 95). Es ergaben sich vier größere Problembereiche. Das erste Problem betraf die farbliche Kodierung der Ladesäulensymbole. Diese wurden einerseits schlecht verstanden (Innere Farbe) und andererseits schlecht erkannt (Umrandung). Die Innere Farbe der Ladesäulensymbole kodierte, ob man an der entsprechenden Ladesäule gesteuert laden kann (blau) oder nicht (gelb). Die Verständnisschwierigkeiten könnten dadurch bedingt sein, dass für die Kodierung Farben verwendet wurden, die im Alltag keine entsprechende Bedeutung haben. Besser wäre es, passende Symbole zu verwenden (z.B. ein Stecker mit Windrad für Gesteuert-Laden-Fähigkeit und ein Stecker ohne Windrad für normale Ladesäulen). Durch die Verwendung eines Symbols würde auch der Hintergrund des Ladesäulensymbols frei, um die Belegung der Ladesäule zu kommunizieren. Die Belegung wurde bisher dadurch mitgeteilt, dass das Ladesäulensymbol grün (frei), rot (belegt) oder grau (außer Betrieb) umrandet war. Gegenüber der Umrandung wäre der Hintergrund des Symbols weitaus besser zu erkennen.

Das zweite Problem betraf das Symbol für das Vortemperieren (Ventilator). Dieses wurde von mehr als drei Viertel der Probanden für ein Windrad und damit für ein Symbol für das Gesteuerte Laden gehalten. Das Ventilatorsymbol ist ein weitverbreitetes Zeichen

für die Klimatisierung. Trotzdem sollte in Erwägung gezogen werden, ein anderes Symbol zu verwenden, um die sehr konsistent auftretende kontextabhängige Fehlinterpretation zu vermeiden.

Das dritte Problem betraf die Information über den Winderfolg. Diese ist durch fünf Windräder kodiert, die angeben, wie „grün“ der Nutzer beim letzten Ladevorgang geladen hat. Hinterlegt ist eine komplizierte Formel, die unter anderem das Ansteckverhalten und den Anteil an Windstrom an der Gesamtladung berücksichtigt. Die Probanden hatten Probleme zu verstehen, was die Graphik ausdrückt. Dieses Problem wurde allerdings bereits während der Tests behoben. Bei Anklicken der Graphik erscheint nun eine Erläuterung.

Das vierte Problem bezog sich auf die Anzeige der Restreichweite. Neben der Kilometerzahl sind auf dieser Anzeige zwei individuell einstellbare Orte angegeben: zu Hause und Arbeitsplatz. Diese Funktion wurde von den Nutzern positiv bewertet, allerdings hatten sie große Schwierigkeiten, das Symbol für „Arbeitsplatz“ zu verstehen. Dem könnte entgegengewirkt werden, indem man die Einstellung der entsprechenden Adressen durch Anklicken der Symbole aufruft. Bisher ist diese Einstellung im Menü „Extras“ untergebracht und wird daher nicht unmittelbar mit den Symbolen auf der Restreichweitenanzeige in Verbindung gebracht.

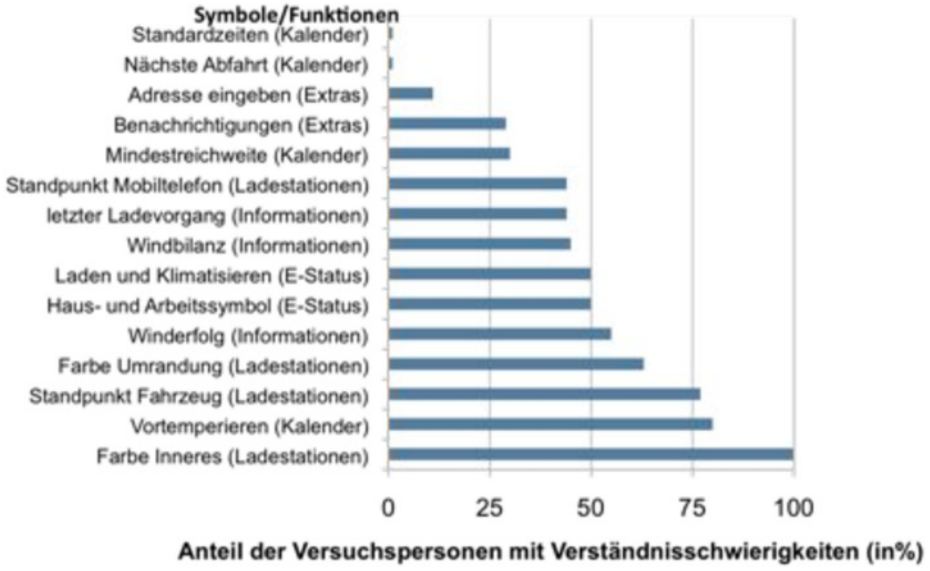


Abbildung 95: Anteil der Versuchspersonen mit Verständnisschwierigkeiten nach Symbolen

Verbesserungsvorschläge

Mit den Testpersonen wurden Kurzinterviews über die Bewertung der einzelnen Funktionen des Ladeassistenten geführt, in denen sie u.a. nach ihren Verbesserungsvorschlägen befragt wurden. Zu den wichtigsten Anmerkungen zählten:

- Informationen sollten direkt an den entsprechenden Buttons und Symbolen angezeigt werden, indem der Buchstabe i für Information auftaucht und der Button zu leuchten beginnt.
- Für das Vortemperieren könnte eine Erklärung der Funktionsweise hinzugefügt werden. Außerdem sollte die Temperatur, auf die vortemperiert werden soll, durch den Nutzer einstellbar sein.
- Temperaturen sollten im Hauptmenü „E-Status“ oder „Informationen“ zu finden sein. Sie sollten langsamer durchlaufen bzw. durch eine manuelle Eingabe veränderbar sein oder untereinander dargestellt werden.
- Beim Speichern neuer Zeiten sollte ein Zwischenschritt eingeführt werden, bei dem eine Zusammenfassung der Eingaben angezeigt wird und eine Abfrage erfolgt, ob diese Einstellung wirklich gespeichert werden soll.
- Es sollten an verschiedenen Stellen (z.B. Kalender, Details der Ladesäulen) Scrollbars eingefügt werden, da unter bestimmten Umständen nicht erkennbar ist, dass am unteren Rand noch weitere Funktionen und Anzeigen folgen.
- Die Wegbeschreibung der Ladesäulen sollte mit einer Navigationsfunktion verbunden werden.
- Es sollten klarer verständliche Symbole eingeführt werden oder Legenden für „Handy- und Autosymbol“, für die Auflösung der Karte und die Farben der Ladesäulen im Hauptmenü „Ladestationen“.
- Das Hauptmenü „Informationen“ sollte in Ladeinformationen umbenannt werden, um beim Nutzer die richtigen Erwartungen zu wecken.
- Nachrichten und Beschriftungen sollten in deutscher Sprache formuliert werden.

4.2.2.4.12.3 Abschließende Bewertung

Der Ladeassistent ist in seiner Funktionalität ein wichtiges Hilfsmittel, um das Gesteuerte Laden zu ermöglichen. Momentan sind noch kleinere Änderungen zur Verbesserung der Usability notwendig. Trotzdem sind die Nutzer schon mit der aktuellen Version sehr zu-

frieden und schätzen den Ladeassistenten als hilfreich für seinen geplanten Verwendungszweck ein[22].

4.2.3 Deliverable 2.2: Mehrwertdienst Ladekonzept

4.2.3.1 Management Summary

Das besondere Potential von Elektromobilität beruht auf der Möglichkeit zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien und der damit verbundenen Einsparung des CO_2-Ausstoßes. Die zeitliche Variabilität dieser Energiequellen macht allerdings längere Anschlusszeiten des Autos ans Stromnetz nötig, als sie für Tankvorgänge bei konventionellen Fahrzeugen notwendig sind. Die Herausforderung besteht darin, die Nutzer zu einem „sinnvollen“ Ladeverhalten zu motivieren, d.h. ihre E- Fahrzeuge auch bei hohem Ladestand ans Stromnetz anzuschließen.

In Deliverable 2.2 wurde die komplette Entwicklung des Ladeassistenten durchgeführt: Eine iPhone-Applikation, die als Schnittstelle zwischen Fahrer, Fahrzeug und Energieversorger dient. Darin werden die Mobilitäts- bzw. Reichweitenanforderungen des Fahrers entgegengenommen und zusammen mit relevanten Fahrzeugdaten an ein zentrales Backend übertragen. Ziel ist es, dem Nutzer die Eingaben seiner Mobilitätsanforderungen zu erleichtern und durch gezielte Informationen zu einer Optimierung seines Lademanagements zu motivieren und damit zur Bereitschaft am Gesteuerten Laden zu partizipieren.

Im Förderprojekt MINI E Berlin 1.0 musste der Nutzer diese Einstellungen über ein Web-Portal vornehmen. Für den Pilotbetrieb war das eine pragmatische, aber effiziente Lösung. Im Hinblick auf den Regelbetrieb ist das Verfahren aber zu umständlich, weshalb die Nutzerfreundlichkeit durch die Entwicklung einer iPhone-Applikation gesteigert werden sollte. Die Applikation liefert dem Nutzer Informationen zum Ladestatus des E-Fahrzeugs (SOC und Reichweite) aber auch die Möglichkeit das Lademanagement selbst einzustellen. Darüber hinaus werden Dienste zur Verfügung gestellt, die die Teilnahme der Nutzer am Gesteuerten Laden animieren sollen. Diese Mehrwertdienste umfassen z.B. die Vortemperierung des E-Fahrzeugs, die Fernüberwachung des Ladevor-

22 Vgl. International Organization for Standardization (2006), vgl. Norman, D. A. (1990). vgl. Overlander (2008), vgl. Nielson (2010), vgl. Fuchs (2010)

gangs (aufbauend auf TeleServices) sowie Informationen über die Windprognose zur Abstimmung der Ladephasen.

In Version 1.0 Gesteuertes Laden, welches erstmalig im Projekt „MINI E Berlin powered by Vattenfall 1.0“ erprobt wurde, erhalten die Nutzer noch keine Informationen zum Zusammenhang zwischen Windeinspeisung und Ladevorgängen. In Version 2.0 wird dem Nutzer eine gezielte Visualisierung des W2V-Erfolgs eine Rückmeldung zur Nutzung des Windpotentials beim Laden seines E-Fahrzeugs und damit eine Übersicht wie erfolgreich er am Gesteuerten Laden teilgenommen hat. Weiterhin werden Informationen zur aktuellen Belegung von Ladesäulen in dieser Applikation zur Verfügung gestellt (verfügbar, belegt und Status unbekannt).

4.2.3.2 Ziele und Aufgaben

Die Akzeptanz des „Gesteuerten Ladens“ und generell der Elektromobilität hängt entscheidend von der Nutzerfreundlichkeit ab. Im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen weisen elektrische Fahrzeuge, auf dem derzeitigen technischen Stand, wesentliche Unterschiede auf. Diese Unterschiede bestehen unter anderem in Nachteilen basierend auf längeren Ladezeiten und kürzeren Reichweiten. Daher ist es dringend nötig, den Kunden bei diesen Nachteilen durch gezielte Applikationen zu unterstützen, um so negative Auswirkungen auf die Nutzerakzeptanz zu minimieren.
Ein positiver Unterschied zu herkömmlichen Fahrzeugen besteht wiederum in der Möglichkeit der Nutzung von umweltfreundlichem Strom aus erneuerbaren Energien im Elektrofahrzeug und somit in einer Verbesserung der CO_2-Bilanz. Die zeitliche Variabilität dieser Energiequellen macht allerdings längere Anschlusszeiten des Autos ans Stromnetz nötig, als sie für Tankvorgänge bei konventionellen Fahrzeugen notwendig wären. Gerade über Nacht sollte dies für die meisten Nutzer kein Problem darstellen. Allerdings müssen die Nutzer entsprechend motiviert werden, ihr Fahrzeug auch bei hohem Ladestand ans Stromnetz anzuschließen. Zum Zweck der optimierten Windintegration wurde im Deliverable 2.2 eine Applikation entwickelt, die dem Nutzer zum einen durch Einstellungen von Nebenbedingungen eine gewisse Kontrolle über Ladevorgänge und somit Sicherheit gibt und zum anderen die Ergebnisse seiner Aktionen darstellt und ihn so zu „grünem“ Verhalten motivieren soll.
Das Deliverable umfasst also die Entwicklungs- und Implementierungsarbeiten für einen iPhone basierten Assistenten zum „Gesteuerten Laden“, dem sogenannten „Ladeassi-

stent“. Dieser Assistent stellt die Schnittstelle zwischen Fahrer, Fahrzeug und Energieversorger dar. Dabei werden die Mobilitäts- bzw. Reichweitenanforderungen des Fahrers entgegengenommen und zusammen mit relevanten Fahrzeugdaten an ein zentrales Backend übertragen. Ferner gibt der Ladeassistent dem Nutzer Rückmeldung, wie erfolgreich er am Gesteuerten Laden teilgenommen hat und wie er sein Ladeverhalten optimieren kann. Darüber hinaus werden Dienste zur Verfügung gestellt, die die Teilnahme der Nutzer am Gesteuerten Laden animieren sollen. Diese Mehrwertdienste umfassen z.B. die Vortemperierung des E-Fahrzeugs, die Fernüberwachung des Ladevorgangs (aufbauend auf TeleServices) sowie Informationen über die Windprognose zur Abstimmung der Ladephasen. Die Applikation ermöglicht somit den Zugriff auf die volle Funktionalität des Lademanagements und Convenience-Funktionen wie das Vorheizen des Fahrzeugs aber bevorzugt nur dann, wenn das Fahrzeug an eine Ladestation angeschlossen ist.

Eine weitere Funktion der Applikation ist die Darstellung von Informationen zur Ladeinfrastruktur. Bisher standen dem Nutzer lediglich statische Informationen zum Standort zur Verfügung. Dynamische Informationen zur technischen Verfügbarkeit der Ladestationen respektive Belegung gab es nicht. Dies kann zu Situationen führen, in denen ein Nutzer zwar eine Ladestation findet, allerdings nicht erfährt, dass diese belegt ist. Daraus entsteht Unsicherheit bezüglich der Reichweite des Fahrzeuges auf Seiten des Nutzers. Um dies zu verhindern werden dem Kunden in Version 2.0 über den Ladeassistenten genauere Daten über Ladestationen zur Verfügung gestellt und dynamisch aktualisiert. Ziel dieser Entwicklung ist es, im Rahmen der W2V-Funktion die Mobilitätsanforderungen des Nutzers zu jeder Zeit sicherzustellen und somit die Nutzerfreundlichkeit und -akzeptanz zu steigern.

4.2.3.3 Vorgehen und Methodik

Anhand eines Projektkonzepts wurden zunächst im Gesamtkontext des Förderprojekts „Gesteuertes Laden 2.0“ Anforderungen und Ziele einer unterstützenden Applikation zur Remote-Kontrolle des Ladeverhaltens durch den Nutzer eines E-Fahrzeugs definiert. Des Weiteren wurden von den Projektpartnern im Förderprojekt Anforderungen an den Funktionsumfang des Ladeassistenten definiert. Vor Beginn der Implementierung wurden die notwendige Datengrundlage sowie die Schnittstellen zur Datenkommunikation mit den Projektpartnern abgestimmt.

Aufgrund zeitlicher und budgetärer Rahmenbedingungen wurden alle durch die Projektpartner definierten funktionalen Anforderungen an den Ladeassistenten einer Priorisierung unterzogen. Funktionalitäten, die im Rahmen des Förderprojekts nicht in die Entwicklung des Ladeassistenten mit einflossen, wurden als Roadmap-Themen definiert, deren Umsetzung in Folgeprojekte getätigt werden kann. Dies umfasst z.B. die Möglichkeit zur Reservierung von Ladesäulen. In dem im Endbericht ebenfalls enthaltenem Dokument „Roadmap“ befindet sich eine Übersicht über einige Funktionen, die im Förderprojekt nicht umgesetzt werden konnten, allerdings als sinnvolle funktionale Erweiterung eingestuft wurden. Im Kapitel 4 „Funktionsbeschreibung des Ladeassistenten“ sind alle im Ladeassistent umgesetzten Funktionen detailliert beschrieben.

Auf Grundlage einer Funktionsbeschreibung des Ladeassistenten mit den Komponenten Fahrzeugstatus, Mobilitätskalender, W2V-Information, Ladehistorie, Ladestationen und Extras wurde die iPhone-Applikation „Ladeassistent“ in seinen Umfängen vollständig entwickelt. In einem Entwicklungszeitraum von drei Monaten wurde in regelmäßiger Abstimmung des Entwicklungsteams und der Projektpartner die Applikation implementiert.

Nach Fertigstellung eines Prototyps des Ladeassistenten in 05/2011, wurde dieser der TU Chemnitz für Experten Usability-Tests, die in Deliverable 2.1 angesiedelt waren, zur Verfügung gestellt. Nach Auswertung der Ergebnisse wurde in 06/2011 eine Reihe von Modifizierungen am Ladeassistent vorgenommen. Eine Dokumentation der entsprechenden Anpassungen, bzw. Begründung für die Nicht-Umsetzung von Verbesserungsvorschlägen finden Sie in Kapitel 5 „Modifizierungen des Ladeassistenten nach Auswertung der Usability – Tests der TU Chemnitz“. In der unten stehenden Grafik ist die Vorgehensweise bei der Umsetzung des Ladeassistenten dargestellt.

Abbildung 96: Darstellung Projektschritte zur Entwicklung des Ladeassistenten

4.2.3.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Gesteuerten Ladens trägt der Ladeassistent dazu bei, dass die Reichweitenanforderungen des Fahrers unter Ausnutzung des Windenergiepotentials stets

berücksichtigt werden und somit eine zuverlässige und ökologische Elektromobilität erreicht wird (Thema Nutzerfreundlichkeit).

- Die iPhone-Applikation Ladeassistent wurde in seinen Umfängen vollständig entwickelt.
- Die Schnittstellen zwischen Smartphone und dem BMW–Backend wurden implementiert und getestet.
- Gemeinsam definierten die Partner, wie der Winderfolg dargestellt werden kann. Mit diesen Vorgaben wurden von Vattenfall Vorschläge für unterschiedliche Darstellungen des Winderfolgs erarbeitet. Darüber hinaus wurde ein Vorschlag für das Layout der Informationsanzeige erarbeitet. In der folgenden Abbildung sind die prototypischen Entwürfe dargestellt, in denen Informationen zur letzten Ladung (Windenergieanteil und statistische Informationen) visualisiert werden. Auf dieser Grundlage wurde das weitere Design der Anzeige des Erfolgs am Gesteuerten Laden und der Informationen zur Darstellung des Windpotentials erarbeitet.
- Um die Teilnahme an der W2V-Applikation für die Nutzer greifbarer zu machen wurde eine Visualisierung des Erfolges implementiert. Dabei wird dem Nutzer der ökologische Nutzen der W2V-Anwendung näher gebracht. Von der TU Ilmenau wurden die dafür notwendigen Daten bereitgestellt.

Abbildung 97: Designvorschlag zum grafischen Userinterface für den Ladeassistent

- Aus den Last- und Winddaten wurde eine Prognosefunktion generiert, welche Zeitfenster für eine „grüne“ respektive ökologische Ladung der Fahrzeuge definiert und welche jedem Nutzer einzeln zugewiesen wurde. Da auf skalierte Werte für Wind und Last zugegriffen wird, definiert sich ein ökologisches Ladefenster nicht allein aus der Tatsache, dass ausreichend Windeinspeisung zur Verfügung steht und im gleichen Maß Fahrzeuge zur Ladung zur Verfügung stehen. Vielmehr wurden dabei Schwellwerte definiert, bei denen die Ladung mehrerer Fahrzeuge noch einen ökologisch positiven Effekt ausweist (siehe D1.2). Die Prognosefunktion berücksichtigt dies.
- Der Wind-2-Vehicle Erfolg wird bezogen auf einen Ladevorgang eines Fahrzeuges und wird als prozentualer Wert geliefert.
- Des Weiteren wurde ein Punktesystem erarbeitet, welche den Erfolg des Gesteuerten Ladens pro Ladevorgang anzeigt. Berücksichtigt werden dabei der mittlere Anteil Wind pro Ladevorgang sowie die zeitliche Abweichung des angegebenen Abfahrtszeitpunkts vom tatsächlichen Abfahrtszeitpunkt. Die Verteilung der Punkte wurde so vorgenommen, dass der mittlere Anteil Wind etwa 5 von 10 möglichen Punkten entspricht. Erreichte Punkte je Ladevorgang oberhalb des Wertes von 5 verdeutlichen dem Nutzer somit einen überdurchschnittlich hohen Anteil Wind während seines Ladevorgangs (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2). Der Faktor Abweichung vom angegebenen Abfahrtszeitpunkt soll den Nutzer motivieren, sein Mobilitätsverhalten so genau wie möglich anzugeben.

Score	mittlerer Anteil Wind [%] pro Ladevorgang
0	0
1	<1
2	<2.5
3	<5
4	<9
5	<15
6	<23
7	<31
8	<42
9	<56
10	>56

Tabelle 31: Punktesystem W2V-Erfolg

Score	Abweichung von der angegebenen Abfahrtszeit pro Ladevorgang
10	+/- 10 Min.
9	+/- 15 Min.
8	+/-20 Min.
7	- 25 Min.
6	- 30 Min.
5	- 35 Min.
4	- 40 Min.
3	- 45 Min.
2	- 50 Min.
1	- 55 Min.
0	- 60 Min.

Tabelle 32: Punktesystem Abweichung von der Abfahrtszeit

- **Kommunikation:** Die Kommunikation mit dem Fahrzeug via Kommandos und Ladeplanung am i Phone erfolgt immer über den Server (Weiterleitung über TSSB). Die Kommunikationsschiene Server – Fahrzeug erfolgt über die Vattenfall-Infrastruktur (Fahrzeuge mit PLC) bzw. über GSM via BMW Teleservices. Eine weitere Schnittstelle zwischen BMW Backend-Server für Gesteuertes Laden und dem TeleServices-Backend wird implementiert. Die Kommunikationsschiene Server – Fahrzeug erfolgt über die Vattenfall-Infrastruktur (Fahrzeuge mit PLC) bzw. über die zu implementierende TeleServices-Schnittstelle.
- Die Applikation und die Kommunikation mit dem BMW-Backend wurden im Rahmen der durchgeführten System- und Integrationstests ausführlich getestet. Zu Projektende war die Kommunikation zwischen Ladeassistent und BMW Backend voll funktionsfähig.

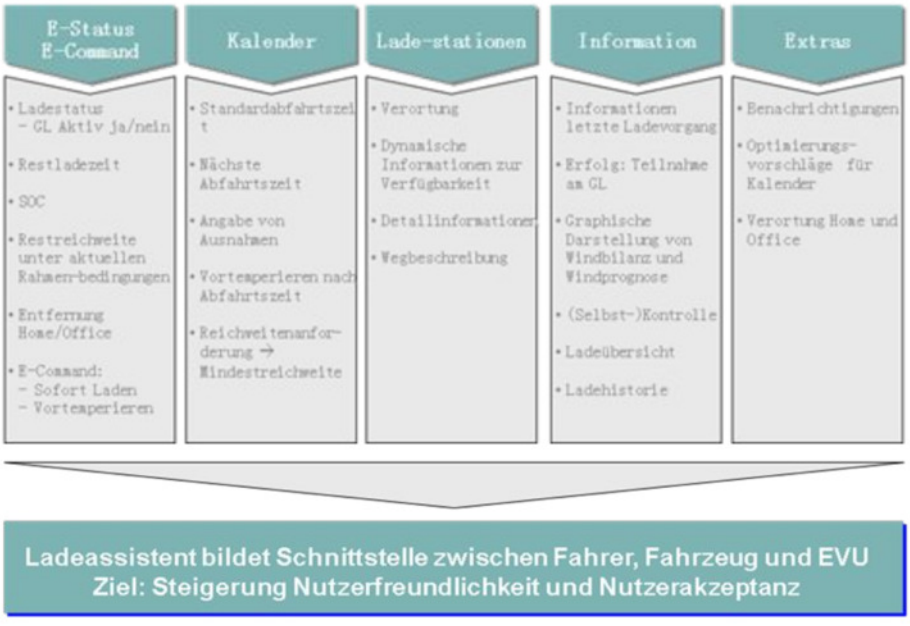
Der Ladeassistent stellt in seiner aktuellen Ausführung eine wichtige Funktionalität dar, durch die der Nutzer durch die Angabe seines Mobilitätsverhaltens eine Optimierung seines Ladeverhaltens erreichen kann. Durch transparente Informationen zum Zusammenhang zwischen Windeinspeisung und Ladevorgängen gibt der Ladeassistent dem Nutzer eine direkte Rückmeldung zum individuellen Ladeverhalten. Dies kann gekoppelt mit der Bereitstellung von Mehrwertdiensten zu einer zusätzlichen Motivation zur Teil-

nahme am Gesteuerten Laden beitragen. Im Rahmen der Usability Tests wurden wertvolle Optimierungsmöglichkeiten erörtert, die bei einer Weiterentwicklung des Ladeassistenten angewendet werden können. Aufgrund der Verzögerungen im Projekt konnte der Ladeassistent im Probebetrieb nicht getestet werden. Daher können keine Aussagen über seinen Beitrag zur Motivationsfähigkeit zur Teilnahme am Gesteuerten Laden getroffen werden. Allerdings lassen die Ergebnisse der Usability Tests aus dem Deliverable 2.1 den Schluss zu, dass ein solcher Effekt durchaus realistisch ist.

Die finale Version der iPhone-Applikation „Ladeassistent“ mit vollständigen Funktionsumfängen liegt vor. Aufgrund der Verzögerungen der Fahrzeugverfügbarkeit, konnten Systemtest und Probebetrieb des Ladeassistenten nicht planmäßig umgesetzt werden. Die Systemtests fanden in 09/2011 statt, etwa 2 Monate später als ursprünglich geplant. Der Probebetrieb wurde im Projektzeitrahmen aufgrund bereits beschriebener Verzögerungen nicht durchgeführt.

4.2.3.4.1 Funktionsbeschreibung des Ladeassistenten

Der Dienst „Ladeassistent“ besteht aus fünf Funktionskomponenten, die in der folgenden Graphik mit Inhalten dargestellt sind.



4.2.3.4.1.1 Reiter E-Status / E-Command

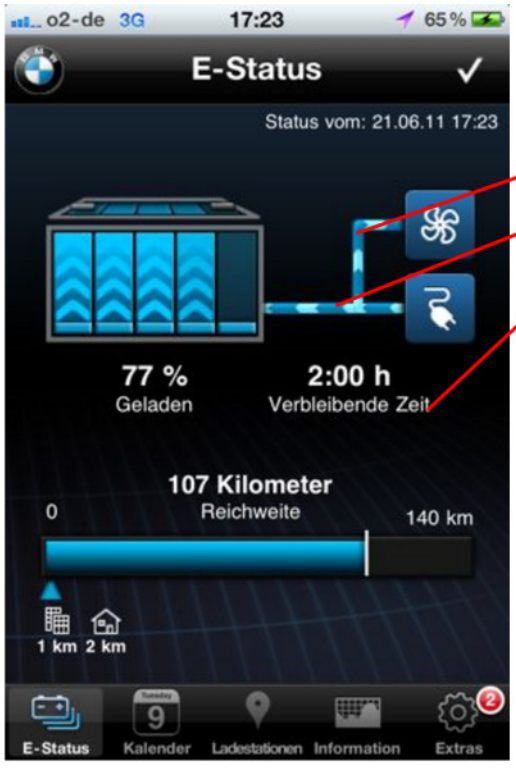
Im Reiter ***E-Status*** erhält der Nutzer des Ladeassistenten alle wichtigen Informationen zum Ladestatus sowie Reichweiteninformationen seines Fahrzeugs. Integriert sind hier die Anzeigen des SOC und die Restreichweite unter aktuellen Rahmenbedingungen.
Nach Anstecken des Fahrzeugs wird der Fahrer über die Aktivierung des Gesteuerten Ladens und die damit verbundene geplante Abfahrtszeit informiert. Als zentrale Information für den Kunden ist die Restreichweite des E-Fahrzeugs abgebildet. Durch die Ortung des GPS-Signals kann das System dem Nutzer stets die aktuelle Entfernung zu ausgewählten, vorbestimmten Destinationen anzeigen. Zusammen mit der Information über die Restreichweite erhält der Nutzer ein „Komfort-Signal“ das ihn bei seiner bei seiner Reise- und Ladeplanung unterstützt. Zukünftige Versionen des Ladeassistenten können hier weitere „Orte“ berücksichtigen. Die auf den folgenden Seiten abgebildeten Screens zeigen die beschriebenen Funktionalitäten. In Zustand 1 wird gesteuert geladen, bis zur vom Nutzer gewählten Abfahrtszeit 7:45 Uhr am nächsten Tag (siehe Funktionsbeschreibung). In Zustand 2 wurde das gesteuerte Laden vom Nutzer unterbrochen. In diesem Zustand wird das Fahrzeug bis zur Trennung von der Stromquelle „normal“ geladen. Diese Möglichkeit ist wichtig, um in dringenden Fällen auch in kurzer Zeit eine höchstmögliche Energiemenge laden zu können.

4.2.3.4.1.2 „E-Status“ – Graphische Darstellung der Funktionsumfänge

Funktionsbeschreibung (Zustand 1):

- Status aktualisieren
- Anzeige Fahrzeugzustand (Laden, Vorkonditionierung) →E-Command
- Batteriezustand (Prozent geladen)
- Anzeige „Gesteuertes Laden“ (07:45 Uhr wird vom Nutzer definiert) oder unGesteuertes Laden („Verbleibende Restladezeit“)
- Restreichweite
- Angabe Entfernung zu Wohn- und Arbeitsstätte

Bei dieser Ansicht wurde Gesteuertes Laden eingestellt! Der nächste angegebene Abfahrtszeitpunkt wurde für 7:45 Uhr am nächsten Tag angegeben!



Funktionsbeschreibung (Zustand 2):

- Anzeige Ladezustand
  - → Aktuell wird vorkonditioniert
  - → Aktuell wird geladen!
- Anzeige der Restladezeit bei Sofortladen

Bei dieser Ansicht hat der Nutzer die Funktion „Sofort Laden“ gewählt. Dadurch wird das gesteuerte Laden unterbrochen und das Fahrzeug bis zum Abstecken „normal“ geladen!

4.2.3.4.1.3 Reiter E-Command

Sofort Laden: Über den Reiter E-Command hat der Nutzer die Möglichkeit, den Befehl „Sofort Laden“ auszulösen. Sollte der Fahrer einmal außerplanmäßig Strom benötigen, kann er jederzeit – wenn das Fahrzeug an eine Ladestation angeschlossen ist – eine Sofortladung auslösen bzw. automatisch eine Sofortladung starten lassen, sobald das Fahrzeug (evtl. von einer anderen Person) angeschlossen wird. Dieser Befehl unterbricht das Gesteuert Laden. Das E-Fahrzeug wird bis zu einem SOC von 100% geladen sofern es nicht vorher von der Stromquelle getrennt wird.

Vortemperieren: Desweiteren ist die Funktion „Vortemperieren“ auf diesem Screen verortet. Diese Funktion erlaubt, den Fahrzeuginnenraum via Voreinstellung bei Fahrtantritt je nach äußeren Bedingungen zu heizen oder zu kühlen. Dadurch kann *bei* Fahrtantritt die maximale Reichweite des Fahrzeugs erreicht werden, da *nach* Fahrtantritt weniger Energie zur Klimatisierung oder zum Heizen des Fahrzeugs aufgewendet werden muss.

Temperaturanzeige: Neben den Funktionen „Laden“ und „Vortemperieren“ wird der Nutzer über die aktuelle Batterietemperatur sowie die Innen- und Außentemperatur informiert. Eine Einstellung der Innentemperatur ist nicht möglich. Die Anzeige der Batterietemperatur dient der Transparenz des Gesamtsystems.

4.2.3.4.1.4 „E-Command“ – Graphische Darstellung der Funktionsumfänge

Funktionsbeschreibung:

- Information Ladevorrichtung „Fahrzeug ist angeschlossen“
- Funktion Sofortladen
- Funktion Vortemperieren
- Anzeige Temperatur: Innen, Außen, Batterie

Funktionsbeschreibung:

- Funktion Sofortladen: Laden abbrechen

4.2.3.4.1.5 Reiter Kalenderfunktion

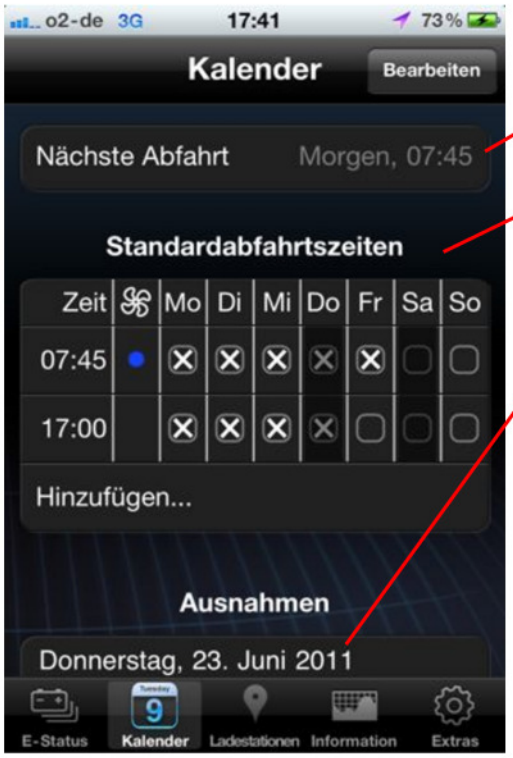
Die Entwicklung der Kalenderfunktion im Ladeassistenten hatte den Anspruch, dem Fahrer auf eine möglichst einfache Art und Weise die Eingabe der Ladeeinstellungen zu ermöglichen. Dem Fahrer soll das Gefühl vermittelt werden, mit einem Elektrofahrzeug keinen großen Planungsaufwand zu haben und es jederzeit ohne Einschränkungen nutzen zu können.

Folgende Einstellungsmöglichkeiten wurden zum Erreichen dieser Ziele umgesetzt:

1. Die Eingabe der **Standardabfahrtszeit**: Hier handelt es sich um routinisierte Abfahrtszeit, zu der das Fahrzeug (vollständig, wenn notwendig) geladen sein soll. Die Nutzer *können* diese Standardvorgabe ändern, wenn es ihren Mobilitätsbedürfnissen besser entspricht; sie *sollen* sie ändern, wenn dadurch die Spielräume des Netzbetreibers zur Windstromintegration erhöht werden.
2. Die Angabe einer **Mindestreichweite**: Für jede Abfahrtszeit kann der Nutzer eine Mindestreichweite angeben. Durch die Angabe einer Mindestreichweite kann das Lademanagement im gesteuerten Laden zusätzlich optimiert werden. Bei geringen Mindestreichweiten kann das Ladesignal so gesteuert werden, dass das Laden der benötigten Energiemenge bei besonders hohem Windpotential erfolgen kann.
3. **Abweichungen** von der Standardvorgabe: Auf Wunsch kann der Fahrer jederzeit eine außerplanmäßige Abweichung von der Standardabfahrtszeit eingeben. Daraufhin wird der Ladevorgang auf einen anderen Abfahrtszeitpunkt ausgelegt. Eine hohe Flexibilität und intuitive Angabe von möglichen zeitlichen Verschiebungen der Abfahrtszeitpunkte musste gewährleistet werden, um die Barriere für solche zusätzlichen Angaben so niedrig wie möglich zu halten.

Somit trägt die Kalenderfunktion dazu bei, dass die Reichweitenanforderungen des Fahrers unter Ausnutzung des Windpotentials stets berücksichtigt werden und dadurch eine zuverlässige und ökologische Elektromobilität erreicht wird.

4.2.3.4.1.6 Reiter Kalender – Graphische Darstellung der Funktionsumfänge



Funktionsbeschreibung:

- Einstellen/ Änderung: Nächste Abfahrtszeit
- Eingabe der Standardabfahrtszeiten (Werktags / Wochenende)
- Abweichungen der Standardvorgabe → Ausnahmen

Funktionsbeschreibung:

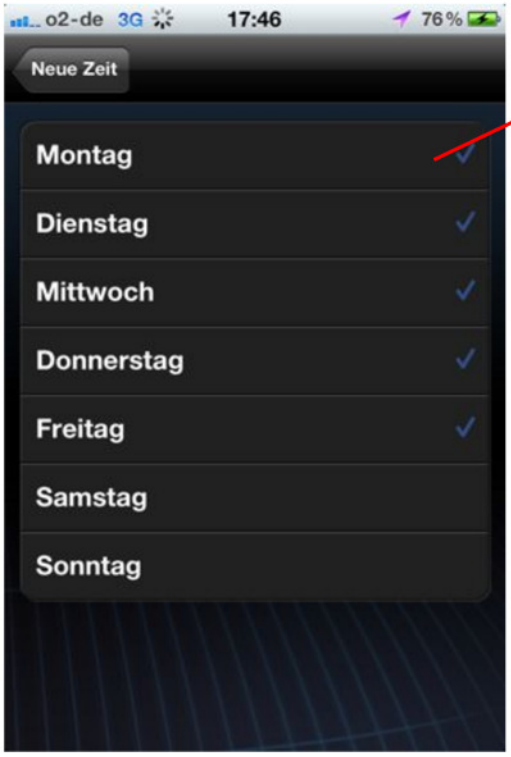
- Einstellung / Änderung der nächsten Abfahrtszeit:
- Option Einstellung „Vortemperieren“ für Abfahrtszeit
- Optional: Angabe „Mindestreichweite“ für Abfahrtszeit
- Funktion: Auf Standard zurücksetzten
  → Es gelten die für den jeweiligen Tag eingestellten Standardabfahrtszeiten
- Funktion: Einstellung der Uhrzeit

Funktionsbeschreibung:

- Einstellung von neuen Abfahrtszeiten

Funktionsbeschreibung:

- Einstellung der Mindestreichweite



Funktionsbeschreibung:

- Einstellen der gültigen Tage einer Standardabfahrtszeit

Funktionsbeschreibung:

- Einstellung von Ausnahmen von Standardabfahrtszeit
- Einstellung Datum des Ausnahme-Abfahrtszeitpunkts

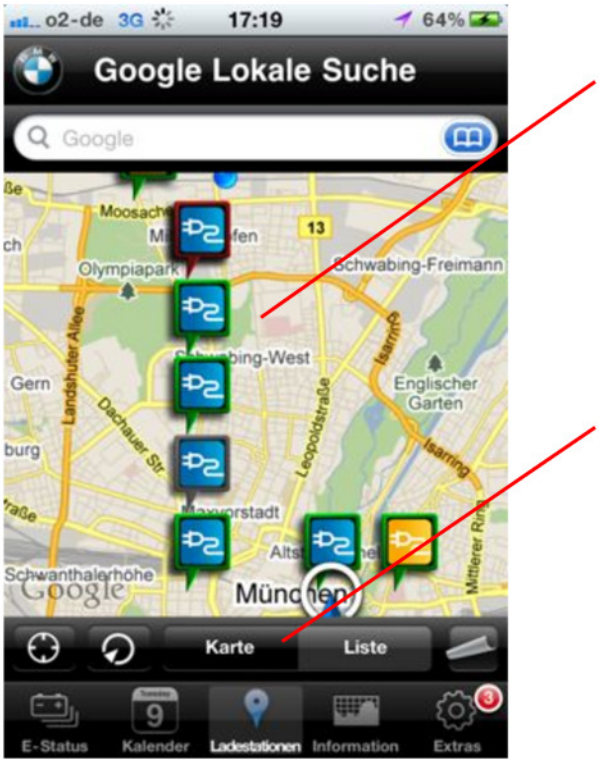
4.2.3.4.1.7 Reiter Ladestationen

Die „Ladestationen“-Funktion innerhalb des Ladeassistenten beinhalten das Auffinden von freien Ladestationen und der Information zu Verfügbarkeit und Wegbeschreibung. Folgende Funktionalitäten werden damit abgedeckt:

- Position der Ladestationen (statisch)
- Frei/belegt Anzeige mit Prognose (dynamisch)
- Zusatzinformationen: Anbieter
- Auswahlhilfe (anhand Route, Vertrag mit EVU, etc.)

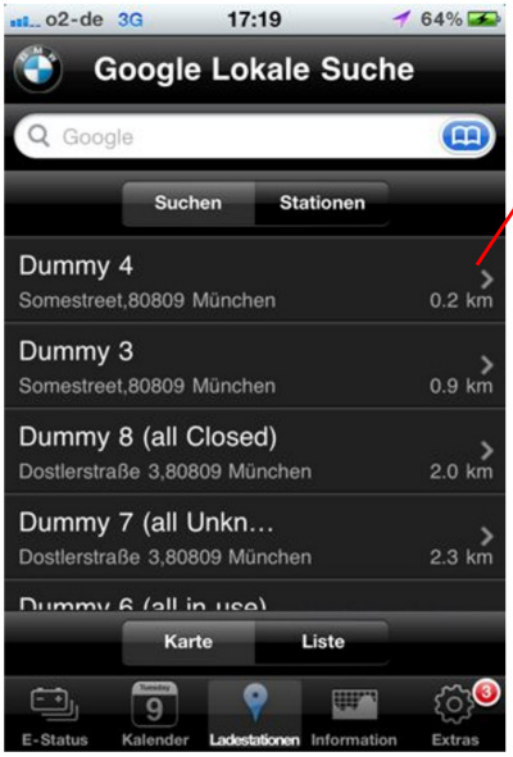
Nicht umgesetzt wurde im Rahmen des Förderprojekts eine Funktionalität zur Reservierung einer Ladesäule und des Bezahlprozesses über die Smartphone Applikation. Diese wurde aber als Roadmap Thema für die Weiterentwicklung des Ladeassistenten definiert.

4.2.3.4.1.8 Reiter „Ladestationen“ – Graphische Darstellung der Funktionsumfänge



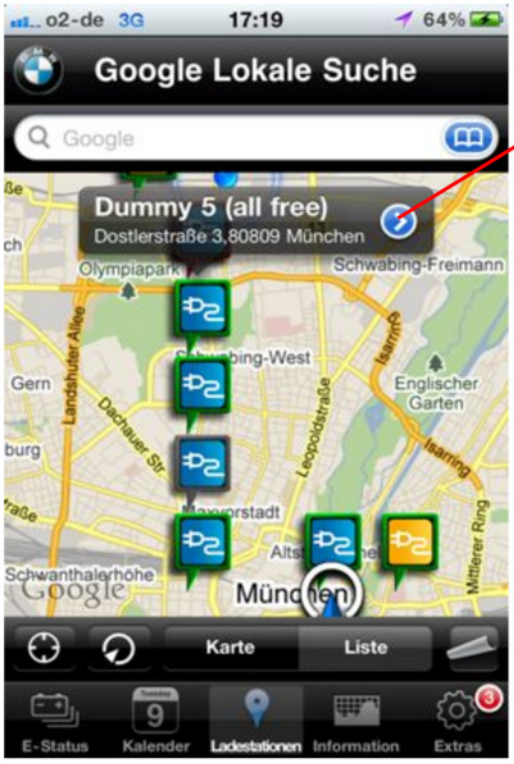
Funktionsbeschreibung:

- Anzeige von Ladestationen mit Information über Verfügbarkeit der Ladesäulen (Grün = verfügbar; Rot =nicht verfügbare, Grau= Status unbekannt) und Funktionsfähigkeit für „Gesteuertes Laden Möglich“ (Blaues Icon) oder „Gesteuertes Laden nicht möglich“.
- Kartenanzeige oder Listendarstellung möglich



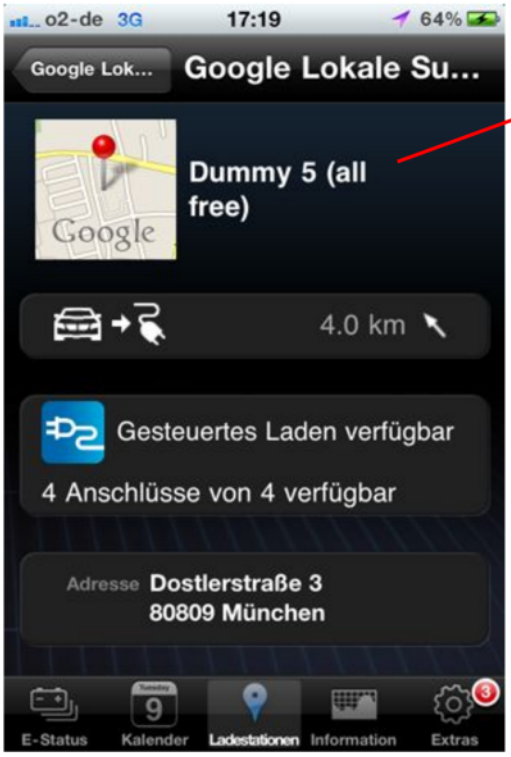
Funktionsbeschreibung:

- Listendarstellung



Funktionsbeschreibung:

- Detailanzeige von Ladestationen mit Information durch Antippen



Funktionsbeschreibung:

- Detailanzeige zur Ladestationen
  - Verfügbare Anschlüsse
  - Gesteuerte Laden ja /nein
  - Adresse und Kontaktdaten
  - Wegbeschreibung vom Aktuellen Standort des Fahrzeugs
  - Betreiber
  - Leistungsmerkmale
  - Öffnungszeiten

4.2.3.4.1.9 Reiter Information

Im Reiter „Information“ erhält der Nutzer eine Übersicht über die Details seiner Ladevorgänge. Angezeigt werden Dauer, Menge und Kosten einzelner Ladevorgänge sowie seine gesamte Ladehistorie.

Des Weiteren erhält der Nutzer eine Rückmeldung wie erfolgreich er am „Gesteuerten Laden“ teilgenommen hat. Zu diesem Zweck wurde ein Punktesystem entwickelt, das zwei Faktoren berücksichtigt:

- Die Genauigkeit bei der Angabe der Abfahrtszeiten: Je genauer sich der Nutzer an die angegebenen Abfahrtszeiten hält desto mehr Punkte erhält er.
- Der Windenergieanteil pro Ladevorgang: Je höher der durchschnittliche Anteil der Windenergie eines Ladevorgangs ist, desto mehr Punkte erhält der Nutzer

Untenstehend sind die Punktetabellen für den mittleren Windenergieanteil und die Abweichung von der angegebenen Abfahrtszeit pro Ladevorgang dargestellt.

Score	mittlerer Anteil Wind [%] pro Ladevorgang
0	0
1	<1
2	<2.5
3	<5
4	<9
5	<15
6	<23
7	<31
8	<42
9	<56
10	>56

Score	Abweichung von der angegebenen Abfahrtszeit pro Ladevorgang
10	+/- 10 Min.
9	+/- 15 Min.
8	+/-20 Min.
7	- 25 Min.
6	- 30 Min.
5	- 35 Min.
4	- 40 Min.
3	- 45 Min.
2	- 50 Min.
1	- 55 Min.
0	- 60 Min.

Abbildung 98: Punktesystem W2V-Erfolg Tabelle 4: Punktesystem Abweichung von der Abfahrtszeit

Für beide Faktoren wurde eine Punkteskala mit 0-10 Punkten definiert. Die Summe der Punkte wird symbolisch in Form von Windrädern dem Nutzer rückgemeldet (1 Punkt = ½ Windrad). Je mehr Windräder pro Ladevorgang angezeigt werden, desto effizienter war der Ladevorgang.

Eine Vergleichbarkeit mit der „Erfolgsbilanz beim Gesteuerten Laden“ anderer Nutzer wurde im Förderprojekt nicht umgesetzt, da der Implementierungsaufwand hierfür zu hoch gewesen wäre. Bei einer größeren Anzahl an Nutzern ist die Umsetzung einer Community-Funktion wie z.B. in Facebook durchaus als Mehrwert für die Motivation der Nutzer zu betrachten.

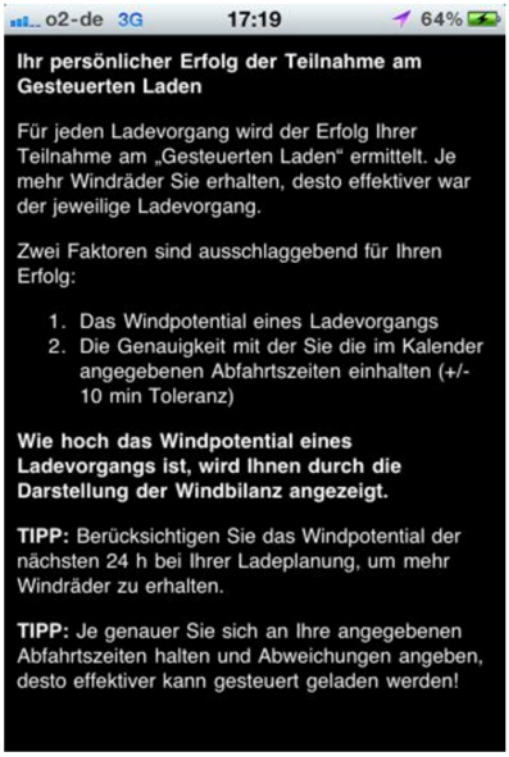
Während die Nutzer in Version 1.0 des Gesteuerten Ladens, im Rahmen von MINI E Berlin 1.0, noch keine Informationen zum Zusammenhang zwischen Windeinspeisung und Ladevorgängen und damit keine Rückmeldung zu ihrem individuellen Ladeverhalten erhielten, wurde im Ladeassistent eine gezielte Visualisierung des W2V-Prozesses umgesetzt. Durch die Einspeisung von Informationen zur Windbilanz der letzten 24 Stunden wird dem Nutzer transparent gemacht, wie hoch der Windanteil der einzelnen Ladephase war. Darüber hinaus ermöglicht die Windprognose für die nächsten 24 Stunden, eine

den Mobilitätsanforderungen des Kunden entsprechende individuelle Einstellung des Ladezyklus. Durch die Möglichkeit der Einstellung von „grünen“ Zeitfenstern soll der Nutzer so zu „grünem“ Verhalten motiviert werden.

4.2.3.4.1.10 Reiter „Information“ – Graphische Darstellung der Funktionsumfänge

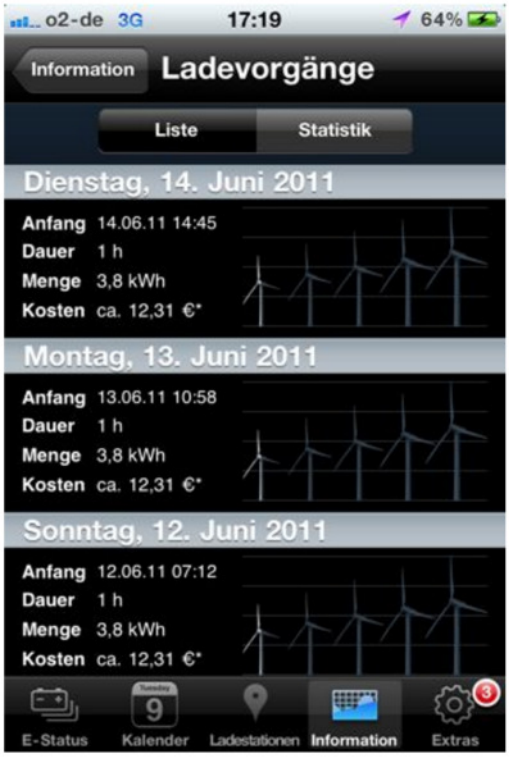
Funktionsbeschreibung:

- Letzter Ladevorgang → Datum, Uhrzeit, Ladedauer, Kosten
- Übersicht Ladehistorie → Datum, Uhrzeit, Ladedauer, Kosten
- „Erfolg – Gesteuertes Laden“: Rückmeldung, wie erfolgreich Nutzer am „Gesteuerten Laden“ teilgenommen hat → bildhafte Darstellung des W2V-Erfolgs (Windräder, Erläuterung des Bewertungssystems)
- Windbilanz → Anzeige des Windanteils an Energiemix in den vergangenen 24 h
- Windprognose → Anzeige des Windanteils für die nächsten 24 h mit



Funktionsbeschreibung:

- Erläuterung des Bewertungssystems

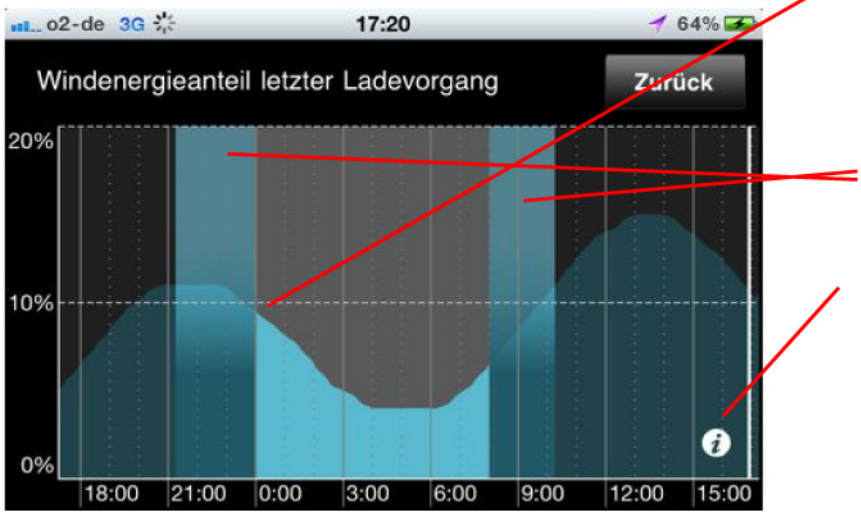


Funktionsbeschreibung:

- Übersicht Ladehistorie → Datum, Uhrzeit, Ladedauer, Kosten, Lademenge

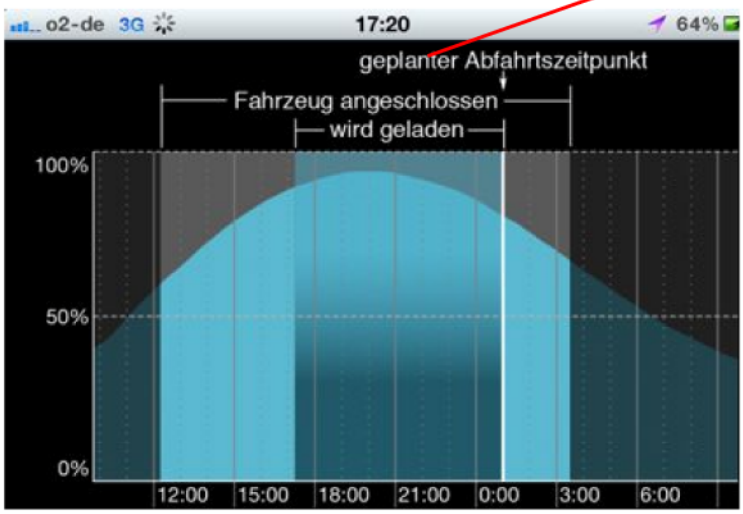
Funktionsbeschreibung:

- Ladestatistik über bestimmten Zeitraum: Woche, Monat, Gesamt



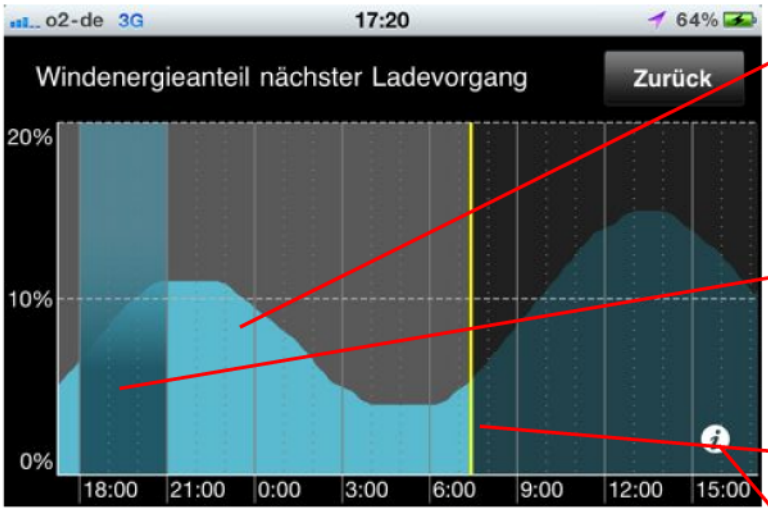
Funktionsbeschreibung:

- Windbilanz → Anzeige des Windanteils an Energiemix in den vergangenen 24 h
- Anzeige der Ladephasen in den letzten 24 h
- Infobutton: Info zu den angezeigten Details



Funktionsbeschreibung:

- Modifizierungen des Ladeassistenten nach Auswertung der Usability – Tests der TU ChemnitzInformationsscreen zur Windbilanz

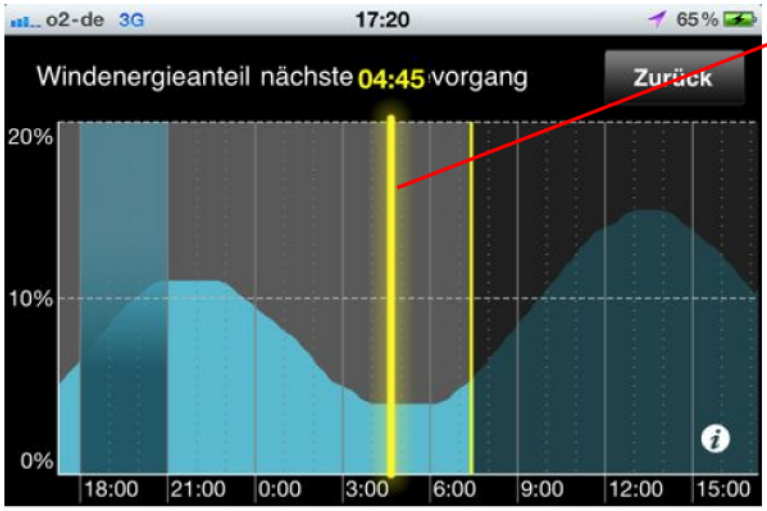


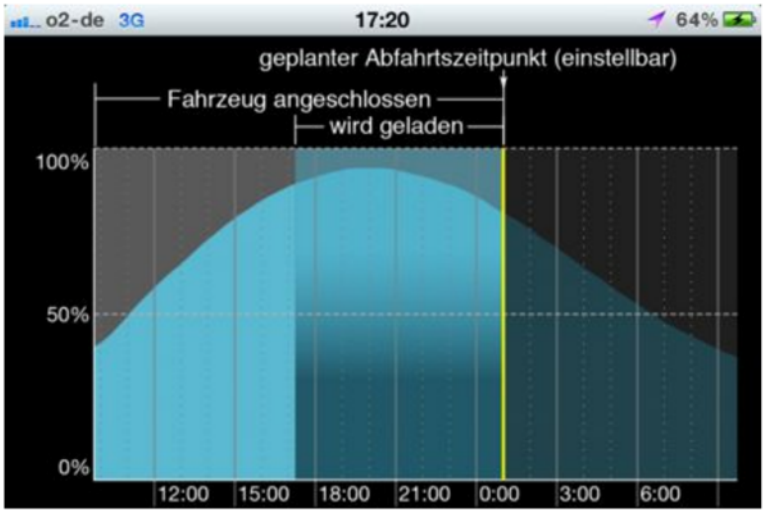
Funktionsbeschreibung:

- Windbilanz → Anzeige des Windanteils an Energiemix in den nächsten 24 h
- Anzeige der geplanten Ladephasen bis zur nächsten Abfahrtszeit
- Über Touchscreen veränderbarer geplanter Abfahrtszeitpunkt
- Infobutton: Info zu den angezeigten Details

Funktionsbeschreibung:

- ÜberTouchscreen veränderbarer geplanter Abfahrtszeitpunkt





Funktionsbeschreibung:

- *Informationsscreen zur Windprognose*

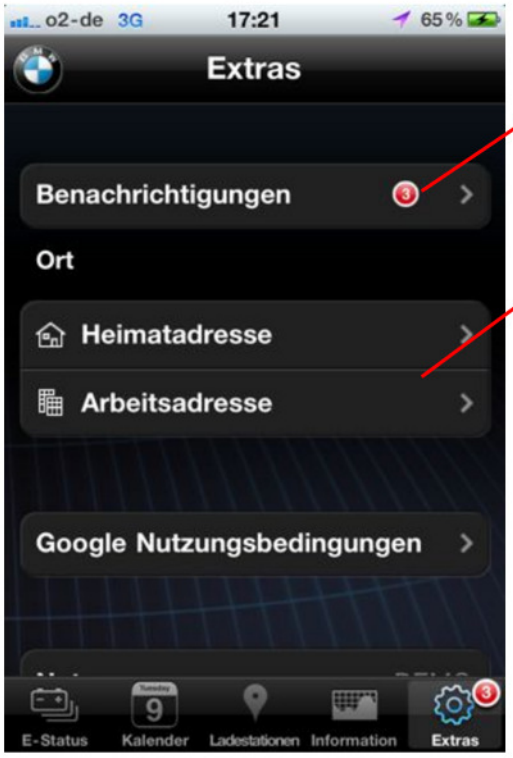
4.2.3.4.1.11 Reiter Extras

Unter der Rubrik Extras wurde die Funktion „Benachrichtigungen“ implementiert, um dem Nutzer eine Rückmeldung über zentrale Aktionen – z.B. das erfolgreiche Anstecken des Fahrzeugs – zu informieren, die im Lademanagement ausgelöst wurden.
Aufgrund der Projektverzögerungen wurden für diese Funktion die Schnittstellen nicht vollständig entwickelt, so dass im Probebetrieb keine Nachrichten an den Nutzer gesendet werden können. Für eine Weiterentwicklung ist die Funktionalität aber vorgesehen.

Des Weiteren hat der Nutzer im Reiter Extras die Möglichkeit zur Lokalisierung seiner Heimatadresse und seiner Arbeitsadresse. Hierdurch erfolgt eine Aktualisierung der Symbole „Home“ und „Office“, die der Nutzer im Reiter Status angezeigt bekommt. Zukünftige Versionen des Ladeassistenten können hier weitere „Orte“ berücksichtigen. Im Rahmen des Förderprojekts wurde die Verortung von „Home“ und „Office“ als ausreichend angesehen.

Eine Verknüpfung mit dem Adressbuch wäre hierbei eine weitere Option zur Vereinfachung der Bedienung.

4.2.3.4.1.12 Reiter „Extras“ -Graphische Darstellung der Funktionsumfänge

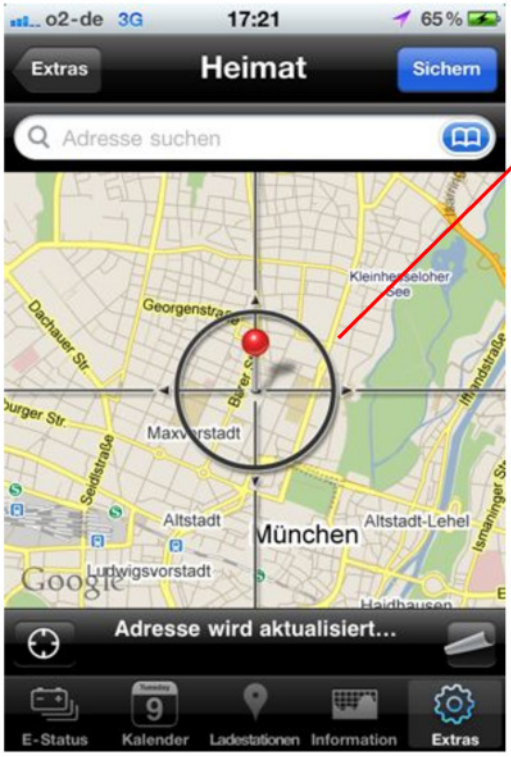


Funktionsbeschreibung:

- Benachrichtigungen über gelungenes Anstecken
- Einstellen der Heimatadresse und Arbeitsadresse

Funktionsbeschreibung:

- Optimierungsvorschlag für Kalender
- Benachrichtigung bei Ansteck- und Ladevorgängen



Funktionsbeschreibung:

- Einstellen der Heimatadresse und Arbeitsadresse über Karte oder Adresseingabe

4.2.3.4.2 Modifizierungen des Ladeassistenten nach Auswertung der Usability – Tests der TU Chemnitz

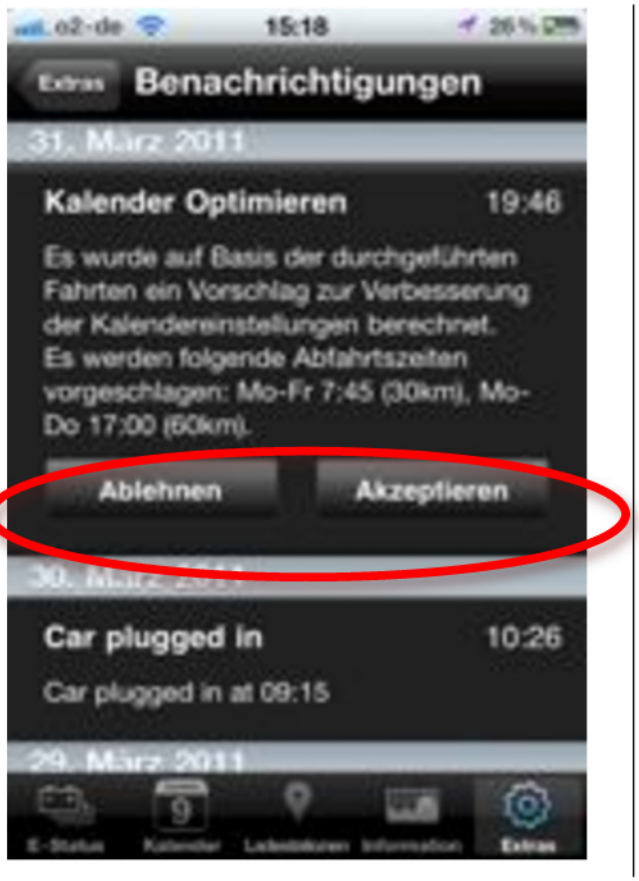
Nach Fertigstellung eines Prototyps des Ladeassistenten in 05/2011, wurde dieser der TU Chemnitz für Experten Usability-Tests, die in Deliverable 2.1 angesiedelt waren, zur Verfügung gestellt. Nach Auswertung der Ergebnisse wurde in 06/2011 eine Reihe von Modifizierungen am Ladeassistent vorgenommen. Im Folgenden sind alle Probleme, die durch die Experten identifiziert wurden, dokumentiert und kommentiert.

4.2.3.4.2.1 Usability-Probleme des Ladeassistenten im Detail

Kleinere Usability-Probleme (Kategorie 1 „kosmetisches Problem“ und Kategorie 2 „kleines Problem“) wurden ausgegraut. Probleme der Kategorie 3 (sollte behoben werden) und Kategorie 4 („Usability-Katastrophe“) wurden durch die Fettmarkierung des Schweregrades hervorgehoben.

4.2.3.4.2.2 Aufgabenangemessenheit

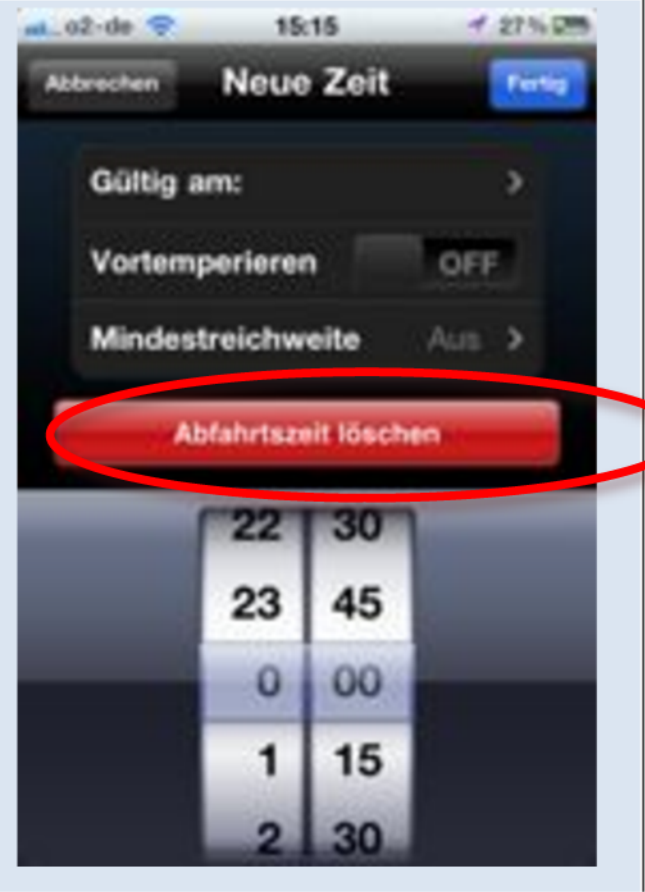
Der Benutzer wird bei der Aufgabenerledigung effektiv und effizient unterstützt.



Extras: Wenn der Optimierungsvorschlag einmal abgelehnt wurde, kann dies nicht mehr rückgängig gemacht werden.

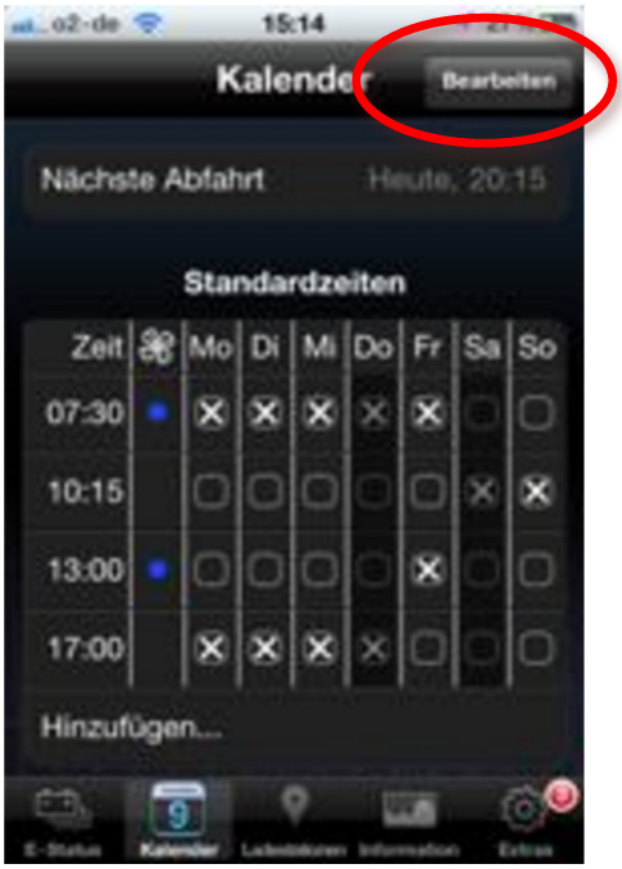
→ **Sollte als Roadmap Thema in Optimierungsspeicher aufgenommen werden!**

Google Lokale Suche → Auswählen einer Ladesäule → Wegbeschreibung: Die Route zur Ladestation wird von der Fahrzeugposition aus angezeigt.



Standardladezeiten → Hinzufügen → Gültig am → Neue Zeit: Wenn man eine neue Zeit eingeben möchte, gelangte man im ersten Ansatz nach der Dateneingabe auf einen Bildschirm, auf dem ein sehr auffälliger Löschen-Button installiert ist. Wenn man sehr in Eile war, hätte man aus Versehen diesen Button betätigen können.

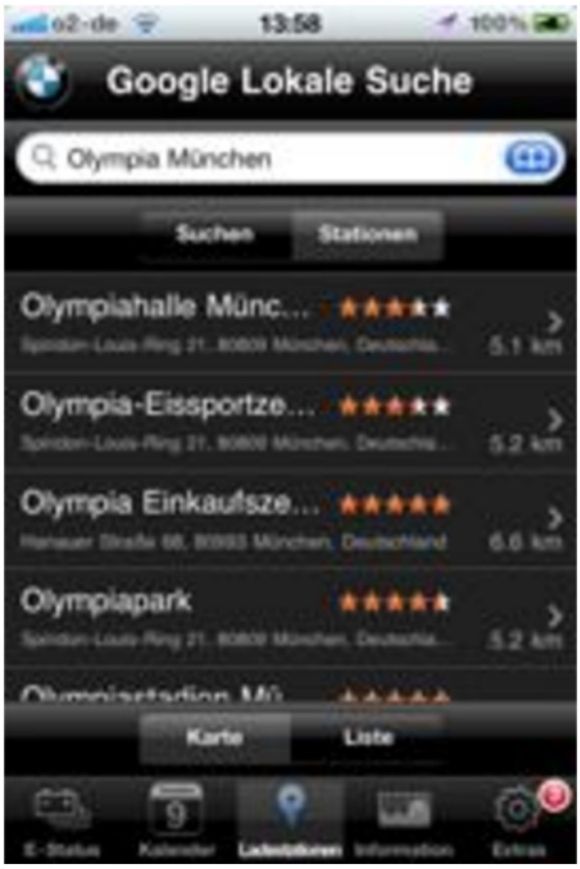
→ Sollte angepasst werden



Kalender → Bearbeiten: Zeiten löschen ist möglich, rückgängig machen geht aber nicht.

Empfehlung: Eine Rückgängig-Option sollte integriert werden.

→ Wird als Road-Map Thema in Optimierungsspeicher aufgenommen!



Google Lokale Suche → Liste → Suchen: Hier werden keine Ladestationen angezeigt, sondern Straßen oder Sehenswürdigkeiten mit dem Gesuchten im Namen (verletzt gleichermaßen das Kriterium der Erwartungskonformität).

→ Road-Map Thema! Umsetzung muss geprüft werden!

E-Status → E-Command: Die Temperatur, auf die vortemperiert werden soll, kann nicht eingestellt werden.

Empfehlung: Es sollte eine Information angezeigt werden, auf welche Temperatur temperiert wird.

→ Wird als Road-Map Thema in Optimierungsspeicher aufgenommen!

E-Status: Die Klimatisierungsfunktion ist keine Hauptfunktion eines Ladeassistenten, erscheint aber trotzdem auf der Startseite an prominenter Stelle.

Über die beiden Symbole „Lüfter“ und „Stecker“ gelangt man zum gleichen Bildschirm.

Empfehlung: Die Sofortladenfunktion könnte sich möglicherweise auch gleich hinter dem Steckersymbol verbergen, um unnötige Schritte zu sparen. Dann könnte das E-Command in ein thematisch einheitliches Temperieren-Command (Name sollte geändert werden) umgewandelt werden

Kalender → Standardzeiten → Hinzufügen:

Empfehlung: Hier könnten zusätzliche Buttons für besonders wahrscheinliche Kombinationen eingerichtet werden, z.B. Mo-Fr (oder alle Arbeitstage), Mo-So (die ganze Woche) und Sa/So (Wochenende).

4.2.3.4.2.3 Selbstbeschreibungsfähigkeit

Die Dialogschritte sind unmittelbar verständlich oder werden auf Anfrage des Nutzers erklärt.

Google Lokale Suche → Ladesäule ausgewählt: Scrollfähigkeit ist nicht in jedem scrollfähigen Untermenü sichtbar. Manchmal wird nicht klar, ob und wann es auf einer bestimmten Dialogseite noch weiter geht.

Empfehlung: Die Installierung einer Scrollbar könnte sich als nützlich erweisen. Alternativ könnte die Liste so gestaltet werden, dass das letzte sichtbare Item nicht mehr vollständig sichtbar ist, sodass ganz intuitiv klar wird, dass es weitergehen muss.

Die Bedeutung des Pfeils wurde nicht ersichtlich. Hinter dem Pfeil steckt keine Funktion, obwohl es scheint, als versteckten sich dahinter weitere Informationen. Es wurde auch nicht klar, warum der Pfeil bei anderen Stationen in eine andere Richtung zeigt.

E-Status: Das Zeichen für die Klimatisierung ist nicht unbedingt intuitiv. Der Ladeassistent dient vornehmlich dem Gesteuerten Laden mit Windenergie. Daher könnten die Nutzer bei dem Lüfterzeichen Assoziationen hinsichtlich Windenergie aufbauen.

Empfehlung: Lösen ließe sich dieses Problem beispielsweise mit einem Symbol in Form eines Thermometers oder von °C.

Die Reichweitenanzeige mit den Ortsangaben - insbesondere das Symbol für „Arbeitsstelle“ - ist nicht verständlich.

Empfehlung: im Menü Extras könnten in den Buttons „Arbeitsadresse“ und „Heimatadresse“ die beiden Symbole ergänzt werden.

Die Reichweitenanzeige besitzt Aufforderungscharakter, es sieht also so aus, als könnte man damit etwas regeln. Vor allem wenn sich das Display ausgeschaltet hat, entriegelt man die Bildschirmsperre mit einem ähnlichen Button an ähnlicher Stelle, was den Aufforderungscharakter noch verstärkt.

In der oberen rechten Ecke befindet sich ein Häkchen-Symbol. Wenn man es anklickt, erscheint die Meldung „ Daten erfolgreich übertragen“. Was sagt das dem Nutzer?.

Empfehlung: Angeben, wohin die Daten übertragen werden.

E-Command → Klimatisieren: Es wird eine Meldung angezeigt, in der das Wort „Remotedienst“ vorkommt. Die Nutzer wissen höchstwahrscheinlich nicht, was ein Remotedienst ist.

Empfehlung: Einfach verständlicher beschreiben.

Google Lokale Suche: Das Symbol für den Standort des eigenen Fahrzeuges in der Kartendarstellung der Ladesäulen ist nicht verständlich.

Empfehlung: das eigene Fahrzeug könnte in Form eines kleinen Autos dargestellt werden. In den Details der Ladesäule ist beispielsweise bereits solch ein Fahr-zeugsymbol vorhanden.

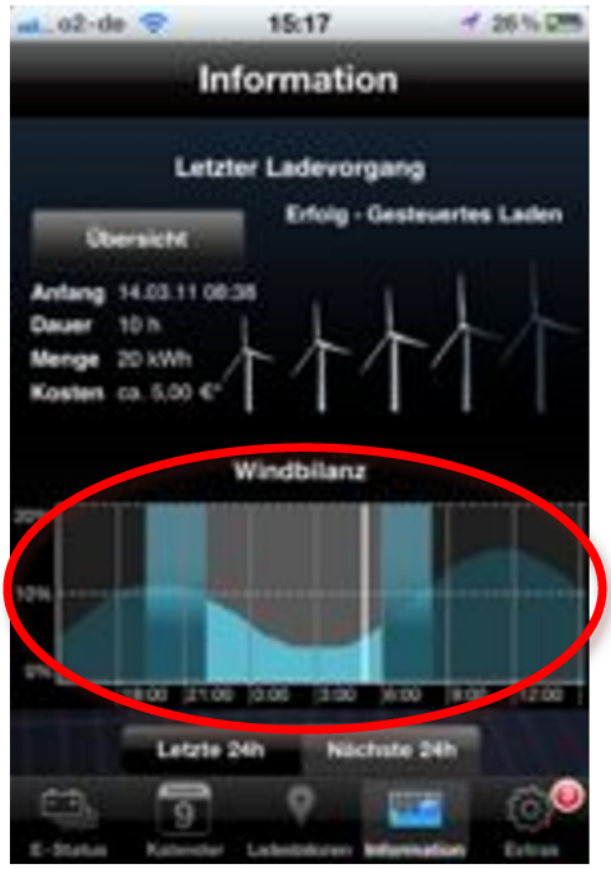
Der Unterschied zwischen Standort und aktueller Ort wurde nicht deutlich.

Empfehlung: Der Fahrzeugstandort könnte Fahrzeugstandort genannt werden, um Verwirrung zu vermeiden.

Es wurde nicht sofort deutlich, was die blaue und gelbe Färbung der Ladesäulensymbole bedeuten könnte. Diese Bedeutung muss gelernt werden.

Empfehlung: Hier könnten entweder bedeutungsvollere Farben, eine Legende oder eindeutigere Symbole (z. B. nur Stecker vs. Stecker mit Windrad) verwendet werden.

➔ **Diese Umsetzung kann im Probe-betrieb so genutzt werden. Für Folge-projekte kann ggf. eine andere Symbolik erarbeitet werden!**



Information: Die Windgrafik ist sehr schwer verständlich. Es besteht auch keine Erläuterung für die Grafik. Ohne eine solche Erläuterung kann die Graphik allerdings nicht verstanden werden.

Empfehlung: Eine Legende oder eine Erklärung der Grafik könnte hier hilfreich sein bzw. könnten die Abschnitte der Grafik mit Symbolen gekennzeichnet werden.

→ Es wurde eine Legende für die Grafik eingebaut: Über antippen des (i)-Icons kommt man zu einer bildlicher Erklärung. Auch der Erfolg des Gesteuertes Laden wird durch ein (i)-Icon rechts unten neben den Windrädern ergänzt.

Informationen → nächste 24h: die Über-schrift „Windbilanz“ ist hier nicht mehr passend.

Empfehlungen: Umbenennung in „Windprognose“, weil es um die Vorhersage geht.

Kalender → Standardzeiten → Hinzufügen → Gültig am: Der „zurück“-Button heißt „Neue Zeit“. Das verletzt den Standard der Klarheit, da man zurück möchte und nicht eine neue Zeit eingeben möchte.

Empfehlung: der Button sollte umbenannt und dadurch mit Bedeutung versehen werden, z.B. „zurück“ oder „fertig“

Kalender → Standardzeiten: Erst bei weiteren Klicks wird deutlich, dass die Standardzeiten Abfahrtszeiten sind.

Empfehlung: Statt „Standardzeiten“ wäre die Formulierung „Standardabfahrtszeiten“ eindeutiger und klarer.

4.2.3.4.2.4 Steuerbarkeit

Der Benutzer ist in der Lage, den Dialog zu starten und seine Richtung und Geschwindigkeit zu beeinflussen, bis das Ziel erreicht ist.

Extras: Einige Nachrichten sind in englischer Sprache verfasst. Dies könnte ein Problem für Personen darstellen, die die englische Sprache nicht oder nur schlecht verstehen. Außerdem sollte im Hinblick auf die Einheitlichkeit nur eine Sprache für die Benachrichtigungen verwendet werden.

Empfehlung: Verwendung deutscher Begriffe .

Kalender → Ausnahmen: Man kann Ausnahmen nicht vollständig löschen. Die vorher eingestellten Ausnahmen „Donnerstag“ und „Samstag“ blieben auch erhalten, wenn einzeln „alle entfernen“ gewählt wurde und deaktivierten damit die eigentlichen Standardzeiten.

Empfehlung: Es sollte unter „Alle entfernen“ ein weiterer Button installiert werden, um die gesamte Abweichung zu löschen, z.B. „Abweichung entfernen“

4.2.3.4.2.5 Erwartungskonformität

Der Dialog ist konsistent und entspricht den Erfahrungen des Benutzers

E-Status → E-Command: Die Funktionen „Klimatisieren“ und „Sofortladen“ sehen ähnlich aus und suggerieren daher auch ähnliche Funktionsweisen, allerdings ist es nur möglich, eine der beiden Funktionen zu beenden.

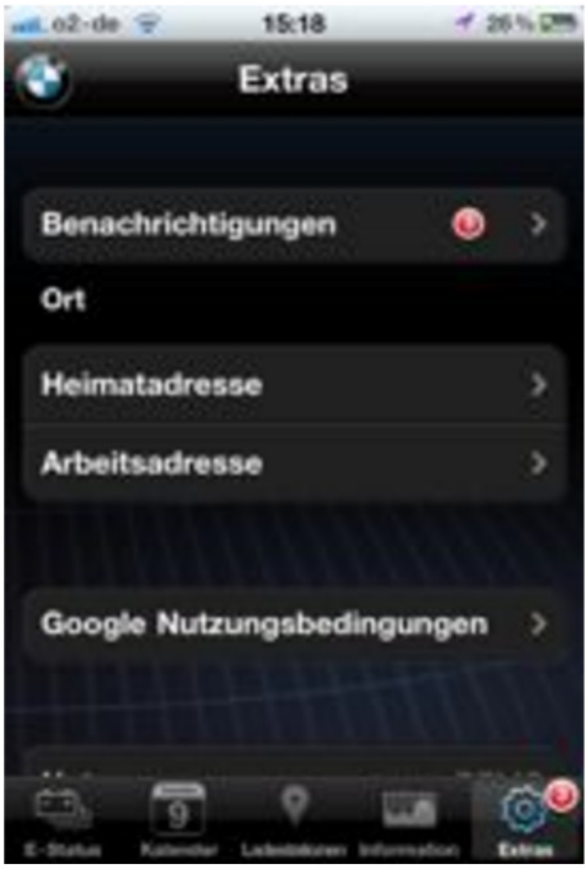
Empfehlung: Ein Hinweis, dass das Klimatisieren automatisch endet - sobald die Temperatur im Fahrzeug erreicht ist - könnte hilfreich sein.

Die „Temperatur“-Anzeige sieht den beiden anderen Funktionen sehr ähnlich, kann aber nicht angewählt werden. Nutzer könnten an dieser Stelle außerdem erwarten, die Innenraumtemperatur für die Klimatisierung zu regeln.

Empfehlung: Anzeigen und Buttons sollten unterschiedlicher gestaltet werden

Google Suche → Details aus Liste: Es kann nicht alles angeklickt werden, obwohl es so aussieht.

Empfehlung: Anzeigen und Buttons sollten unterschiedlicher gestaltet werden.



Extras: Änderung der Heimatadressen wird nicht unter der Kategorie „Extras“ vermutet.

Empfehlung: Adressen könnten auch geändert werden, indem man im E-Status auf die „Home“ bzw. „Work“-Button klickt

→ **Sollte als Road-Map Thema in Optimierungsspeicher aufgenommen werden!**

Reichweite: Hier wird der Reichweitenwunsch des Nutzers eingegeben.

4.2.3.4.2.6 Fehlertoleranz

Das Arbeitsergebnis wird trotz fehlerhafter Eingaben korrekt erreicht bzw. der Korrekturaufwand ist minimal.

Kalender → Ausnahmen hinzufügen → Ändern nur für: Es fehlt ein Zurück-Button. Eine Fehleingabe (z.B. zuerst versehentlich „morgen“ gedrückt) wird bestraft. In diesem Fall kann man über den „Abbrechen“-Button nur noch vollständig zur Startseite des Kalenders zurückkehren.

Empfehlungen: In dieser Anzeige sollte man auf das eingestellte Datum klicken können und damit auf den Bildschirm gelangen, in dem man das Datum einstellen konnte.

Extras →Home-/Work-Adresse ändern: Es ist keine Sicherheitsabfrage vorhanden, ob die Änderung wirklich gewünscht ist.

Empfehlung: Installation einer Sicherheits-abfrage.

Extras → Benachrichtigungen: Es ist keine Einstellung möglich, ob man jedes Mal Benachrichtigungen über das Starten und Stoppen des Ladevorgangs erhalten möchte.

Empfehlung: Das Ausschalten der ständigen Benachrichtigungen sollte ermöglicht werden.

4.2.3.4.2.7 Individualisierbarkeit

Das Dialogsystem erlaubt Anpassungen an die Erfordernisse der Arbeitsaufgabe, sowie an die individuellen Fähigkeiten und Vorlieben des Benutzers. Durchgängig kann festgestellt werden, dass Schriftvergrößerungen fehlen. Die Experten hatten beispielsweise Probleme mit der Größe der Buttons und drückten häufig daneben. Eine Vergrößerungsoption hätte hier Abhilfe schaffen können.

4.3 Teilprojekt 3 – Ladestation V2.

4.3.1 Management Summary

Das Teilprojekt 3 hatte das Ziel, die hardwareseitigen Anforderungen des Gesteuerten Ladens umzusetzen. Dieses geschah in enger Zusammenarbeit mit den Teilprojekten 1 und 4. In Teilprojekt 1 wurden die Applikationen des Gesteuerten Ladens entwickelt und in Teilprojekt 4 wurden die IT-seitigen Unterstützungsprozesse bereitgestellt.

Bei der Hardware-Entwicklung sollten die Erfahrungen des Vorläuferprojektes MINI E Berlin 1.0 aufgegriffen und vertieft werden. Auch Teilprojekt 3 hatte die Zielvorgabe, Effektivität und Effizienz des Ladekonzeptes zu steigern. Dabei standen allem voran zwei Ansatzpunkte im Mittelpunkt. Erstens ging es darum, die ITK-basierte Kommunikation zwischen E-Fahrzeug und Ladeinfrastruktur zu etablieren. Das Gesteuerte Laden funktioniert um so besser, so die Hypothese, je besser die über einen bestimmten Zeitraum zu ladende Energiemenge zum einen mit den Restriktionen des Netzes auf privatem und öffentlichem Grund abgestimmt sind und zum anderen mit dem Signal zur Einspeisung der Windenergie.

Zweitens sollte eine Master-Satelliten-Architektur umgesetzt werden. Hintergrund hierfür ist die Vorstellung, dass in Flottenanwendungen mehrere Fahrzeuge an einem Standort geladen werden. Wenn dies gleichzeitig geschieht, kann die vor Ort verfügbare Leitungskapazität schnell übertroffen werden (Abhilfe schafft hier die LLM-Applikation). Zudem ist unterstellt, dass die Nutzungsprofile vieler Flottenanwendungen für das Gesteuerte Laden im Sinne der Windintegration besonders geeignet sind. Die Master-Slave-Architektur soll die Kosten senken, indem kostenintensive Module nur einmal zentral im Master vorgehalten werden (z.B. die Steuerungstechnik) und die Satelliten dafür möglichst kostengünstig ausgestaltet werden. In einer solchen Konfiguration lassen sich Kostendegressionseffekte erreichen, wenn die Anzahl der Satelliten steigt.

Vor diesem Hintergrund war das Projekt in drei Deliverables gegliedert:

- D3.1: Erarbeitung eines funktionalen Lastenheftes und Blaupausen für die Entwicklung der Ladeinfrastruktur V2.0
- D3.2: Erarbeitung eines Evaluierungs- und Testkonzeptes für die Ladeinfrastruktur V2.0

- D3.3: Herstellung der Ladeinfrastruktur V2.0

Deliverable 1 und 2 wurden vollständig erarbeitet. Bei Deliverable 3 wurden die erforderlichen Ladeboxen mit fast allen geforderten Funktionalitäten produziert. Hier ist allerdings ein erheblicher zeitlicher Verzug eingetreten, was auch dazu führte, dass Abstriche bei der Master-Satelliten-Architektur hingenommen werden mussten.

Der Zeitverzug ergibt sich aus dem Umstand, dass Vattenfall zweimal den Lieferanten wechseln musste und die angewandten Abnahme- und Integrationstest zutage gefördert haben, dass die Ladeboxen des dritten Lieferanten erhebliche Stabilitätsprobleme aufweisen. Diese sind zum Teil lieferantenbedingt, können aber auch systematischer Natur sein, was die Nutzung der PLC-Technologie angeht.

Aufgrund der Stabilitätsprobleme sollte eine Zwischenlösung hinsichtlich der Master-Satelliten-Architektur den Einsatz unter Alltagsbedingungen sicherstellen. Demzufolge ist das System so gestaltet, dass alle Boxen grundsätzlich sowohl Master als auch Satellit sein können. Wenn wegen der Stabilitätsprobleme ein Master ausfallen sollte, kann durch das Umstecken der SIM-Karte (und durch kurze Umparametrierung der Software) vom Master in einen Satelliten dieser zum Master aufgewertet werden. Dann ließe sich der Ladebetrieb an diesem Standort auf jeden Fall weiterführen.

Im Ergebnis konnten die meisten Abnahmetests beim Lieferanten durchgeführt werden und auch die End-to-End-Integrationstests bei Vattenfall in Berlin und Hamburg sowie bei BMW in München (und im Rahmen des EMKEP-Projektes bei Daimler in Stuttgart). Allerdings konnten die Stabilitätsdefizite nicht mehr innerhalb der Förderperiode abgestellt werden. Deshalb, aber auch, weil die ActiveE nicht rechtzeitig zur Verfügung gestellt werden konnten, wurde der Probebetrieb nicht mehr begonnen. Insgesamt bewerten die beiden Industriepartner die Zielabweichung als verhältnismäßig geringfügig. Deshalb haben sie eine Verlängerung ohne Förderung bis Ende 2011 vereinbart (und auch bereits begonnen), um die noch nicht erreichten Ergebnisse zu erzielen.

4.3.1.1 Kurzbeschreibung des parallelisierten Ablaufs und der Erkenntnisse

Um einen Überblick über den Stand der Ladeinfrastruktur-Entwicklung auf dem Markt und die entsprechenden Potenziale zu gewinnen, wurde das Arbeitspaket „Marktdialog“ durchgeführt. Von den zahlreichen Anbietern von Ladeinfrastruktur kamen aus damali-

ger Sicht nur vier potenzielle Herstellungs-Partner für die Ladeinfrastruktur in Frage. Diese wurden sukzessive kontaktiert und es wurden Vorabgespräche geführt.

Parallel zu den Gesprächen im Rahmen des Marktdialoges (besonders intensiv mit Lieferant 1) wurde die Anforderungserfassung begonnen, so dass die ersten Lösungskonzept-Vorstellungen über die Entwicklungsziele in Form einer „Ersten Blaupause“ bereits konkret mit den Lieferanten ausgetauscht werden konnten (Diese Anforderungsliste ist in D3.1 in Ausschnitten dokumentiert).

Begleitend und auf Basis der Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten wie MINI E Berlin 1.0 entstanden die ersten Vorstellungen über Testfälle für das Testkonzept im Rahmen des Deliverables 3.2. Dies bestand aus technischen Tests (elektromechanisch und IT) sowie Nutzerevaluationen. Diese Ergebnisse sind ebenda ausschnittsweise dokumentiert.

Der erste Lieferant ist im Bereich Elektrotechnik eine am Markt erkannte Größe. Aber das speziell für das Gesteuerte Laden ebenfalls erforderliche IT-Know-how konnte er nur über einen Partner abdecken (Dieses Phänomen zeigte sich im übrigen auch bei vielen Wettbewerbern). Daraus folgten ein zäher Abstimmungsprozess und eine mangelhafte Umsetzungsgeschwindigkeit. Es stellte sich bald heraus, dass die Projektziele mit diesem Lieferanten nicht mehr erreichbar waren und die Zusammenarbeit deshalb beendet werden musste.

Es wurde hier deutlich, dass das Konzept für das Gesteuerte Laden 2.0 bereits in seinen Grundzügen für die besten Lieferanten zu komplex war: Anforderungen bestehen seitens des Fahrzeugs und des Netzes sowie der IT-Funktionalitäten, die eine reibungslose Kommunikation innerhalb der Ladeinfrastruktur sowie von Backend des Stromerzeugers zu Backend des Fahrzeug-Herstellers ermöglichen müssen.

Deshalb war klar, dass auch bei Auswahl eines alternativen Lieferanten eine sehr intensive Begleitung und Steuerung erforderlich sein würde, die mehr Ressourcen beanspruchte als vorgesehen. Dies liegt begründet in einem bei allen Lieferanten unerwartet großen Delta zwischen dem im Projekt benötigten Know-how in Bezug auf die Integration von Energietechnik und IT (von den Vattenfall-Projektmitarbeitern in den Konzepten vorgelegt) und dem beim Lieferanten vorhandenen Kenntnisstand.

Im Anschluss an eine abermalige Sondierung des sich entwickelnden Lieferantenmarktes führte dies zu Gesprächen mit zwei weiteren potenziellen Herstellern: Hersteller 4 und Hersteller 5. Der erste schied aus dem Auswahlverfahren aus, weil die kalkulierten Entwicklungskosten den Budgetrahmen deutlich überstiegen. Implizit wurde damit deutlich, dass das Gesteuerte Laden von diesem Lieferanten als Vattenfall-spezifische Entwicklungsleistung angesehen wird, die man anderweitig nicht vermarkten könne.

Beauftragt wurde der zweite Hersteller (als Lieferant 2), welcher ebenso wie der andere potenzielle Hersteller eine hohe Kompetenz bei den anspruchsvollen elektrotechnischen und IT-betreffenden Belangen vorweisen konnte und eine Umsetzung in der verbleibenden Projektzeit und innerhalb des Budgetrahmens zusagte. Die niedrigeren berechneten Entwicklungskosten erklären sich daraus, dass dieser Lieferant Entwicklungsergebnisse für eine Drittvermarktung nutzen wollte. Noch während der ersten Wochen der Zusammenarbeit zeigte sich gleichwohl, dass die versprochene Entwicklungsgeschwindigkeit und –flexibilität von der tatsächlichen zum Nachteil des Projekterfolges eklatant abwich. Aus diesem Grunde wurde auch diese Entwicklungsarbeit umgehend beendet.

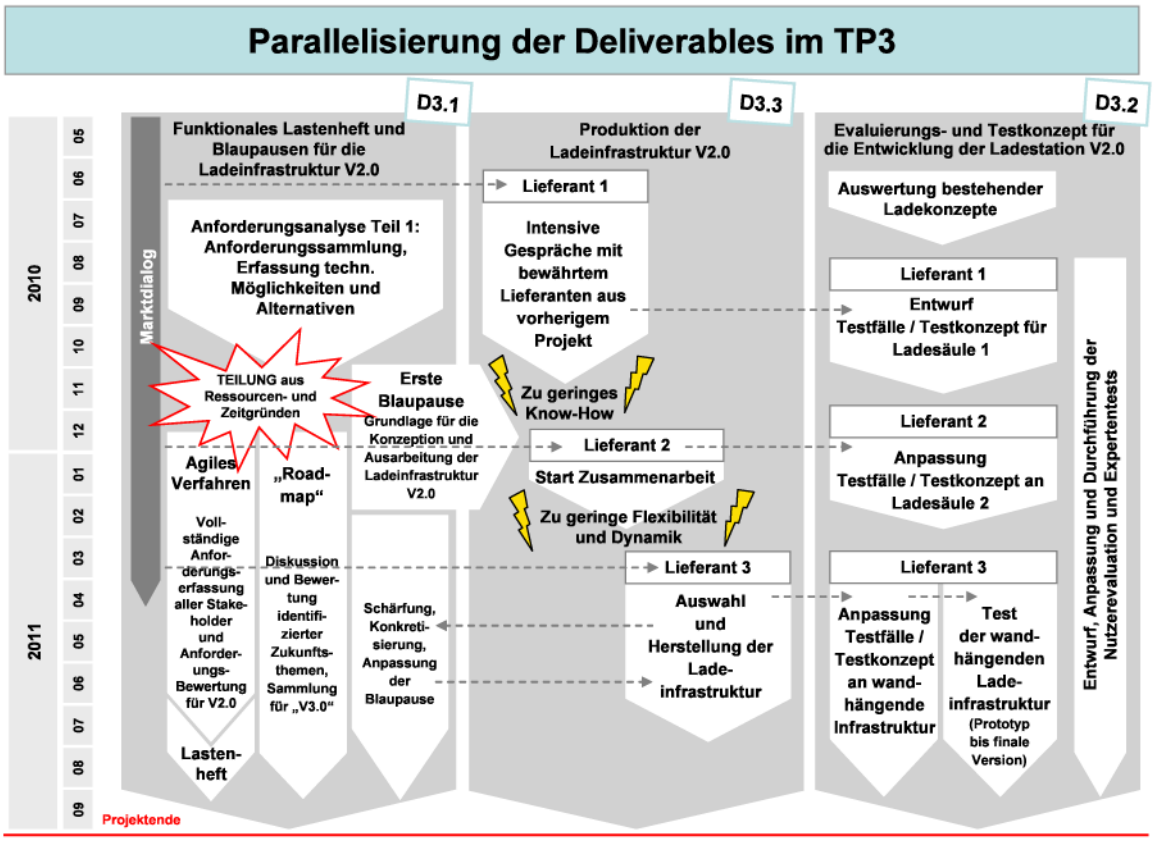
Schließlich wurde Lieferant 3 beauftragt, welcher zuvor nicht zum Zuge kam. Erstens, weil sein Standort in Asien für eine Entwicklungszusammenarbeit nachteilig erschien sowie, zweitens, weil er lediglich über eine Wallbox verfügte, nicht jedoch über eine Ladesäule. Die Beauftragung erfolgte unter der Bedingung, dass Vattenfall aus dem entfernten Standort keine Nachteile erwachsen sollte. Für diesen Lieferanten sprach dann auch die Zusage einer flexiblen und zeitnahen Umsetzung der Projektziele. Schließlich berechnete dieser Lieferant keine Entwicklungskosten, weil er sich mit diesem Know-how einen Wettbewerbsvorteil versprach.

Entgegen der Verabredung wurde der bei allen Lieferanten erforderliche hohe Betreuungsaufwand hier abermals gesteigert, weil mehrere Aufenthalte der Projektmitarbeiter vor Ort erforderlich waren, um die Entwicklungsarbeiten überhaupt zum Erfolg zu führen. Zudem musste auf das mittels Software durchstimmbare CP-Modul zunächst verzichtet werden. Es soll die LLM-Anwendung des Gesteuerten Ladens auch bei E-Fahrzeugen sicherstellen, welche nicht mit der Ladeinfrastruktur kommunizieren (aber in Mode3 laden). Diese Funktionalität sollte später mit zwei Prototypen V2.x nachgeliefert werden.

Aufgrund der Projektverzögerungen infolge der Lieferantenauswahl und der ungeplanten intensiven Betreuung der ausgewählten Lieferanten, musste dieses Teilprojekt umorganisiert werden.

- Die im Rahmen des Entwicklungsprozesses geplante systematische Generierung von Alternativen auf den Ebenen Komponenten, Modulen, Teilsystemen und Prototypen konnte nur noch von der Produktion der V2.0 getrennt vorgenommen werden.
- Für V2.0 wurde daher aus Zeitgründen eine pragmatische Lösung gewählt. Sie basiert auf einem funktionalen Lastenheft und einer darauf aufbauenden Blaupause im Sinne einer technischen Konkretisierung des Lastenheftes.
- Dem gegenüber wurden für einzelne Funktionalitäten Alternativen im Rahmen der neu eingeführten Roadmap evaluiert (Agiles Verfahren).
- Die Erfahrungen mit der V2.0 sowie die Roadmap-Ergebnisse fließen in die Weiterentwicklung der Ladeinfrastruktur V3.0 ein.

Aufgrund des mehrfachen Lieferantenwechsels musste das Testkonzept (D3.2) mehrfach gemäß den lieferantenspezifischen Ausprägungen aufwändig angepasst werden. Diese Iterationen von Entwicklung und Tests sowie die Testergebnisse werden in den Deliverable-Berichten 3.2 unD3.3 dargestellt.



4.3.1.2 Ergebnisse:

4.3.1.2.1 D3.1: Funktionales Lastenheft und Blaupausen für die Ladeinfrastruktur V2.0

Mit vorausschauenden Anpassungen des Vorgehens und der Methodik konnten die Ziele dieses Deliverables erreicht werden: Anforderungsanalysen wurden im geplanten Umfang durchgeführt; aus Zeitgründen wurden sie nicht vor der Lieferantenansprache abgeschlossen, sondern zum Teil begleitend im Agilen Verfahren bearbeitet. Das Lastenheft wurde für den geplanten Funktionalitätsumfang GL V2.0 erstellt, und es sind Erfahrungen aus der Projektarbeit sowie aus Ladeinfrastrukturentwicklung und -test in eine Anforderungssammlung für die Erstellung eines Lastenhefts Version 3.0 geflossen.

4.3.1.2.2 D3.2: Evaluierungs- und Testkonzept für die Entwicklung der Ladestation V2.0:

Das bei der Lieferantenauswahl und den Wechseln entstandene Zeit- und Ressourcen-Problem aufgrund des sehr aufwändigen Know-how-Übertrags und der Lieferanten-

betreuung hat sich direkt auf die Arbeit am Testkonzept ausgewirkt. Das technische Testkonzept musste mehrfach angepasst werden.

Die Nutzerevaluation und Expertentests konnten über andere Beispiel-Ladeinfrastrukturen hinaus mit Prototypen der Projektinfrastruktur durchgeführt werden. Dadurch ergaben sich auch hier zahlreiche und maßgebliche Ergebnisse für die weitere Arbeit an der Ladeinfrastruktur-Entwicklung

4.3.1.2.3 D3.3: Produktion der Ladeinfrastruktur V2.0:

Die Herstellung der Ladeinfrastruktur konnte nicht zeitgerecht abgeschlossen werden. Zusammen mit Verzögerungen bei der Fahrzeugbereitstellung und nicht rechtzeitiger Fertigstellung der Anbindung des BMW-Backends führte dies zur Verschiebung und letztlich Absage des Probebetriebs innerhalb der Projektlaufzeit.

Zum Projektende konnte die geplanten Funktionalitäten des Gesteuerten Ladens in verschiedenen End-to-End-Tests nachgewiesen werden, also im Zusammenspiel mit allen Komponenten. Allerdings war die Systemstabilität bei Projektende unzureichend, zum Teil, weil manche Komponenten keine Serienreife erreichten, zum Teil, weil die Kommunikationstechnik PLC zwischen Ladeinfrastruktur und E-Fahrzeug fehlerbehaftet war. Deshalb haben BMW und Vattenfall beschlossen, das Projekt ohne Förderung bis Ende 2011 zu verlängern. Ziel dieser Verlängerung ist es, die Stabilität der Systeme sicherzustellen, die PLC-Tauglichkeit zu überprüfen sowie als Ersatz für den ausgefallenen Probebetrieb empirische Daten zur Evaluierung der Qualität des Gesteuerten Ladens V2.0 zu erheben.

Zwei Prototypen der Version 2.x wurden hergestellt. Der Factory Acceptance Test für diese Systeme stand bei Projektende noch aus. Es ist geplant, diesen im Nachgang durchzuführen und die beiden Systeme in das Projektgesamtsystem zu integrieren.

Darüber hinaus wurden drei Exemplare einer separaten Ladeinfrastruktur entwickelt und realisiert, die die „Vehicle-to-Grid“-Funktionalität bereitstellten. Diese konnten mit rückspeisefähigen Fahrzeugen (zu diesem Zwecke umgebaute MINI E) getestet werden. Da das Thema Vehicle-to-Grid in sich eine hohe Komplexität vereint und die Produktion und Tests unabhängig von denen der Projektladeinfrastruktur aus TP3 verlief, verweisen wir hier auf die Darstellung der Konzeption (TP1, Del. 1.3) sowie auf die Beschreibung der Testergebnisse im TP5, Del. 5.3.

4.3.1.3 Conclusio für das Teilprojekt

- Die Funktionalitäten des Gesteuerten Ladens konnten vollumfänglich im Rahmen mehrerer End-to-End-Tests nachgewiesen werden: Ladeinfrastruktur und E-Fahrzeug kommunizieren miteinander und Ladevorgänge werden erfolgreich durchgeführt. Dabei werden die Anforderungen der Windintegration ebenso erfüllt wie diejenigen der Netzrestriktion. Allerdings laufen die Ladeboxen noch nicht stabil genug, um sie im Alltagstest einzusetzen.
- Während der Projektlaufzeit war kein Lieferant in der Lage, die Anforderungen des Gesteuerten Ladens im Rahmen des zeitlichen und budgetären Rahmens zu erfüllen. Große Industrieunternehmen waren anfangs noch gar nicht im Markt Elektromobilität tätig. Und die mittelständigen Lieferanten waren mit der Integration von Elektrotechnik und IT-Know-how überfordert und/oder zeichneten sich durch mangelhafte Entwicklungsflexibilität aus.
- Daraus ergab sich für das Projektteam Vattenfalls ein deutlich intensiverer Betreuungsaufwand. Gemeinsam mit den Stabilitätsproblemen führte dies zu erheblichen Zeitverzögerungen, so dass der Probebetrieb nicht stattfinden konnte.

4.3.2 Deliverable 3.1: Funktionales Lastenheft und Blaupausen für die Ladeinfrastruktur V2.0

4.3.2.1 Management Summary

Das funktionale Lastenheft und die daraus abgeleitete Blaupause für die Produktion der Ladeinfrastruktur wurden mit Hilfe des „Agilen Verfahrens“ entwickelt. In dem kleinen Zeitfenster zwischen Produktidee, Anforderungen von Markt und Nutzern sowie dem technischen Gesamtsystem konnte eine sequentielle Entwicklung nicht durchgeführt werden. In dem „Agilen Verfahren“ werden die Schritte „Anforderungserfassung“, „Anforderungsbewertung“ und „Entwicklung“ parallel durchgeführt und führen im Ergebnis zu einem Lastenheft. Trotz Komplexität des Projektes und kritischem Zeitfenster konnten die Aufgaben mit Hilfe des „Agilen Verfahrens“ innerhalb des Projektzeitplanes erfüllt werden. Eine erste Version der Anforderungserfassung und -bewertung war die Grundlage für die Blaupause, die dann zur Lieferspezifikation durch den Lieferanten weiterentwickelt wurden. Nach einem Auswahlverfahren wurde ein Lieferant ausgewählt, der die elektrisch-mechanischen Komponenten als Gesamtsystem liefert und auf dessen Hardware die Softwareapplikationen eingesetzt werden können. Das Ergebnis war die Produktion von zwei Prototypen für die ersten Feldversuche und der Anlauf einer kleinen Nullserienproduktion für den Nachweis der Alltagstauglichkeit der Ladeinfrastruktur.

Parallel zu Entwicklung und Test der Ladeinfrastruktur und unter Einfluss der daraus gewonnenen Erkenntnisse wurde die Anforderungsliste stetig geschärft und ausgearbeitet. Sie wurde schließlich in das finale funktionale Lastenheft überführt.

Die im Prozess der Lastenhefterstellung gewonnenen Erkenntnisse flossen auch in den Marktdialog mit potentiellen Entwicklungspartnern ein. Dieser stellte die Grundlage für die Lieferantenauswahl in Deliverable 3.3 dar.

4.3.2.2 Ziele und Aufgaben

Das Ziel war es, Anforderungen an eine Ladeinfrastruktur für das Gesteuerte Laden V2.0 zu identifizieren und anhand dieser ein „funktionales Lastenheft“ zu entwickeln. Das funktionale Lastenheft, das Anforderungen der unterschiedlichen Stakeholder ver-

eint, gibt für die einzelnen Anforderungen keine Lösung vor. Die Lösungsfindung obliegt den Lieferanten. Durch diesen technischen Interpretationsspielraum können für dieselben Anforderungen unterschiedliche Lösungen gefunden werden.

Die Generierung der Anforderungen für die neue Ladeinfrastruktur erfolgte auf verschiedenen Wegen. Zunächst wurden die gesammelten Erfahrungen aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0 bezüglich der Errichtung und dem Betrieb von Ladeinfrastruktur spezifiziert und strukturiert und um neue Erfordernisse ergänzt. Anschließend wurde die Gesamtheit analysiert, um Anforderungen für die neue Ladeinfrastruktur abzuleiten – mit dem Ziel der Betriebskostenreduzierung sowie der Steigerung der Nutzerakzeptanz.

Der Anforderungskatalog wurde aus der Gesamtheit folgender Stakeholder erarbeitet:

- Nutzergruppen
    - Privathaushalte
    - Flottenbetreiber
- Betreiber (hier beispielhaft Vattenfall)
- Fahrzeughersteller
- Stadt / Öffentlichkeit / Verwaltung
- Hersteller / Lieferanten
- Standardisierungs- und Normeninstanzen

Darüber hinaus wurden die technischen Anforderungen in verschiedene Bereiche unterteilt. Die Analyse wurde in einzelnen Arbeitspaketen durchgeführt.

Ergänzt wurde der Anforderungskatalog durch die Anforderungen, die sich aus den Anwendungsfällen ergeben. Außerdem sollen die Anwendungsfälle hinsichtlich der Eignung für den Probebetrieb bzw. für die Nutzung der Anwendungen des Gesteuerten Ladens priorisiert werden.

Aus dem „Funktionalen Lastenheft“ wurden im Laufe des Entwicklungsprozesses „Blaupausen“ generiert. Eine Blaupause spiegelt hier eine konkrete Variante aus mehreren möglichen Varianten wider. Die Blaupause dient als Spezifikations-, Produktions- und Kalkulationsgrundlage für einen Lieferanten.

Parallel zur Anforderungsermittlung soll über die Kommunikation mit verschiedenen Marktteilnehmern die Grundlage für die Lieferantenauswahl im Deliverable 3.3 gelegt werden.

4.3.2.3 Vorgehen / Methodik

Zunächst wurden in den AP 3.1.1 bis 3.1.5 die Anforderungen der verschiedenen Stakeholder erfasst und analysiert.

- Die Anforderungen umfassen folgende Sichten:
- AP 3.1.1 Nutzersicht (auch als Basis für eine Nutzerevaluation und Expertentests im Deliverable 3.2)
- AP 3.1.2 Betriebliche Sicht und Sicht sonstiger Stakeholder
- AP 3.1.3 Fahrzeugseitige Sicht
- AP 3.1.4 Wind-to-Vehicle-Sicht
- AP 3.1.5 Vehicle-to-Grid- und AAA (Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung)-Sicht

Die verschiedenen Anforderungen wurden in AP 3.1.7 über einen die gesamte Projektlaufzeit andauernden iterativen Entwicklungsprozess gesammelt. Am Ende dieses Prozesses steht nach Konsolidierung ein funktionales Lastenheft für die Ladeinfrastruktur V2.0.

Zusätzlich wurden in AP 3.1.6 die Anwendungsfälle definiert und die sich daraus ergebenen Anforderungen zum Lastenheft hinzugefügt.

Basierend auf dem Wissen aus den AP 3.1.1 bis 3.1.7 wurde die Suche nach potentiellen Entwicklungspartnern für den Aufbau der Ladeinfrastruktur in AP 3.1.8 aufgenommen.

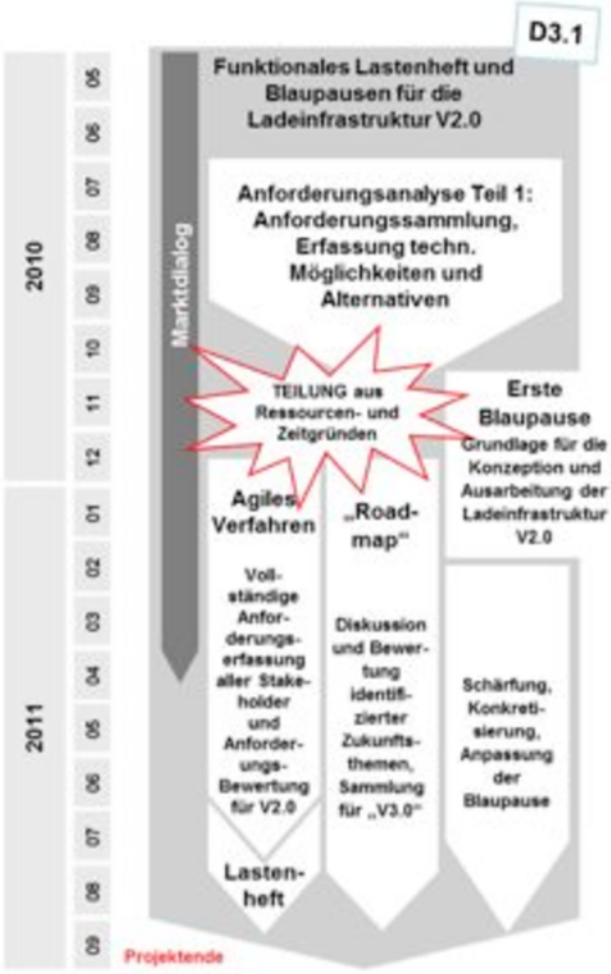


Abbildung 99: Zeitlicher Ablauf D3.1

4.3.2.3.1 Blaupause – technische Anforderungsliste für Entwickler

Eine erste Version der Anforderungserfassung und -bewertung war die Grundlage für die Blaupause. Die Blaupause ist die Grundlage für die Konzeption und Ausarbeitung der Ladeinfrastruktur V2.0. Hier werden die technischen Voraussetzungen für die Ladeinfrastruktur aufgelistet. Die Blaupause ist in diesem Sinne ein umsetzungsfähiges Konzept. Im Laufe des Projektes kam es zu einer Schärfung, Anpassung und Konkretisierung der Blaupause. Dies war auch durch den mehrfachen Lieferantenwechsel nötig.

4.3.2.3.2 Das funktionale Lastenheft

Das funktionale Lastenheft beinhaltet eine vollständige Anforderungserfassung, aller Stakeholder sowie Anforderungsbewertungen für die V2.0.

4.3.2.3.3 Agiles Verfahren zur Erstellung des Lastenheftes

Für den iterativen Ablauf bei der Erstellung des funktionalen Lastenheftes wurde auf Grund der Komplexität des Gesamtvorhabens und des engen Zeitrahmens ein Verfahren benutzt, das die Anforderungen und die daraus abgeleiteten Entwicklungen miteinander verzahnt. Das Verfahren wird als „Agiles Verfahren“ definiert. Zeitlich kurze Feedbackschleifen zwischen Anforderer und Entwickler gewährleisten eine kurze Entwicklungszeit bei einem hohen qualitativen Ergebnis. Durch sukzessive Schärfung der Anforderungen entwickelt sich das Lastenheft parallel mit dem Produkt. Auf Grundlage der Anforderungen aus dem Agilen Verfahren wurde ein vorläufiges Lastenheft – eine erste „Blaupause“ die eine von vielen Lösungsmöglichkeiten beschreibt – erarbeitet.
Das Agile Verfahren ermöglichte uns die folgenden Randparameter:

- Funktionaler Backlog statt klassische Lastenhefterstellung
    - Anforderungsspezifikation wird während der gesamten Projektlaufzeit vervollständigt
- System Backlog statt klassische Pflichtenhefterstellung
    - Technische Spezifikation wird pro Anforderung erstellt
    - ermöglicht schnelle Implementierung der geklärten Anforderungen
- Erprobung statt Abnahmeverfahren
    - Funktionalitäten werden vorgeführt und ggf. einzeln abgenommen
    - im Probebetrieb werden Funktionen erprobt und ggf. neue Anforderungen definiert
- Erfahrung statt Big-Bang
    - ermöglicht frühe Inbetriebnahme und ein „Herantasten“ an eine gemeinsame Lösung

Zur Entwicklung, Analyse und Bewertung der Anforderungen wurde folgendermaßen vorgegangen.

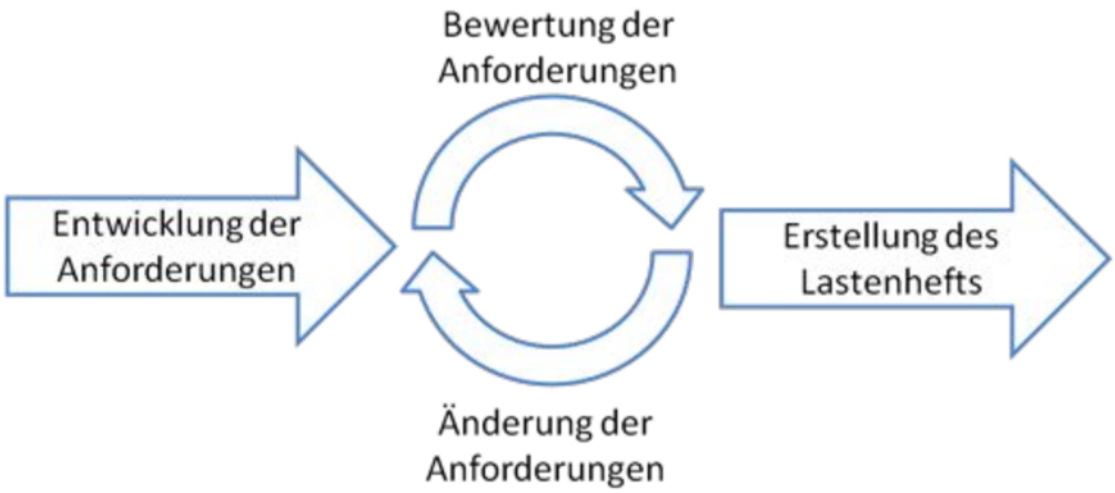


Abbildung 100: Vorgehen im Agilen Verfahren

Phase I : Entwicklung der Anforderungen

1) Definition von Use Cases
2) Definition von Anforderungs- und Entwicklungsverantwortlichen
3) Initiale Entwicklung der Anforderungen durch die Anforderungsverantwortlichen

Phase II: Iterative Bewertung durch Entwicklungsverantwortliche

1) Check der bisher eingetragenen Anforderungszuordnung (ggf. Ergänzung)
2) Statusangabe zu Anforderungen prüfen (ggf., Ergänzung)
3) Rückmeldung in gelbe Kommentarspalte eintragen und Dialog mit dem Anforderungsverantwortlichen aufnehmen
4) Fragen der Anforderungsverantwortlichen zu den Use Case-Paketen beantworten
5) Änderungen der Ablaufdiagramme in den Use Case-Paketen vornehmen
6) Statusangabe aus Sicht des Entwicklungsverantwortlichen angeben

Phase III: Iterative Änderung von Anforderungen durch die Anforderungsverantwortlichen

1) Check der bisher eingetragenen Anforderungen (ggf. ergänzen, ändern oder löschen)

2) Abgleich und Prüfen der Anforderungen in den Use Case-Paket-Dokumenten (Word-Doku mit Use Case-Flussdiagrammen). Dazu in die gegliederten Dokumente hineinarbeiten
3) Abstimmung mit dem Entwicklungsverantwortlichen (=Adressaten) der Anwendung
4) Aktualisieren des "Status Anforderung" in Spalte G. (Änderungen einer Anforderung in den Historiespalten eintragen)
5) Übergabe der Controllingdatei an den nächsten Anforderungsverantwortlichen

Phase IV: Erstellung des Lastenhefts

Die Anforderungsverantwortlichen übernahmen somit jeweils aus ihrer Perspektive die Verantwortung für die Formulierung und Dokumentation der Anforderungen. Darüber hinaus sind sie Ansprechpartner für den Entwickler und nehmen die Anforderung ab. Die Entwicklungsverantwortlichen hingegen übernahmen jeweils für ihre Simulation, LI-Hardware, SW Applikation oder EV die Verantwortung für die Umsetzung und Realisierung der Anforderungen.

4.3.2.3.4 Roadmap – Sammelstelle für Konzepte, Ideen & Anforderungen der LI V3.0

Die über die Anforderungen an die Ladeinfrastruktur V2.0 hinausgehenden Anforderungen wurden bewertet und in eine „Roadmap“ überführt. Diese Vorgehensweise konnte sicherstellen, dass die identifizierten Hauptanforderungen aus Q4/2010 realisiert wurden. Die Roadmap versammelt Konzepte, Ideen und Anforderungen für zukünftige Ladeinfrastrukturen – im Projekt auch unter dem Stichwort „Version 3.0“ geführt.

4.3.2.3.5 Sicherstellung der Einhaltung relevanter Normen im Lastenheft durch die Taskforce „Normenabgleich“

Während des Erstellens des Lastenheftes waren Standards und Normen eine wichtige Basis für die Entwicklungsarbeiten. Deshalb wurde die Taskforce „Normenabgleich“ mit der Aufgabe, relevante Normen aus dem Bereich Elektrik und Kommunikation zu identifizieren und mit den Anforderungen abzugleichen, gegründet. In der Taskforce wurden die Projektpartner BMW, TUB, TUC und Vattenfall repräsentiert. Jede Gruppe überprüfte die für ihre Arbeitspakete wichtigen Normen und Standards. Anschließend wurden diese

Informationen zusammengetragen und für das Projekt bewertet. Die Informationen sind ebenfalls in das funktionale Lastenheft eingeflossen. Empfehlungen, wurden erarbeitet und im ersten Schritt in der zuständigen Normungsstelle eingebracht. Für die weiteren Evolutionsschritte der Ladeinfrastruktur sind diese sich entwickelnden Standards und Normen in der jeweils gültigen Fassung zu berücksichtigen.

Die folgende Grafik zeigt eine Übersicht über die internationale Normenlandschaft, in der dieses Projekt aufgehängt ist. Berücksichtigt wurden nicht nur die internationalen Normenlandschaften, sondern auch die nationalen Vorschriften und Normen.

Abbildung 101: Übersicht internationale Normenlandschaft

Im Bereich der Standards und Normen werden im europäischen Bereich derzeit der technische Rahmen für die Elektromobilität diskutiert und beschlossen. Oberstes Ziel bleibt dabei der Schutz gegen den elektrischen Schlag, unabhängig von örtlichen Gegebenheiten und den äußeren Bedingungen (Regen und im Freien aufgestellt).

4.3.2.3.6 Definition der Anwendungsfelder und Abgleich mit Anforderungskatalog

Neben den Anforderungen der Stakeholder wurden auch die Anwendungsfelder (AP 3.1.6) zukünftiger Ladeinfrastrukturen definiert und aus technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht bewertet. Anforderungen, die sich aus den Anwendungsfeldern ergaben, wurden im Lastenheft ergänzt. Anschließend wurden die Anwendungsbereiche hin-

sichtlich der Eignung für den Probebetrieb bzw. für die Nutzung der Anwendungen des Gesteuerten Ladens priorisiert.

4.3.2.3.7 Mit dem Wissen der Anforderungen an die LI wurden geeignete Entwicklungspartner identifiziert

Außerdem wurde ein Marktdialog mit verschiedenen potentiellen Entwicklungspartnern durchgeführt um mögliche Partner für die Entwicklung einzelner Komponenten oder im Idealfall kompletter Ladeinfrastrukturen zu finden bzw. aufzubauen. Hier wurde zunächst der Kreis der potentiellen Entwicklungspartner durch Studium und Analyse von Medien eingegrenzt. Eine weitere Eingrenzung erfolgte durch gezielte Fachmessebesuche zur ersten Einschätzung der Leistungsfähigkeit der möglichen Partner. Interessante Firmen wurden im Rahmen von Werksbesichtigungen sowie direkten Gesprächen mit Geschäftsführung und Technischer Entwicklung auf ihre Leistungsfähigkeit überprüft.

4.3.2.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.3.2.4.1 Nutzerbefragung zum Thema Gesteuertes Laden im öffentlichen Raum

Ausgehend von den Ergebnissen aus MINI E Berlin 1.0 und allgemeinen Usability-Richtlinien wurde ein Katalog an potentiellen Funktionalitäten für die Ladeinfrastruktur erstellt und daraus die Themenbereiche für die Anforderungsanalyse abgeleitet (siehe 4.2 Anforderungen der Privathaushalte).

Basierend auf der Anforderungsanalyse entwickelte die TU Chemnitz ein Befragungsinstrument und passte dies an drei unterschiedliche Nutzergruppen an:

- Gruppe 1: 14 MINI E-Nutzer aus MINI E Berlin 1.0 (Telefoninterview)
- Gruppe 2: 11 langjährige Elektromobilitätsnutzer (Telefoninterview)
- Gruppe 3: 11 Nutzer ohne Erfahrung mit Elektromobilität (Fragebogen)

Anschließend fand die Befragung der Nutzer sowie die Auswertung der Daten statt. Daneben kam eine Fokusgruppe mit sieben Teilnehmern als Expertenverfahren zum Einsatz.

Die Erhebung der Anforderungen und Wünsche von (potentiellen) Nutzern an die Ladeinfrastruktur ergab, dass sich erfahrene Nutzer von unerfahrenen Nutzern in einigen Anforderungen deutlich unterscheiden. Dies betraf z.B. die Bedenken hinsichtlich der langen Ladezeit oder optimale Standorte für öffentliche Ladestationen.

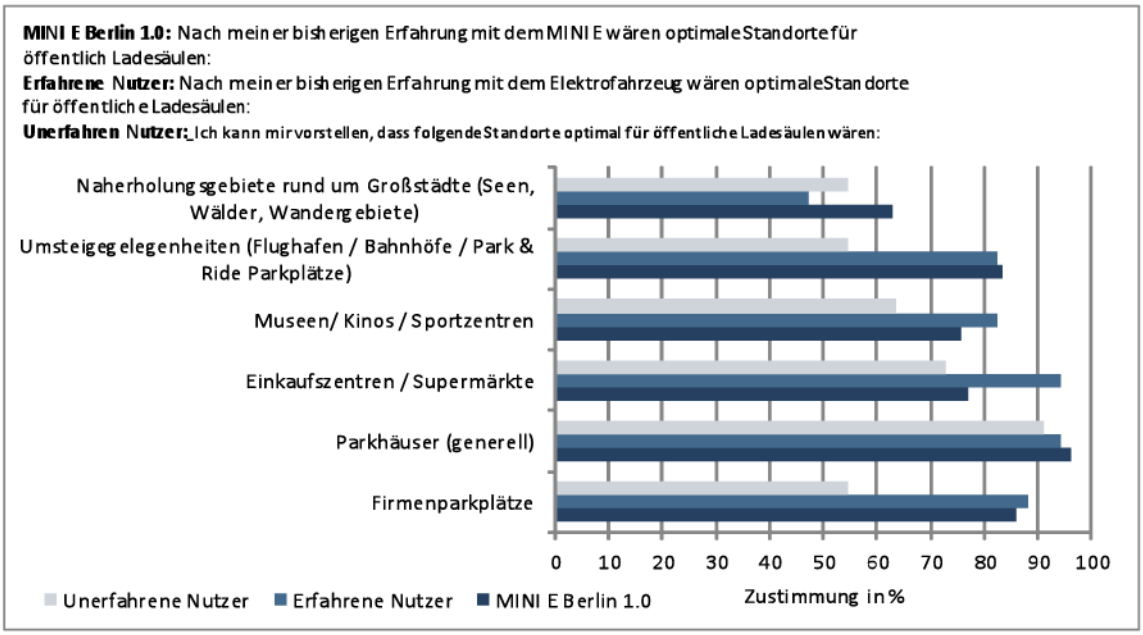


Abbildung 102: Optimale Standorte für öffentliche Ladestationen

Für die weitere Entwicklung der Ladeinfrastruktur sind Anpassungen sowohl bei der „Hardware“ (Ladestation) als auch bei Mehrwertdiensten und des Gesamtsystems notwendig. Vor allem für die Netzabdeckung / Anzahl der Ladeinfrastruktur ergibt sich, dass diese weiter ausgebaut werden muss, um auch „Laternenparkern“ das Laden im Allgemeinen sowie Gesteuertes Laden zu ermöglichen. Hier wiederum besteht ein Wider-

spruch zwischen den dann langen Anschlusszeiten der Fahrzeuge und dem Wunsch der Nutzer, jederzeit eine freie Ladestation zur Verfügung zu haben bzw. sich nicht auf lange Wartezeiten einstellen zu müssen. Denkbare Lösung ist dafür eine zweigeteilte öffentliche Ladeinfrastruktur: Neben Ladestationen, an denen Gesteuertes Laden möglich ist, könnten Stationen zum Kurz- und Zwischenladen zum Einsatz kommen, ähnlich wie bei Kurzzeitparkplätzen. Für diesen Fall wären die Gestaltung der Stationen (Funktionalitäten, Autorisierungskonzept) aber auch Funktionen von Applikationen (z. B. Reservierungsfunktion) neu zu überdenken und zu evaluieren. Teile hieraus sind Bestandteil einer Roadmap.

Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den hier berichteten Ergebnissen um Wünsche der Nutzer handelt ohne Beachtung der technischen Umsetzbarkeit bzw. der Vereinbarkeit mit gesetzlichen Regelungen oder Standards.

4.3.2.4.2 Anforderungen der Stakeholder an die Ladeinfrastruktur

Die Anforderungsanalyse aus betrieblicher Sicht und Sicht sonstiger Stakeholder wurde durchgeführt (AP 3.1.2).

Jede Gruppe hat unabhängig voneinander ihre Anforderungen über unterschiedliche Methoden formuliert. Folgende Themen- und Anforderungsbereiche können hier beispielhaft für jede Gruppe genannt werden:

4.3.2.4.3 Nutzergruppen

Privathaushalte

- Das Kabelhandling sollte möglichst einfach sein (Länge und Gewicht des Ladekabels wirken hinderlich).
- Das Verschmutzungspotential durch das Ladekabel soll minimiert werden.
- Der Betriebszustand soll nach Anschluss an die Ladeinfrastruktur angezeigt werden.
- Sofortladung soll direkt einschaltbar sein.
- Mechanische Sicherung des Kabels bzw. der beiden Stecker an den Ladepunkten (Fahrzeugseitig und Ladeinfrastruktur) soll möglich sein.
- Feedback zum sicheren elektrischen Kontakt der Anschlüsse an den Ladepunkten soll gegeben werden.

- Die Anzeigen sollen auch bei schlechter Beleuchtung gut lesbar sein (hoher Anteil an Nachtladungen).
- Die Ladedauer soll möglichst kurz sein.

Flottenbetreiber

- Jeder Ladepunkt soll einzeln abgerechnet werden können.
- Die Zuordnungen „Nutzer – Fahrzeug – Ladepunkt – Abrechnung“ soll möglich sein.
- Die Zuverlässigkeit des Ladesystems, inklusiver aller Komponenten, muss sehr hoch sein, da durch den Ausfall des Systems hohe Folgekosten generiert werden.
- Eine technische Erweiterung auf Grund einer erhöhten Anschlussleistung durch zeitgleiche Ladung der Elektrofahrzeuge am Netzanschlusspunkt sollte möglichst vermieden werden.

Betreiber

- Die Installationskosten für die Ladeinfrastruktur sind auf niedrigem Niveau zu halten, bevorzugte Lösung: „Plug & Play“ (Installation einer einfachen Ladestation ohne Abnahmeerfordernis durch einen Betreibervertreter).
- Service und Wartung soll einfach und günstig zu realisieren sein.
- Möglichkeit der Fernwartung.
- Aufbau der elektrischen Systemkomponenten in Modulbauweise für einen schnellen Wechsel im Reparaturfall.
- Ladeinfrastrukturherstellung in Modulbauweise für unterschiedliche Anforderungen (Plattformkonzept).
- Hohe funktionale Stabilität des Gesamtsystems Ladeinfrastruktur soll gewährleistet sein.
- Stabile Backendanbindung für den Datentransport und Steuerung des Systems.

OEMs

- Die Ladeinfrastruktur soll eine Breitbandkommunikationsmöglichkeit zur Verfügung stellen, mit dem Ziel, Internetinhalte in das Elektrofahrzeug laden zu können.
- Die Nutzerfreundlichkeit des Gesamtsystems hat eine hohe Bedeutung.

- Eingabe von Steuerparametern über Smartphones (Apps) soll ermöglicht werden.
- Gefordert wird das Prinzip: Plug & Charge, d.h. keine separate Anmeldung des Nutzers, unabhängig von der Technik, wie z.B. über RFID-Karten, an der Ladeinfrastruktur. Die Zuordnung und Anmeldung an der Ladeinfrastruktur soll durch das Anstecken des Kabels am Ladepunkt automatisch erfolgen.
- Die technische Hoheit muss beim Elektrofahrzeug bleiben. Das heißt, dass die Energiemenge, die angefragt und zugesagt wurde, durch die Infrastruktur bereitgestellt werden muss. Die Ladeinfrastruktur darf somit nicht, ohne eine Nachverhandlung mit dem Elektrofahrzeug, den Ladevorgang abbrechen.
- Durch eine Einschränkung der Nachverhandlungen, veranlasst durch die Ladeinfrastruktur, soll ein Schwingen zwischen der Batterie und Ladeinfrastruktur verhindert werden. (Lebensdauer der Batterie würde sich verringern).
- Die Einfachheit des Gesamtsystems soll den „Spaßfaktor“ erhöhen.

Stadt / Öffentlichkeit / Verwaltung

- Kriterien wie bei Stadtmöbeln sind gefordert, z.B. Verteilerkästen.
- Baugröße möglichst klein und unaufdringlich.
- Keine Nutzung zur Werbung (keine Litfaßsäule).
- Logo des Betreibers soll nicht auffällig angebracht sein.
- Kombination mit einer Parkraumbewirtschaftung favorisiert.
- Anschlusskabel zwischen Ladeinfrastruktur und Fahrzeug können Stolperfallen für Fußgänger darstellen.

Hersteller / Lieferant

- Die technischen Anforderungen sollten in einem zeitlich überschaubaren Rahmen zu entwickeln sein.
- Keine überdurchschnittliche Komplexität des Ladeinfrastruktur-Systems.
- Konzentration zur Entwicklung von ein bis zwei Lösungen.
- Plattformstrategie für unterschiedliche Varianten und Ausprägungen.

Standardisierungs- und Normungsinstanzen

- IEC 61851-1, -11 (Mode 3)
- EN 61000-6-1 (Elektromagnetische Prüfung)
- EN 61000-6-3 (Elektromagnetische Verträglichkeit)

- ISO 15118 CD2 (Vorgaben für den Verhandlungsprozess zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur)

4.3.2.4.4 Anwendungsbereiche

Der Begriff „Anwendungsbereich“ beschreibt jeweils eine Konstellation aus Standort des Ladepunktes, Nutzertyp und Elektrofahrzeug. Es wurden acht Anwendungsbereiche definiert:

- Home Laden (vorwiegend nachts bis 10 Uhr morgens).
- Laden an Arbeitsstelle (tagsüber).
- Laden im semi-öffentlichen Raum (Ladezeiten tagsüber, meist kürzer als 2h).
- Laden im öffentlichen Raum (Laternenparker).
- Laden einer Firmenflotte im Firmeneinsatz (Lieferverkehr).
- Laden von Mietfahrzeugen (Kurze Ladezeiten).
- Laden im Freilandlabor (TU Berlin).
- (DC- Schnellladen) (unter 20 Minuten, öffentlich & privat).

Alle Anwendungsbereiche sind definiert durch typische Nutzer-EV-LI-Konstellation, die ein Gesteuertes Laden ermöglichen. Aus den Anforderungsbereichen wurden neue Anforderungen identifiziert und in das funktionale Lastenheft überführt. Beispielsweise ergab sich aus dem Anwendungsbereich „Laden einer Firmenflotte im Firmeneinsatz“ die Anforderung, dass es möglich sein muss, bezogenen Strom über den Netzanschluss der Firma abzurechnen.

Bewertungskategorien	Anwendungsbereiche	Home Laden	Laden an Arbeitsstelle	Laden im Semi-öffentlichen Raum	Laden im öffentlichen Raum	Laden einer Firmenflotte im Firmeneinsatz	Laden von Werkfahrzeugen	Laden im Freilandlabor	DC Schnellladestationen
	Beschreibung	Vorwiegend nachts bis 10 h	Tagsüber und Arbeitszeit bis 8 h	Ladezeiten tagsüber <2 h	Laternenparker	Liefereinsatz	Kurze Ladezeiten	TUB Berlin	DC offboard, <20 min, Privat & öffentl.
	Beispiel / Kriterien		Vattenfall	REWE	Stadtverwaltung Berlin	DHL, Hermes, Gewerbe..	Europcar DB Car Sharing	TUB	
Technik	Techn. Komplexität	++ (gering)	+	o	--	+	-	++	o
	Org. Komplexität	++	+	o	--	+	-	++	o
	...								
Ökonomie	Wirtschaftl. Attraktivität	o	+	o	--	++	+	--	++
	Park-/Mobilitätsvorteil	o	o	+	++	o	o	o	++
	Akzeptanz GL	-	++	+	o	++	+	++	--
	Marktentwicklung	++	+	o	o	+	+	+	-
	Skaleneffekte	++	++	+	o	o	+	--	+
Ökologie	Effiziente EE-Nutzung	+	o	o	o	+	+	++	+
	GL + Einbindung EE	+	o	+	o	+	+	+	-
	GL + Systemstabilisierung	o	+	+	o	+	o	+	-
	...								

Abbildung 103: Bewertung der Anwendungsbereiche

Die Bewertung aus technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht führte zu der Erkenntnis, dass die Anwendungsbereiche Laden am Arbeitsplatz, Laden einer Firmenflotte im Firmeneinsatz und Laden im Freilandlabor am geeignetsten für einen Probebetrieb wären: Während des Probebetriebs sollte eine größtmöglicher Zuverlässigkeit und Aussagekraft der aufgenommen Daten und Informationen gewährleistet werden. Außerdem sollte u.a. durch den Ausschluss einer zufälligen Nutzung der Ladeinfrastruktur eine möglichst kontrollierbare Probeumgebung geschaffen werden. Zwischen Ladeinfrastruktur und Elektrofahrzeug sollte eine eins zu eins Zuordnung geschaffen werden und die isolierte Verprobung von Störungen und „Sonderabläufen“ war zu gewährleisten. Wichtig waren zusätzlich ein einfacher Zugang zum Standort sowie die Messbarkeit eines geeigneten Netzes.

Diese vielfältigen Rahmenbedingungen für den sehr kurzen Probebetrieb, in dem viele komplexe Anwendungen getestet werden sollten, fiel die Entscheidung doch nur einen Anwendungsbereich genauer zu betrachten. Die Entscheidung fiel auf den Anwendungsbereich Laden am Arbeitsplatz, präsentiert durch den Vattenfall-Standort Prinzregentenstraße.

4.3.2.4.5 Marktdialog

Auf Grund der kurzen Zeitspanne war es wichtig, von Anfang an mit Entwicklungspartnern in Kontakt zu treten. Nach Abschluss des dreistufigen Auswahlverfahrens für einen Entwicklungspartner (siehe D3.3) wurde klar, dass aufgrund der komplexen Anforderungen aus dem Projekt unabhängig vom Anbieter eine intensive technische Unterstützung durch das Projekt erfolgen muss.

Um diesen Aufwand zu minimieren und um innerhalb der Projektlaufzeit ein optimales Ergebnis erzielen zu können, fiel die Wahl auf Lieferant 1, welcher bereits im Frühjahr/Sommer 2010 das Auswahlverfahren für ein anderes Elektromobilitätsprojekt gewonnen und gute Ergebnisse geliefert hatte.

Nach anfänglich guten Fortschritten bei der hardware- und elektrotechnischen Entwicklung, stellten sich bei der Softwareentwicklung (PLC-Kommunikation und Zugriff auf Steuer- und Regelfunktionen) der Ladeinfrastruktur zunehmende Verzögerungen ein.

Um den Projekterfolg inhaltlich und zeitlich sicherzustellen, wurden weitere Gespräche mit den weiteren Anbietern des Auswahlverfahrens geführt.

Nach technischen und kommerziellen Verhandlungen mit den Anbietern wurde der Hersteller 4 aus kommerziellen Gründen nicht beauftragt. Die Wahl fiel aufgrund guter technischer Kompetenz und günstigerer Gesamtentwicklungskosten auf Hersteller 5 (bzw. Lieferant 2). Aufgrund des projektbedingten Zeitdrucks wurde parallel zu den kommerziellen Verhandlungen direkt mit der technischen Entwicklung begonnen. Doch schon bei der technischen Umsetzung zeigten sich starke methodische Differenzen, die eine erfolgreiche Fortführung der Zusammenarbeit in Frage stellten.

Nach einer Abkehr von dem Lieferanten 2 entschied man sich für Lieferanten 3, da er schnelle Entwicklungszeiten versprach und geringe Entwicklungskosten forderte.

Diese Lieferantenauswahl fand im Deliverable 3.3 statt. Überprüft wurden die Fähigkeiten der Lieferanten in den Bereichen Elektromechanik und Software. Im Nachgang zu den technischen Bedingungen wurde der kommerzielle Rahmen als Auswahlkriterium gewählt.

4.3.2.4.6 Technische Anforderungen an die Ladeinfrastruktur (Blaupause)

Die Anforderungen des finalen Lastenhefts wurden in einer produktionsnahen Blaupause aufbereitet. Die Blaupause diente den Lieferanten als Grundlage für die eigene Spezifikation und letztendlich für die Produktion der ersten prototypähnlichen Wallboxen.

Im Laufe des Projektes kam es zu einer Schärfung, Konkretisierung aber auch Anpassung der Blaupause. Modifizierungen der Anforderungen sind unter anderem mit dem Lieferantenwechseln und dem wachsenden Zeitdruck zu erklären. Beispielsweise war zunächst in der Blaupause eine Anforderung an den Lieferanten (in diesem Falle Lieferant 1 und Lieferant 2), eine Ladesäule zu liefern. Diese Anforderung wurde beim erneuten Lieferantenwechsel nicht mehr gestellt, auch eine wandhängende Konstruktion wurde akzeptiert. Grund hierfür war, dass der Lieferant 3 nur eine Wallbox als Grundlage der Entwicklungen zur Verfügung hatte.

Bezeichnung	Beschreibung	Priorität
Allgemein	○ Alle Komponenten müssen Normkonform ausgeführt sein	1
Schutzart	○ Mindestens IP44 für das (Gehäuse) Gesamtsystem	1
Äußerer Temperaturbereich	○ -25°C bis +50°C	1
Oberfläche	○ Anti-Graffiti-Schutz muss möglich sein ○ Eigene Farbwahl muss möglich sein ○ Oberfläche muss mit eigenen Corporate Design versehen werden können und muss vom Hersteller umgesetzt werden können	1
Hochwasserschutz	○ 30cm elektrisch unbebaute Grundhöhe	1
Potentialausgleich	○ Haupterdungsklemme muss vorhanden sein, Mindesthöhe 30cm (Hochwasserschutz) ○ Erdungskonzept für Fundament muss bereitgestellt werden	1
Fundament	○ Max. Bautiefe 50cm	1
Ausstattung eines Ladepunkts	○ IEC-Typ2 Buchse, Mode3-Kompatibel ○ Schuko Buchse ○ RFID-Sender/Empfänger für Myfare Desfire ○ Optische Ladestatusanzeige (z.B. grün blinkende Leuchte etc.)	1 3:Display pro Ladepunkt 3: RFID pro Ladepunkt
Display	○ Muss gut ablesbar sein, sowie im gesamten genannten Temperatur-bereich ablesbar sein. ○ Inhalt muss über Applikationen veränderbar sein ○ Muss für jeden Ladepunkt vorhanden sein, eindeutige Verortung für den Nutzer, Höhe sollte Norm für Geldautomaten (ca. 1,50m) betragen.	1 3:Display pro Ladepunkt
Bedienelemente	○ Idealerweise kommt eine Ladesäule ohne Bedienelemente aus ○ Falls vorhanden müssen die Bedienelemente vandalismussicher aufgebaut sein	1

Abbildung 104: Zweite Blaupause

Im Folgenden sollen beispielhaft einzelne technische Anforderungen aus den Blaupausen und deren Umsetzung in der Ladeinfrastruktur V2.0 näher beschrieben werden:

- **Möglichkeit der Fernwartung**

  Eine wesentliche Erkenntnis aus dem MINI E Berlin 1.0 Projekt waren die hohen Aufwendungen für den Betrieb der Ladeinfrastruktur.

  Aufgrund der flächigen Verteilung in der Stadt mit einer geringen Standortdichte (keine Synergien möglich) wirken sich sowohl die zu bewältigenden Distanzen als auch die damit verbundenen Zeitaufwände für alle Prozessbeteiligten negativ aus. Der wirtschaftliche Betrieb für einen Infrastrukturbetreiber wird zusätzlich durch hohe Personalkosten erschwert. Außerdem wird die Nutzerakzeptanz durch lange Reaktionszeiten im Fehlerfall gefährdet.

  Aus diesen Gründen entwickelte sich die technische Anforderung, die Ladeinfrastruktur sowohl mit einer Steuerung der wichtigsten Funktionen als auch mit der Möglichkeit einer Fehleranalyse aus der Ferne auszustatten.

  Die Datenanalyse aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0 ergab, dass die Schutzeinrichtungen - wie z.B. der Fehlerstromschutzschalter - bezüglich Betreuungsaufwand und Reaktionszeit die aufwändigsten Komponenten waren. Entsprechend sollten diese in der Ladeinfrastruktur V2.0 sowohl fernschalt- als auch prüfbar ausgeführt werden. Wobei die Fernprüfung, da turnusmäßig erforderlich, einen zusätzlichen Nutzen über die Betriebszeit generieren sollte. Die Fehleranalyse aus der Ferne ermöglicht in Kombination mit einer entsprechenden Hotline den Dialog und die direkte Hilfe mit dem Nutzer vor Ort und eine zusätzliche Optimierung der Reaktionszeit und Nutzerakzeptanz.

  Die Fernschalt- und Fernprüfbarkeit wurde verworfen als die verbleibende Umsetzungszeit auf Grund der Lieferantenwechsel stark verkürzt werden musste. Dies wurde trotz der hohen betrieblichen Vorteile entschieden, weil diese Funktionalität keine zwingende Voraussetzung für die Umsetzung der Funktionalitäten des Gesteuertes Ladens darstellte (Reduktion der Anforderungen auf die für Gesteuertes Laden relevanten Funktionalitäten).

- **Modularer Aufbau der Ladeinfrastrukturkomponenten**

Aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0 ergab sich, dass der Betrieb der Ladeinfrastruktur mit hohen Reparaturkosten und großem Lageraufwand verbunden war.

Komplexe Bauformen generierten große Zeitaufwände bei den Reparaturen und dadurch entstanden hohe Personalkosten. In der Ladeinfrastruktur gab es Schnittstellen unterschiedlicher technischer Ausprägungen, die eine einfache Reparatur durch einen Servicemonteur vor Ort erschwerten. Darüber hinaus gab es einen Netzanschlussbereich, der nur vom Netzanschlusspersonal des Netzbetreibers bedient werden durfte sowie einen Zählerbereich, der nur vom Messstellenbetreiber bedient werden durfte.

Deshalb sollte bei der Neuentwicklung der Ladeinfrastruktur eine modulare Bauform in der Art umgesetzt werden, dass einzelne Komponenten einfach und schnell zu demontieren und durch Ersatzteile zu ersetzen sind.

Die Ladeinfrastruktur V2.0 sollte in der Art modular umgesetzt werden. Das wurde zum Teil umgesetzt, einige elektronischen Komponenten waren leicht zu demontieren (Steckverbinder statt geschraubter Kabel, wenige Montagepunkte der Komponenten), bei anderen Komponenten konnte diese Anforderungen aufgrund der begrenzten Entwicklungszeit nicht umgesetzt werden (z.B. Terminalbox auf der Rückseite des Gehäuses).

Durch die teilweise Umsetzung der vereinfachten Montageweise konnten teilweise Personalaufwände im Reparaturfall reduziert werden.

- **Master-Satelliten-Konzept**

  Während die Ladeinfrastruktur im Projekt MINI Berlin 1.0 in der Funktion eindimensional war (entweder Public-Säule oder Privat-Wallbox), sollten diese Strukturen aufgebrochen werden. Es sollte eine Kostenreduzierung durch synergetische Nutzung von Komponenten und eine Nutzenmaximierung durch eine flexibel einsetzbare Infrastruktur (öffentlich, öffentlich zugänglich und privat) generiert werden. Um dies zu ermöglichen, sollte das Master-Satelliten-Konzept in folgender Art entwickelt werden: Im Master sollten die für den Netzanschluss und für die Datenfernübertragung synergetisch nutzbaren Komponenten und für den integrierten Ladepunkt die Mess- und Ladefunktion enthalten, in den Satelliten sollte nur die Mess- und Ladefunktion enthalten sein.

Das Ursprungskonzept sah vor, dass auch die IT-Plattform zur Kommunikation mit dem / den Fahrzeug(en) zur Reduzierung der Systemkosten nur im Master positioniert wird. In Anbetracht der stark begrenzten Entwicklungszeit und der erforderlichen Komplexität in der Umsetzung musste hiervon Abstand genommen werden, so dass in der praktischen Umsetzung jeder Master und Satellit über eine identische elektrische und IT-Plattform verfügte. Lediglich die Parametrierung bewirkte, dass ein System zum Master oder Satelliten konfiguriert wurde.

Durch diese Entscheidung konnte Entwicklungszeit deutlich verkürzt werden. Darüber hinaus ergab sich für das Projekt eine erhöhte Betriebssicherheit: Im Falle eines Ausfalls des Mastersystems würden alle Ladepunkte (inkl. Der Satelliten) ausfallen, daher kann ein Standort mit mehreren Systemen schnell wieder zur Einsatzbereitschaft gebracht werden, wenn ein Satellit durch Umparametrierung zu einem Master umkonfiguriert wird. Damit ist ein Standort wieder schnell einsatzbereit, ohne dass der Master bereits repariert wurde.

- **PLC-Kommunikation zwischen Elektrofahrzeug und Ladeinfrastruktur**
  Bei dem Projekt MINI E Berlin 1.0 wurde Gesteuertes Laden über das direkte Schalten der Stromzufuhr seitens der Ladeinfrastruktur geregelt. Das Elektrofahrzeug konnte an dem Prozess nur als passiver Stromempfänger teilnehmen. Deshalb konnten technische Bedürfnisse im Elektrofahrzeug nicht berücksichtig werden. Außerdem war ein lokales Lastmanagement noch nicht vorhanden.

  Um beim Gesteuerten Laden die Bedürfnisse von Elektrofahrzeug, Ladeinfrastruktur, Netzanschluss und Nutzer berücksichtigen zu können, mussten Kommunikationskanäle zwischen den Beteiligten aufgebaut werden. Damit das Elektrofahrzeug mit der Ladeinfrastruktur kommunizieren kann, wurde die PLC-Technik (Powerline Communication) an die stromführenden Leitungen (L1 und N) des Ladekabels adaptiert. Damit existiert ein bidirektionaler Kommunikationsweg zwischen Elektrofahrzeug und Ladeinfrastruktur. In Folge dieser technischen Lösung, konnte ein Softwareverhandlungsprozess zwischen Elektrofahrzeug und Ladeinfrastruktur entwickelt werden, der eine einvernehmliche Berücksichtigung aller Bedürfnisse ermöglicht.

4.3.2.4.7 Funktionales Lastenheft

Das funktionale Lastenheft beschreibt die Anforderungen an die Ladeinfrastruktur. Im Laufe des Analyseprozesses stellte sich rasch heraus, dass aufgrund der Komplexität

und Vielschichtigkeit der Anforderungen eine Priorisierung zur Gewährleistung einer termingerechten praktischen Umsetzung in einer Test-Hardware zu vollziehen ist.

So wurden die im funktionalen Lastenheft aufgeführten Anforderungen nach „innerhalb der Projektlaufzeit umsetzbare“ und „künftige“ Ladeinfrastruktur strukturiert.

Die Struktur des Lastenheftes ist so aufgebaut, dass die Ergebnisse aus dem „Agilen Verfahren“ dort abgebildet werden. Im allgemeinen Teil des Lastenheftes wird die grundlegende Struktur dargestellt und beschrieben. Hierzu gehörten in erster Linie die Darstellung der Kommunikationspartner und der Kommunikationskanäle, der logische Ablauf eines Ladewunsches sowie die Beschreibung der einzelnen Funktionalitäten und ihrer Ausprägung.

Im zweiten Teil kommt die detaillierte Beschreibung von Anforderungen aus Sicht der fünf Anforderer (Ladeinfrastruktur, Elektrofahrzeug, Nutzer, Netz und Vertrieb) hinzu. Auch technische Normen und Standards werden hier berücksichtigt.

Abbildung 105: Funktionales Lastenheft (Anforderungen der Nutzer)

4.3.2.4.8 In der Roadmap wurden Anforderungen an die LI V3.0 beschrieben

Nicht alle Anforderungen konnten in der Version GL V2.0 realisiert werden, die offenen Punkte wurden in eine „Roadmap“ überführt und dienen als Grundlage für weitere Evolutionsschritte der Ladeinfrastruktur – im Projekt unter dem Stichwort „Version 3.0“ geführt. In der Roadmap sind die Anforderungen aufgenommen, die aus technischen und zeitlichen Gründen nicht für die Prototypen umgesetzt werden konnten. Die Roadmap wurde nicht für die Blaupausen herangezogen, sondern dient in erster Linie der Sammlung von konstruktiven Ideen für die Weiterentwicklung der Ladeinfrastruktur, speziell für die Hardware. Beispiele für technische Anforderungen, die in die Roadmap eingeflossen sind, sind das induktive Laden, „Plug-and-Charge“ und DC-Charging. Die Roadmap wird unter Abschnitt 6.1 „Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bereich“ näher beschrieben.

4.3.2.4.9 Grundsätzliche Funktionen der LI V2.0

Im Lastenheft wurden zwei grundsätzliche Bauformen (Ladesäule und „Wallbox“ – wandhängende Ladeinfrastruktur) für die Ladeinfrastrukturkomponenten definiert. Für den Feldversuch wurden Wallboxen gebaut und wandhängend montiert.

Es wurde ein modulares Konzept und dessen Standardisierung sowohl in Bezug auf die geräte-internen Baugruppen als auch bei der funktionalen Kombination der einzelnen Ladeinfrastrukturkomponenten angestrebt. Im Verlauf des Projekts zeigte sich, dass die Modularität voraussichtlich zukünftig nicht schwerpunktmäßig über die Hardware sichergestellt werden muss, sondern funktional über die In- und Außerbetriebnahme von einzelnen Funktionen der Hardware bereitgestellt werden kann.

Dies ermöglicht eine einfache funktionale Anpassung an das spezifische Einsatzfeld. Verschiedene hardwaremäßige Ausprägungen werden nur noch als eine Reaktionsmöglichkeit auf städtebauliche und hochbauliche Anforderungen eine Rolle spielen. Auch hier ist absehbar, dass sich mittelfristig jeweils eine bestimmte Ausprägung für die verschiedenen Anwendungsbereiche (privat, halböffentlich, öffentlich) durchsetzen wird.

4.3.2.4.10 Verhandlungsprozess zwischen Ladeinfrastruktur und Elektrofahrzeug

Es wurde ein Verhandlungsprozess zwischen Ladeinfrastruktur und Elektrofahrzeug entwickelt, welches eine primäre Funktion beim Gesteuerten Laden ist und welches im

Lastenheft dokumentiert ist. Der Verhandlungsprozess wird auch in TP4 ausführlich beschrieben.

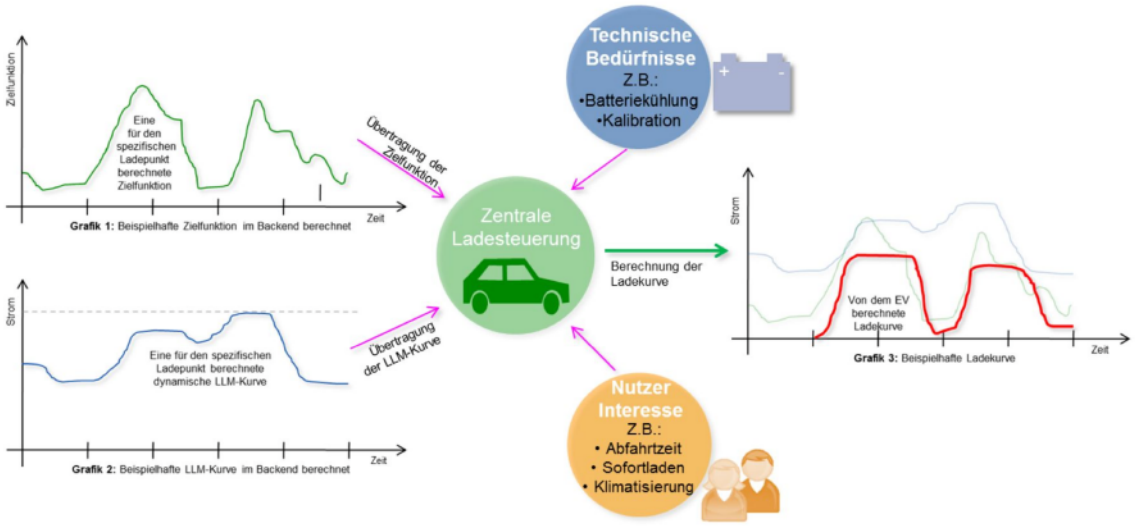


Abbildung 106: Darstellung des Verhandlungsprozesses

Das Verfahren beruht auf einer aktiven Verhandlung zwischen Ladeinfrastruktur und Elektrofahrzeug. Bei dieser Verhandlung werden folgende Informationen zwischen Ladeinfrastruktur und Elektrofahrzeug übertragen:

- Die Zielfunktion (beinhaltet eine Kombination aus Windprognose und Netzlastsituation) wird von der Ladeinfrastruktur zum Elektrofahrzeug übertragen
- Die LLM-Kurve (LLM = lokales Lastmanagement) wird von der Ladeinfrastruktur zum Elektrofahrzeug übertragen
- Im Elektrofahrzeug wird eine Ladekurve unter Berücksichtigung der Zielfunktion, der LLM-Kurve, der technischen Bedürfnisse im Elektrofahrzeug, sowie der Nutzerbedürfnisse berechnet und anschließend vom Elektrofahrzeug zur Ladeinfrastruktur übertragen.

Folgende technische Bedürfnisse werden dabei bei der Berechnung der Ladekurve berücksichtigt:

- Konditionierung der Batterie (Kühlung oder Heizen),
- Konditionierung des Elektrofahrzeugs (Klimaanlage, Enteisung etc.)
- Durchfahren einer Kalibrationskurve beim Laden der Batterie zur Vermessung der SOC-Daten der Batterie (State of Charge).

Die erfassten Daten im Elektrofahrzeug werden intern über den CAN-Bus übermittelt.

Die Daten zur Ladeinfrastruktur oder zum BMW-Backend werden über ein PLC-Modem oder über ein GSM-Modem übertragen. Das PLC-Modem wird verwendet, um die Daten zwischen dem EV und der LI zu übertragen. Das GSM-Modem wird verwendet, um die Daten zwischen dem EV und dem BMW-Backend zu übertragen.

Sind die Daten alle im EV vorhanden, berechnet das EV daraus die Ladekurve unter Berücksichtigung aller bekannten Bedürfnisse. Die LLM-Kurve ist eine einhüllende Begrenzung der maximalen Ladeströme, technische Bedürfnisse im EV sind begrenzende Parameter hinsichtlich der Ladeintensität oder der Konditionierung, alle anderen Informationen können bei der Berechnung der Ladekurve berücksichtigt werden, sie können aber auch bei Bedarf ignoriert werden.

Anschließend sendet das EV die neu berechnete Ladekurve an die LI. Die LI prüft, ob die technischen Grenzen eingehalten wurden und bestätigt anschließend die Ladekurve. Damit ist der spezifische Ladevorgang zwischen LI und EV verhandelt. Die LI garantiert dabei, dass zu jedem Zeitpunkt *mindestens* der vereinbarte Ladestrom garantiert zur Verfügung gestellt wird - das EV garantiert dabei, dass zu jedem Zeitpunkt der vereinbarte Ladestrom *nicht* überschritten wird.

Der vereinbarte Ladevorgang kann zu jederzeit vom EV nachverhandelt werden. Es muss dann jedoch die neuen begrenzenden Randbedingungen der Ladeinfrastruktur akzeptieren, die zu dem Zeitpunkt der erneuten Verhandlung vorliegen. Die Verfügbarkeit von mehr Energie bei einer Nachverhandlung kann nicht garantiert werden. Die LI kann ebenfalls nachverhandeln, jedoch max. drei Mal pro Ladevorgang, damit ein Aufschwingen des Batteriesystems vermieden wird.

4.3.3 Deliverable 3.2: Testkonzept und Evaluation

4.3.3.1 Management Summary

Im Deliverable 3.2 wurde das Evaluierungs- und Testkonzept erarbeitet, da das Zusammenspiel von dem Nutzer, der Ladeinfrastruktur, den EV´s und den Backend-Servern sehr komplex ist. Um das Testkonzept zu ermöglichen, musste ein passender Systemlieferant gefunden werden, letztendlich wurde der sechste Hersteller (siehe auch Zusammenfassungen Deliverable 3.3 und TP3), ausgewählt.

Bei der Erstellung der Testkonzepte wurden zwei wesentliche Bereiche ausgearbeitet:

- Technische Tests sollten die Funktionsfähigkeit und Stabilität der Systeme nachweisen, sowohl während und nach der Entwicklung als auch während des Betriebes.
- Usability-Tests mit Nutzern sollten identifizieren, in welcher Art die Systeme optimiert werden konnten, um die Bedürfnisse der Nutzer besser zu erfüllen. Dabei wurden die Nutzerevaluationen aus automotiver Sicht genauso wie die Evaluierungen der Nutzerakzeptanz miteinbezogen.

Gegenüber vorausgegangenen Projekten wurden die Systeme außerdem bereits während der Entwicklung ausgiebig getestet (z.B. vor einer Produktionsfreigabe) und die Nutzer wurden in den Entwicklungsprozess miteingebunden. Nach diversen Tests im Betrieb wurden zusätzlich neue Systeme basierend auf den neuesten Erkenntnissen mit verbesserten und verfeinerten Funktionen gefertigt.

Die technischen Tests wurden in zwei wesentliche Bereiche unterteilt: In das elektromechanische Testkonzept und in das Softwaretestkonzept. Diese Testkonzepte wurden für folgende Aufgaben herangezogen:

- die Erprobung der Prototypen,
- Bei der Erprobung der Prototypen konnten die relevanten Funktionen für Gesteuertes Laden getestet werden. Schwächen wurden aufgedeckt und dem Lieferanten mitgeteilt, so dass die Änderungen in das Produktdesign einfließen konnten.
- die Evaluation der Serienmuster,
- Bei der Erprobung der Serienmuster wurde erfolgreich überprüft, ob die aufgedeckten Schwächen der Prototypen behoben und dass das endgültige technische Design umgesetzt wurde.
- die Prüfung der Seriensysteme beim Lieferanten und
- Bei der Prüfung der Seriensysteme wurden erfolgreich alle Systeme auf Ihre Funktionsfähigkeit geprüft (im Rahmen der Möglichkeiten, die sich vor Ort in Singapur ohne EV´s ergaben).
- für die Evaluation im Betrieb an den Projektstandorten
- Die Evaluation im Betrieb konnte nicht umfänglich durchgeführt werden, da die EV´s um mehrere Monate verspätet bereitgestellt wurden und sich Stabilitätspro-

bleme bei den Seriensystemen im Betrieb herausstellten. Dadurch ergab sich eine stark verkürzte Testzeit, so dass die Evaluation im Betrieb nicht umfänglich durchgeführt und abgeschlossen werden konnte.

Die Durchführung der Tests haben Probleme aufgedeckt, die einen stabilen Betrieb im Rahmen des Projekts nicht ermöglicht haben. Davon sind bestimmte Probleme generell technisch beherrschbar, müssen aber noch vom Lieferanten gelöst werden:

- Verbindungsschwäche der GSM-Modems
- Softwareprobleme der RFID-Kartenleser
- Thermische Probleme in den Wallboxen

Ein technisches Problem wurde sichtbar, dass nicht vorhersehbar zu 100% technisch lösbar sein muss: Die PLC-Technik für die Kommunikation zwischen EV und LI hatte Stabilitätsprobleme, manchmal war die Verbindung schlecht, brach ganz weg oder Daten waren bei der Übertragung korrupt. Manchmal funktionierte es auch problemlos. Die Instabilität muss noch analysiert werden, derzeit gibt es nur Hypothesen, warum die Instabilität auftrat:

- Störungen aus dem Netz könnten die Datenübertragung gestört haben (Spannungsspitzen, hochfrequente Störungen bedingt durch andere Verbraucher im Netzbereich usw.)
- Die PLC-Modems waren ggf. untereinander nur begrenzt kompatibel
- Die EV´s haben evtl. Störungen aus dem Batteriemanagementsystem auf die stromführenden Leitungen übertragen (Wechselrichtereffekte).

Die Forschungsfragen aus automotiver Sicht wurden in einem mehrstufigen Prozess identifiziert, priorisiert und final definiert. Auf Basis dessen wurde ein Fragebogen entwickelt, welcher als Grundlage für die Konzeption zur Evaluierung der Nutzerakzeptanz und anschließenden Durchführung der Tests fungierte. Es bestand während der Umsetzungsphase innerhalb des agilen Verfahrens ein stetiger Austausch über den aktuellen Entwicklungsstand.

Das standardisierte Erhebungsinstrument brachte zentrale Fragen nach der Wichtigkeit von Anzeigekonzepten im Zuge des Ladeprozesses sowie Fragen zum Thema Ladestecker-/Kabel hervor.

Zur Evaluation der Nutzerakzeptanz wurde eine Expertenevaluation durchgeführt. Dabei wurden die verschiedenen Systeme aus alten Projekten und die neu entwickelten Sy-

steme von verschiedenen Nutzern an verschiedenen Projektstandorten evaluiert und getestet. Je nach Nutzergruppe ergaben die Evaluationen unterschiedliche Aussagen. In allen Evaluationen wurde die Unhandlichkeit des Ladekabels kritisiert, sowie der hohe Kraftaufwand, der erforderlich ist, um den Ladestecker an die Ladestationen anzuschließen.

Bei den Usability-Nutzer-Tests konnten die Nutzer alle verschiedenen Systeme für Ihre Ladevorgänge erfolgreich verwenden. Bei der Nutzung ergaben sich jedoch verschiedenste Probleme, Systeme mit Klappen ergaben Probleme beim Öffnen und Schließen, bei der Verwendung der RFID-Karten war oft unklar, wo diese vorzuhalten sind und die Anzeigen der Systeme gaben nicht eindeutige Hinweise bei der Nutzung.

4.3.3.2 Ziele und Aufgaben

Ziel des Deliverables 3.2 war die Erarbeitung des Evaluierungs- und Testkonzepts. Es sollte in der Art ausgeprägt werden, dass die Ladeinfrastruktur (LI) in allen Funktionalitäten geprüft und ausgewertet werden konnte. Um das zu ermöglichen, sollte in der Projektstruktur eine Auswertungsphase bestehender Erfahrungen vorangestellt werden. Zusätzlich sollte das Evaluierungs- und Testkonzept in verschiedene Teilbereiche untergliedert werden:

4.3.3.2.1 Auswertung bestehender Ladekonzepte als Grundlage aller weiteren Entwicklungen

Zunächst sollten bestehende Ladekonzepte untersucht und bewertet werden. Die Erkenntnisse daraus sollten genutzt werden, um verschiedene Ladekonzepte herauszuarbeiten, die für die Erfüllung der Projektziele relevant waren. Dabei sollten drei Ladekonzepte mit allen Projektpartnern erarbeitet werden. Um diese verschiedenen Ladekonzepte anschließend bei der Entwicklung, der Produktion und im Betrieb zu evaluieren und zu testen, sollten verschiedene Testkonzepte erarbeitet werden:

4.3.3.2.2 Technisches Testkonzept

Ein technisches Ladekonzept sollte entwickelt werden, um die verschiedenen Ladekonzepte bei der Entwicklung, der Produktion und im Betrieb testen zu können. Da die LI aus komplexer Elektrotechnik und komplexen IT-Systemen besteht, sollten die Tests in

zwei Teile unterteilt werden - die elektromechanischen Tests (EM) und die Softwaretests (IT):

4.3.3.2.3 Elektromechanisches Testkonzept (EM)

Das EM Testkonzept sollte entwickelt werden, um alle elektromechanischen Funktionen in der LI zu testen. Dabei sollten alle Funktionen (z.B. Mode3-Ladeverfahren, Sicherheitsfunktionen usw.) genauestens geprüft werden, um gewährleisten zu können, dass alle projektspezifischen Eigenschaften der Ladekonzepte umgesetzt werden konnten.

4.3.3.2.4 Softwaretestkonzept (IT)

Das IT Testkonzept sollte dazu dienen, alle Abstimmungsfunktionen zwischen dem EV, der LI und den Backends zu testen. Dabei sollten die Funktionen (z.B. Authentifizierung, Abstimmung der Ladekurven usw.) genauestens geprüft werden, um gewährleisten zu können, dass alle projektspezifischen Eigenschaften der Ladekonzepte umgesetzt werden konnten.

Bevor die Technischen Testkonzepte erarbeitet und angewendet werden konnten, sollten Nutzerevaluationen durchgeführt werden, die Aufschluss über die Nutzeranforderungen an die LI und das EV gegeben haben.

4.3.3.2.5 Tests und Evaluationen aus Nutzersicht

Bei diesem Projekt sollten die Evaluationen im engen Kontext mit der Erstellung der Testkonzepte gestellt werden. Damit sollte gewährleistet werden, dass die Wünsche der Nutzer in den Testkonzepten mitberücksichtigt wurden.

4.3.3.2.6 Nutzerevaluation aus automotiver Sicht

Ziel war die Herausbildung von fahrzeugseitigen Forschungsfragen und Anforderungen hinsichtlich der Ladeinfrastruktur 2.0. Diese Fragestellungen, welche im Spannungsfeld Kunde, EV, Ladeinfrastruktur verortet sind, sollten einer evaluativen Betrachtung im Rahmen des Förderprojektes zugänglich gemacht werden. Außerdem sollte die Skizzierung eines methodischen Vorgehens zum Test der Forschungsfragen im Fokus stehen.

4.3.3.2.7 Evaluierung der Nutzerakzeptanz: Usability-Tests und Expertenevaluation

Ziel war ebenfalls die Evaluation der vorhandenen Ladeinfrastruktur sowie von Prototypen, um Gestaltungshinweise für die Entwicklung neuer Ladeinfrastruktur geben zu können. Dazu sollte auf Basis von Erfahrungen mit den grundlegenden Themen der Benutzerfreundlichkeit der Ladeinfrastruktur aus V1.0 eine Evaluationsmethodik entwickelt werden. Das Hauptevaluationskriterium sollte die vorhergesagte Nutzungsintensität abgeleitet aus einer hohen Akzeptanz und damit einer hohen wahrgenommenen Nützlichkeit und Nutzerfreundlichkeit sein. Wesentliche Bereiche sollten der Zugang zur Ladeinfrastruktur und der Nutzerdialog (Authentifizierung und Abrechnung) sein.

4.3.3.3 Vorgehen, Methodik

Die Entwicklung und Produktion der Ladeinfrastruktur (LI) basierte auf den in der „Ersten Blaupause“ identifizierten Anforderungen (Siehe Abbildung und Erläuterung in Zusammenfassung des TP3). Die Anforderungen wurden über die Laufzeit des Projekts - unter anderem aufgrund neuer Erkenntnisse aus durchgeführten Tests - geschärft und angepasst.

Um die gewünschten Erkenntnisse aus den Tests zu erhalten, wurde ein Testaufbau in der Art erarbeitet, dass alle Anforderungen abgeprüft werden konnten. Dazu wurde ein Testaufbau in Master/Satelliten-Konfiguration ausgewählt. Die folgende Abbildung zeigt den Versuchsaufbau auf, wie er in Berlin in der Prinzregentenstr, aufgebaut wurde:

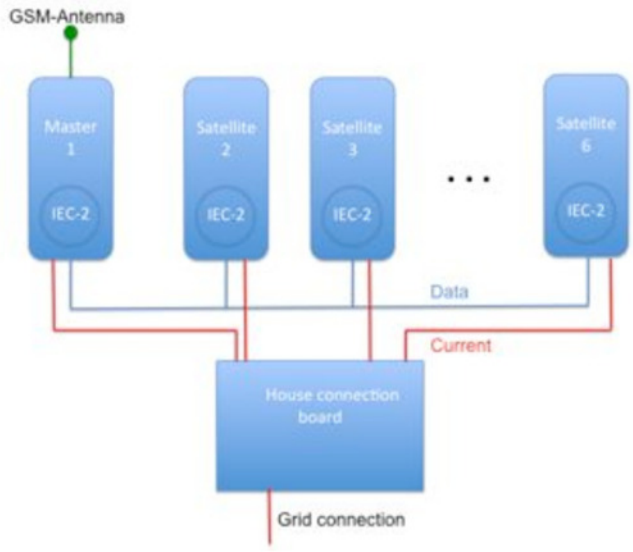


Abbildung 107: Schematischer Aufbau des Testsystems

Dabei sollte der Master in der Art konfiguriert sein, dass alle Satellitensysteme ihre Daten zum Master senden und der Master diese Daten dann zu dem Backend-Server weiterleitete. Die jeweiligen Ladepunkte in den Systemen (sowohl im Master als auch im Satelliten) wurden mit einem PLC-Modem ausgestattet, um jeweils mit den EV´s kommunizieren zu können.

Dabei sollten dann verschiedene Szenarien im Probebetrieb an den Testsystemen abgearbeitet werden, z.B. sollten E-Fahrzeuge mit einer bestimmten Batteriebeladung (SOC-Status=State Of Charge Status) angeschlossen werden und das Verhalten der Ladeinfrastruktur im Zusammenspiel mit den EV´s beobachtet werden.

Im Realbetrieb wiesen die Testsysteme leider Probleme auf, die die Stabilität beeinträchtigte. Außerdem wurden die EV´s sehr spät geliefert. Die Kombination der Ereignisse führte dazu, dass der Probebetrieb nicht durchgeführt werden konnte und die verbliebene verkürzte Testzeit mit funktionalen Tests zur Problembehebung und zur Steigerung der Stabilität aufgewendet wurde.

4.3.3.3.1 Technische Testkonzepte

Durch die Lieferantenwechsel ergaben sich jeweils neue und andere Ausprägungen technischer Lösungen, so dass die jeweiligen Testkonzepte an die jeweils neuen Gegebenheiten angepasst werden mussten. Um die Testkonzepte zu strukturieren, wurden die Tests in ein elektromechanisches Testkonzept und in ein Softwaretestkonzept unterteilt:

4.3.3.3.1.1 Elektromechanisches Testkonzept (EM)

Das EM Testkonzept diente dazu, alle elektromechanischen Funktionen in der LI zu testen. Dabei wurden alle Funktionen genauestens geprüft um gewährleisten zu können, dass alle projektspezifischen Eigenschaften der Ladekonzepte umgesetzt werden konnten. Dabei wurden folgende Funktionen bei den jeweiligen Ladekonzepten geprüft:

- Technische Erkennung von RFID-Karten
- Authentifizierung über RFID-Karte (PLC- und GSM-Kommunikation wurde nur im Softwaretestkonzept geprüft)
- Freischaltung des CP-Moduls nach Authentifizierung
- Elektrische Funktionalitäten des Mode3-Ladevorgangs (z.B. Status A/B/C, Aktivierung der Stecker-Verriegelung, Freigabe des Leistungskreises, Pausieren des

Ladevorgangs (Status C zu B und zurück von Status B zu C), Ladeende durch Betätigung des Fahrzeugschalters S2 oder durch RFID-Karten-Erkennung oder durch nichtzulässige Betriebsart Status D)

4.3.3.3.1.2 Softwaretestkonzept (IT)

Das IT Testkonzept diente dazu, alle softwarebezogenen Funktionen in der LI zu testen. Dabei wurden alle Funktionen genauestens geprüft um gewährleisten zu können, dass alle projektspezifischen Eigenschaften der Ladekonzepte umgesetzt werden konnten. Dabei konnten dann die höherwertigen Funktionalitäten geprüft werden:

- Authentifizierung entweder über RFID-Karte, PLC- oder GSM-Kommunikation.
- Übermittlung der Zielfunktion und LLM-Kurve zwischen den Backends.
- Übermittlung der Ladekurven von Fahrzeug zu Backend.
- Diverse Steuerungsbefehle zu Aufbau, Etablierung und Beenden der Kommunikation.

Die Tests waren dann erfolgreich, wenn die jeweils zu prüfenden Funktionen bei den Tests erfolgreich und reproduzierbar geprüft werden konnten.

4.3.3.3.2 Ablauf der technischen Tests

Um die Testkonzepte zu entwickeln, war eine intensive Zusammenarbeit mit den Lieferanten notwendig. Diese Zusammenarbeit verlief während des gesamten Projekts. Dazu waren verschiedene Arbeitsaufenthalte beim Lieferanten notwendig:

Zunächst wurden die Testkonzepte für die Prototypen bzw. Produktionsmuster teilweise beim Lieferanten erarbeitet. Nach der Prüfung der Systeme und der Testkonzepte beim Lieferanten und am Projektstandort in Hamburg wurde eine Produktionsfreigabe (nach dem Abschluss erfolgreicher Tests an den Produktionsmustern) erteilt. Dabei waren die Prototypen funktional bereits vollständig ausgeprägt. Die Produktionsmuster waren nicht nur funktional vollständig ausgeprägt, sondern bereits technisch zu 100% identisch mit den finalen Produktionssystemen. Nach Fertigstellung der Produktionssysteme, wurde ein Factory Acceptance Tests (FAT, Abnahmetests beim Lieferanten) durchgeführt (sowohl für EM, als auch für die IT). Der EM FAT wurde anschließend beim Lieferanten in Asien durchgeführt und aufgetretene elektromechanische Fehler oder Fehlfunktionen wurden vor Ort beim Lieferanten behoben. Der IT FAT wurde bereits vor dem EM FAT mit den Produktionsmustern am Projektstandort Hamburg durchgeführt und war eine

Voraussetzung für die Freigabe zur Durchführung des EM FAT in Singapur. Alle Tests – sowohl IT FAT, also auch EM FAT - wurden generell in Master / Satelliten-Konfiguration erprobt.

Abbildung 108: Mitarbeiterin beim Testen der Systeme in der Prinzregentenstraße in Berlin

4.3.3.3.2.1 Erprobung der Prototypen

Die Erprobung der Prototypen fand in Hamburg unter Laborbedingungen statt, da zu dem Zeitpunkt kein reales EV zur Verfügung stand. Es wurde vom Projektpartner BMW ein Fahrzeugsimulator gestellt, damit die IT-Konzepte zwischen LI und EV erprobt werden konnten. Mittels eines EV-Testsystems konnten auch die EM-Tests durchgeführt werden. Es wurden zwei Prototypen getestet, ein System in Master- und ein System in Satellitenkonfiguration.

4.3.3.3.2.2 Evaluation der Serienmuster

Die Erprobung der Serienmuster fand in Hamburg ebenfalls unter Laborbedingungen statt, da zu dem Zeitpunkt kein reales EV zur Verfügung stand. Es wurde der vom Projektpartner BMW zur Verfügung gestellte Fahrzeugsimulator genutzt, damit die IT-Konzepte zwischen LI und EV erprobt werden konnten. Mittels eines EV-Testsystems

konnten auch die primären EM-Tests durchgeführt werden. Es wurden zwei Serienmuster getestet, ein System in Master- und ein System in Satellitenkonfiguration.

Später konnten die Serienmuster unter Realbedingungen in Hamburg mit zwei realen EV´s von BMW getestet werden (IT FAT).

4.3.3.3.2.3 Prüfung der Seriensysteme beim Lieferanten

Die Prüfung (EM FAT) der Seriensysteme fand in Singapur beim Lieferanten ebenfalls unter reduzierten Laborbedingungen statt, da zu dem Zeitpunkt kein reales EV zur Verfügung stand und an dem Standort auch kein vom Projektpartner BMW zur Verfügung gestellter Fahrzeugsimulator genutzt werden konnte. Es wurde ein simulierter Backendserver genutzt, damit die IT-Funktionen zwischen LI und Backend rudimentär überprüft werden konnten. Mittels eines EV-Testsystems konnten die EM-Tests vollständig durchgeführt werden. Es wurden alle 10 Seriensysteme und die zwei Ersatzteilsysteme jeweils in Master- und in Satellitenkonfiguration getestet.

Die folgenden Tabellen zeigen die Testergebnisse im Detail. Dabei wurden bei der visuellen Prüfung verschiedene charakteristische Merkmale geprüft und besonders notiert (alle anderen Merkmale wurden auch geprüft). Es wurde die korrekte Verkabelung geprüft, die Spaltmaße bei der modifizierten Gehäusekonstruktion, die Festigkeit der Schrauben geprüft (z.B. von der Verkabelung), die Antenne und das PCB-Board (Elektronik- und Displayträger).

	Visual Inspection							
Series Nr.	PE Cable	Door Gap Left	Door Gap Right	Screws	Antenna	PCB	Comment	Visual Check
200061	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200062	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200063	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200064	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200065	OK	OK	NOK - RW	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200066	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200067	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200068	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200069	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200070	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200071	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK
200072	OK	OK	OK	Tightened	Tightened		GLV2.0	All OK

Abbildung 109: FAT-Ergebnisse in Singapur – visuelle Untersuchung

Bei der Prüfung als Master wurde die elektrische Funktionsfähigkeit geprüft, der Mode3-Ladeprozess, die Statusübergänge in dem CP-Modul (verantwortlich für den Mode3-Ladeprozess) und die Entriegelung des Steckers bei Ladeabbruch bzw. –ende.

	Functional Inspection Master					
Series Nr.	Electric	Charging Process	Comment	Initial B to C	Unlock charge stop	Electrical Check
200061	OK	OK		OK	OK	All OK
200062	OK	OK		OK	OK	All OK
200063	OK	OK		OK	OK	All OK
200064	OK	OK		OK	OK	All OK
200065	OK	OK		OK	OK	All OK
200066	OK	OK		NOK - RW	OK	All OK
200067	OK	OK		OK	OK	All OK
200068	OK	OK		OK	OK	All OK
200069	OK	OK		OK	OK	All OK
200070	OK	OK		NOK - RW	OK	All OK
200071	OK	OK	card detection issue, - RW (connector replug	OK	OK	All OK
200072	OK	OK		OK	OK	All OK

Abbildung 110: FAT-Ergebnisse in Singapur – funktionale Prüfung als Master

Wie bei der Prüfung als Master wurde die elektrische Funktionsfähigkeit in Satellitenkonfiguration geprüft, sowie der Mode3-Ladeprozess, die Statusübergänge in dem CP-Modul (verantwortlich für den Mode3-Ladeprozess) und die Entriegelung des Steckers bei Ladeabbruch bzw. –ende.

	Functional Inspection Satellite					
Series Nr.	Electric	Charging Process	Comment	Initial B to C	Unlock charge stop	Electrical Check
200061	OK	OK		OK	OK	All OK
200062	OK	OK		OK	OK	All OK
200063	OK	OK		OK	OK	All OK
200064	OK	OK		OK	OK	All OK
200065	OK	OK		OK	OK	All OK
200066	OK	OK		OK	OK	All OK
200067	OK	OK		OK	OK	All OK
200068	OK	OK		NOK - RW	OK	All OK
200069	OK	OK		OK	OK	All OK
200070	OK	OK		OK	OK	All OK
200071	OK	OK	No contact to Master, PLC defect - RW	OK	OK	All OK
200072	OK	OK		OK	OK	All OK

Abbildung 111: FAT-Ergebnisse in Singapur – funktionale Prüfung als Satelliten

Rote Einträge waren dabei Störungen (NOK = Not OK), grüne Kommentare waren dann erfolgreiche Lösungen zur Behebung der Störung (RW = reworked). Akzeptiert wurde ein Test nur dann, wenn die Störung behoben und der Test erfolgreich (ohne erneute Störung) wiederholt werden konnte.

In der Summe waren alle Tests beim FAT in Singapur nach Behebung einzelner Störungen erfolgreich.

4.3.3.3.2.4 Inbetriebnahme an den Projektstandorten

Die Inbetriebnahme der Seriensysteme fand in Berlin und in München mit deutlicher Verzögerung statt. Die Verzögerung basierte u.a. auf der verspäteten Lieferung der EV. Dann standen reale EV zur Verfügung, die jedoch nicht mit PLC-Kommunikationssystemen ausgerüstet waren. Zunächst wurden zwar die IT-Funktionen zwischen LI und Backend geprüft, aber nicht die Kommunikation zwischen LI und EV. Mittels der Mode3-Ladefähigkeit der EV´s konnten die EM-Tests vollständig durchgeführt werden. Die IT-Tests konnten aber teilweise nur eingeschränkt durchgeführt werden. Zum einen, weil die EV teilweise nicht mit PLC-Kommunikationssystemen ausgestattet waren. Zum anderen, weil die verfügbare Zeit zum Testen aufgrund von Verzögerungen bei der Lieferung der EV und aufgrund von Problemen an den Systemen selbst auftraten (Der Lieferant 3 war mehrfach in Berlin und hat versucht, die Probleme zu beheben, leider nur teilweise mit Erfolg – Im Detail wurde dazu mehr im Deliverable D3.3 beschrieben). Die Seriensysteme wurden jeweils in Master- und in Satellitenkonfiguration getestet.

Abbildung 112: Lieferant 3-Mitarbeiter bei der Fehlerbehebung in der Prinzregentenstraße in Berlin

Im Folgenden sind beispielhaft Auszüge aus der Testprozedur z.B. für die Inbetriebnahme dargestellt. Im Folgenden wird z.B. aufgeführt, wie das korrekte Verriegeln im Ladefall, Entriegeln beim Ladeende usw. abzulaufen hat (sogenannte Grundfunktionen).

2.1.1. Automatisches Verriegeln

7-Pol Stecker einstecken	Bemerkung	OK	NOK
7-Pol- Stecker kann korrekt eingesteckt werden.			
LI- verriegelt den 7-Pol-Stecker. Stecker kann **nicht** abgezogen werden.			
LED leuchtet blau			

2.1.2. Entriegeln der Stecker

7-Pol Stecker trennen	Bemerkung	OK	NOK
Ladende wird durch das EV signalisiert (entweder durch eine Taste oder durch Abziehen des Steckers am EV).			
LI entriegelt den 7-Pol-Stecker. 7Pol-Stecker kann abgezogen werden.			
LED leuchtet blau			

2.1.3. Verriegelung und Aktivierung

Bei diesem Test soll geprüft werden, ob der Ladevorgang ordnungsgemäß eingeleitet und durchgeführt wird.

Wichtig: Für diesen Test wird vorausgesetzt, dass eine Kabel bereits auf EV-Seite (oder in den Testadapter) eingesteckt wurde.

Des Weiteren sollte darauf geachtet werden, dass die Testbox eingeschaltet ist und das damit die LI den Ladevorgang einleiten kann. (eine Beschreibung der Testbox befindet sich im Anhang)

7-Pol Stecker einstecken	Bemerkung	OK	NOK
Prüfung 1 Test: „2. RFID-Kartenleser" durchführen			
Prüfung 2 Test: „5.1 Automatisches Verriegeln" durchführen.			
LED leuchtet grün			
Display zeigt an: **Willkommen** *Ladenvorgang wird gestartet*			
Display zeigt an: **Ladebereit**			

Abbildung 113: Auszug aus der Testprozedur z.B. für die Inbetriebnahme

Im Folgenden wird z.B. aufgeführt, wie technische Systeme in den Geräten zu prüfen sind. Dabei wird die jeweilige Schutzfunktion abgeprüft, inkl. der notwendigen Messungen zur Überprüfung der Funktionen (hier dargestellt die Auslösung des Fehlerstrom-

schalters und die damit verbundene Außerbetriebsetzung des Ladepunkts für jegliches weitere Laden):

2. Tests mit Hilfe der EV-Testbox

2.1. Fehlerstromschalter (FI) auslösen

Bei diesem Test muss eine EV-Testbox der Firma Mennekes verwendet werden. Bei diesem Test soll geprüft werden, ob in der LI bei einer Fehlfunktion der Fehlerstromschalter (FI) selbstständig und ordnungsgemäß auslöst. Da an einem EV kein Fehler simuliert werden kann, muss eine EV-Testbox mit entsprechender Funktion verwendet werden.
An der EV-Testbox muss ein Spannungsmessgerät angeschlossen werden, mit dem man die Auslösezeit und den Auslösestrom messen kann.
Achtung: Das Spannungsmessgerät muss **allstromsensitiv** sein da es sich in der LI um einen FI Typ B handelt.

2.1.1. Erste Messung

Schalten des FI- Schutzschalters	Bemerkung	OK	NOK
Auslösen des FI			

Auslösezeit			ms
Auslösezeit liegt im Tolleranzbereich (< 200ms)			
Display zeigt an: **Wartung**			
LED ist aus			

	Warte registriert Fehler			
	Fehler zugeordnet : • Sicherung / Fehlerstromschalter. • Hilfsschalter KFZ-Fehlerstromschalter. • Hilfsschalter Schuko-Sicherung Hilfsschalter Schuko -Fehlerstromschalter			
	Servicemitarbeiter erhält Fehlermeldung per E-Mail.			
	E-Mail enthält richtigen Ladepunkt und richtige Fehlermeldung.			

Abbildung 114: Auszug aus der Testprozedur z.B. für die Inbetriebnahme

Im Folgenden wird beispielhaft aufgeführt, wie die technische Kommunikation zum Serversystem und damit die Darstellung der Systemzustände in der Warte zu prüfen sind:

2.1. Freigabe des Ladevorganges durch die Warte (Ausbaustufe)

Freigabe des Ladevorganges durch die Warte ist in der LI implementiert		Ja	Nein

In diesem Test soll festgestellt werden, ob die Freigabe des Ladevorganges durch die Warte ordnungsgemäß funktioniert und ob die Warte die korrekten Meldungen von der LI zugesandt bekommt.

Warte gibt Ladevorgang frei	Bemerkung	OK	NOK
RFID-Karte wird von dem Kartenlesegerät erkannt und zeigt das im Display an: **Bereit** Bitte warten…			
Display wechselt zu: **Bereit** *Mustermann* ihre Autorisation war erfolgreich			
Display zeigt an: **Willkommen** *Bitte verbinden sie das Fahrzeug mit dem Kabel*			
LED leuchtet blau			
Prüfung 1 Test: „5.1 Automatisches Verriegeln“ durchführen.			
LED leuchtet grün			
Display zeigt an: **Willkommen** *Ladenvorgang wird gestartet*			
Display zeigt an: **Ladebereit**			

Abbildung 115: Auszug aus der Testprozedur z.B. für die Inbetriebnahme

4.3.3.3.3 Tests und Evaluationen aus Nutzersicht

4.3.3.3.3.1 Nutzerevaluation aus automotiver Sicht

Um die definierten Ziele zu erreichen, wurden Forschungsfragen aus automotiver Sicht erarbeitet. Dies geschah aufgrund der Komplexität des Vorhabens im Rahmen eines mehrstufigen Prozesses.

In einem ersten Schritt wurden Fragen in den für das Förderprojekt (bzw. das Teilpaket innerhalb eben dessen) zentralen Fachabteilungen des Automobilherstellers gesammelt und eine erste Kategorisierung vorgenommen. Auf Basis dieser Kategorisierung wurden in einem zweiten Schritt Machbarkeitscluster gebildet. Diese bestimmten, welche Fragestellungen im Rahmen des Projekts – unter Berücksichtigung der vorhandenen Ressourcen und methodischen Rahmenbedingungen – beantwortet werden könnten.

Auf der zweiten Prozessstufe wurden nun die geclusterten Fragen an die Fachabteilungen zurückgespielt und einem Redundanztest unterzogen. Ziel war hier, mögliche Doppplungen zu eliminieren und den Fachstellen die Möglichkeit zu geben, Ergänzungen vorzunehmen und/oder bereits eingebrachte Fragestellungen weiterzuentwickeln. Eine zusätzliche Informationsquelle, die in dieser Phase der methodischen Ausplanung verwendet wurde, waren die Ergebnisse zum Themenfeld Laden/Ladeinfrastruktur aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0.

In Schritt drei des Prozesses wurden auf Basis der final eingebrachten Fragestellungen methodisch umsetzbare Forschungsfragen formuliert und wiederum intern abgestimmt. Dies geschah zunächst in Form einer umfangreichen Longlist, welche einer kritischen inhaltlichen und methodischen Prüfung unterzogen wurde. Im Zuge dieses Reflektionsprozesses entstand schließlich eine Shortlist mit Fragestellungen, die so methodisch umgesetzt werden sollte, dass die als zentral identifizierten Frageninhalte mit ähnlicher Gewichtung einfließen konnten. Außerdem galt es darauf zu achten, den Umfang so zu reduzieren, dass er im Rahmen des AP 3.2.4 durch die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Technischen Universität Chemnitz in das eigens entwickelte und realisierte Untersuchungsdesign integrierbar war.

Im Zuge der Entscheidung für eine methodische Realisierung fiel aus Gründen der ressourcenorientierten Umsetzungsmöglichkeiten die Wahl auf einen standardisierten Fragebogen, der um offen gestellte Fragen erweitert werden konnte. Diese methodische

Herangehensweise hat sich in oben bereits angesprochenem Projekt MINI E Berlin 1.0 als sehr zielführend erwiesen.

4.3.3.3.3.2 Evaluierung der Nutzerakzeptanz

Um möglichst vielseitige Informationen in Abhängigkeit der Expertise der Nutzer zu erhalten, wurde an AP 3.1.1 angeknüpft und weitere Methoden zur Evaluation der Ladeinfrastruktur entwickelt und eingesetzt. Mit Hilfe von Expertenevaluationen (Berlin N = 3; München N = 4) wurden drei Ladestationen mit verschiedenen Interface-Varianten sowie zwei Prototypen hinsichtlich Usability-Kriterien getestet. In Testszenarien mit unerfahrenen Elektromobilitätsnutzern (N = 25) wurden zwei bestehende Ladesäulentypen auf Effizienz und Effektivität getestet und von den Probanden hinsichtlich Nutzerfreundlichkeit bewertet, um Kriterien für die Gestaltung zukünftiger Ladeinfrastruktur abzuleiten.

4.3.3.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.3.3.4.1 Technische Tests

4.3.3.4.1.1 Allgemeine Ergebnisse zur Evaluation und Test Ladeinfrastruktur

Bei der Entwicklung der LI hat sich herausgestellt, dass die ausgewählten Lieferanten ernste Probleme bei der Umsetzung der Systemfunktionen hatten. Die komplexen elektromechanischen Anforderungen und Softwareanforderungen an die LI gingen weit über die marktüblichen Anforderungen hinaus, so dass die Hersteller viele der Funktionalitäten des Gesteuerten Ladens neu entwickeln mussten. Da die Projektanforderungen in sehr kurzer Zeit umgesetzt werden mussten, bestand die Notwendigkeit einer intensiven Zusammenarbeit mit den Lieferanten.

Aufgrund der späten Beauftragung (Ursachen wurden im Deliverable D3.3 detailliert beschrieben) des dritten Lieferanten (Darstellung des Auswahl- und Beauftragungsverlaufs siehe Abbildung und Erläuterung in Zusammenfassung TP3) ergaben sich Zeit- und Ressourcenprobleme bei der Realisierung der Testkonzepte. Die zwei zuvor ausgewählten Lieferanten zeigten bei dem Versuch der Realisierung Schwächen auf technischer Ebene bzw. unzureichende Flexibilität bei der Lösung von Problemen, die bei der Realisierung auftraten. Daher wurde die jeweilige Zusammenarbeit abgebrochen, sobald erkannt wurde, dass eine zeitgerechte Realisierung der Projektziele nicht gewährleistet werden konnte.

Die Übertragung des Know-hows zum dritten Lieferanten gestaltete sich jedoch ebenfalls schwieriger und langwieriger als erwartet. Dadurch ergab sich ein unplanmäßig intensiver Betreuungsaufwand des Lieferanten in Asien.

Die Tests zu den V2G-Ladeinfrastrukturen wurden separat im Deliverable D5.3 abgehandelt, da es sich um von dem Projektpartner TU Berlin getestete Systeme handelt.

4.3.3.4.1.2 Erprobung der Prototypen

Beim ersten Lieferanten gestaltete sich die Entwicklung der Prototypen sehr schwierig. Die Herstellung der Hardware war dabei schnell erfolgt. Die Integration des Systems in die IT-Umgebung stellte sich jedoch als zeitraubend heraus. Die Bemühungen wurden abgebrochen, nachdem die Zeitabschätzungen zur Finalisierung den Projektrahmen überschritten (der Lieferant hatte speziell große Schwierigkeiten, die Softwareanforderungen umzusetzen). Daher wurde diese nicht finalisierte Lösung des ersten Lieferanten nicht getestet. Beim zweiten Lieferanten gestaltete sich bereits die Umsetzung der Hardwareanforderungen als schwierig, da der gewählte Lieferant nicht die gewünschte Flexibilität bei der Lösungserarbeitung mitbrachte. Daher wurde auch diese nicht finalisierte Lösung des zweiten Lieferanten nicht getestet. Beim dritten Lieferanten musste fast das gesamte Produkt elektromechanisch geändert werden, da es für den asiatischen Markt und Gesetzgebung entwickelt wurde. Dennoch konnte das System nach einem EM-Engineering-Workshop in Singapur beim Lieferanten schnell erarbeitet werden. Die IT-Integration wurde ebenfalls nach einem IT-Engineering-Workshop in Singapur beim Lieferanten schnell erarbeitet.

Die Prototypen wurden dann nach Fertigstellung in Hamburg elektromechanisch getestet. Kleine Abweichungen von den Anforderungen wurden identifiziert und dem Lieferanten mitgeteilt. Zwecks IT-Tests wurde ein IT-FAT in Hamburg mit den Experten des Lieferanten durchgeführt. Dabei wurden Funktionen getestet und bei Abweichung geändert. Nach dem Test erfolgten Anpassungen im IT-System auf Lieferantenseite.

4.3.3.4.1.3 Evaluation der Serienmuster

Die Serienmuster wurden ebenfalls in Hamburg elektromechanisch erfolgreich getestet. Die IT-Tests ergaben noch Abweichung von den Anforderungen, es wurde dann eine bedingte Abnahme (mit noch zu lösenden offenen Punkten) ausgesprochen, damit die Serienfertigung freigegeben werden konnte.

4.3.3.4.1.4 Prüfung der Seriensysteme beim Lieferanten

Die Seriensysteme wurden nach Fertigstellung beim Lieferanten in Singapur getestet. Dabei konnte nur ein reduzierter Test durchgeführt werden, da keine realen EV´s für die Tests zur Verfügung standen und auch ein EV-Simulator für die IT-Tests nicht verfügbar war. Es erfolgten elektromechanische Tests mit Hilfe eines Standard EV-Testgeräts, welches ein normales Mode3-Ladeverfahren simulieren kann und die verschiedenen Betriebszustandes eines EV simulieren kann. Dazu wurden alle Systeme jeweils in Master- und im Satellitenkonfiguration betrieben. Ein Backendserver wurde vom Lieferanten simuliert, um die Authentifizierung des Masters im Backend zu prüfen. Die Kommunikation zwischen EV und LI mittels PLC-Kommunikation konnte bei den Tests nicht geprüft werden. Alle Systeme haben die reduzierte Prüfung (teilweise nach diversen Nacharbeiten) bestanden.

4.3.3.4.1.5 Tests im Betrieb an den Projektstandorten

Die Evaluation der Seriensysteme fand sowohl in Berlin als auch in Hamburg statt. Dabei wurden verschiedene Phänomene beobachtet, die einen stabilen Betrieb teilweise verhindert haben. Z.B. war die Verbindung zwischen dem Master und den Satelliten nicht 100% stabil. Das führte im Störfall dazu, dass die Satelliten außer Betrieb waren und für weitere Ladevorgänge nicht zur Verfügung standen. Auch andere Probleme zeigten sich erst nach längerer Nutzung. Bei gestörter GSM-Verbindung zum Backendserver z.B. konnte das System nicht korrekt authentifizieren, da es sich in einem undefinierten Zustand befand: Wenn das System im Offline-Betrieb ist, wird eine lokale Whitelist im Master abgefragt. Wenn das System online ist, wird diese Liste im Backend abgefragt. Ist die GSM-Verbindung vorhanden, aber schwach, kann die Liste nicht korrekt im Backend abgefragt werden und der Betrieb ist gestört. Diese Störungen wurden bis zum Projektende nicht vollständig behoben, so dass die finale Fertigstellung der Systeme während der Projektlaufzeit nicht erfolgte.

4.3.3.4.2 Ergebnisse zu den Authentifizierungsmethoden

Um Tests durchführen zu können, wurden verschiedene Ladekonzepte erarbeitet. Die Ladekonzepte unterscheiden sich vor allem in der Authentifizierungsmethode, so dass die Testkonzepte daraufhingehend angepasst werden mussten. Diese Ladekonzepte wurden dann im Anschluss nach der Realisierung intensiv getestet. Folgende Authentifizierungsmethoden wurden erarbeitet:

4.3.3.4.2.1 Authentifizierung über RFID-Karte

In diesem Verfahren wird die Anmeldung des Nutzers über eine RFID-Karte an der LI realisiert. Das folgende Schaubild stellt die Datenverläufe schematisch dar:

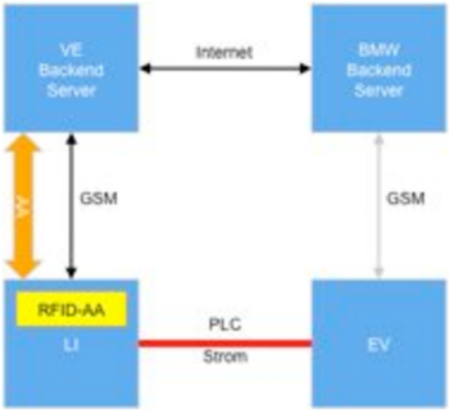


Abbildung 116: Authentifizierungsvariante mit RFID-Karte

Diese Variante hatte zur Folge, dass das Testkonzept explizit die manuelle Authentifizierung des Nutzers mittels RFID-Karte an der LI prüfen musste. Alle sich daraus ergebenden Nutzerinteraktionen mussten in dem Testkonzept geprüft werden.

Bei allen Tests (bei den Prototypen, bei den Serienmustern sowie bei den FAT´s) wurde die Authentifizierung mehrfach (mindestens viermal) im Master- und Satellitenbetrieb erprobt, sowohl mit Backendanbindung, als auch ohne Backendanbindung. Bei den Tests wurde die Authentifizierung funktional erfolgreich abgeschlossen. Später nach der Installation in Deutschland stellte sich jedoch heraus, dass die RFID-Kartenleser ein Firmware-Problem hatten und manchmal Instabilitäten aufwiesen. Der Lieferant wurde informiert, das Problem war zum Zeitpunkt der Berichterstellung jedoch noch nicht gelöst worden.

Für den Probebetrieb war vorgesehen, dass die Authentifizierung über mehrere Wochen erprobt werden sollte (der Probebetrieb wurde jedoch nicht umgesetzt). Dabei sollten alle Sessions erfolgreich ablaufen, unabhängig davon, ob eine Verbindung zum Server besteht oder nicht. Damit sollte ein stabiler operationeller Betrieb nachgewiesen werden.

4.3.3.4.2.2 Authentifizierung über PLC-Kommunikation

In diesem Verfahren wird die Anmeldung des Nutzers über die PLC-Kommunikation zwischen LI und EV realisiert. Das folgende Schaubild stellt die Datenverläufe schematisch dar:

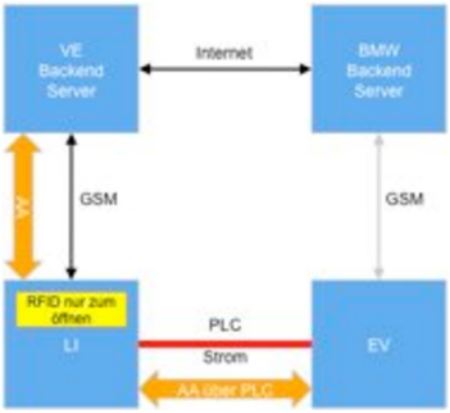


Abbildung 117: Authentifizierungsvariante mit PLC-Kommunikation

Diese Variante hatte zur Folge, dass das Testkonzept explizit die automatische Authentifizierung mittels PLC-Kommunikation zwischen LI und EV prüfen musste. Projektbedingt musste auch hier mittels RFID-Karte die LI freigegeben werden (aber es wurde nicht mit der RFID-Karte authentifiziert). Alle sich daraus ergebenden Stabilitätsänderungen hinsichtlich Kommunikationssicherheit usw. mussten in dem Testkonzept geprüft werden.

Im Gegensatz zu der RFID-Authentifizierung konnte die die PLC-Authentifizierung nicht bei allen Tests durchgeführt werden, da dafür ein EV oder mindestens ein hochwertiger EV-Simulator zur Verfügung stehen musste (bei den Prototypen und bei den Serienmustern konnten die Tests mit dem Projektpartner BMW durchgeführt werden, bei dem FAT in Singapur war das nicht möglich, da der EV-Simulator dafür nicht zur Verfügung stand). Wenn die Tests durchführbar waren, wurde die Authentifizierung mehrfach (mindestens viermal) im Master- und Satellitenbetrieb erprobt. Wie bei der RFID-Authentifizierungsvariante war für den Probebetrieb vorgesehen, dass die Authentifizierung über mehrere Wochen erprobt werden sollte (der Probebetrieb wurde jedoch nicht umgesetzt). Dabei sollten alle Sessions erfolgreich ablaufen, unabhängig davon, ob eine Verbindung zum Server besteht oder nicht. Damit sollte ein stabiler operationeller Betrieb nachgewiesen werden.

4.3.3.4.2.3 Authentifizierung über GSM-Kommunikation

In diesem Verfahren wird die Anmeldung des Nutzers über die GSM-Kommunikation zwischen BMW-Backend-Server und EV realisiert. Das folgende Schaubild stellt die Datenverläufe schematisch dar:

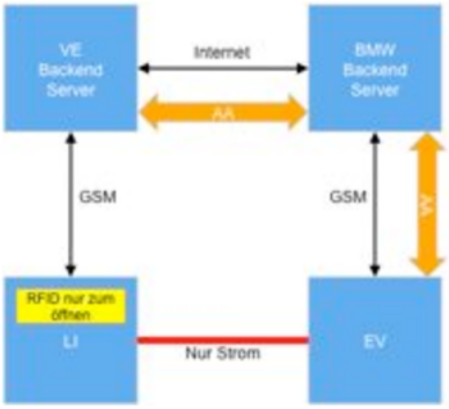


Abbildung 118: Authentifizierungsvariante mit GSM-Kommunikation

Diese Variante hatte zur Folge, dass das Testkonzept explizit die automatische Authentifizierung mittels GSM-Kommunikation zwischen EV und BMW-Backend-Server prüfen musste. Projektbedingt musste auch hier mittels RFID-Karte die LI freigegeben werden (aber es wurde nicht mit der RFID-Karte authentifiziert). Alle sich daraus ergebenden Stabilitätsänderungen hinsichtlich Kommunikationssicherheit usw. mussten in dem Testkonzept geprüft werden.

Im Gegensatz zu der RFID-Authentifizierung und zur PLC-Authentifizierung konnten diese Tests nicht von Vattenfall durchgeführt werden, da bei dieser Variante das EV nur mit dem BMW-Backend kommunizieren würde (bei den Prototypen und bei den Serienmustern standen die entsprechenden EV vom Projektpartner BMW leider nicht zur Verfügung, bei dem FAT in Singapur waren die Tests ohne EV ohnehin nicht möglich). Wie bei der RFID-Authentifizierungsvariante war für den Probebetrieb vorgesehen, dass die Authentifizierung über mehrere Wochen erprobt werden sollte (der Probebetrieb wurde jedoch nicht umgesetzt). Dabei sollten alle Sessions erfolgreich ablaufen, unabhängig davon, ob eine Verbindung zum Server besteht oder nicht. Damit sollte ein stabiler operationeller Betrieb nachgewiesen werden.

4.3.3.4.3 Tests und Evaluationen aus Nutzersicht

4.3.3.4.3.1 Ergebnisse der Nutzerevaluation aus automotiver Sicht

Die Forschungsfragen aus automotiver Sicht wurden in einem mehrstufigen Prozess identifiziert, priorisiert und final definiert. Auf Basis dessen wurde ein Fragebogen entwickelt, welcher als Grundlage für die später im AP 3.2.4 realisierte Konzeption zur Evaluierung der Nutzerakzeptanz und anschließenden Durchführung der Tests fungierte. Das AP 3.2.4, das eben dies zur Aufgabe hatte, wurde durch die TU Chemnitz umgesetzt. Zwischen beiden Arbeitspaketen bestand während der Konzeptions- sowie der Umsetzungsphase innerhalb des agilen Verfahrens ein stetiger Austausch über den aktuellen Entwicklungsstand sowie im Rahmen der Realisierung der definierten Ziele der im Teilpaket relevanten nächsten Schritte. So konnte eine bestmögliche Abstimmung der Forschungsinhalte und Vorgehensweisen sichergestellt werden.

Das standardisierte Erhebungsinstrument, das in der Untersuchung schließlich zum Einsatz kam, gliederte sich in die Anwendungsbereiche vor, während und nach dem Ladevorgang. Ein zentrales Moment des Fragebogens war die Frage nach der Wichtigkeit von Anzeigekonzepten im Zuge des Ladeprozesses, da Fakten wie beispielsweise die Anzeige von verbrauchten Kilowattstunden Strom oder des Gesamtpreises für den abgeschlossenen Ladevorgang essentielle Faktoren im Rahmen der Akzeptanzsteigerung von neuartigen Ladeinfrastrukturelementen darstellen. Ebenso wurde, zusätzlich zu bisher Genanntem, das Thema Ladestecker-/Kabel fokussiert. Als Abschluss des Befragungsteils wurde eine offene Frage zum Thema Schnellladen eingebaut.

Hier sollen nun exemplarisch einige Ergebnisse der in AP 3.2.4 durchgeführten Untersuchungen mit Blick auf die Fragestellungen aus fahrzeugseitiger Sicht dargestellt werden:

Für das Zeitfenster vor dem Laden wurde mit einer Zustimmung von 96% angegeben, dass es den Probanden wichtig wäre, ein optisches Feedback in Form einer Anzeige darüber zu erhalten, ob das Fahrzeug korrekt mit der Ladesäule verbunden ist.

Als besonders wichtig/wichtig während des Ladevorgangs wurden die Steuerungsoptionen

- sofortiges Starten des Ladevorgangs auf Knopfdruck, unabhängig vom Nutzerprofil (Zustimmung 92%) und
- sofortiges Beenden des Ladevorgangs durch Knopfdruck, unabhängig vom Nutzerprofil (Zustimmung 83%) erachtet.

Nach dem Laden würden die befragten Probanden

- Anzeigen zum abgeschlossenen Ladevorgang (100%),
- zur Unterbrechung des Ladevorgangs durch ein unvorhersagbares Ereignis (z. B. Abziehen des Steckers) (96%) sowie
- zum Gesamtpreis für den während des einzelnen Ladevorgangs verwendeten Strom in Euro (96%)

als wünschenswert erachten.

Auf die Frage, ab welcher Zeit pro Ladevorgang von 0 auf 100% die Probanden von einem Schnellladevorgang sprechen würden, konnte ein Mittelwert von 49,8 Minuten ermittelt werden.

Bei Betrachtung und Interpretation der Ergebnisse ist wichtig zu erwähnen, dass es sich bei den 24 Probanden - die nach Rekrutierung durch die TU Chemnitz zur Verfügung standen - ausschließlich um naive Nutzer ohne EV-Erfahrung handelte (10 weiblich, 14 männlich im Alter zwischen 22 und 54 Jahren (Mittel = 32 Jahre)). Eine Vergleichbarkeit bspw. mit Ergebnissen aus MINI E 2.0 powered by Vattenfall ist somit nicht anzustreben.

4.3.3.4.4 Ergebnisse bzgl. der Evaluierung der Nutzerakzeptanz

4.3.3.4.4.1 Expertenevaluationen

Usability-Experten wurden gebeten anhand einer Checkliste verschiedene Ladestationen hinsichtlich deren Nutzerfreundlichkeit zu bewerten. Es fanden zwei Expertenevaluationen statt: Während der ersten Untersuchung im Juni 2011 in Berlin wurden zwei zu dem Zeitpunkt aktuelle Ladestationen sowie zwei Prototypen überprüft. Die zweite Expertenevaluation wurde im September 2011 in München im Rahmen des Probebetriebs mit einer neu entwickelten Ladestation durchgeführt.

4.3.3.4.4.2 Expertenevaluation in Berlin

Im Juni 2011 evaluierten 3 Experten, die sich im Rahmen ihrer wissenschaftlichen und/oder beruflichen Laufbahn mit der Gebrauchstauglichkeit von Produkten beschäftigten, die Ladestationen „Vattenfall Ladestation Lieferant 4“sowie „Vattenfall Ladestation Lieferant 1“in Berlin-Schöneberg auf dem EUREF-Campus des Innovationszentrums für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ). Zusätzlich gaben die Experten eine erste Beurteilung zu den Prototypen des Lieferanten 3 namens „Dreiecksstandsäule“ und „Wallbox“ ab.

Die Experten untersuchten die Ladestationen unabhängig voneinander hinsichtlich wichtiger Heuristiken für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit eines Produktes. Als Unterstützung für die Experten wurde ein Leitfaden entwickelt, der neben den wichtigsten Kriterien der DIN EN ISO 9241-110 (2006) auch zusätzliche Gestaltungsprinzipien (z.B. nach Nielsen, 1994, und Norman, 1998) enthielt.

Abbildung 119: Vattenfall Ladestation Lieferant 4.

Abbildung 120: Vattenfall Ladestation Lieferant 1.

Die Experten identifizierten bei beiden Ladestationen positive und auch negative Aspekte. Die nachfolgenden Tabellen stellen die von den Experten aufgedeckten und nach

Schweregrad (SG) gewichteten Probleme dar. Schweregrad 4 bezeichnet dabei sogenannte „Usability-Katastrophen“, diese sollten unbedingt behoben werden. Schweregrad 3 bezieht sich auf „Große Usability-Probleme“, welche mit hoher Priorität beseitigt werden sollten. Bei den Schweregraden 2 und 1 handelt es sich um „kleine Usability-Probleme“, die mit geringer Priorität behoben (SG2) oder ignoriert (SG1) werden können.

Hinsichtlich des Gesamteindruckes kritisierten die Experten lediglich an der Ladesäule des Herstellers 1 zwei grüne Fenster an der Vorderseite, für die keine Erklärung gegeben werde. (Bei diesen Fenstern handelte es sich um die Sichtfelder für die gesetzlich vorgeschriebenen Stromzähler.) Positiv äußerten sich die Experten über das “sportliche Design" der Ladesäule des Herstellers 1, sowie das hochwertige Design (Verwendung von Edelstahl und Silberfarbtönen) der Ladesäule des Herstellers 2. Hier wurde außerdem gelobt, dass die Kabelabbildung an der Front der Ladesäule des Herstellers 2 ein gutes Erkennungsmerkmal bilde.

Vattenfall Ladestation Hersteller 2	
Defizite	**SG**
Keine	

Vattenfall Ladestation Hersteller 1	
Defizite	**SG**
Bedeutung der zwei grünen Fenster an Vorderseite der Ladestation unklar	2

Tabelle 33: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des Gesamterscheinungsbildes (Ladesäule des Herstellers 2 und Hersteller 1, SG = Schweregrad).

Das Display der Ladestationen beurteilten die Experten in zweierlei Hinsicht: Wie gut sind das Display an sich als auch die Anweisungen auf dem Display optisch erkennbar? Wie verständlich ist der Nutzerdialog, der unter anderem über das Display kommuniziert wird?

Tabelle 34 listet alle von den Experten gefundenen Aspekte auf, die sich negativ auf die Erkennbarkeit des Displays auswirken. Die gewählte Schriftgröße erachteten die Experten bei beiden Ladestationen als großes Usability-Problem. Sie empfehlen die Verwendung von größerer Schrift und größeren Symbolen. Bei der Ladesäule des Herstellers 1

sollte der automatisch alternierende Wechsel zwischen den Dialogen unbedingt vermieden werden. Die Displayanzeige sollte sich immer auf die aktuelle Aktion beziehen. Für weitere Informationen müsse der Nutzer selbst bestimmen können, ob und wann er diese abrufen möchte. Weitere Kritik betrifft die schwere Erkennbarkeit des Displays der Ladesäule des Herstellers 2 aufgrund von Spiegelung und schwachem Kontrast sowie die Platzierung des Displays in einer ungünstigen Höhe.

Vattenfall Ladestation Hersteller 2	
Defizite	**SG**
Display schwer erkennbar, schwacher Kontrast (Sonneneinstrahlung/Blickwinkel)	3
Schrift und Symbole zu klein	3
Display zu hoch	2

Vattenfall Ladestation Hersteller 1	
Defizite	**SG**
Schrift und Symbole zu klein (bis auf Smiley)	3
alternierender Wechsel zwischen Dialogen, ohne dazwischen liegenden Aktionen ungünstig (egal ob langsam oder schnell)	3

Tabelle 34: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich der Erkennbarkeit des Displays (Ladesäule des Herstellers 2 und Hersteller 1, SG = Schweregrad).

Vattenfall Ladestation Hersteller 2	
Defizite	**SG**
Bei schnellem Öffnen und Schließen der Klappe startet Dialog "Ladevorgang" ohne dass das Kabel angesteckt ist. Beenden durch nochmaliges Öffnen und Schließen der Klappe möglich. → Laden ist möglich,	4

Vattenfall Ladestation Hersteller 1	
Defizite	**SG**
Keine Anzeige über Dauer des Ladevorgangs → Anzeige über geladene Strommenge nicht ausreichend	3

ohne dass das Kabel angeschlossen ist → Gefahr Stromschlag			
Keine Fehlermeldungen	3	Keine Symbole zur Anleitung	2
Instruktion zum Ablauf mit Adapter (Text) passt nicht zur allgemeinen Anleitung (Piktogramme)	3	Keine Nutzerkontrolle über Geschwindigkeit der Displayanzeige	1

Tabelle 35: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des Nutzerdialogs allgemein. (Ladesäule des Herstellers 2 und Hersteller 1, SG = Schweregrad).

Der Nutzerdialog wird an beiden Ladestationen weitgehend über das Display vermittelt. An der Ladesäule des Herstellers 2 existiert zusätzlich über dem Display eine Kurzanleitung zum Laden. Diese Instruktion wurde von den Experten als positiv bewertet, ebenso die Verwendung von Symbolen. Daneben identifizierten die Experten teilweise sehr schwere Defizite für beide Ladestationen. Tabelle 36 listet von den Experten benannte Usability-Probleme, die den Nutzerdialog im Allgemeinen betreffen, auf. Probleme, die sich auf spezifische Dialoge beziehen, sind getrennt nach Ladestation in den Tabelle 36 und Tabelle 37 wieder gegeben. Die Nutzerdialoge im Überblick zeigt Abbildung 121.

Es wird deutlich, dass die Experten beim Nutzerdialog der Ladesäule des Herstellers 1 mehr Probleme sahen als beim Dialog der Ladesäule des Herstellers 2. Auf einzelne aufgeführte Defizite reagierte die Vattenfall Europe AG bereits: Aufgrund des fehlenden Stopptasters lautet der neue Nutzerdialog zum Beenden des Ladevorgangs: „Ladekabel verriegelt! Bitte beenden Sie den Ladevorgang am Fahrzeug.“ Desweiteren wurde eine neue Fehlermeldung eingeführt. Abbildung Abbildung 122 veranschaulicht die neuen Nutzerdialoge der Ladesäule des Herstellers 1.

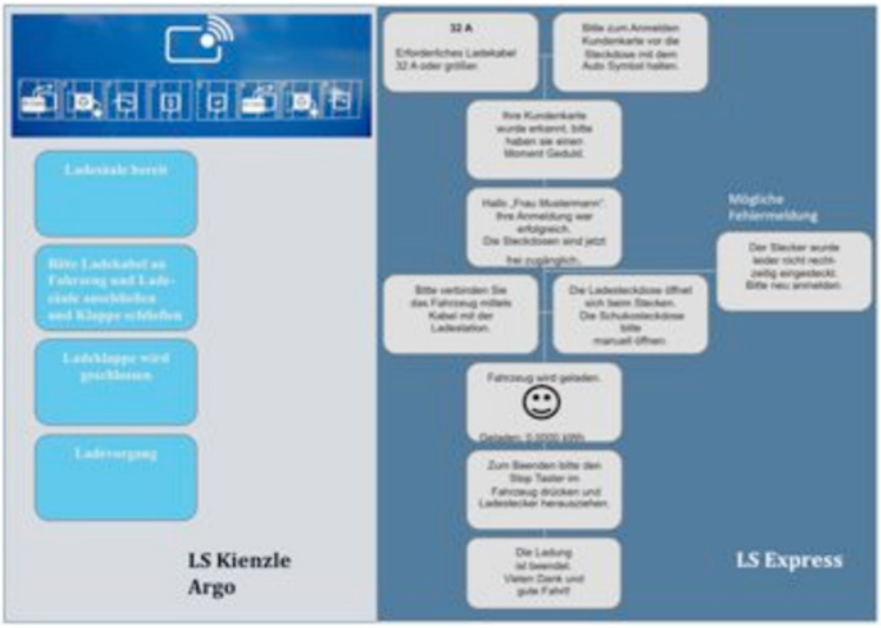


Abbildung 121: Nutzerdialoge der Ladestationen des Lieferanten 4 und Lieferanten 1.

Vattenfall Ladestation des Lieferanten 4		
Nutzerdialog	**Defizite**	**S G**
V1.06	Dialog zur Versionsanzeige (V1.06) am Anfang des Ladevorgangs unnötig	2
Ladevorgang	Kein Feedback über Ladezustand, ob und wie viel Strom fließt, wann Ladevorgang fertig ist → Dialog "Ladevorgang läuft" zu wenig → besser z.B. Zeitangaben (z.B. Balken), zusätzlich Angaben der übertragenen kWh	4
	RFID-Konzept intuitiv, wenn bekannt, aber Symbol kann bei unerfahrenen Nutzern zu Problemen führen	2
	Unklare Anweisung zum Beenden/Abbrechen des Ladevorgangs → Icons (Häkchen) uneindeutig	3

Tabelle 36: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich spezifischer Nutzerdialoge des Lieferanten 4 (SG = Schweregrad).

Vattenfall Ladestation Express		
Nutzerdialog	**Defizite**	**SG**
32 A Erforderliches Ladekabel 32 A oder größer.	Einstellen und Auswahl der Stromstärke des Ladestroms (im Fahrzeug) sollte nicht möglich sein. → Provoziert Fehler → besser wäre eine automatische Erkennung des Kabels	4
Bitte zum Anmelden Kundenkarte vor die Steckdose mit dem Auto Symbol halten.	"Steckdose mit Autosymbol" nicht verständlich, da Steckdose nicht als Steckdose erkennbar	4
Der Stecker wurde leider nicht rechtzeitig eingesteckt. Bitte neu anmelden.	Fehlermeldung: Kabel anstecken, obwohl dies schon angesteckt war. Unklar, wie weiter verfahren werden soll. → Meldung: Zeit abgelaufen. Keine Lösungsmöglichkeit gegeben.	4
Die Ladesteckdose öffnet sich beim Stecken. Die Schukosteckdose bitte manuell öfnen.	Begriff „Schukosteckdose“ möglicherweise nicht jedem klar, Unterschied zwischen Steckdosen unklar	3
Fahrzeug wird geladen. ☺ Geladen: 0.0000 kWh	Zahl (kWh) auf Anzeige relativ lang 0.000	3
Zum Beenden bitte den Stop Taster im Fahrzeug drücken und Ladestecker herausziehen.	Unklare Anweisung zum Beenden des Ladevorgangs: Aufforderung „Stop Taster“ zu drücken, den es nicht gibt	4
	Uneindeutige Aufforderung: „Ladestecker herausziehen“, aber nicht ob an Fahrzeug oder Ladest.	3
	Symbol Vespa - unklar	2

	Symbol Vespa - unklar	2
	Beschriftung auf Schukosteckdose in Englisch "Press"	1

Tabelle 37: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich spezifischer Nutzerdialoge der Ladesäule des Herstellers 1 (SG = Schweregrad).

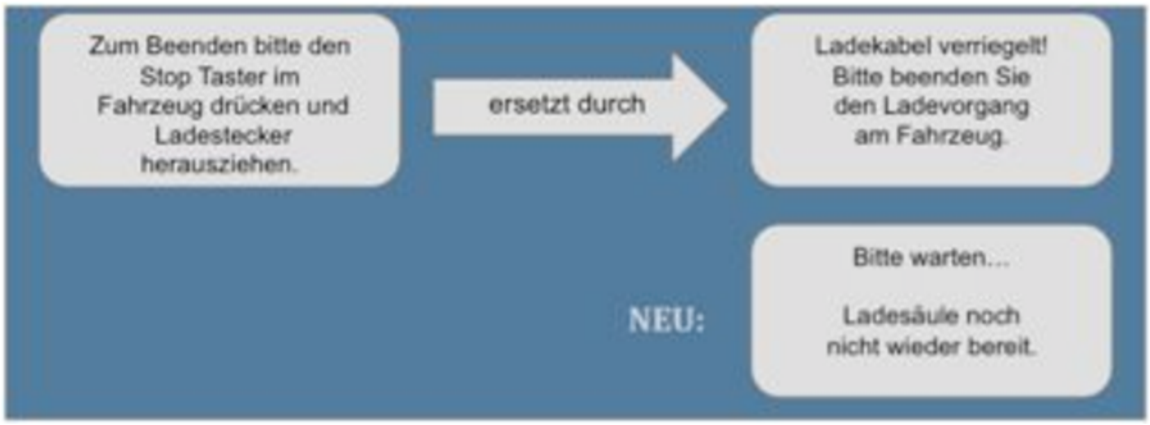


Abbildung 122: Neuerungen des Nutzerdialoges der Ladesäule des Herstellers 1.

Vattenfall Ladestation Hersteller 2	
Defizite	**S G**
Keine	

Vattenfall Ladestation Hersteller 1	
Defizite	**S G**
blaue LED-Beleuchtung an Auto-symbol unklar	3
Doppelkodierung des Auto-Symbols: als Ort zur Autorisierung und Ort zum Anstecken → unge-eignet und verwirrend	2
Nach Identifikation mit Karte war Zeit zu kurz, um Stecker reinzu-stecken (zum Auto hin und her lau-fen)	2

Tabelle 38: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich der Autorisierung (Ladesäule des Herstellers 2 und Ladesäule des Herstellers 1, SG = Schweregrad).

Beim An- und Abstecken des Kabels identifizierten die Experten ebenfalls Probleme Tabelle 39. So fehle an beiden Ladestationen eine Unterstützung zur Einhaltung der Prozessschritte beim An- und Abstecken des Ladekabels. Dies ist insofern problematisch, da bei der Übergabe eines MINI E an Nutzer diese darauf hingewiesen wurden, dass beim Laden immer zuerst das Kabel an das Fahrzeug und danach an die Ladestation anzustecken sei, beim Beenden des Ladens die umgekehrte Reihenfolge zu beachten sei. Dadurch seien eventuell auftretende Lichtbögen oder Schäden an der Steckdose des Fahrzeugs vermeidbar. Damit im Zusammenhang, wenn auch weniger schwer gewichtet, steht der Verweis der Experten, dass ein manuelles Abbrechen des Ladevorgangs an der Ladesäule des Herstellers 1 nicht möglich ist, sondern nur durch das Abstecken des Kabels am Fahrzeug. Damit fehle den Nutzern die Steuerbarkeit über den Ladeprozess. Die Experten wiesen darauf hin, dass bei der Ladesäule des Herstellers 1 nicht klar erkennbar sei, wie der Stecker in die Steckdose gesteckt werden müsse. Die gebogene Form sei nicht auffällig genug, um die Richtung vorzugeben.

Vattenfall Ladestation Hersteller 2	
Defizite	**SG**
Keine Unterstützung zum Einhalten der Prozessschritte beim An- und Abstecken des Ladekabels → selber merken nötig	3
Stecker gehen schwer rein und raus → zu hoher Kraftaufwand	3
Steckerform zwar eindeutig, aber fehlende Farbkodierung für Stecker (Metallende) + Dose → z.B. Symbol mit Finger drauf	2

Vattenfall Ladestation Hersteller 1	
Defizite	**SG**
Keine Unterstützung zum Einhalten der Prozessschritte beim An- und Abstecken des Ladekabels (besonders beim Beenden des Ladevorgangs) → selber merken nötig	3
Stecker gehen schwer rein und raus → zu hoher Kraftaufwand	3
unklar wie Stecker reingesteckt werden muss, gebogene Form unauffällig	3
manuelles Abbrechen des Ladevorgangs nicht möglich, nur per Kabel von Fahrzeug abziehen	2

Tabelle 39: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des An- und Absteckens des Ladekabels (Ladesäule des Herstellers 2 und Ladesäule des Herstellers 1, SG = Schweregrad).

Vattenfall Ladestation Hersteller 2		Vattenfall Ladestation Hersteller 1	
Defizite	**SG**	**Defizite**	**SG**
Fehlender Einklemmschutzmechanismus an Klappe: Stift ließ sich dazwischen klemmen und wurde gequetscht.	4	keine	
Klappe ging zu, als mit Adapter zu lange hantiert wurde, Hände waren noch drin	4		
Klappe öffnen: per Karte, Klappe schließen: manuell oder per Karte → nicht konsistent und kein Symbol/keine Anzeige, dass Schließen auch mit Karte möglich ist	2		

Tabelle 40: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich der Anschlussabdeckung (Ladesäule des Herstellers 2 und Ladesäule des Herstellers 1, SG = Schweregrad).

In einer abschließenden Bewertung sollten die Experten die beiden Ladestationen anhand von fünf Kriterien (Gesamterscheinungsbild, Display Erkennbarkeit, Display Nutzerdialog, Autorisierung und Anschlussabdeckung) vergleichen und einen Favoriten wählen. Abbildung zeigt die Häufigkeiten der Favorisierung der Ladestationen für jedes der 5 Kriterien. Deutlich wird, dass sich die Experten nur bei der Platzierung hinsichtlich des Gesamterscheinungsbildes (Design/weithin sichtbar) und der Erkennbarkeit des Displays einig waren. Bezüglich dieser Kriterien beurteilten die Experten die Ladesäule des Herstellers 1 besser als die Ladesäule des Herstellers 2.

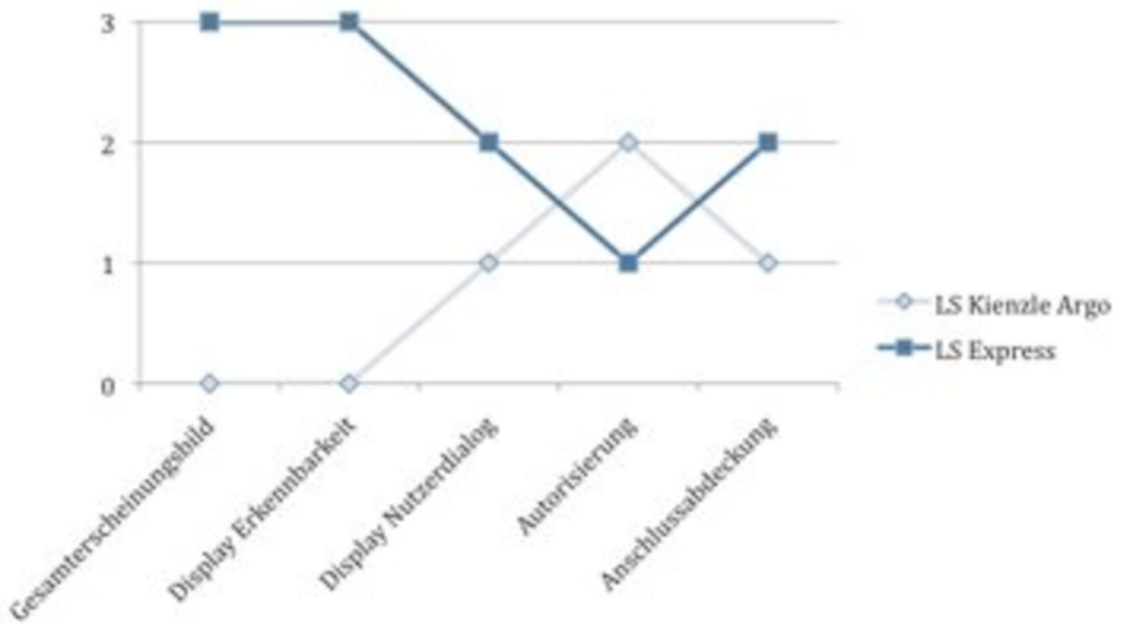


Abbildung 123: Abschließender Vergleich der Ladesäule des Herstellers 2 und Ladesäule des Herstellers 1: Anzahl der Erstplatzierungen bei der Expertenevaluation.

Neben den Ladestationen des Herstellers 2 und Hersteller 1 nahmen die Usability-Experten eine erste Beurteilung der Prototypen „Wallbox“ und Dreiecksstandsäule des Lieferanten 3 vor. Die Dreiecksstandsäule verfügte über keinen Nutzerdialog, weshalb die Bewertung eher kurz ausfiel. Das Fehlen eines Dialogs wurde von den Experten positiv bewertet, falls dies beinhalte, dass der Nutzer sein Fahrzeug nur anschließen müsste und keine weiteren Einstellungen vorgenommen werden müssten. Kritisch merkten sie an, dass der Anschluss ohne vorherige Autorisierung zugänglich sei, damit sei die Ladestation anfällig für Manipulation durch Kinder oder Vandalismus. Weiterhin äußerten die Experten Bedenken hinsichtlich der Selbsterklärungsfähigkeit der Wallbox des Lieferanten 3. Hier sei nicht klar, wohin man die RFID-Karte zur Autorisierung halten müsse als auch was verschiedene Anzeigen/Anzeigefelder bedeuteten. Die Wallbox des Lieferanten 3 sollte daher in einem höheren Entwicklungsstatus erneut einer Expertenevaluation unterzogen werden.

4.3.3.4.4.3 Expertenevaluation in München

In einer weiteren Expertenevaluation wurde die Wallbox des dritten Lieferanten von 4 Usability-Experten in München bei der BMW AG untersucht. Bei der Wallbox des dritten

Lieferanten handelt es sich um die derzeit technisch neueste Ladestation der Vattenfall Europe AG, an welcher auch Gesteuertes Laden möglich ist. Zum Zeitpunkt der Expertenevalution konnte jedoch nur das Sofort-Laden betrachtet werden, da aufgrund von Kommunikationsproblemen zwischen Ladestation und Fahrzeug Gesteuertes Laden noch nicht einsatzbereit war.

Für die Wallbox des dritten Lieferanten identifizierten die Experten ebenfalls Entwicklungspotentiale. Insgesamt sei der Erstkontakt schwierig, danach sei die Bedienung einfach und bereite keine großen Probleme. Als positiv erachtet wurde auch, dass nur wenige Eingaben zu tätigen seien. Daneben fand das Design Zustimmung.

Wallbox des dritten Lieferanten	
Defizite	**SG**
Das Geräusch der Ladesäule ist irritierend, der Ton klingt nach Fehlerton	1
Die Ladestation ist zu hoch montiert.	1
Ablaufschritte sind nicht beschrieben, das würde Sicherheit geben, z. B. vorne an der Säule Beschreibung der Ablaufschritte (1. Schritt: …, 2. Schritt…), so wie bei Automaten manchmal vorhanden → z.B. Kurzanleitung	1
Reaktionszeiten sind zu lang, man hat das Gefühl, dass das System darauf wartet, dass man noch eine Eingabe macht.	k.A.
Einfache Farbkodierung der LEDs wäre gut, z.B. rot: funktioniert nicht, grün pulsierend: lädt, grün: wenn fertig geladen	k.A.
Sofern der Ladevorgang nicht funktioniert, sollte es eine Fehlermeldung geben.	k.A.

Tabelle 41: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des Gesamterscheinungsbildes der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad).

Hinsichtlich der Erkennbarkeit des Displays bemängelten die Experten hauptsächlich die kleine Schriftgröße.

Wallbox des dritten Lieferanten	
Defizite	**SG**
Display ist zu weit oben angebracht, es sollte direkt mittig in der Säulenvorderseite über dem Anschluss sein, weil es zusammen gehört.	4
Die Schrift am Display (auch zweite Schriftgröße) ist zu klein.	3
Die Uhr ist sehr klein.	k.A.

Tabelle 42: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich der Erkennbarkeit des Displays der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad).

Abbildung 124 zeigt den Nutzerdialog der Wallbox des dritten Lieferanten. Auch hier entdeckten die Experten Probleme. Besonders kritisiert wurde das Fehlen von Rückmeldungen und Fehlermeldungen mit Lösungsstrategien oder Hilfeangeboten. Neben dem Nutzerdialog des Displays wünschten die Experten auch Anweisungen, die permanent auf der Ladestation angebracht sind, z.B. zur Autorisierung oder die Schrittfolge beim An- und Abstecken des Ladekabels. Tabelle 43 listet die von den Experten identifizierten Defizite auf.

Neben diesen Problemen bieten die Experten auch konkrete Verbesserungsvorschläge an:

- Taste zum Abbrechen des Ladevorgangs nach der Authentifizierung
- Einbindung von mehr Grafiken
- Möglichkeit zur Umstellung der Sprache sollte per Karte gegeben werden
- Veränderung der LED-Anzeige: Gelbes Licht als Vorstufe, solange Ladevorgang noch nicht läuft
- Erkennungsanzeige der Batterie-Ladung, z.B.
    - Blinkendes Batteriesymbol
    - Blinkende LS (von Weitem sichtbar → man muss nicht die ganze Zeit daneben stehen)
    - Grünes Blinken = Laden, dauerhaft grün = Batterie voll

Als positiv stellten die Experten heraus, dass keine Einstellungen bezüglich der Stromstärke oder anderen technischen Eingaben getätigt werden müssten. Die Ladestation erfordere auch sonst keine überflüssigen Eingaben und sei in ihren Funktionen überschaubar.

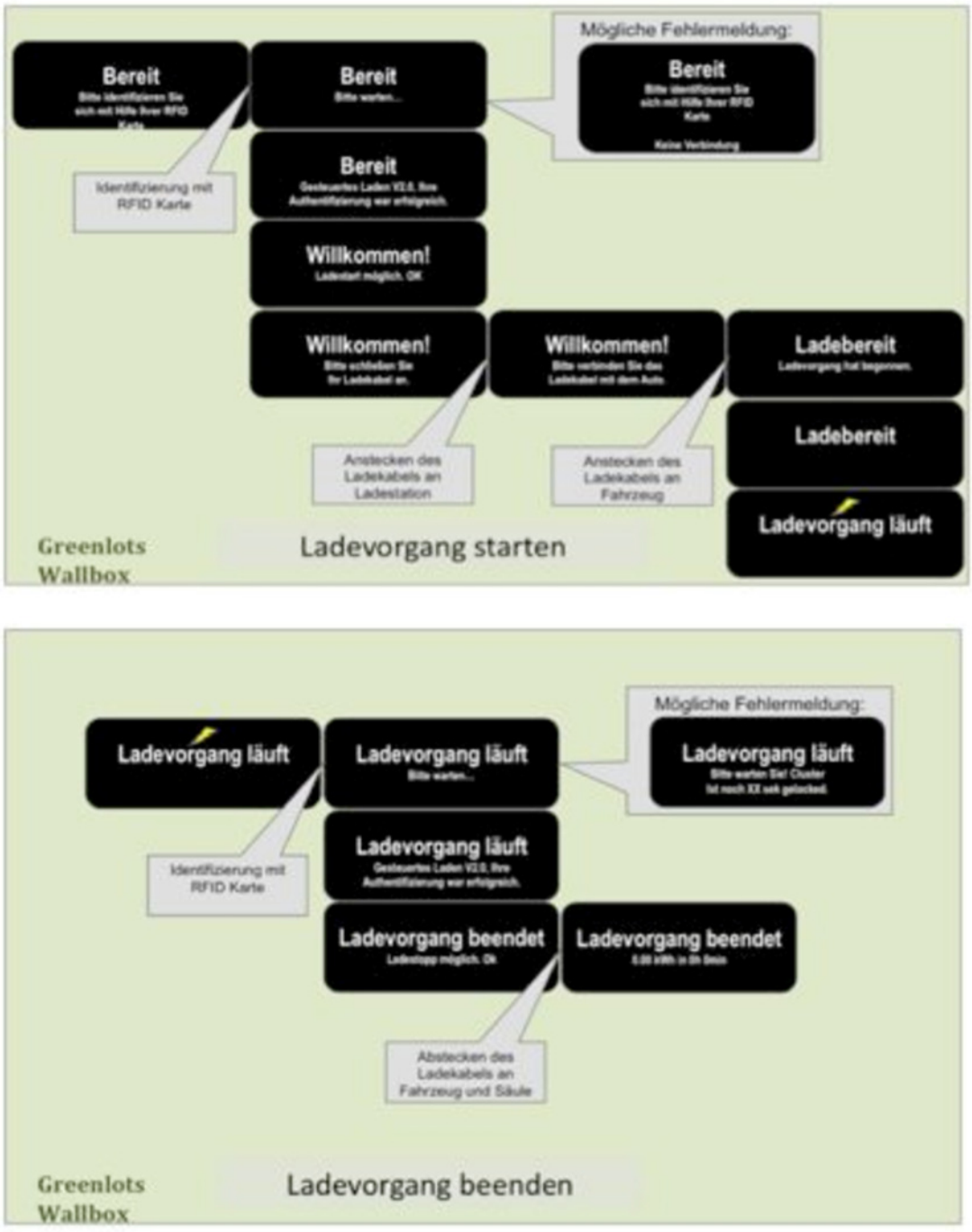


Abbildung 124: Nutzerdialog der Wallbox des dritten Lieferanten.

Wallbox des dritten Lieferanten	
Defizite	**SG**
Keine Anzeige zum Ladezustand des Fahrzeugs, beispielsweise in Form einer Batterie, die anzeigt zu wie viel Prozent die Batterie geladen ist	4
Wenn die Ladestation nicht lädt, fehlt die Rückmeldung der Ursache. →Falls technischer Defekt → SG 2 →Falls Bedienfehler und die Anzeige ist unklar → SG 4	2/4
Autorisierung dauert zu lange/bzw. fehlende Rückmeldung „Verbindungsschwierigkeiten“	4
Zu wenige Rückmeldungen, was die LS gerade für den Nutzer tut → Dialog sollte Position als Assistent des Nutzers einnehmen.	4
Keine Rückmeldung, ob Eingabe (nicht) erfolgreich war → z.B. wann man die Karte beim Anmelden wieder weg nehmen kann.	4
Keine Rückmeldung zu den Kosten des Ladevorgangs.	4
Keine Anleitung (per Text und Grafik im Fahrzeug und an der Säule) zum Abbrechen des Ladevorgangs	3
Keine Lösungsvorschläge, wenn man verkehrt herum angesteckt hat oder es ein Problem mit der Säule gibt.	3
Zeitliche Verzögerungen (z.B. zwischen Abstecken und Rückmeldung)	2 bis 3
Rückmeldungen/Anweisungen verschwinden schnell, aber Statusmeldung steht zu lange → gut z.B. Sanduhr, die anzeigt, dass man noch warten muss. → Hängt die Ladestation oder muss man warten?	2
Keine Trennung zwischen Anweisungen und Statusmeldungen → z.B. räumlich trennen wäre möglich	2

Keine Rückmeldung über Verriegelung des Steckers, wenn Ladevorgang läuft → Verriegelung sollte permanent am Display oder an einem Display unmittelbar über dem Stecker angezeigt werden.

Tabelle 43: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des Nutzerdialogs allgemein der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad).

Spezielle Anmerkungen der Experten zu einzelnen Dialogschritten sind nachfolgend Tabelle 44 dargestellt.

Wallbox des dritten Lieferanten		
Nutzerdialog	**Defizite**	**SG**
	Bezeichnung der Karte sollte nicht RFID Karte sein → z.B. Tankkarte. Anweisung erwünscht: Bitte Karte auflegen, bitte Karte entfernen.	k.A.
	Bezeichnung „Gesteuertes Laden V2.0“ ist für den Nutzer irrelevant, könnte in Ecke der Anzeigen geschoben werden.	k.A.
	„keine Verbindung“ Meldung hat fraglichen Bezug zum Laden, Kabel ist ja angeschlossen, Bedeutung? Irritierend	k.A.
	„Ladestart möglich. Ok“ Was soll das „Ok“ bedeuten? Hier erwartet man einen Button, wo man auf „Ok“ drücken muss.	1

	Keine automatische Erkennung, ob Fahrzeug bereits angeschlossen ist → fehlerhafte Meldung bei Nichtbeachtung der Reihenfolge (zuerst Anschließen des Fahrzeugs an Ladestation dann Autorisierung mit RFID Karte)	k.A:
	Begriffe „Cluster“ und „gelocked“: Was ist der Cluster? Was bedeutet „gelocked”?	2
	Meldung muss länger stehen bleiben	2
	„Ladebereit“ irritiert/stört, vermittelt, dass man etwas tun muss um zu laden → dann steht „Ladevorgang hat begonnen“	k.A.
	Begriff „Ladebereit“ unverständlich, sagt nichts über den aktuellen Zustand aus → z.B. „Ladevorgang wird vorbereitet“	3
	Verunsicherung, wenn länger „Ladebereit“ da steht	k.A.

Tabelle 44: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich spezifischer Nutzerdialoge der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad).

Wallbox des dritten Lieferanten		
Nutzerdialog	**Defizite**	**SG**
	Unterschied zwischen „Ladevorgang hat begonnen“ und „Ladevorgang läuft“ ist nicht klar.	4
	Blitzsymbol vermittelt den Eindruck, dass etwas falsch läuft → besser z.B. sich bewegendes Batteriesymbol.	1

	Information zu schwierig, Preis für geladene kWh fehlt → z.B. zu Beginn des Ladevorgangs Anzeige des aktuellen Strompreises, am Ende des Ladevorgangs Anzeige des Preises für geladene Strommenge.	3
	Der Zähler sollte permanent angezeigt werden.	k.A.

Tabelle 45: (Fortsetzung Tabelle 44) Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich spezifischer Nutzerdialoge der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad).

Hinsichtlich der Autorisierung als Handlungsschritt sowie Teil des Nutzerdialogs sahen die Experten keine größeren Schwierigkeiten. Eine abgrenzende Markierung des Autorisierungsbereiches sowie eine sofortige Rückmeldung, ob die Karte erkannt wurde, und eine Beschreibung der Schrittabfolge sei empfehlenswert (vergleich Tabelle 46).

Wallbox des dritten Lieferanten	
Defizite	**SG**
Keine Abgrenzung des Autorisierungsbereiches → deutlicher machen, wo man die Karte hinhalten muss (z.B. optisch abgetrenntes Feld für Autorisierungsbereich)	2
Keine Rückmeldung, ob man nach erstem Piepton die Karte weg nehmen kann oder noch länger vor Autorisierungsbereich halten muss → führt zu Unsicherheit	2
Keine Beschreibung der Schrittabfolge → z.B. „Zum Starten und Beenden Karte vorhalten" als Aufschrift auf der LS	1
Symbol der Karte auf der LS zu klein	k.A.

Tabelle 46: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich der Autorisierung an der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad).

Weitere spezielle Aspekte des Nutzerdialogs bilden das An- und Abstecken des Ladekabels. Positiv angemerkt wurde von den Experten, dass die Stecker eindeutig zuordenbar seien. Kritikpunkte betreffen dagegen die Reihenfolge, mit der das Ladekabel an Ladestation und Fahrzeug angeschlossen werden muss. Die Reihenfolge sollte entweder egal sein bzw. seien die Anweisungen dazu unzureichend. Wie auch bereits bei den Ladestationen Hersteller 2 und Hersteller 1 bemängelt, erfordere das Anstecken des Ladesteckers an die Wallbox des dritten Lieferanten einen zu hohen Kraftaufwand. Weitere, von den Experten angegebene Usability-Probleme beim An- und Abstecken, sind in Tabelle 47 dargestellt.

Wallbox des dritten Lieferanten	
Defizite	**SG**
Reihenfolge des Anschließens des Kabels sollte egal sein	4
Keine Rückmeldung ob Stecker richtig drinnen ist/fest sitzt → z.B. „Klick"-Geräusch als Rückmeldung für Verriegelung	4
Das time-out kommt zu schnell, beim Anstecken nicht schnell genug gewesen, der Screen war dann zu schnell weg	3
Keine Hilfestellung der LS zum Abstecken.	3
Anstecken des Steckers an die Ladestation benötig viel Kraftaufwand	1 bis 2
Der Stecker an der Säule sollte auch zum Einrasten sein, wie der Stecker für das Fahrzeug	k.A.
Keine Anweisung zur Reihenfolge → z.B. „Bitte stecken Sie das Kabel zuerst an die Säule."	k.A.

Tabelle 47: Von den Experten identifizierte Usability-Probleme hinsichtlich des An- und Absteckens des Ladekabels an der Wallbox des dritten Lieferanten (SG = Schweregrad).

Im Unterschied zur ersten Expertenevaluation in Berlin, in der die Usability-Experten abschließend die Ladestation bewerteten, indem sie einen Favoriten hinsichtlich verschie-

dener Kriterien wählten, schlossen die Experten in München ihre Evaluation mit der Bewertung von Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit bei der Bedienung der Wallbox des dritten Lieferanten ab: Die Ladestation sei effektiv zu bedienen; aber es gebe Schwierigkeiten beim Beenden des Ladevorgangs sowie Unklarheit über den aktuellen Status. Die Effizienz wurde durchschnittlich bewertet. Die Experten kritisierten dabei den hohen Zeitaufwand und die langen Wartezeiten zwischen den einzelnen Schritten. Im Mittel waren die Experten zufrieden mit der Bedienung vor allem nach mehrmaligen Wiederholungen der Handlungsschritte. Verbesserungsmöglichkeit identifizierten sie z.B. in Bezug auf die Ansteckreihenfolge.

4.3.3.4.4.4 Nutzertests

Der Feldtest für die Usability-Evaluation fand im Juni 2011 in Berlin-Schöneberg auf dem EUREF-Campus statt, wo das Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ) seinen Standort hat.. Zur Evaluation der Ladestationen stellte das InnoZ die Plattform elektroMobilität (inklusive Stellplätze und Räume) zur Verfügung. Die Tests wurden mit zwei MINI E durchgeführt.

Bei den Nutzertests wurden die Ladestationen Ladesäule des Herstellers 2 sowie Ladesäule des Herstellers 1 von 25 im Umgang mit Ladesäulen unerfahrenen Probanden evaluiert. Tabelle 48 beschreibt die Teilnehmer der Nutzertests.

Merkmal	Ausprägung
Geschlecht	10 weiblich 15 männlich
Alter	32 Jahre (Mittelwert), Min.: 22 Jahre, Max.: 54 Jahre
Fachhochschulabschluss	56%
Erfahrung mit öffentlichem Laden	0%

Tabelle 48: Beschreibung der Testteilnehmer.

Die Probanden erhielten die Aufgaben, die Ladestationen zu benennen, einen Ladevorgang zu starten, zu überprüfen und zu beenden. Über Videoaufzeichnung und -kodierung wurden dabei die benötigte Zeit und eventuell auftretende Fehler erfasst.

Nachdem ein Proband den Ladevorgang an einer Ladestation beendet hatte, sollte er diese Ladestation anhand der System Usability Scale (SUS) bewerten. Von jedem Teilnehmer wurden beide Ladestationen (in unter den Probanden randomisierter Reihenfolge) getestet und bewertet. Als abschließende Beurteilung beider Ladestationen sollten die Nutzer diese hinsichtlich der Kriterien Gesamterscheinungsbild, Display Erkennbarkeit, Display Nutzerdialog, Autorisierung und Anschlussabdeckung vergleichen.

Die erste Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, von einem festgelegten Standort der Plattform elektroMobilität aus die Lademöglichkeiten zu überblicken und alle Ladestationen zu benennen, die sie als solche identifizierten. Die Entfernung der Vattenfall Ladestationen Hersteller 2 und Hersteller 1 betrug ca. 20m. Angelehnt ist dieses Szenario an den Anwendungsfall, bei dem Elektrofahrzeugfahrer eine öffentliche Ladestation aufsuchen, für welche sie bereits geografische Daten des Standorts (z.B. via GPS) haben, sie die Station jedoch noch von der Straße aus entdecken müssen. Entsprechend wurde der Blickwinkel so gewählt, dass die Ladestationen nicht frontal zu sehen waren. Dieses Szenario wurde von den MINI E-Nutzern aus MINI E Berlin 1.0 beschrieben. Keiner der Teilnehmer an den Nutzertests nahm die Ladesäule des Herstellers 2 als Lademöglichkeit wahr, obwohl sie das Objekt sahen. Aufgrund der grauen Rück- und Seitenwände vermuteten die Nutzer beispielweise, dass es sich bei der Ladesäule des Herstellers 2 um einen Stromverteiler, Hydranten, Pfeiler, Blitzer oder ein Kunstobjekt handelte. Ladesäule des Herstellers 1 wurde von etwa der Hälfte der Probanden als Ladestation identifiziert, als Haupterkennungsmerkmal nannten sie den Vattenfall-Schriftzug an der Seite. Um Ladestationen einfach zu finden, nannten die Teilnehmer auffällige Farben (z.B. Grün, Blau, Rot oder „Vattenfall-Orange“), Beschriftung und Größe („je größer, desto besser“) als vorteilhaft. Andere Orientierungshilfen seien das Entdecken eines Kabels, die Form, der Standort und Verkehrsführungssysteme.

Als nächstes sollten die Probanden einen Ladevorgang starten, überprüfen und beenden. Bei der Bearbeitung zeigten sich Unterschiede sowohl in der mittleren Bearbeitungszeit pro Ladestation als auch in der Anzahl der unterlaufenen Fehler an den Ladestationen des Herstellers 2 und Herstellers 1. Tabelle 49 gibt einen Überblick über die durchschnittlichen Ausführungszeiten für ausgewählte Handlungen getrennt nach Ladestation. Bei allen erfassten Teilhandlungen benötigten die Probanden deutlich mehr Zeit an der Ladesäule des Herstellers 1. Eine systembedingte Ausnahme bildete die Identifikation mit der RFID-Karte zum Beenden eines Ladevorgangs, dieser Handlungsschritt

ist bei der Ladesäule des Herstellers 1 nicht vorgesehen. Insgesamt war die Bearbeitungszeit an der Ladesäule des Herstellers 1 etwa 3 min länger als an der Ladesäule des Herstellers 2.

(Teil-) Handlung	Ladesäule des Herstellers 2	LS Express	Sign.
	Dauer in Sekunden		
Ladevorgang starten (Zeit nach Hören der Instruktion „Starten des Ladevorgangs“ bis zur erfolgreichen Verbindung von LS und Fahrzeug)	131	191	Ja
Starten: Instruktion zum Starten des Ladevorgangs lesen	25	45	Ja
Starten: mit RFID-Karte zum Starten des Ladevorgangs autorisieren	4	15	Ja
Ladevorgang beenden (Zeit nach Hören der Instruktion „Beenden des Ladevorgangs bis zum Verstauen des Kabels im Kofferraum)	97	200	Ja
Beenden: Instruktion zum Beenden des Ladevorgangs lesen	5	14	Ja
Beenden: mit RFID-Karte zum Beenden des Ladevorgangs autorisieren	1	- [23]	-

Tabelle 49: Mittlere Bearbeitungszeiten für die Ausführung von Handlungen beim Starten und Beenden eines Ladevorgangs (in Sekunden).

Neben den Bearbeitungszeiten wurden Fehler bei der Aufgabenerfüllung kodiert. Ein Fehler wurde dann gewertet, wenn die Nutzer Handlungen tätigten, die der richtigen Schrittabfolge widersprachen. Einen Vergleich der mittleren Fehlerhäufigkeiten beim

[23] An der Ladesäule des Herstellers 1ist eine Autorisierung zum Beenden des Ladevorgangs nicht notwendig

Starten und Beenden eines Ladevorgangs an den beiden Ladestationen Ladesäule des Herstellers 1 sowie Ladesäule des Herstellers 2 zeigt Tabelle 50. Die mittlere Fehlerhäufigkeit bezieht sich dabei auf die Anzahl der Fehler, die ein Proband durchschnittlich pro Kategorie verübt hat. Unterlief einem Teilnehmer der gleiche Fehler mehrmals, wurde dieser auch mehrmals kodiert. Werte kleiner 1 bedeuten, dass es Probanden gab, die in der entsprechenden Fehlerkategorie fehlerfrei blieben. Werte größer oder gleich 1 bedeuten nicht zwingend, dass jedem Proband ein Fehler unterlief, da Mehrfachkodierungen möglich waren. Aus Tabelle wird ersichtlich, dass bei beiden getesteten Ladestationen Fehler auftraten, an den beiden Stationen jedoch unterschiedliche Fehler vorrangig waren:

Die meisten Probleme traten beim Beenden des Ladevorgangs an der Ladesäule des Herstellers 1 auf: Fast alle Teilnehmer versuchten oft sogar mehrmals den Stecker aus der Ladestation zu ziehen, um den Ladevorgang zu beenden. In der Einweisung in die Besonderheiten des MINI E als Elektrofahrzeug vor Beginn der Nutzertests an den Ladestationen erhielten die Teilnehmer eine Anleitung zum Laden, wie sie auch andere MINI E-Nutzer erhalten. Die Ladeanleitung gibt vor, dass immer zuerst das Kabel an das Fahrzeug und danach an die Ladestation anzuschließen sei, beim Trennen von Fahrzeug und Ladestation sei zuerst das Kabel an der Ladestation zu entfernen und danach am Fahrzeug. Bei der Ladesäule des Herstellers 1 muss jedoch in umgekehrter Reihenfolge vorgegangen werden. Die Nutzer werden im Nutzerdialog aufgefordert, den Ladevorgang durch Betätigung der STOPP-Taste im Fahrzeug zu beenden. Erst danach öffnet sich die Verriegelung und der Stecker kann an der Ladesäule des Herstellers 1 abgezogen werden. Da im MINI E eine STOPP-Taste zum Beenden des Ladevorgangs nicht existiert, waren die Probanden gezwungen, das Kabel zuerst Fahrzeugseitig abzustecken.

Ebenfalls an der Ladesäule des Herstellers 1 hatten die Probanden Schwierigkeiten beim Autorisieren mit der RFID-Karte. Sie wussten nicht, an welcher Stelle die Karte vorgehalten werden musste. An der Ladesäule des Herstellers 1 wurde die RFID-Karte signifikant häufiger an die falsche Stelle gehalten als an der Ladesäule des Herstellers 2, so dass die Autorisierung fehlschlug.

Häufigster Fehler an der Ladesäule des Herstellers 2 war der Versuch, die Klappe manuell zu öffnen. An der Ladesäule des Herstellers 1 wurde signifikant weniger oft versucht, die Anschlussabdeckung mit den Fingern zu öffnen.

Seltenere Fehler waren das mehrmalige An- und Abstecken des Steckers an der Ladesteckdose der Ladestation sowie der Versuch, den Stecker verkehrt herum oder in die falsche Steckdose der Ladestation zu stecken. Beide Fehler wurden an der Ladesäule des Herstellers 1 signifikant häufiger verübt. Ein mehrmaliges Anschließen an die Ladesäule des Herstellers 1 war vor allem dann der Fall, wenn die Zeit zwischen Autorisierung und Anstecken des Kabels zu lang war, was zu einem Fehlschlag des Ladevorgangs führte. Der Versuch, den Stecker verkehrt herum oder in die falsche Steckdose zu stecken, wurde ausschließlich an der Ladesäule des Herstellers 1 beobachtet.

Fehlerkategorie	Ladesäule des Herstellers 2	LS Express	Sign.
Starten: Autorisierung mit RFID-Karte: an falsche Stelle halten	0,6	1,7	Ja
Starten: Anschlussabdeckung: Versuch Klappe/Abdeckung manuell zu öffnen, Versuch Finger in die Abdeckung der Ladesäule des Herstellers 1 zu schieben	1,7	0,4	Ja
Starten: Stecker: Versuch Stecker verkehrt herum oder in falsche Steckdose der LS anzustecken	0,0	0,4	Ja
Starten: mehrmaliges Anschließen	0,1	0,8	Ja
Beenden: Stecker: falschen Stecker abziehen/ Versuch, falschen Stecker abzuziehen	0,1	2,6	Ja

Tabelle 50: Mittlere Fehlerhäufigkeiten beim Starten und Beenden eines Ladevorgangs.

Unterschiede zwischen den Ladestationen zeigten sich auch in der Bewertung anhand der System Usability Scale, wobei die Ladesäule des Herstellers 2 einen signifikant höheren Gesamtwert (69 Prozentpunkte) erzielte als die Ladesäule des Herstellers 1 (49 Prozentpunkte). Produkte die empfehlenswert sind erreichen Werte zwischen 70 und 80

Prozentpunkten. Bei weniger als 70 Prozentpunkten sollte geprüft werden, woran dies liegt und Verbesserungen erfolgen, dies trifft vor allem auf die Ladesäule des Herstellers 1 zu.

In einer abschließenden Bewertung sollten die Nutzer die beiden Ladestationen anhand von fünf Kriterien (Gesamterscheinungsbild, Display Erkennbarkeit, Display Nutzerdialog, Autorisierung und Anschlussabdeckung) vergleichen und in einen Favoriten wählen. Abbildung zeigt die Häufigkeiten der Erstplatzierung der Ladestationen für jedes der fünf Kriterien. Im Unterschied zu der Bewertung durch die Experten schnitt die Ladesäule des Herstellers 2 bei den Nutzern hier ebenfalls besser ab als die Ladesäule des Herstellers 1. Während die Nutzer keinen klaren Favoriten bezüglich des allgemeinen Erscheinungsbildes (Sichtbarkeit von Weitem/Design) der Ladestationen und des Displays sowohl hinsichtlich der Erkennbarkeit als auch des Nutzerdialogs hatten, lag die Ladesäule des Herstellers 2 bei der Bewertung der Anschlussabdeckung (Sicherheit und Schutz vor äußeren Einflüssen) als auch der Autorisierung deutlich vor der Ladesäule des Herstellers 1.

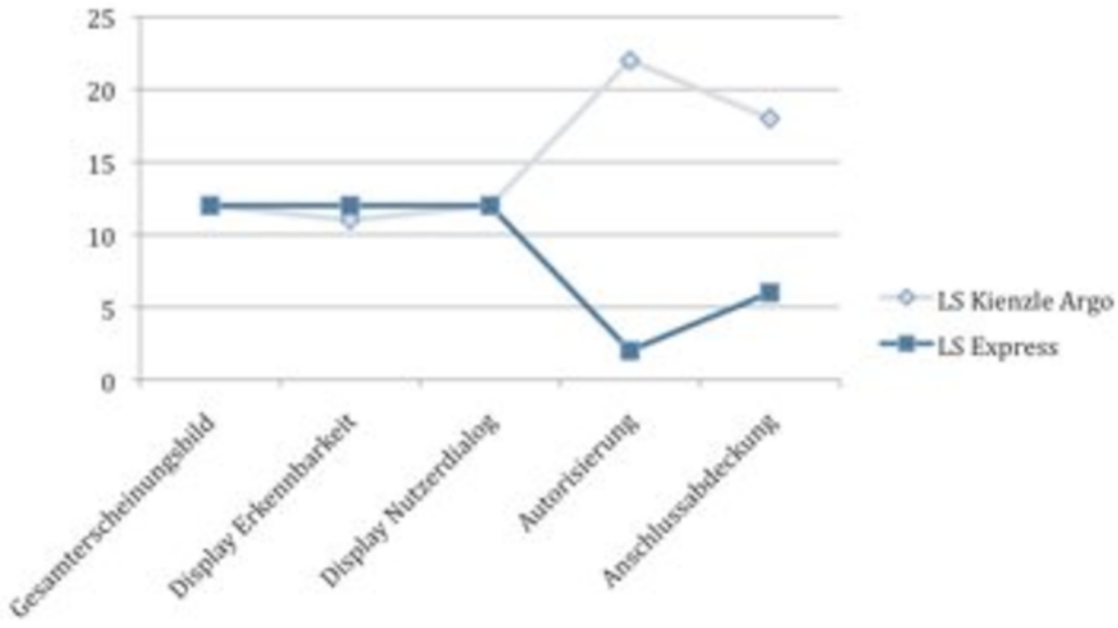


Abbildung 125: Abschließender Vergleich der Ladestationen: Anzahl der Erstplatzierungen bei den Nutzertests.

4.3.3.4.5 Schlussfolgerungen zur Evaluation und Test Ladeinfrastruktur

Die technischen Anforderungen in dem Projekt waren weit anspruchsvoller als die aktuellen Anforderungen der Marktteilnehmer. Daher hatten die am Markt operierenden Lieferanten keine fertigen Lösungen verfügbar und mussten bei der Umsetzung der hohen Anforderungen teilweise fachlich unterstützt werden.

Alle Lieferanten mussten intensiv auf technischer Ebene betreut werden. Fast allen Lieferanten waren sowohl Anforderungen aus der Energiewirtschaft (Normen, Standards, Vorschriften usw.), als auch spezifische technische Anforderungen aus dem Projekt nur unzureichend geläufig.

Die Lieferanten mussten fachlich intensiv unterstützt werden und hatten keine eigenen Testmethoden verfügbar, um die neuen projektspezifischen Anforderungen zu prüfen und zu erproben.

Die Distanz zum dritten Lieferanten hat die Zusammenarbeit zusätzlich erschwert, da die Distanz-, Zeit- und Kulturbarriere zusätzlich zu den technischen Barrieren überwunden werden mussten.

4.3.3.4.6 Schlussfolgerungen zu Tests und Evaluationen aus Nutzersicht

4.3.3.4.6.1 Nutzerevaluation aus automotiver Sicht

Fakten, wie beispielsweise die Anzeige von verbrauchten Kilowattstunden Strom oder des Gesamtpreises für den abgeschlossenen Ladevorgang, sind essentielle Faktoren im Rahmen der Akzeptanzsteigerung von neuartigen Ladeinfrastrukturelementen. Ebenso ist das Thema Ladestecker-/Kabel sehr wichtig.

4.3.3.4.7 Schlussfolgerungen bzgl. der Evaluierung der Nutzerakzeptanz

Bei den untersuchten Ladestationen entdeckten die Experten einige Usability-Probleme. Dies ist verständlich, da es sich hier um eine neue Technologie handelt, wo noch wenige Erfahrungswerte vorliegen und groß angelegte Nutzerstudien fehlen. Einige der identifizierten Defizite lassen sich einfach beheben (z.B. durch Umformulierungen der Nutzerdialoge), was teilweise von der Vattenfall Europe AG bereits veranlasst wurde. Trotz der von den Experten berichteten Probleme waren die Nutzer in der Lage die Ladestationen Hersteller 2 und Hersteller 1 zu bedienen und zu nutzen. Dabei erwies sich die Ladesäule des Herstellers 2 als nutzerfreundlicher als die Ladesäule des Herstellers 1. Ein möglicher Grund dafür ist das Vorhandensein einer Kurzanweisung zusätzlich zum Nutzer-

dialog, welcher im Display kommuniziert wird. Auch wenn die Probanden in der Abschlussbewertung keine der beiden Stationen hinsichtlich des Nutzerdialogs favorisierten, lässt sich anhand der Zeiten zum Lesen der Dialoge (kürzer bei der Ladesäule des Herstellers 2 sowohl zum Starten als auch zum Beenden) erkennen, dass der Dialog der Ladestation Hersteller 2 einfacher zu erfassen war. Speziell beim Beenden des Ladevorgangs traten Probleme an der Ladesäule des Herstellers 1 auf. Die Aufforderung im Nutzerdialog, die Stopp-Taste im Fahrzeug zu betätigen, deckte sich nicht mit den tatsächlichen Gegebenheiten (im MINI E existiert keine Stopp-Taste) und die Probanden konnten nicht den Schluss ziehen, daher das Kabel zuerst am Fahrzeug zu entfernen. Dieses Problem wurde bereits von der Vattenfall Europe AG erkannt und der Nutzerdialog dahingehend verändert. Auch bei der Autorisierung punktete die Ladesäule des Herstellers 2 vor der Ladesäule des Herstellers 1: Während bei der Ladesäule des Herstellers 2 hier kaum Probleme auftraten, wussten die meisten Probanden nicht, wie und wo sie sich bei der Ladesäule des Herstellers 1 autorisieren sollten. Vermutlich entsprach das kognitive Modell der Teilnehmer über den Gebrauch der RFID-Karte nicht der geforderten Anwendung an der Ladesäule des Herstellers 1. Der Autorisierungsbereich wurde nicht als Scan-Bereich wahrgenommen, auch wenn der Nutzerdialog aufforderte, die Kundenkarte vor die Steckdose mit dem Auto-Symbol zu halten. Eine Erklärungsmöglichkeit dieser Problematik liegt in der Doppelkodierung des Auto-Symbols als Autorisierungsbereich und Abdeckung der Steckdose. Empfohlen wird, jeder Funktion eine eigene Stelle zu zuordnen und durch ein entsprechendes Icon so zu kennzeichnen, dass kein zusätzlicher Hinweis nötig ist, wo die Karte hingehalten werden muss.

Für weitere Entwicklungen konnten daher Optimierungspotentiale aufgedeckt werden: Klare Anweisungen (auch in Form von Symbolen) tragen zu schnelleren und fehlerfreien Nutzerdialogen bei und erhöhen die subjektive Sicherheit der Nutzer bei der Bedienung der Ladestation ebenso wie konkrete Rückmeldungen über Ladezustand und Ladeprozess (evtl. auch Kosten). Um Fehlern vorzubeugen kann es in bestimmten Handlungsschritten sinnvoll sein, den Nutzer aus dem Dialog zu nehmen (z.B. durch die Automatisierung der Einstellungen des Ladestroms durch die Kommunikation von Ladestation und Fahrzeug, dies wurde bei der Wallbox des dritten Lieferanten bereits umgesetzt) oder durch eine entsprechende Hardware Fehlbedienungen zu verhindern (z.B. sofortiges Verriegeln der Steckverbindung, so dass erneutes Ab- und Anstecken nicht mehr möglich ist). Die Verhinderung von Fehlern durch physikalische Beschränkungen wurde

an beiden Stationen der Hersteller 1 und 2 bereits erfolgreich umgesetzt, so lassen sich die Anschlussabdeckungen nicht manuell öffnen und der Stecker kann nicht verkehrt angesteckt werden. Dennoch ist zu prüfen, ob solche Einschränkungen dem Nutzer deutlicher mitgeteilt werden können, so dass es zu weniger Fehlversuchen kommt. Insgesamt sollte sich bei der funktionalen Weiterentwicklung hinsichtlich der Bedienung der Ladestationen eher an der Ladesäule des Herstellers 2 orientiert werden als an der Ladesäule des Herstellers 1. Dies gilt nicht für die technische Umsetzung des Displays und für das Design. Das Display sollte technisch so umgesetzt werden, dass es auch bei unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen und für Personen unterschiedlicher Größe gut erkennbar ist. Ein auffälligeres Design der Ladestation hilft, die Ladesäule überhaupt und als solche zu identifizieren. Wenn dies aufgrund städtebaulicher Richtlinien nicht umsetzbar ist, so werden Erkennungssymbole (z.B. Kabel/Stecker) an den von der Straße aus sichtbaren Seiten der Ladestation empfohlen.

4.3.4 Deliverable 3.3: Produktion und Roll-out

4.3.4.1 Management Summary

Während der Entwicklungs- und Produktionszeit musste die Zusammenarbeit mit zwei Lieferanten abgebrochen werden, da die Erfüllung der Projektziele aufgrund mangelnder Kompetenzen bzw. aufgrund zu geringer Umsetzungsgeschwindigkeit nicht gewährleistet werden konnte. Der dritte Lieferant war schneller in der Umsetzung, hatte aber - wie zuvor bei den anderen Lieferanten auch beobachtet – Probleme mit der Realisierung insbesondere IT-technischer Lösungen.

Mit dem finalen Lieferanten konnte der elektromechanische Aufbau schnell erarbeitet werden. Aufgrund der noch verbliebenen kurzen Realisierungszeit – Ursache war der zweifache Lieferantenwechsel - wurden Kompromisse bei der finalen Lösung eingegangen (z.B. wurde von der Fertigung einer Ladesäule abgesehen und eine beim Hersteller vorhandene Wallbox verwendet und technisch umgerüstet).

Die Fertigstellung der Softwarefunktionen war erheblich schwerer. Funktional konnten die Anforderungen des Gesteuerten Ladens und das normale Mode3-Ladeverfahren umgesetzt werden (Verhandlungsprozesse zwischen EV und LI, sowie W2V, LLM). Im Detail stellten sich jedoch viele Probleme heraus, die einen stabilen Realbetrieb nicht möglich machen. Beispielsweise wiesen verschiedene Komponenten - u.a. aufgrund von

Softwarefehlern - Instabilitäten auf (z.B. GSM-Modul, RFID-Kartenleser, Ethernet/PLC-Kommunikation zwischen Master und Satellit). Darüber hinaus zeigte sich, dass die PLC-Kommunikation aktuell erhebliche Probleme verursacht. Manchmal funktionierte die Kommunikationsstrecke zwischen EV und LI fehlerfrei, manchmal brach die Kommunikation jedoch zusammen oder war fehlerbehaftet. Momentan werden die Ursachen für dieses Versagen der Technik untersucht. Es muss generell diskutiert werden, ob die PLC-Technik an sich zielführend ist oder ob alternative Lösungen in Betracht gezogen werden sollten.

Es konnten die bei der Inbetriebnahme aufgetretenen Stabilitätsprobleme nicht vollständig beseitigt werden. Eine Ursache dafür war die um mehrere Monate verspätete Auslieferung der EV´s, die deshalb für Tests nur kurz zur Verfügung standen. Weiter entstanden langwierige technische Probleme bei der Entwicklung, die die Inbetriebnahme verzögerten und die dafür verfügbare Zeit reduzierten. Zusätzlich wurde die Situation durch die erhebliche Bindung der personellen Ressourcen bei der mehrfachen Auswahl von Lieferanten und dem dadurch entstandenen Betreuungsaufwand der Lieferanten verschärft (besonders der finale Lieferant musste wegen der deutlich verkürzten Entwicklungszeit auch vor Ort in Singapur intensiv betreut werden).

Die vorherige Testphase wurde aufgrund der Zeitprobleme erheblich gekürzt und u.a. deshalb konnten die Stabilitätsprobleme in der Testphase nicht vollständig erkannt und beseitigt werden (manche Stabilitätsprobleme tauchten erst nach einer bestimmten Nutzungsdauer auf). Zu den technischen Problemen ergaben sich Probleme in der Abwicklung der Aufgaben mit dem Lieferanten, die sich aus der physischen Distanz zum Standort des Lieferanten, aus der Sprachbarriere (Deutsch – Englisch – Chinesisch) und aufgrund der unterschiedlichen kulturellen Hintergründe der Projektmitarbeiter ergaben.

4.3.4.2 Ziele und Aufgaben

Das Projekt zielte auf die Entwicklung einer zukunftsweisenden, alltagstauglichen Ladeinfrastruktur ab. Daher war es unabdingbar, dass Muster und Prototypen in verschiedenen Varianten gefertigt wurden, die intensiv getestet und evaluiert werden sollten. Ziel des Deliverables D3.3 war es, die Produktion der Muster, Prototypen, und Serienprodukte zu begleiten und diese auszurollen und anschließend in Betrieb zu nehmen.

4.3.4.2.1 Produktionsbegleitung und Evaluierung

Im Versuchsstadium war vorgesehen verschiedene voll funktionstüchtige Prototypen zu bauen und zu testen. Hier sollten nicht nur verschiedene Alternativen, sondern auch mehrere alternative Versionen aufgebaut werden und auf diese Weise die Bewertungen der Nutzer und Experten in die Lösungen eingehen.

Im Anschluss an die Prototypen-Evaluierung wurde geplant, zwei bis drei Demonstratoren zu bauen, welche dann im Rahmen des Probebetriebs in unterschiedlichen Kontextsituationen unter alltagsähnlichen Bedingungen getestet werden sollten.

4.3.4.2.2 Roll-out Ladeinfrastruktur und betriebliche Abnahme

Die entwickelte Ladeinfrastruktur sollte nach der Produktion ausgerollt, in Betrieb genommen und für den Probebetrieb bereitgestellt werden. Für den parallel verlaufenden MINI E V2G Probebetrieb der TU Berlin sollten von Vattenfall drei Ladesäulen zur Verfügung gestellt werden. Diese sollte die TU Berlin eigenverantwortlich für den Laborbetrieb umrüsten.

Für den Probebetrieb mit den ActiveE sollten insgesamt 17 Wallboxen gefertigt werden. Die 17 Wallboxen waren für folgenden Gebrauch vorgesehen:

- 2 Prototypen-Wallboxen
- 10 Wallboxen für den eigentlichen Probebetrieb
- 2 Ersatz-Wallboxen
- 1 Wallbox für das BMW Labor in München
- 2 Wallboxen in der Version 2.x, die am Ende des Projektes zu liefern waren

Weiterhin sollten spezielle Messboxen für die ÖLM-Messungen der TU Ilmenau in einem definierten Versuchsnetz installiert werden.

4.3.4.3 Vorgehen, Methodik

4.3.4.3.1 Produktionsbegleitung und Evaluierung

4.3.4.3.1.1 Methode der Lieferantenauswahl

Um einen geeigneten Lieferanten für das Projekt zu finden, wurde folgendes Vorgehen gewählt. Zunächst wurde eine frühe Anforderungsliste (Blaupause, aus der das umfängliche Lastenheft später entstand) erstellt, die einem von Vattenfall angesprochenen und

interessierten Lieferanten zur Verfügung gestellt wurde. Diese Anforderungen beschrieben die notwendigen Funktionen und Anforderungen, die das System in der finalen Ausbaustufe aufweisen sollte. Da kein Lieferant zu dem Zeitpunkt der Auswahl ein mit den beschriebenen Anforderungen ausgestattetes Produkt direkt ab Werk liefern konnte, musste eine Entwicklungspartnerschaft eingegangen werden. Dazu wurden von mehreren attraktiven Lieferanten Angebote eingeholt. Diese wurden anhand der technischen Möglichkeiten, der aufgeführten Realisierungsgeschwindigkeit und der kommerziellen Rahmenbedingungen bewertet. Dabei konnte u.U. auch ein Lieferant ausgewählt werden, der nicht das günstigste Angebot vorlegte, dafür aber die bessere technische Lösung versprach.

4.3.4.3.1.2 Lieferantenauswahl

Aufgrund vorheriger positiver Erfahrungen in gemeinsamen eMobility-Projekten und einem vielversprechenden Gesamtangebot wurde der Lieferant 1 am Anfang des Projekts für die Umsetzung gewählt. Auf der Hardwareseite war der Hersteller eine sehr gute Wahl. Die technischen Lösungen waren hochwertig und praxistauglich. Leider stellte sich im Laufe der Umsetzung heraus, dass die Geschwindigkeit der Umsetzung der projektspezifischen Softwarelösung unzureichend war. Daher wurde nach einer längeren und leider wenig produktiven Software-Umsetzungsphase entschieden, dass ein alternativer Hersteller gesucht werden musste.

Bei der erneuten Lieferantensuche kamen zwei Hersteller in die engere Wahl: Hersteller 4 und Hersteller 5. Beides sind Hersteller mit guter Reputation und bereits ausgereiften eigenen Produkten. Die Wahl fiel auf Hersteller 5, da das Unternehmen eine attraktive Hardwareplattform im Angebot hatte (die – so die damalige Einschätzung - durch Modifikationen relativ schnell an die Projektbedingungen angepasst werden konnte) und dabei die günstigeren Entwicklungskosten in Rechnung stellen wollte. Bei der Umsetzung der technischen Lösungen zeigte sich leider sehr schnell, dass die Zusammenarbeit bereits in der Entwicklungsphase sehr schwierig verlief. Änderungen und Probleme - wie sie in einem hochdynamischen Projekt mit vielen technischen Herausforderungen üblicherweise auftreten – wurden nicht einfach und unkompliziert abgearbeitet. Es stellte sich eine kritische Unflexibilität des Lieferanten heraus. Daher musste erneut festgestellt werden, dass die Projektziele mit dem neuen Lieferanten zeitlich nicht umzusetzen waren.

In der Phase wurden Kontakte zu dem asiatischen Hersteller 6 aufgenommen, da er eine schnelle und unkomplizierte Umsetzung der Projektanforderungen versprach. Es bestand bereits ein vorheriger Kontakt zum Hersteller 6 und die in der Vergangenheit realisierten Projekte schienen sehr schnell umgesetzt worden zu sein und waren dabei trotzdem softwaretechnisch sehr komplex. Das Vorgehen war auch deshalb vielversprechend, da die bestehende Lösung bereits einige wichtige Softwaremerkmale beinhaltete, die für das Projekt weiterentwickelt werden sollen. Damit sollen Teile der vorhandenen Software genutzt werden konnte.

4.3.4.3.1.3 Definition der V2.x-Version

Aufgrund der Zeitknappheit wurde der Entwicklungsprozess beim dritten Lieferanten aufgeteilt: Es wurde eine V2.0-Version konzipiert und gebaut, die Anfang Juni 2011 für den Probebetrieb zur Verfügung stand. Darüber hinaus wurden im Laufe des Projekts technische Anforderungen definiert, die als besonders attraktiv für weitere zukünftige Anwendungen eingeschätzt wurden. Es wurde angestrebt, dass diese Funktionen in zwei Demonstratoren (V2.x) integriert werden sollten, die vor Ende des Projekts zur Verfügung gestellt werden und als Zukunfts-Technologie-Demonstratoren fungieren. Diese technischen Anforderungen konnten nicht in die V2.0-Version (Serienprodukte) aufgenommen werden, da die Anforderungen zu dem Zeitpunkt der Entwicklung der Serienprodukte noch nicht bekannt waren. Diese neuen Anforderungen ergaben sich erst mit der intensiven Beschäftigung mit zielführenden neuen Lösungen.

4.3.4.3.1.4 Abweichungen vom geplanten Vorgehen aufgrund von Zeitproblemen

Da die Hersteller mehrfach gewechselt werden mussten, war die verbleibende Umsetzungszeit für den letztlich beauftragten Hersteller 6 sehr kurz. Um in der reduzierten Zeit überhaupt eine Systemlösung umzusetzen, musste das Vorgehen drastisch geändert werden. So wurde seitens Vattenfall eine massive Unterstützung für den Hersteller u.a. auch direkt vor Ort in Singapur bereitgestellt. Die technischen Experten von Vattenfall haben den Hersteller mehrfach in der Entwicklungs- und Produktionsphase in Singapur besucht (teilweise bis zu 7 Mal) und bei der Umsetzung der technischen Lösungen/Probleme unterstützt. Das führte zu einer starken personellen Ressourcenbindung für die konkrete Abwicklung.

Trotzdem mussten auch technische Kompromisse gemacht werden. So konnten nicht alle technischen Anforderungen aus den Anfängen der Projektphase realisiert werden. Statt einer Ladesäule wurde z.B. eine Wallbox entwickelt, da der Hersteller 6 zu der Zeit der Beauftragung keine Ladesäule zur Verfügung hatte. Das zog mit sich, dass z.B. kein eichrechtlich zertifizierter EDL21-Zähler eingebaut werden konnte (aus Platzgründen) und die Wallbox damit nur im nachgelagerten Netz hinter einer offiziellen Messstelle betrieben werden durfte. Das war deshalb akzeptabel, da die Projektziele mit der Einschränkung dennoch erreicht werden konnten. Es wurde ebenfalls darauf verzichtet, dass nur der Master intelligent und damit technisch komplex ausgelegt wurde. Die Satelliten wurden nicht wie ursprünglich geplant einfach und ohne eigene IT-Systeme aufgebaut, sondern alle Systeme wurden IT-technisch komplex aufgebaut (und sind damit technisch komplett identisch) und wurden nur durch Softwareparametrisierung zum Master oder Satelliten konfiguriert. Das war deshalb akzeptabel, da dadurch die Systemkosten zwar bei den Satelliten relativ hoch waren, aber die Projektziele schneller erreicht werden konnten (es musste nur ein System entwickelt werden, statt einem komplexen Master UND einem einfachen Satelliten).

Abbildung 126: Fertigung des Systems des dritten Lieferanten

Während der Produktion standen mehrfach bestimmte Komponenten zeitlich nicht rechtzeitig zur Verfügung (da die eMobility-spezifischen Komponenten nur von einigen wenigen Lieferanten verfügbar waren und diese Lieferverzögerungen hatten), so dass sich die Fertigstellung bestimmter Systeme verzögerte (teilweise um jeweils bis zu 3 Wochen pro verzögerter Lieferung von Komponenten). Das führte zu verspäteten Auslieferungen von Prototypen und Seriensystemen. Während der Produktion stellten sich ebenfalls einige technische Schwierigkeiten heraus, die dazu führten, dass die Systeme umgearbeitet werden mussten. Dies folgte zu weiteren Verzögerungen der Auslieferung (z.B. musste die elektronische Einbindung des CP-Moduls zur Steuerung des Mode3-Ladevorgangs nach bewiesener Fehlfunktion umgearbeitet werden).

4.3.4.3.2 Roll-out Ladeinfrastruktur und betriebliche Abnahme

Für den Probebetrieb mit den ActiveE wurden insgesamt 17 Ladeinfrastruktur-Systeme (LI) produziert. Die Nutzung der 17-Ladeinfrastruktursysteme stellte sich wie folgt zusammen:

Neben den hier beschriebenen Systemen wurden alte Vattenfall-Ladesäulen durch Umbau an die Anforderungen für das Rückspeisen von Energie in das Fahrzeug angepasst (V2G) und auf dem Freilandlaborgelände der TU Berlin aufgestellt.

- Zwei Einheiten wurden für Tests und Weiterentwicklung als Prototypen gefertigt und in Hamburg als Master und Satellit getestet und geprüft.
- Zwei Einheiten wurden als Produktionsmuster gefertigt und wurden in Hamburg als Master und Satellit getestet und geprüft.
- Fünf Einheiten wurden nach München zu BMW gesendet und dort installiert (2 Master, 2 Satelliten und 1 CWOI=nicht intelligente Wallbox nur mit Mode3-Ladefähigkeiten ausgestattet). Dort wurden ebenfalls grundlegende Tests in Zusammenarbeit zwischen BMW und der VE-IS in Hamburg durchgeführt. Hintergrund für die Tests mit dem CWOI war das Mode-3-Laden mit einem PLC tauglichen EV.
- Vier Wallboxen (1 Master und 3 Satelliten) wurden in der Prinzregentenstraße für Tests mit vier ActiveE ohne PLC-Technik aufgebaut. Weitere zwei ActiveE mit PLC-Technik sollten folgen (bis zur 41. KW erfolgte dies jedoch nicht).
- Für einen schnellen Austausch im Reparaturfall wurden zwei Wallboxen als Reservesysteme produziert.

- Zwei weitere Wallboxen wurden im Zuge der V2.x-Aktivitäten mit einem neu entwickelten CP-Modul mit durchstimmbarem PWM-Signal ausgerüstet. Die Abnahme erfolgte jedoch noch nicht bis zur 41KW.

Folgender Ablauf zeigt das zeitliche Vorgehen bei dem Roll-out der LI auf:

- Die ersten Produktionsmuster wurden Mitte Juni in Berlin konfiguriert. Mitte Juli begann der Aufbau des Versuchsbereichs in der Prinzregentenstraße (PRZ) sowie der Tiefbau, die Kabelverlegung, Installation eines Verteilerschranks und Ständer/Halterungen für die Ladeboxen.
- Mitte August waren alle Arbeiten in der PRZ erledigt, auch die Messboxen (MEB) für die Datenaufzeichnung/Auswertung der TUI waren eingebaut und die Boxen haben die erforderliche Datenpakete gesendet.
- Da sich die Lieferungen der ActiveE verzögerten, wurde Ende August mit dem Laden von MINI E angefangen. Hier wurden erste Erfahrungen mit den Wallboxen und der Datenübertragung zum Backend gesammelt.
- In der 37. KW standen dann vier ActiveE zur Verfügung.
- Nach bereits im Vorfeld gemeldeten Problemen mit der LI reisten die Entwickler in der 37. KW aus Singapur an, um die nun lokalisierten Fehler zu beheben.
- In der 37. KW fiel ein ActiveE aus, dieser stand erst in der 40. KW wieder zur Verfügung.
- Von der 37. KW bis zur 39. KW wurden Tests und Versuche mit unterschiedlichen EV´s vorgenommen (hauptsächlich jedoch mit den ActiveE), um zu prüfen, ob die Ladeinfrastruktur die gewünschte Stabilität aufweist.

Für den Betrieb der LI wurden vier Wallboxen des dritten Lieferanten GL V2.0 in der Prinzregentenstraße installiert. Im Folgenden ist die visuelle Gestaltung der Systeme dargestellt (Master und Satelliten und CWOI sehen äußerlich identisch aus):

Abbildung 127: Wallbox GL V2.0 des Herstellers 6

Am Teststandort Berlin in der Prinzregentenstraße wurde ein Master mit drei Satelliten elektrisch mit dem Kabelverteilerschrank (KVS) bis zum Hausanschluss (HA) miteinander verbunden. Zu Testzecken der Mode3-Ladeverfahren wurden teilweise andere EV´s verwendet (wie in der Abbildung dargestellt). Das war notwendig, da die EV´s mit PLC-Kommunikation nicht ausschließlich im Mode3-Ladeverfahren operierten. Das Mode3-Ladeverfahren musste aber auch mit realen EV´s geprüft werden.

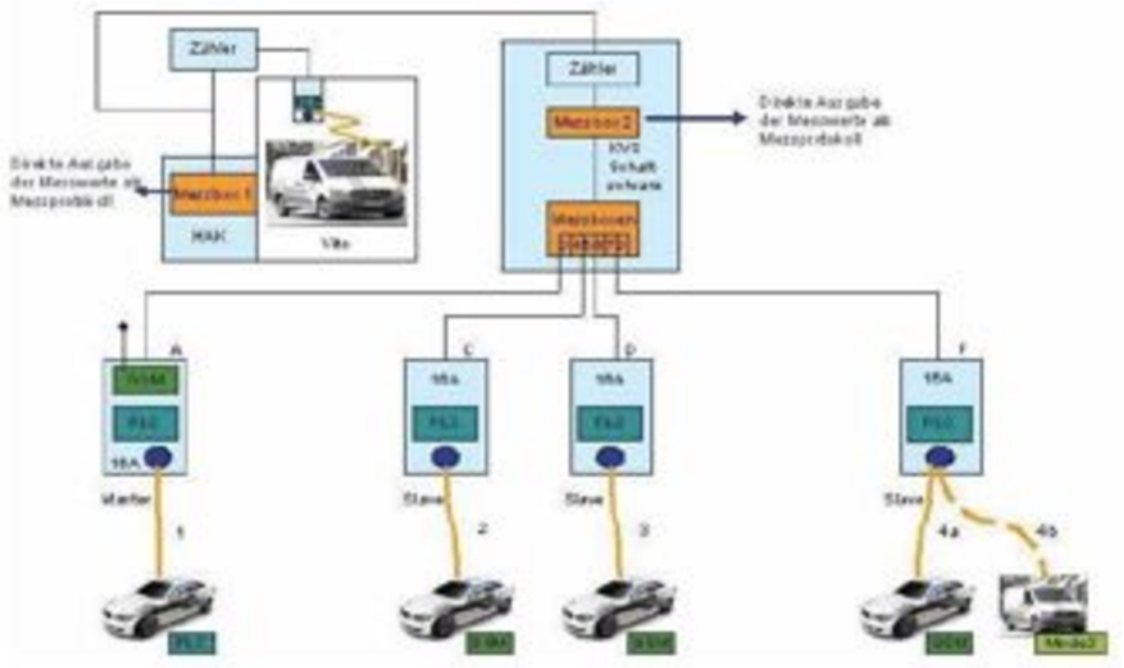


Abbildung 128: Elektrischer Aufbau der Verkabelung des Testaufbaus

In dem folgenden Bild sind die installierten Master- und Satelliten-Systeme zu sehen, wie sie hinter einer Schutzleitplanke aufgeständert installiert sind. Die Verkabelung der

Systeme untereinander wurde auf die Rückseite der Aufständerungen in Standardinstallationsgehäusen für elektrische Außeninstallationen untergebracht, um einen schnellen Zugriff für die prüfenden Elektriker zu gewährleisten. Die Verkabelung untereinander wurde auf die Rückseite der Leitplanken montiert.

Abbildung 129: Test-Standort Prinzregentenstraße in Berlin

4.3.4.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.3.4.4.1 Ergebnisse: Produktionsbegleitung und Evaluierung

Es wurden 15 V2.0-Seriensysteme aufgebaut, die in drei Authentifizierungsalternativen ausgeführt wurden. Während der Tests und durch neue Erkenntnisse im Projektverlauf wurden zwei weitere V2.x-Muster ausgearbeitet.

Das ursprünglich geplante Master-Satelliten-Konzept sah vor, dass der Master eine IT-Plattform beinhaltet und die Satelliten nicht. Hiermit sollten die Systemkosten (Herstellung, Betrieb und Wartung) so niedrig wie möglich gehalten werden. Die real umgesetzte Master-Satelliten-Lösung hatte dann aber aufgrund von sehr begrenzten Entwicklungszeiten sowohl im Master als auch in den Satelliten eine identische IT-Plattform. Lediglich die Parametrierung der jeweiligen Software konfigurierte die Systeme zu einem Master oder Satelliten. Dadurch konnte die IT-Entwicklungszeit verkürzt werden (aufgrund der Lieferantenwechsel war die Entwicklungszeit für den dritten Lieferanten bereits stark verkürzt). Darüber hinaus ergab sich für das Projekt eine erhöhte Betriebssicherheit im Falle eines Ausfalls des Mastersystems, da dann jeder Satellit durch Umparametrierung

zu einem Master umfunktioniert werden konnte und der Standort trotzdem (nur mit Verlust eines einzelnen Ladepunkts) betriebsbereit war.

Abbildung 130: Fertiges System in der endgültigen Ausführung, sowohl als Master als auch als Satellit einsetzbar.

4.3.4.4.1.1 V2.0-Systeme

Die Systeme für die Projektversion wurden nach den Projektanforderungen aufgebaut und haben in der Serienversion folgende Komponenten/Funktionen aufgewiesen:

- Integriertes RFID-Kartenlesegerät
- CP-Modul für das normgerechte Mode3-Laden (3 Phasen, je 16A bei 230V)
- Integrierter IPC mit Firmware und Mentorensoftware von Vattenfall
- Integriertes PLC-Modem Type Homeplug AV für die Kommunikation zwischen Master und Satelliten und zu den EV´s
- Integrierter Ethernet Switch
- Fehlerstrom-Schalter Type B
- Sicherungsautomaten für Lastkreis und Steuerkreis (separat)
- Integrierter MID-Zähler mit Schnittstelle zum IPC
- Integriertes GSM-Modem mit rückseitig integrierter externer Antenne, standardmäßig verdeckt auf hinterer Seite des Geräts montiert, optional bis zu 3m versetzbar durch standardmäßig vorhandenes Kabel
- Display für die Anzeige der verschiedenen Betriebszustände
- LED-Mehrfarben-Anzeige für Betriebszustände
- IEC Typ 2 Anschlussbuchse mit IP44 tauglichem Deckel
- Servicetür mit dahinterliegendem externem Ethernetanschluss für das Anschließen eines PC´s

Folgende Authentifizierungsvarianten wurden aufgebaut (Die Hardware war jeweils unverändert, die Mentorensoftware musste jeweils angepasst werden). Die Authentifizierungsvariante mit RFID-Karte sah vor, dass die RFID-Karte die Nutzeridentifikation erzeugte, das Gesteuerte Laden aber mittels PLC-Kommunikation zwischen EV und LI stattfand.

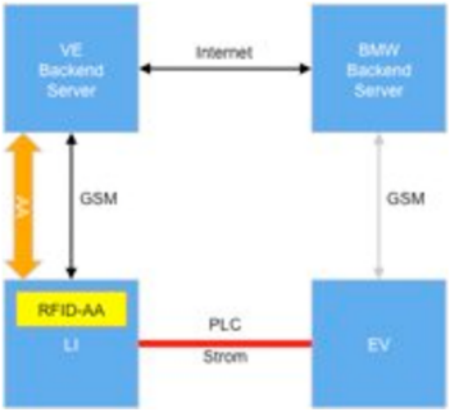


Abbildung 131: Authentifizierungsvariante mit RFID-Karte

Die Authentifizierungsvariante mit PLC-Kommunikation sah vor, dass die Nutzeridentifikation und das Gesteuerte Laden nur mittels PLC-Kommunikation zwischen EV und LI stattfanden.

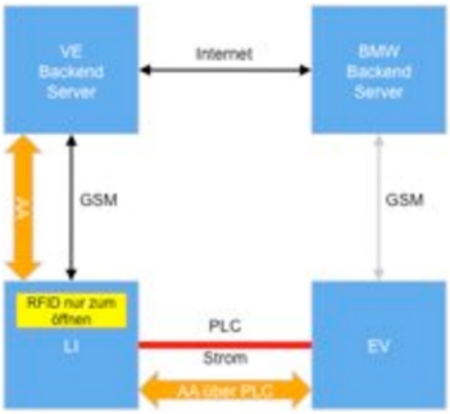


Abbildung 132: Authentifizierungsvariante mit PLC-Kommunikation

Die Authentifizierungsvariante mit GSM-Kommunikation sah vor, dass die Nutzeridentifikation und das Gesteuerte Laden nur mittels GSM-Kommunikation zwischen EV und BMW-Backend stattfinden sollten. Die Authentifizierung selbst findet dann zwischen BMW-Backend und Vattenfall-Backend statt. Da

die EV´s zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts nicht ausgeliefert waren, konnte diese Variante nicht erprobt werden.

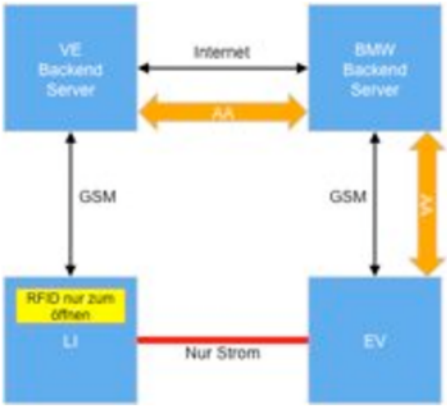


Abbildung 133: Authentifizierungsvariante mit GSM-Kommunikation

4.3.4.4.1.2 V2.x-Systeme

Zwei Demonstratoren wurden kurz vor dem Ende des Projekts aufgebaut, in denen die neuen zusätzlichen Anforderungen integriert wurden. Zum einen wurde eine veränderte interne Montage der Displayplatine umgesetzt, um eine verbesserte Servicetauglichkeit des Systems zu erreichen. Zum anderen wurde ein neues CP-Modul entwickelt und integriert, in dem das PWM-Signal beim Mode-3-Ladevorgang per Software verändert werden konnte (wodurch der maximale Strom des EV per Software eingestellt und reduziert werden konnte).

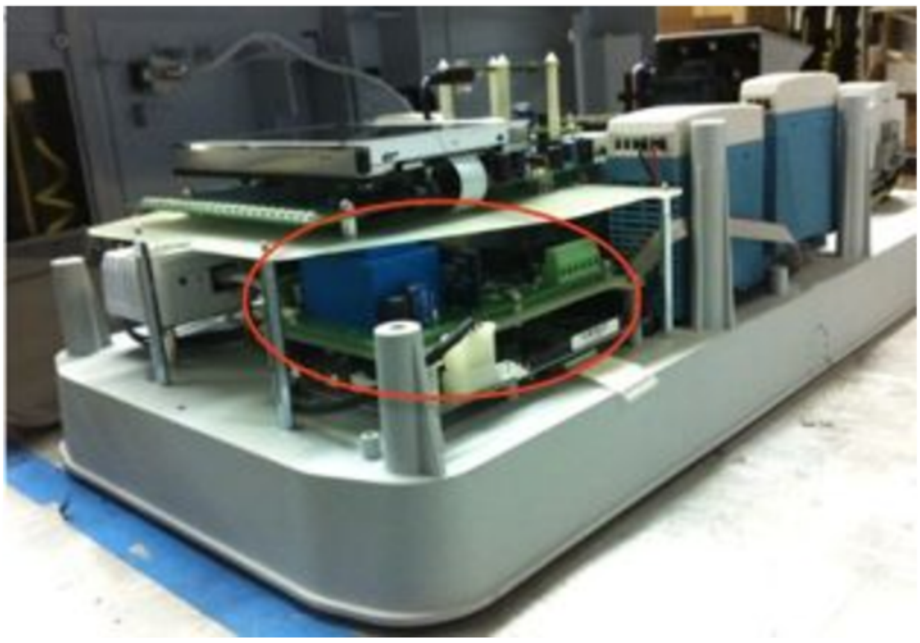


Abbildung 134: V2.x-System mit veränderter Montage der Komponenten und in Sandwichbauweise integriertes und über die über software durchstimmbares CP-Modul (im Bild rot umrandet).

Leider konnten die V2.x-Systeme aus Zeitgründen (verspätete Lieferung) bis zur Erstellung des Berichts nicht mehr umfänglich getestet werden (Erste Teilsystem-Tests wurden von Vattenfall-Mitarbeitern bei einem Besuch in Singapur durchgeführt):

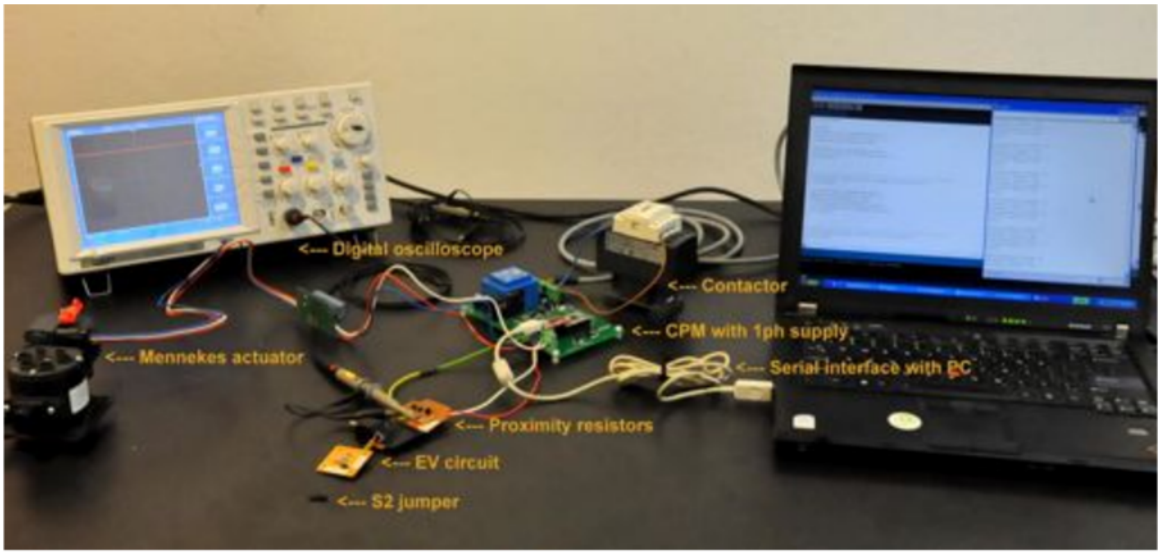


Abbildung 135: Erste Tests von Komponenten aus dem V2.x-System in Singapur.

4.3.4.4.1.3 Ladeinfrastruktur für V2G

Neben den hier beschriebenen Systemen wurden bestehende Ladesäulen durch Umbau an die Anforderungen für das Rückspeisen von Energie in das Fahrzeug angepasst (V2G) und auf dem Freilandlaborgelände der TUB aufgestellt. Diese wurden separat im Teilprojekt TP1, Deliverable D1.3 und die Testdokumentation im Deliverable D5.3 beschrieben, da es sich um von dem Projektpartner TU-Berlin getestete Systeme handelt.

4.3.4.4.2 Ergebnisse: Roll-out Ladeinfrastruktur und betriebliche Abnahme

Nachdem die Ladeinfrastruktur in Singapur gefertigt und in Deutschland den IT FAT (IT FAT = Software Factory Acceptance Test) mit einer bedingten Abnahme (notwendige Funktionalitäten wurden erfolgreich getestet, weitere Funktionalitäten mussten noch nachträglich finalisiert oder geändert werden) und in Singapur den EM FAT (EM FAT = elektromechanischer Factory Acceptance Test) bestanden hat, wurden die Systeme nach Deutschland überführt. In Deutschland wurden die Systeme wie geplant wie folgt installiert:

- 4 Wallboxen in der Konfiguration 1M+2S + 1 CWOI in München bei BMW
- 6 Wallboxen in der Konfiguration 1M+5S in Berlin bei Vattenfall
- 2 Wallboxen in der Konfiguration 1M+1S in Hamburg bei Vattenfall

  (M=Master, S=Satellit, CWOI=Nur Mode3-fähige Wallbox ohne Rechnersystem)

Die Systeme konnten erfolgreich in Betrieb genommen werden – teilweise jedoch erst nach technischen Nachbesserungen des Lieferanten. Dabei konnte die LI folgende Prozesse funktional erfolgreich demonstrieren, jedoch nicht mit der für einen Realbetrieb erforderlichen Stabilität:

- Anmeldung mittels RFID-Karte (in Berlin und München) und Anmeldung über PLC-Kommunikation (in Hamburg), jedoch mit Stabilitätsproblemen mit der PLC-Verbindung zwischen EV und LI.
- Prüfung der Whitelist (Autorisierung des Nutzers) sowohl im Backend-Server als auch lokal auf der Master-Wallbox.
- Ermittlung aller relevanten Daten für Gesteuertes Laden im Backend-Server mit den angelagerten IT-Systemen der TU Ilmenau, 50 Hertz usw.
- Durchführung des „normalen“ Mode3-Ladevorgangs.

- Durchführung des Ladevorgangs mit den Verhandlungsprozessen für Gesteuertes Laden (W2V).
- Durchführung des Ladevorgangs mit den Verhandlungsprozessen für Gesteuertes Laden (W2V) in Kombination mit Lokalem Lastmanagement (LLM).
- Abmeldung mittels RFID-Karte und Abmeldung über PLC-Kommunikation.
- Ladeabbruch mittels RFID-Karte, mittels Ladeendesignal aus dem EV oder durch Trennung des Ladekabels vom EV.
- Übermittlung der Ladevorgangsdaten in den Backend-Server.
- Verarbeitung der Daten zwischen den Backend-Servern von BMW und Vattenfall
- Übermittlung der Abrechnungsdaten vom Backend-Server zu den entsprechenden Abrechnungsinstanzen
- Übermittlung der Daten von und zu der Warte

Zu einer vollständigen betrieblichen Abnahme kam es bis zum Abschluss dieses Berichts nicht, da folgende technische Probleme auftraten:

- Die Bauteile waren teilweise von geringer Qualität, die zu Verbindungsabbrüchen zum Vattenfall-Backend-Server führten oder eine Erkennung des Kunden durch den RFID-Kartenleser nicht möglich machten.
- Es gab PLC-Probleme sowohl bei der Zuordnung von EV´s, als auch im Zusammenspiel mit dem Ethernet im Master/Satelliten-Betrieb.
- Ein Problem stellte die Abwärme in den Wallboxen dar. Hier musste festgestellt werden, dass bei starker Sonnenbestrahlung die erhöhte Temperatur innerhalb der Wallboxen zum Ausfall der Systeme führte.
- Es konnte kein vollständig stabiler Betrieb nachgewiesen werden.

Neben den technischen Problemen wurde auch der begrenzte Zeithorizont zu einer Herausforderung:

- Aufgrund von Verzögerungen bei der Bereitstellung der EV und aufgrund der Probleme bei der Realisierung der Systeme konnte der Probebetrieb nicht mehr wie geplant im Juni starten.
- Einige technische Weiterentwicklungen - wie z.B. einen PLC-Filter vor und Innerhalb der LI - konnte aus Zeitgründen nicht erfolgen.

Fehler, die erst durch den Probebetrieb aufgefallen sind, konnten u.a. aufgrund der Entfernung zum Lieferanten – und der damit verbundenen geringen Verfügbarkeit vor Ort in Deutschland - nicht hinreichend gelöst werden.

4.3.4.4.3 Schlussfolgerungen: Produktionsbegleitung und Evaluierung

Die Systeme haben die folgenden gestellten Projektanforderungen technisch erfüllt:

- Master-/Satelliten-Betrieb wurde umgesetzt,
- RFID Kartenerkennung war integriert
- PLC-Kommunikation zwischen Master und Satelliten untereinander und mit EV´s wurde umgesetzt
- Backendanbindung via GSM war realisiert
- Elektrische Sicherheitssysteme waren integriert
- Elektronische und auslesbare Zähler wurden integriert

Aufgrund eines Lieferantenwechsels wurden Lösungsdetails anders realisiert als geplant und die Produktionsphase um ca. 3 Monate verzögert. Alle 3 AA-Alternativen wurden aber wie geplant aufgebaut und standen für die Erprobung zur Verfügung.

Die Projektziele wurden bzgl. der technischen Funktionen der Systeme teilweise erreicht. Die betriebliche Stabilität der Systeme (Siehe Deliverable D3.2) konnte nicht erreicht werden, so dass die Ladeinfrastruktur - rechtzeitig für die E2E-Tests – nicht vollständig betriebsfähig übergeben werden konnte. Auch in den E2E-Tests zeigten sich dann (begründet im Backend VE und BMW, aber auch in der Ladeinfrastruktur) noch funktionale Unvollständigkeiten und mehr Fehler, als in dieser Phase auftreten sollten. Die Qualität der produzierten Ladeinfrastruktur war nicht wie erwartet und für einen Realbetrieb erforderlich. Das begründete sich im Wesentlichen in der hohen Komplexität der Systeme im Zusammenspiel mit dem teilweise zu geringen Know-how der Lieferanten in den innovativen technischen Bereichen.

4.3.4.4.4 Schlussfolgerungen: Roll-out Ladeinfrastruktur und betriebliche Abnahme

Im Vergleich zu dem Projekt MINI E Berlin 1.0 konnte ein System entwickelt und bei Vattenfall, BMW und der TU Berlin (TU Berlin hat das in Eigenregie parallel gemacht) aufgebaut werden, welches ermöglichte, Gesteuertes Laden über einen intelligenten Verhandlungsprozess abzuwickeln. Damit wurde den EV erstmalig nicht mehr ein Ladevorgang elektrisch aufgezwungen (bei MINI E Berlin 1.0 mittels direkter Schaltung der Stromzufuhr seitens der LI), sondern in Einvernehmlichkeit (nach einem gemeinsamen Verhandlungsprozess zwischen EV und den Backend-Systemen von Vattenfall und BMW) unter Berücksichtigung der Anforderungen des Nutzers, des EV und den Netzbe-

dingungen (LLM) durchgeführt. Dadurch wurde ein für das EV möglicherweise schadhaftes Verfahren (unvermitteltes Schalten der Stromzufuhr) vermieden und ein für den Nutzer weniger attraktives Ladeverhalten durch ein auf die Nutzerbedürfnisse besser anpassbares Ladeverhalten entwickelt. Zudem konnte durch die LLM-Funktionalität eine Überlastung des Netzanschlusses generell vermieden werden.

Durch die engagierte Zusammenarbeit der Partner im Projekt konnte ein Verhandlungsprozess entwickelt und in ersten Schritten getestet werden. Dabei wurden unterschiedliche Interessen vor allem zwischen dem OEM BMW und dem Energieversorger Vattenfall erfolgreich und abgewogen berücksichtigt.

Trotz vieler erfolgreich umgesetzter Funktionalitäten bleiben technische Probleme bestehen, die im weiteren Vorgehen bearbeitet und gelöst werden müssen:

- Aufgrund der Schwierigkeiten mit der verwendeten PLC-Technik stellt sich die generelle Frage, ob die PLC-Technik ein hinreichend geeignetes technisches Verfahren für den Datenaustausch zwischen LI und EV ist. Hier müssen Gespräche unter Experten zu einer Lösung der Probleme führen oder falls das technisch auszuschließen ist, eine alternative Technologie mit allen Partnern abgestimmt und erprobt werden.
- Zur Finalisierung der Systeme müssen die Entwickler aus Singapur vor Ort in Deutschland die Inbetriebnahme bis zur Behebung aller Fehler begleiten.

In einem Forschungs- und Entwicklungsprojekt ist eine enge Zusammenarbeit mit Partnern und Lieferanten notwendig, um die Anforderungen im vorgegebenen Zeitplan umzusetzen. Die Distanz zu einem Hersteller in Singapur erwies sich teilweise als hinderlich. Weiterhin stellte die Zusammenarbeit mit einem Lieferanten aus Asien aufgrund der kulturell unterschiedlichen Arbeitsweise und der Sprachbarrieren eine weitere Herausforderung dar.

4.4 Teilprojekt 4: Aufbau Integrationsplattform

4.4.1 Management Summary

Das Projekt „Gesteuertes Laden“ zeigt eine hohe Systemvernetzung (Fahrzeug, Ladesäule, Lademanagement, Netz, Abrechnungssystem etc.) von verschiedenen organisatorischen IT-Systemen, die selbst wieder komplex aufgebaut sind. Im Rahmen der Zielsetzung „Steigerung der Effektivität und Effizienz des Gesteuerten Ladens (Wind-to-Vehicle-to-Grid; W2V2G)“ waren diese Einzelsysteme aufeinander abzustimmen und für ein effizientes Energie- und Lademanagement zu optimieren. Dafür wurde eine IT-Plattform aufgebaut, die alle Einzelsysteme in ihren bestehenden IT-Infrastrukturen vernetzt und die unterschiedlichen Systemarchitekturen miteinander abgleicht.

Zunächst wurde ein allgemeingültiges und normkonformes Prozessbild erstellt, das als Grundlage für die Bewertung der Einzelsysteme und ihres Zusammenwirkens diente. Die vorgegebenen Systemarchitekturen wurden anschließend unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Infrastruktur harmonisiert. Dabei wurden verschiedene Anbindungsvarianten etabliert, um alle Möglichkeiten bestehender Standarddokumente zu erfüllen.

Es entstand eine modulare und offene IT-Plattform, die über insgesamt drei Arten von Schnittstellen (XML-RPC, PLC-BCP, Webservices) mit den Applikationen kommuniziert. Sie bildet die Verwaltungs- und Verarbeitungslogik des Gesamtsystems ab und ist die zentrale Drehscheibe für alle Interaktionen der Systeme. Dabei bestimmt das Auto mit der logischen Entscheidungsinstanz auf dem OEM-Server seinen Ladevorgang nach Kann- und Muss-Regeln auf Grund der technischen Rahmendaten von Infrastruktur und OEM sowie den Kundenbedürfnissen.

Die zugehörigen Stromverbräuche können automatisiert über die Anbindung an das SAP-System von Verteilnetzbetreiber und Stromvertrieb an den Kunden verrechnet werden. Es wurde ein einfaches Vertrags- und Abrechnungsmodell auf Grundlage der Zuordnung einer RFID-Kartennummer zu einem mobilen (virtuellen) Zählpunkt implementiert, so dass dieses Modell in die vorhandenen Abrechnungsprozesse integriert werden konnte.

Gleichzeitig wurde die IT-Plattform als zentrale Datensammelstelle für Lade- und Verbrauchsdaten bis hin zu Nutzer- und Bewegungsdaten ausgeprägt. Über automatisierte Berichte war es möglich, die Nutzerakzeptanz dieses Gesamtsystems zu erfassen, zu analysieren und zu bewerten, um Präferenzen, Handlungsempfehlungen und Optimierungen abzuleiten.

4.4.2 Deliverable 4.1: Integrationsplattform Basisapplikationen

4.4.2.1 Management Summary

Der Aufbau einer IT-Plattform diente als Kristallisationspunkt aller Anwendungen in diesem Projekt und vereinigte die Datenströme für die einzelnen Ladevorgänge. Dabei wurde eine erweiterbare, skalierbaren und tragfähige Integrationsplattform entwickelt, die mit allen Applikationen der Partner kommuniziert. Die Ausprägung von generischen und normkonformen Schnittstellen zwischen den einzelnen Applikationen war ein Grundpfeiler der Entwicklungstätigkeiten. Hier wurde besonders auf die Ausprägung von modernen Schnittstellen zu Drittsystemen und Ladesäulen geachtet. Eine zentrale Datenhaltung gewährleistete für alle Applikationen konsistente Daten. Dazu wurde eine zentrale Datenbank aufgebaut, in denen alle relevanten Daten der Applikationen der Partner gespeichert werden. Somit standen sie für eine Auswertung zur Verfügung.

Die Aufgabenstellung des Deliverable 4.1 konnte in allen Belangen erfolgreich umgesetzt werden.

Eine gemeinsam mit allen Kooperationspartnern durchgeführte Anforderungsanalyse lieferte das Grundschema und die Priorisierungen für die Entwicklung der Integrationsplattform. Sie betrachtete alle spezifischen Anforderungen der Partner und ihrer IT-Systeme im Hinblick der gesetzten Projektziele. Gleichzeitig waren die über die Systemgrenzen hinaus notwendigen Datenflüsse zu analysieren. Ein agiler Entwicklungsprozess wurde ausgewählt, der die spezifischen Anforderungen an die erfolgreiche Umsetzung eines solch komplexen Produkts optimiert. Die notwendigen Konzepte und Schnittstellendefinitionen wurden erstellt und dokumentiert. Die Integrationsplattform wurde in verschiedene Module unterteilt, in mehreren Prototypstufen entwickelt und rechtzeitig für den geplanten Probebetrieb fertiggestellt.

Die besonderen Herausforderungen im Projekt ergaben sich einerseits durch die verzögerte Fertigstellung von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur und anderseits durch die im Laufe des Projektes auf Grund neuer Erkenntnisse anfallenden Anforderungsänderungen.

Durch die Verschiebung der Liefertermine fehlten wichtige Komponenten (Fahrzeug, Ladeinfrastruktur) für die planmäßige Durchführung der Integrationstests. Diese Tests konnten aber durch Laborhardware wie Ladesäulenprototypen und Fahrzeug-Steuerungsgeräte (LIM) kompensiert werden, so dass eine Fertigstellung für den Probebetrieb sichergestellt werden konnte.

Änderungen der Anforderungen an die Integrationsplattform waren insbesondere die Erweiterung des Konzepts durch LLM/ÖLM als auch die Weiterleitung der Steuerungsdaten („Payload“) für die Fahrzeugladesteuerung über die Plattform zum BMW-Backend. Das machte eine Erweiterung der notwendigen Powerline-Kommunikation zwischen Ladesäule und Fahrzeug notwendig. Zusätzlich war der Wechsel des Ladeinfrastrukturherstellers im laufenden Projekt eine weitere Herausforderung: Der Lieferant musste IT-technisch konzeptionell sehr stark unterstützt werden. Diesen Herausforderungen konnte erfolgreich begegnet werden.

Als Ergebnis ist eine Integrationsplattform entstanden, die die Wind-to-Vehicle- und Vehicle-to-Grid-Applikationen integriert und den kompletten Prozess des Gesteuerten Ladens unterstützt. Es wurde ein Lagezentrum für die Überwachung und Steuerung der Ladestationen und deren Prozesse aufgebaut. Eine Kunden- und Kartenverwaltung bildet die vertrieblichen Funktionen ab. Es werden die Wind- und Einspeiseprognosedaten der 50Hertz Regelzone für alle Partner aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Es gibt Schnittstellen zur Wind-to-Vehicle-Applikation der TU Ilmenau. Außerdem existiert eine Lokales-Lastmanagement-Applikation, die die Überlastung des lokalen Stromnetzes verhindert. Es wurden Software-Komponenten zur Powerline-Kommunikation für die Ladesäule entwickelt und Komponenten zum Austausch der Daten mit dem BMW-Backend. Die Daten werden für das Reporting in TP5 gespeichert und vorgehalten. Zur Unterstützung von TP5 wurden verschiedene Reports programmiert.

4.4.2.2 Ziele und Aufgaben

Hauptfragestellungen und Aufgaben in Deliverable 4.1 war die Erstellung einer zentralen, erweiterbaren, skalierbaren und tragfähigen IT-Plattform für das Projekt, die mit allen Applikationen der Partner kommuniziert. Die Integrationsplattform bündelt alle Wind-to-Vehicle- und Vehicle-to-Grid-Applikationen und bildet deren zentrale Datensammelstelle von den Lade- und Verbrauchsdaten bis hin zu den Nutzer- und Bewegungsdaten. Sie bildet die Verwaltungs- und Verarbeitungslogik des Gesamtsystems ab und ist die zentrale Drehscheibe für alle Interaktionen mit Drittsystemen wie etwa einem Abrechnungssystem, anderen Netzbetreibersystemen oder anderer EVUs. Diese Plattform war an die Gegebenheiten einer bestehenden Applikationslandschaft und die damit verbundenen unterschiedlichen Systemarchitekturansätze praktikabel zu integrieren.

In der Anforderungsanalyse waren die vielfältigen Schnittstellen, Daten und Prozesse für die interagierenden Systeme zu erfassen und zu generalisieren, so dass sie sich zukunftsträchtig in die bestehende Applikationslandschaft einfügen. Dazu war die Definition von Softwareschnittstellen zwischen den einzelnen Applikationen der verschiedenen Partner ein notwendiger Bestandteil beim Aufbau der IT-Plattform.

Neben den Applikationen waren die Ladesäulen an die Plattform anzubinden und funktional so auszuprägen, dass sie die W2V und LLM Konzepte unterstützt. Dazu wurde eine eigene Software entwickelt und auf der Ladesäule implementiert, die sie zur PLC-Kommunikation befähigt. Für den Kommunikationsaustauch mit dem BMW Fahrzeug wurde gemeinsam ein eigenes normkonformes BMW Smart Charge Protokoll entwickelt.

4.4.2.3 Vorgehen, Methodik

Der Aufbau der Integrationsplattform begann mit einer umfassenden Anforderungsanalyse, die ein sehr komplexes Gebilde widerspiegelte. Es wurden Konzepte für die Realisierung der notwendigen Anwendungen der Integrationsplattform erstellt. Hierbei wurden die Anforderungen ausgewertet. Auf Basis dieser Auswertung wurde die Architektur der Integrationsplattform, deren Aufbau sowie die Realisierung der Anwendungen geplant. Auf Basis der ermittelten Anforderungen Für die Implementierung der einzelnen Anwendungen der Integrationsplattform wurde ein agiler Entwicklungsprozess eingesetzt. Dieser zielte darauf ab, mehrere lauffähige Zwischenstände zu erstellen, um so das komplexe System schrittweise aufzubauen, Feedback während der Entwicklung zu ermögli-

chen und auf neue bzw. sich ändernde Anforderungen zu reagieren. Dabei fand zunächst eine Konzentration auf die Grundfunktionalitäten statt.

Im Ergebnis wurde die entworfene Systemarchitektur und Applikationslandschaft mit ihren Schnittstellen realisiert. Erfahrungen aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0 wurden berücksichtigt, in dem hier auf Teile der entwickelten Infrastruktur zurückgegriffen wurde. Nach dem Aufbau der Infrastruktur wurden die einzelnen Teile der Integrationsplattform installiert und in den Betrieb übergeben.

Agiler Entwicklungsprozess

Zur Realisierung der Anwendungen der Integrationsplattform wurde als Basis die Methode „Scrum“ gewählt. Scrum ist eine anerkannte Methode zur agilen Entwicklung komplexer Softwaresysteme. Der Ansatz von Scrum beruht auf der Einsicht, dass die meisten modernen Entwicklungsprojekte zu komplex sind, um durchgängig planbar zu sein. Scrum versucht die Komplexität durch drei Prinzipien zu reduzieren:

- Transparenz: Der Fortschritt wird regelmäßig dargestellt
- Überprüfung: In regelmäßigen Abständen wird ein Produkt ausgeliefert und begutachtet
- Anpassung: Die Anforderungen an das Produkt werden nach der Überprüfung und aus neuen Erkenntnissen des Projekts heraus angepasst[24]

Im Projekt wurde ein angepasster Prozess basierend auf Scrum gewählt. Insbesondere, weil die in Scrum vorgesehenen Rollen nicht wie definiert ausgefüllt werden konnten und die Entwicklung in noch feinere Schritten unterteilt werden musste, als von Scrum vorgesehen. Genutzt wurden vor allem Backlogs zur Planung der Funktionen der einzelnen Prototypen. Die Backlogs wurden in der Software „Mantis“ hinterlegt. Mantis ist eine Software zur Verwaltung und Verfolgung von Hinweisen auf Programmfehler. Ein weiterer Aspekt für ein agiles Entwickeln war die Unterteilung des Softwaresystems in verschiedene Teilsysteme und die damit verbundene Flexibilisierung und Entkoppelung der Implementation der aufeinander aufbauenden Funktionen.

Anforderungsanalyse und Werkzeuge

24 Vgl.: www.scrum-master.de

Für eine erfolgreiche Anwendungsentwicklung wird eine verlässliche und für alle Projektbeteiligten verständlich formulierte sowie konsistente Anforderungsliste benötigt. Es galt einen durchgängig integrierten Entwicklungsprozess zu etablieren. Mit Hilfe von Trend/Analyst konnten die Anforderungen moduliert und Änderungen leicht nachgeführt werden. Das Werkzeug „Mantis“ erlaubte die zugehörigen Entwicklungsprozesse zu steuern.

4.4.2.4 Ergebnisse und Schlussfolgerung

Ausgehend von der Anforderungsanalyse und den dabei gefundenen Systemunterteilungen und Prozessabfolgen wurde die Plattform sukzessive entwickelt. Die zugehörigen Ergebnisse werden im Folgenden dargelegt.

Anforderungsanalyse

Während eines gemeinsamen Workshops mit allen beteiligten Partnern wurden die Anwendungsfälle (Use Cases) in einer IT-Anforderungsanalyse aufgenommen, die durch die Integrationsplattform IT-technisch unterstützt werden sollen. Die hier in den Grafiken genutzte Darstellung für einen Anwendungsfall verknüpft einen beschreibenden Satz, was in diesem Anwendungsfall geschehen soll, mit dem Akteur, der diesen Anwendungsfall durchführt. Die Anwendungsfälle werden der Übersicht halber in Anwendungsfallpakete unterteilt. Zur Darstellung der Ergebnisse wurde die Standardnotation UML genutzt. Dabei wurden folgende Akteure identifiziert und benannt:

22. Kunde
23. BEV Fahrzeug
24. Wartungsmonteur
25. Integrationsplattform
26. V2G Ladeassistent
27. LLM
28. V2G Anwendung
29. Ladeinfrastruktur
30. Warte
31. Kundenservice
32. Rechnungsempfänger EVU
33. DSO

34. Vattenfall Sales
35. Entstörungstechniker
36. BMW-Backend

Weiterhin fand der Übersicht halber eine Unterteilung in folgende Anwendungsfallpakete statt:

1. Ladeinfrastruktur VE öffentlich
2. Ladeinfrastruktur VE nichtöffentlich
3. Ladeinfrastruktur TU-B
4. Integrationsplattform
5. Abrechnungssystem
6. Leitwarte
7. BEV Fahrzeug
8. Mehrwertdienste Client
9. Ladeassistent V2G D1.3
10. W2V Anwendung
11. V2G Anwendung
12. LLM Anwendung
13. BMW-Backend

In den folgenden Grafiken wird die Zuordnung zwischen Akteuren und Use Cases pro Anwendungsfallpaket dargestellt. Nicht alle Anwendungsfallpakete wurden in D4.1 umgesetzt, sondern waren Teil anderer Deliverables (D4.3, D1.3, D2.2). Um aber den Leistungsumfang der Integrationsplattform abzustecken, wurden diese in der Analyse mit betrachtet. In TP4.1 wurden die folgenden Anwendungsfallpakete realisiert:

37. Integrationsplattform
38. LLM Anwendung
39. Fahrzeug
40. Ladeinfrastruktur VE öffentlich
41. Ladeinfrastruktur VE nichtöffentlich
42. Leitwarte

Diese Anwendungsfallpakete und die dazugehörigen Akteure werden im Folgenden detaillierter beschrieben.

Use Cases Integrationsplattform

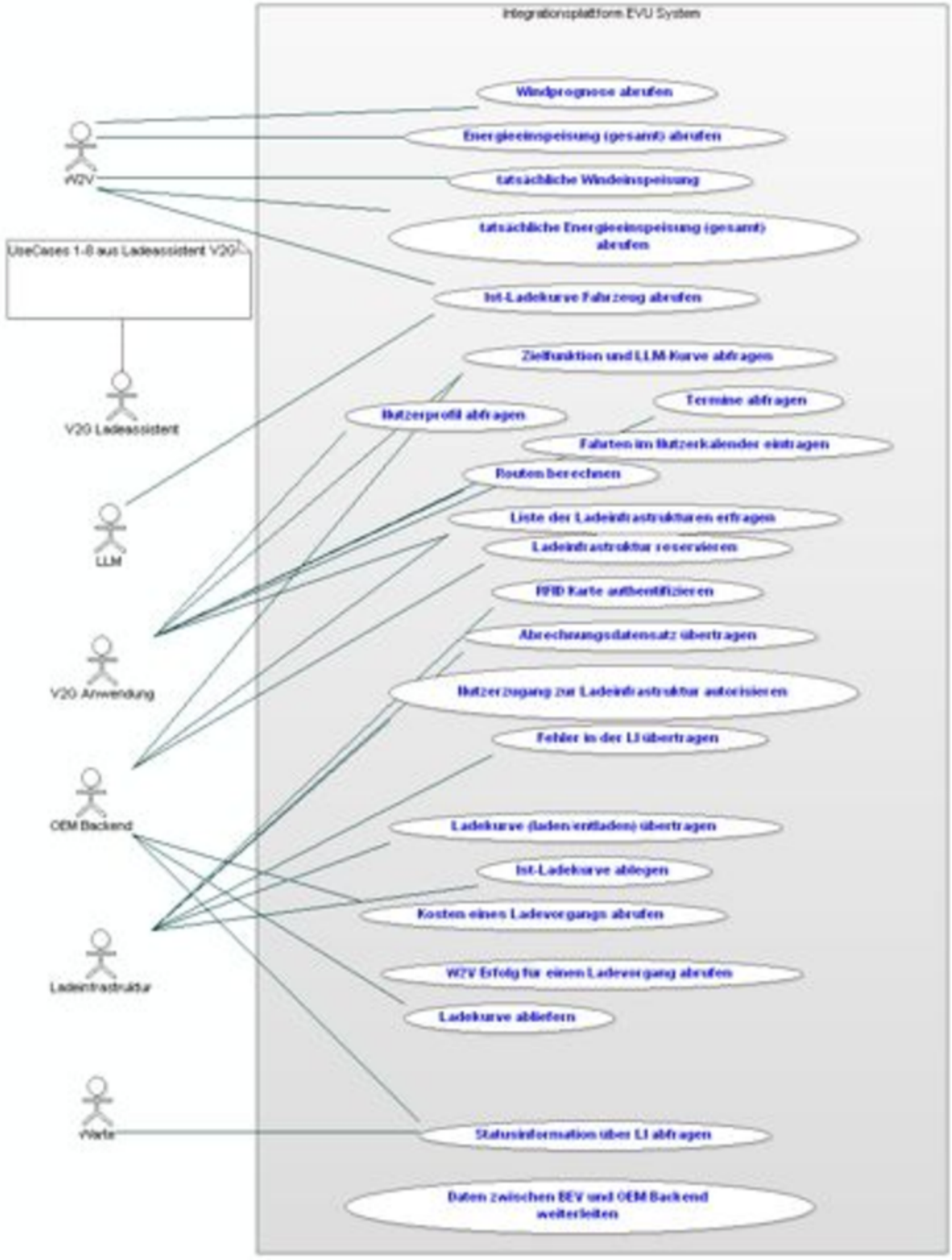


Abbildung 136: Use Cases Integrationsplattform

Die Abbildung 136 zeigt das zentrale Anwendungsfallpaket für die Integrationsplattform und listet alle direkt von der Integrationsplattform unterstützten Anwendungsfälle auf.

Die **W2V**-Applikation ruft verschiedene Funktionen in der Integrationsplattform auf: Insbesondere die Abfrage der Prognosedaten (Windprognose, Gesamtenergieeinspeisungsprognose) und die nachträgliche reale Einspeisung. Weiterhin ruft die W2V-Applikation zur Berechnung des Windladeerfolgs die Ist-Ladekurve eines Elektrofahrzeugs nach Ende des Ladevorgangs ab.

Die **LLM**-Applikation in der Integrationsplattform steuert das lokale Lastmanagement und dient der Optimierung der möglichen Ladevorgänge an einem Master-Satelliten-System, sowie der Einhaltung der technischen Grenzen an den Hausanschlüssen der Standorte

Die **V2G**-Applikation steuert neben der Energieeinspeisung zusätzlich die Energierückspeisung und wird separat in Teilprojekt 1 im Detail beschrieben. Sie wird daher in diesem Rahmen nicht näher betrachtet. Die Auflistung der betreffenden Use Cases als Teil der Anforderungsanalyse diente dem Gesamtüberblick und der Einordnung in die Systemlandschaft. Die zugehörige Umsetzung der Anforderungen wurde in Teilprojekt 1 im Deliverable D1.3 beschrieben.

Neben den Funktionen für die Payload (Fahrzeugsteuerungsdaten) -Weiterleitung und den Abruf der Ziel- und LLM-Funktion (siehe weiter unten Use Cases Ladeinfrastruktur) ruft das **BMW-Backend** in der Integrationsplattform weitere Funktion auf. Dazu zählen die Funktionen „Ladekurve für ein Fahrzeug abliefern“, „W2V-Erfolg für einen Ladevorgang abrufen“ und „Kosten für einen Ladevorgang abrufen“.

Die **Ladeinfrastruktur** und die **Warte** sind weitere Akteure, die Funktionen in der Integrationsplattform aufrufen. Diese werden in einem eigenen Abschnitt näher beschrieben.

Use Cases für das lokale Lastmanagement

Abbildung 137: Use Cases LLM

Im Rahmen der Integrationsplattform wird für einen Ladevorgang eine Lokale-Lastmanagement-Kurve berechnet, die die maximale Stromaufnahme während der Dauer eines Ladevorgangs vorgibt. Dies ist notwendig um das lokale Netz nicht zu überlasten.

Use Cases für ein Fahrzeug

Aus Sicht der Integrationsplattform zu betrachtende und zu unterstützende Prozesse eines Elektrofahrzeugs sind: Ladevorgang starten, Ladevorgang abbrechen, Zielfunktion und LLM-Funktion zur Berechnung des Ladevorgangs übertragen und Kommandos aus dem BMW-Backend im Fahrzeug ausführen. An den Prozessen beteiligt sind der Kunde, die Ladeinfrastruktur und das BMW-Backend.

Use Cases für die Ladeinfrastruktur

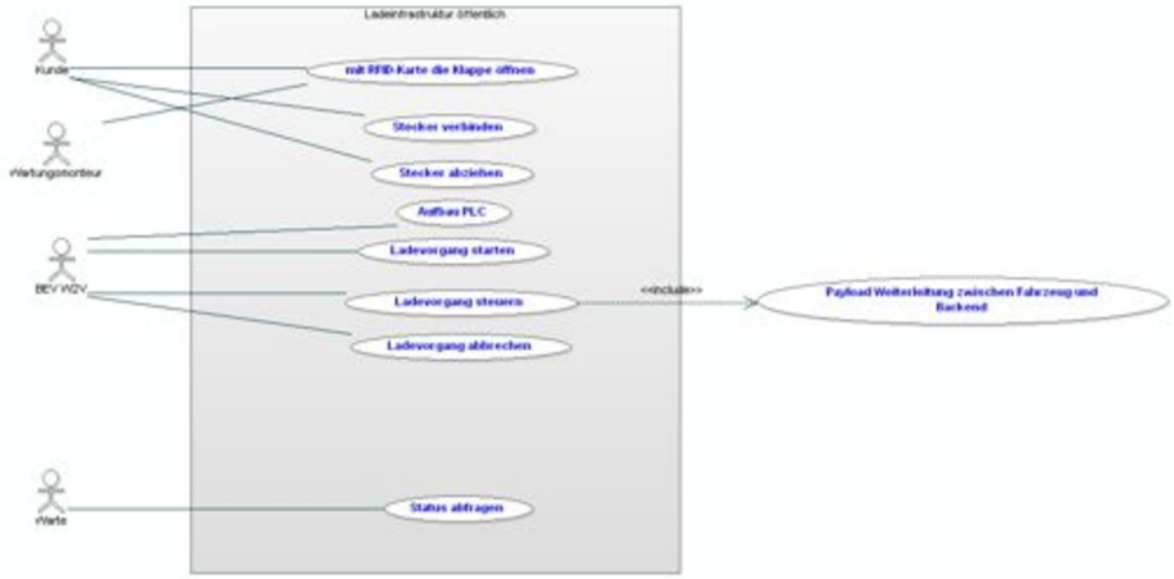


Abbildung 138: Use Cases Ladeinfrastruktur

Die in Abbildung 138 aufgelisteten Prozesse an einer Ladesäule werden hier nur in Bezug zur Integrationsplattform beschrieben. Neben den hier beschriebenen Prozessen existieren weitere Prozesse, die ein Kunde an der Ladesäule durchführen kann. Diese werden hier nicht weiter betrachtet. Relevante Prozesse in Bezug zur Integrationsplattform sind vor allem die Erkennung eines Fahrzeugs für das Gesteuerte Laden an der

Ladeinfrastruktur via PLC und der Austausch der Ladevorgangssteuerungsdaten zwischen Elektrofahrzeug und BMW-Backend über die Ladeinfrastruktur und die Integrationsplattform.

Use Cases für die Leitwarte

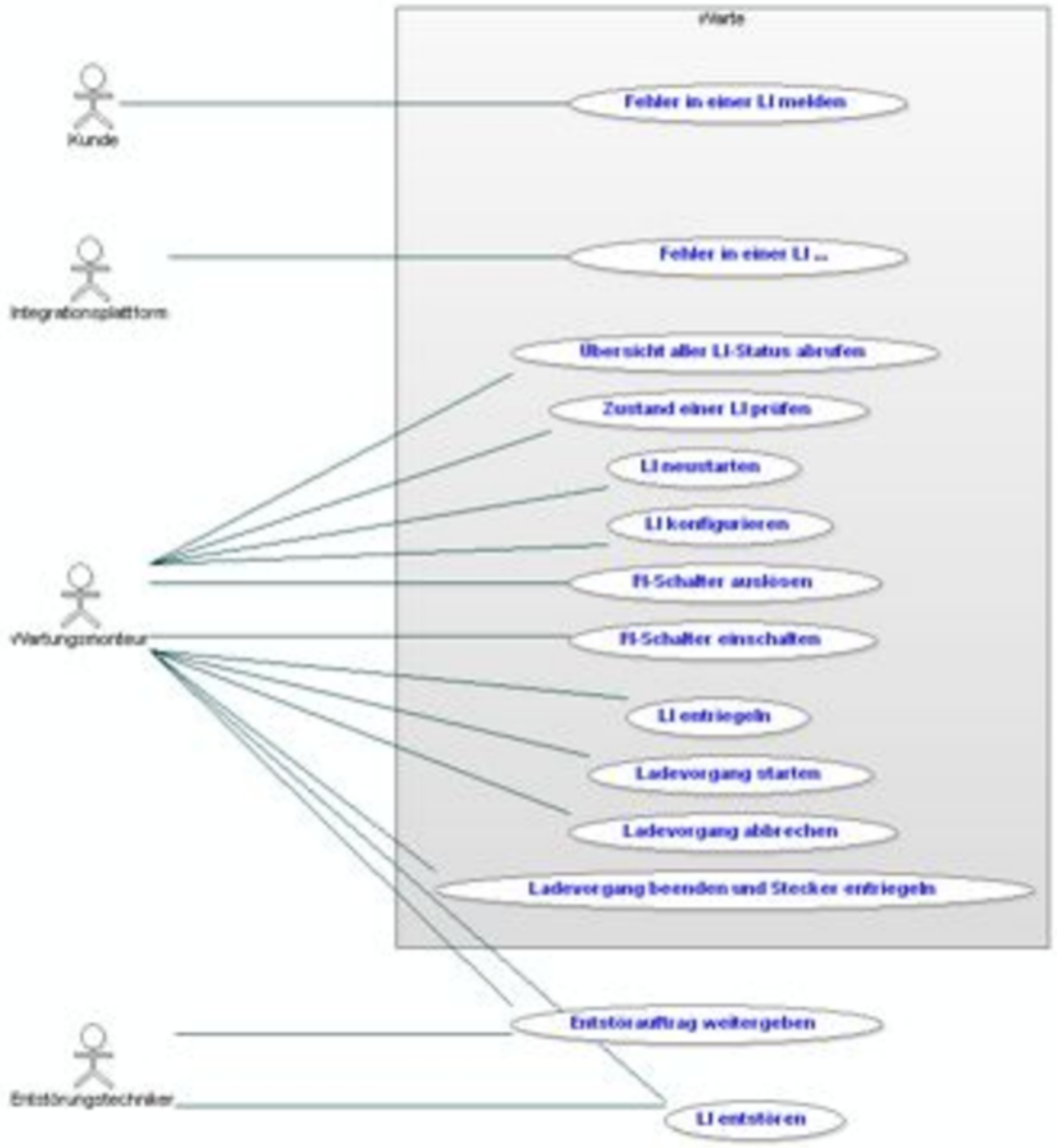


Abbildung 139: Use Cases Leitwarte

Abbildung 139 zeigt die Use Cases für die Leitwarte. Die Leitwarte wurde als User-Interface für die Wartung und Steuerung der Infrastruktur entwickelt. Die in der Grafik aufgelisteten Prozesse sind zur Unterstützung in Fehlerfällen gedacht und spiegeln

Funktionen aus anderen Bereichen der Anforderungsanalyse wieder. Der Wartungsmonteur kann über das User-Interface teilweise die gleichen Prozesse auslösen wie ein Kunde direkt an der Ladeinfrastruktur. Im Falle von fehlerhaften Ladeprozessen können diese auch über die Leitwarte beendet werden. Weiterhin ist es möglich, den Vorgang laufender Ladeprozesse in Echtzeit zu überwachen.

Entwicklung der Integrationsplattform

Die funktionale Bereitstellung der Integrationsplattform wurde in mehreren Prototypschritten vollzogen. Dabei stellte der Folgeprototyp zusätzliche Funktionalität zum Vorgänger bereit. In der ersten Version wurden die Schnittstellen zu den Partnern inklusive Testdaten zur Verfügung gestellt, um die Softwareentwicklung bei den Partnern zu unterstützen und die Integrationstests frühzeitig zu ermöglichen. In den weiteren Prototypschritten wurden dann die fehlenden Funktionalitäten in der Integrationsplattform entwickelt.

Die Entwicklung fand auf 3 unterschiedlichen Plattformen statt:

- Entwicklungssystem
- Testsystem
- Produktivsystem

Das Testsystem wurde später im Entwicklungsprozess auch als Integrationssystem verwendet um die Entwicklung der Fahrzeug-BMW-Backend Kommunikation zu unterstützen. Während der Entwicklung wurden maschinelle Tests geschrieben, die Basisfunktionalitäten ohne Endbenutzereingriffe testen konnten. Damit konnte die Funktionstüchtigkeit schon entwickelter Funktionalitäten bei neuen Software-Releases von Teilmodulen mit geringem Aufwand einfach geprüft werden.

Wie im Schaubild dargestellt, wurden auf Basis der Anforderungsanalyse die Teilmodule der Integrationsplattform entwickelt. Aus Gründen der Übersicht wird in den folgenden Abschnitten detaillierter auf das Lagezentrum (Virtual Control Room), den Mediator für die Ladesäulen und die LLM Funktionalität eingegangen, da sie die Basisfunktionen der Plattform widerspiegeln. Die übrigen Module werden hier lediglich kurz erwähnt:

- Das Modul **AAA** bezeichnet das Softwaremodul für Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung. Die Funktionalitäten sind im Detail in TP4.3 beschrieben.

- Das Modul **W2V/Forecast** stellt die Windprognosedaten und Energieeinspeisungsprognose für die Berechnung der Zielfunktionen zur Verfügung. Eine zentrale Datenhaltung sorgt für die Integrität der Daten für alle entsprechenden Applikationen.
- Das Modul **Client/Cst. Mgmt** bietet eine Kunden- und Kartenverwaltung und bildet damit die vertrieblichen Prozesse ab.
- Das Modul **Reporting** stellt automatisierte Berichte zur Verfügung, die eingehend in D4.4 beschrieben sind.

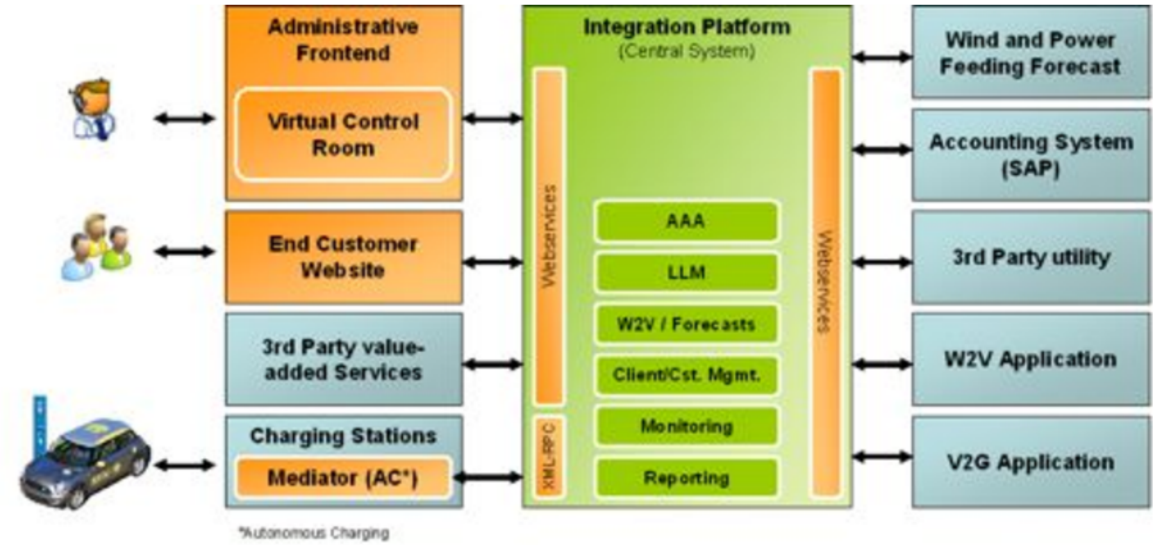


Abbildung 140: Integrationsplattform

Monitoring und Lagezentrum

Das entwickelte Lagezentrum bündelt die Funktionalitäten für den Betrieb und die Wartung der Infrastruktur. Die Steuerung erfolgt durch die System-Operateure von der Lagezentrums-Website aus. Die Startseite gibt einen Überblick über den Zustand des Systems und ein Warnsystem informiert die Operateure, wenn Teile der Infrastruktur in einen fehlerhaften Zustand geraten.

Abbildung 141: Lagezentrum-Webseite: Jobliste

Im Lagezentrum können Administratoren Benutzeraccounts, Verträge und RFID-Karten verwalten. Folgende Funktionalitäten sind verfügbar:

- Aussagekräftige Übersicht über den Zustand aller Ladesäulen und laufender Ladevorgänge
- Ladesäulen konfigurieren und verwalten
- Fernwartung und Steuerung der Ladesäulen
- Manuelle Eingriffsmöglichkeiten in laufende Ladevorgänge
- Benutzer und Vertragsmanagement
- RFID-Karten-Verwaltung
- Reports

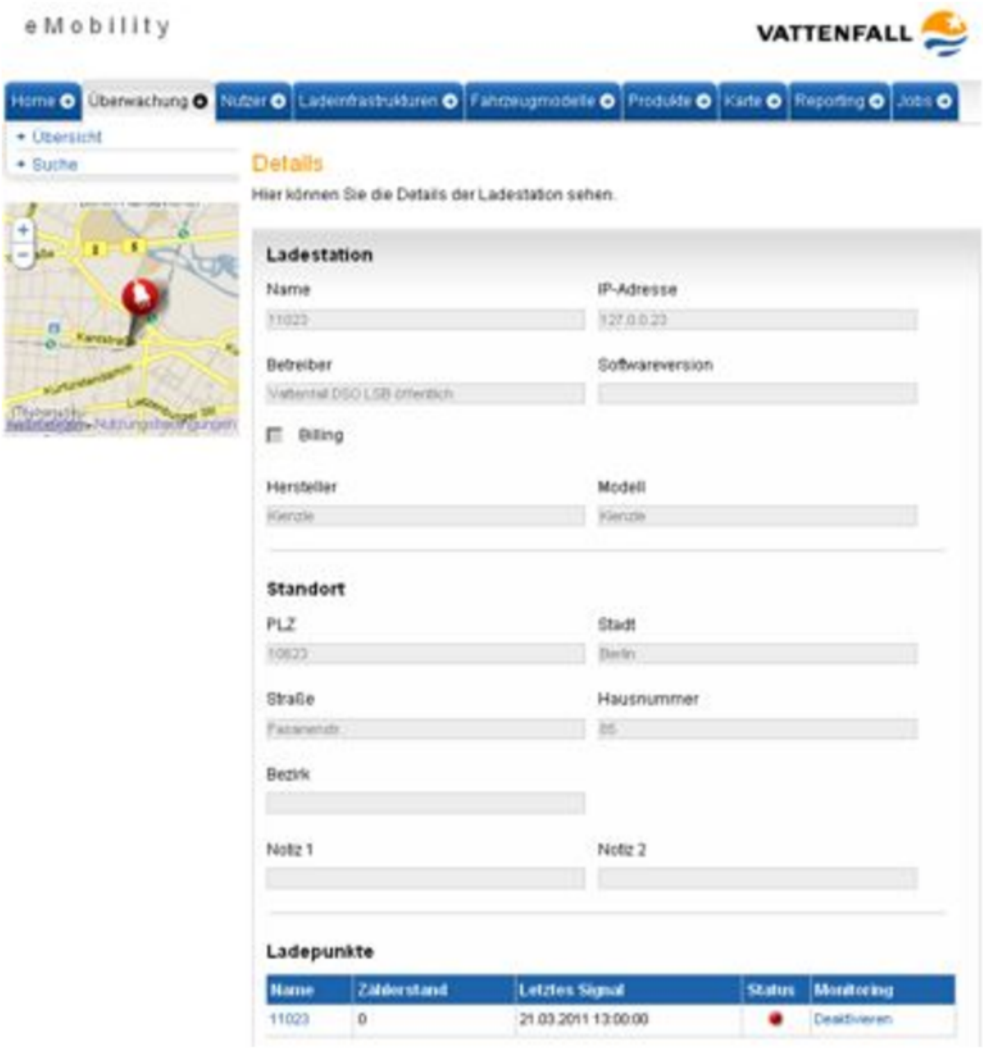


Abbildung 142: Lagezentrum-Webseite: Details

Abbildung 143: Webseite Lagezentrum: Download

Mediator

Der Mediator bündelt die für das Projekt entwickelte Software auf der Ladesäule. Er stellt den notwendigen Kommunikationskanal zwischen Fahrzeug und der Ladesäule und für die Payload-Übertragung in das BMW-Backend bereit. Nach der Authentifizierung per RFID-Karte und dem Einstecken des Ladekabels versucht das Fahrzeug über Powerline-Kommunikation (PLC) mit der Ladesäule Kontakt aufzunehmen. Sobald dies erfolgreich gelingt, kann gesteuert geladen werden. Dazu nimmt das Fahrzeug über die Ladesäule Kontakt zum BMW-Backend auf und tauscht die notwendigen Steuersignale aus. Die weiteren, notwendigen Parameter für das Gesteuerte Laden erfragt das BMW-Backend über die Webschnittstellen in der Integrationsplattform.

Lokales Lastmanagement (LLM)

Die LLM-Funktionalität existiert sowohl im Backend als auch im Mediator, so dass auch Ladevorgänge unabhängig von einer Funkverbindung zum Backend ermöglicht werden können. Diese Funktionalität stellt sicher (Das ist hier ein Ergebnis und nicht ein Ziel!), dass sowohl eine Überlastung lokaler Netzabschnitte (Hausanschluss) vermieden wird, als auch die Nutzungsmöglichkeit der Ladepunkte optimiert werden kann. Ein weiterer Aspekt ist die Einhaltung der zugesicherten Ladeleistung während eines laufenden La-

devorgangs gegenüber einem Fahrzeug. Außerdem muss sichergestellt werden, dass auch durch ungesteuerte Ladevorgänge (Mode3) den lokalen Netzanschluss nicht überlasten.

Softwaretechnischer Aufbau der Integrationsplattform

Die Integrationsplattform ist in verschiedene Softwarelayer analog der folgenden Darstellung aufgegliedert:

Abbildung 144: Softwarearchitektur

Wie in der Abbildung 144 dargestellt ist die Softwarearchitektur der Integrationsplattform in verschiedene Schichten unterteilt. Ausgehend vom klassischen Drei-Schichten-Modell (Datenbank, Anwendungsschicht, Darstellungsschicht) wurde die Integrationsplattform

für die verschiedenen Dienstleistungen in weitere Schichten unterteilt. Die Teilmodule in „Business-Services“ halten sich nicht mehr an ein klassisches Schichtenmodell und können Aufgrund der Nutzung von „Spring“ als J2EE Container beliebig miteinander kombiniert werden. Die technische Infrastruktur der Integrationsplattform benutzt einen Oracle-Weblogic-Server, in dem die oberen Software-Schichten ablaufen. Die unterste Schicht ist eine Oracle-Datenbank. Die Applikation lässt sich grob in die oberen Schichten unterteilen und ist in Java geschrieben. Sie benutzt Spring als J2EE und Hibernate als Persistence Framework. Das NextGen Framework ist eine Vattenfall eigene Entwicklung und stellt weitere häufig benötigte Funktionalitäten zur Verfügung. Ein Prozess-Layer („Charging Station Process Layer“ in „Business-Services“) abstrahiert die technischen- und herstellerspezifischen Details der Ladestationen. Dies ermöglicht die Verwendung von einfachen bis zu sehr intelligenten Ladestationen (mit embedded System/IPC).

Die Entwicklung der Integrationsplattform in mehreren Teilmodulen ist im Layer „Business-Services“ dargestellt. Die Teilmodule kommunizieren per Standard-Schnittstellen im „Business-Layer“ miteinander . Diese Aufteilung hat viele Vorteile für die Zukunft. Teilbereiche können aufgrund der in Zukunft erwarteten Änderungen getrennt voneinander weiterentwickelt werden, ohne dass das Gesamtsystem davon permanent als Ganzes betroffen wäre. Auch im Hinblick auf eine Skalierung auf große Zahlen von Ladeinfrastrukturen und Elektrofahrzeugen ist ein Softwaresystem in der umgesetzten Art vorbereitet. Die Zukunftsfähigkeit der entstandenen Plattform ist gewährleistet.

Ladesäule

Im Rahmen der Auswahl der Ladeinfrastruktur in TP3 ergaben sich aus Sicht der Integrationsplattform folgende zusätzliche Anforderungen:

- Bereitstellung eines IPC (Industrie Personal Computer) in der Ladesäule um zusätzliche, eigene Software (Mediator, LLM) in der Ladesäule zu installieren
- Integration eines PLC-Modems für die Fahrzeug-/Ladesäulenkommunikation
- Implementation eines Standardprotokolls für die Kommunikation zwischen Ladesäule und Vattenfall Backend in der Firmware des Herstellers

Wechsel des Ladesäulenherstellers

Im Projekt wurde während des Projektverlaufs der Ladesäulenhersteller gewechselt. Insbesondere die Definition einer Standardschnittstelle zwischen Ladesäule und Vatten-

fall Backend erwies sich hier als riesen Vorteil, da der Integrationsaufwand neuer Ladesäulen dadurch sehr gering ausfiel und kein Risiko darstellte.

Standard-Protokoll zur Kommunikation zwischen Ladesäule und Backend sowie Definition von Prozessen in der Ladesäule

Zur Kommunikation zwischen Ladesäule und Backend wurde ein Standard-Protokoll, BMW Charge Protokoll, entwickelt: Der zentrale Aspekt war die dahinter liegende Definition der Prozesse in der Ladesäule.

- Authentifizierung (RFID-Karte)
- Start einer Transaktion (Beginn des Ladevorgangs)
- Ende einer Transaktion (Abschluss des Ladevorgangs mit Auslösung der Abrechnung)
- Konfiguration
- Diagnose und Wartung

BMW Charge Protocol und BMW Ladesteuerungsserver

Für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule über Powerline-Communication musste ein normkonformes Protokoll entwickelt werden: Fahrzeug und Ladesäule bauen eine Standard TCP/IP Kommunikation über PLC auf. Darüber kommuniziert das Fahrzeug und die Ladeinfrastruktur über Diagnostic-over-IP (DoIP) Container, die speziell für das Projekt definiert wurden und die entsprechenden Daten tragen. Es werden sowohl Authentifizierungsdaten übertragen, damit sich ein Fahrzeug auch als teilnehmendes Fahrzeug am Gesteuerten Laden identifizieren kann, und es werden die Steuerdaten zwischen Fahrzeug und BMW-Backend übertragen. Dabei fungieren Ladeinfrastruktur und Integrationsplattform als Application-Gateway. Die Struktur der Daten und Steuerbefehle wurden soweit möglich an den kommenden ISO 11518 Standard angelehnt.

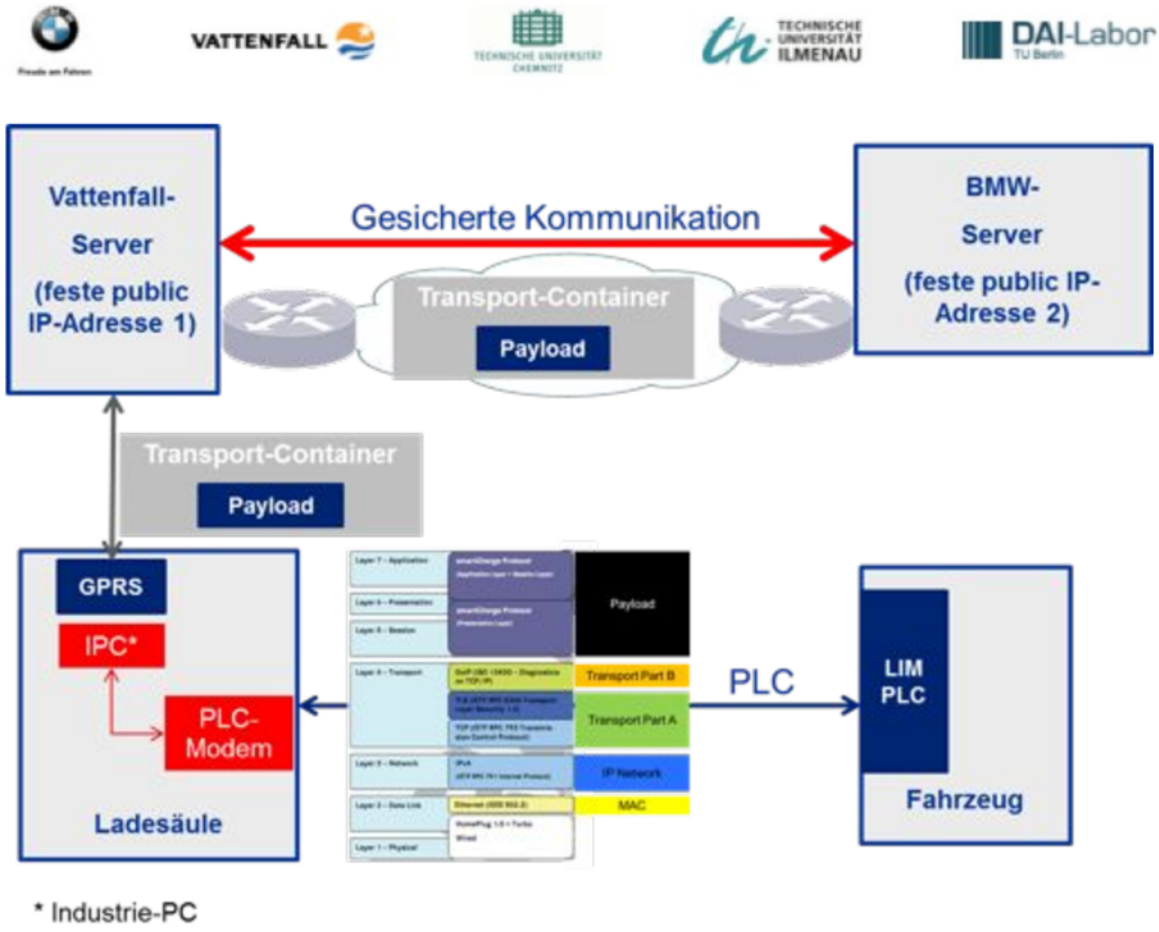


Abbildung 145: Übertragung des "Payloads" via BMW-Charge-Protokoll

Die Grafik zeigt den schematischen Aufbau des Ablaufs des BMW Charge Protokolls für die Übertragung des „Payloads“. Die LIM im Elektrofahrzeug kommuniziert den „Payload“ über den DoIP Transport Container in einer verschlüsselten TCP/IP-Verbindung zur Ladesäule. Dort wird der „Payload“ entpackt und per Webservice an die Integrationsplattform weitergeleitet. Über eine VPN-Verbindung wird der Payload an das BMW-Backend übergeben. Die Versendung des Payloads in die umgekehrte Richtung erfolgt analog, nur entsprechend umgekehrt.

Der hier beschriebene Datenaustausch zwischen OEM und EVU für das Gesteuerte Laden über das BMW Charge Protocol machte einen Ladesteuerungsserver bei BMW erforderlich, der die fahrzeugseitigen Anforderungen an die Integrationsplattform wiedergibt. Der Server tauscht Ladedaten mit Vattenfall und dem Kunden aus, erstellt einen Ladefahrplan für das Fahrzeug und steuert den Ladevorgang des Fahrzeugs.

Die verschiedenen Schnittstellen des BMW-Servers zu den verschiedenen Komponenten lassen sich unterteilen in:

- **Vattenfall-Backend**: eingehende Nachrichten vom Fahrzeug werden angenommen und Rückmeldungen verschickt. Die Kommunikation mit dem Fzg. über PLC wird hier ermöglicht.
- **Smartphone-Konfigurationsapplikation**: zur Darstellung von Fahrzeugdaten und Anpassung der Mobilitätspläne, die Einfluss auf dem Ladeverhalten des Fahrzeuges haben.
- **Fahrzeug über PLC**: mit dem Fahrzeug wird über definierte XML Nachrichten, die zwischen Ladesäule und Fahrzeug ausgetauscht werden, kommuniziert. Diese Schnittstelle ist abhängig von der Schnittstelle zum Vattenfall-Backend. Diese Schnittstelle wurde ausführlich vor Ort in Hamburg von BMW und Vattenfall Entwicklern getestet. PLC-fähige Fahrzeuge können über diese Schnittstelle gesteuert laden.
- **Fahrzeug über Teleservices**: die Schnittstelle an TSSB wurde bei BMW-Externen entwickelt. Kommunikationsprobleme bestehen auf Grund von Fahrzeugproblemen und es kann zur Zeit kein Gesteuertes Laden über Teleservices (also ohne PLC) stattfinden. Dies wird nach Projektabschluss von BMW weiterentwickelt.

Diese Schnittstellen werden im Einzelnen im folgenden Abschnitt beschrieben.

Vattenfall-Backend:

Folgende Funktionen wurden durch die Erstellung der Schnittstellen zum Vattenfall-Backend implementiert:

- Wenn das Auto an der Ladesäule angesteckt wird, findet eine Authentisierung zw. Fzg. und Ladesäule statt. Nach der Authentisierung erzeugt Vattenfall eine Session-ID für den Ladevorgang. Diese Session-ID wird jeder Nachricht vom Fahrzeug bis Backend durch Vattenfall hinzugefügt.
- Die Fzg.-Backend Kommunikation funktioniert auf Client-Server Basis. Das heißt, nur das Fahrzeug kann den Server ansprechen, und Nachrichten vom Server ans Fahrzeug müssen als Antworten auf diese eingehenden Nachrichten verschickt werden.
- Das angesteckte Fahrzeug verschickt jede Minute Heartbeat-Nachrichten an den Server. Innerhalb der Heartbeats sind keine Daten außer der VIN-Nummer. Die Heartbeats dienen dazu, dem Server jede Minute eine Antwortgelegenheit zu

gewährleisten, damit Kommandos entsprechend dem Ladeplan zurückgesendet werden können.

- Das Fahrzeug verschickt zudem alle 5 Minuten EV-State Nachrichten, die Zustandsdaten des Fahrzeuges beinhalten, wie z.B. SOC (State-of-Charge)-Wert der Batterie (d.h. Prozent geladen), Temperaturen (innen, außen, in der Batterie), und so weiter. Diese Statusnachrichten werden in der Datenbank gespeichert. Mit Hilfe des SOC-Wertes wird der Ladeplan für das Fahrzeug am Server berechnet.
- Nach Ankunft der ersten EV-State Nachricht werden die LLM- und Prio-Kurven für die angegebene Session-ID vom Vattenfall-Server angefragt.
- Anhand von den Kurven und der Mobilitätsdaten vom Ladeassistenten wird ein Ladeplan mit Hilfe eines von BMW entwickelten Algorithmus berechnet und mit Vattenfall abgestimmt.
- Nach Abstimmung des Ladeplanes wird das Auto anhand vom Plan gesteuert geladen. Das heißt, als Antwort auf jede Anfrage vom Auto wird entweder eine start-charge oder eine stop-charge Nachricht zurückgesendet. Start-Vorkonditionierung wird auf Grund eines Kommunikationsproblemes im Fahrzeug (außerhalb der Kontrolle der Entwickler in diesem Projekt) nicht am Fahrzeug ausgelöst.
- Auch wenn der User während eines Ladevorganges den Mobilitätskalender anpasst, wird dann ein neuer Ladeplan berechnet und abgestimmt. Das Auto wird dann entsprechend dem neuen Plan geladen.
- Über die Schnittstelle zu Vattenfall kann auch Daten über die Ladesäuleninfrastruktur abgefragt werden. Die Ladesäulen werden dann auf einer Karte im Ladeassistenten angezeigt.

Smartphone-Konfigurationsapplikation (auch "Ladeassistent")

Ein "Ladeassistent" Smartphone App wurde für iPhone entwickelt. Sie spricht mit dem BMW Backend Server über definierte Schnittstellen. Folgende Funktionen wurden entwickelt:

- Wenn der User die App zum ersten Mal startet muss er sich mit Username und Passwort anmelden. Jeder Username ist einem Fahrzeug im Projekt zugeteilt.
- Nach erfolgreicher Anmeldung sieht man die verschiedenen Daten ("E-Status") über die Ladesituation seines Fahrzeuges. Diese Daten werden alle vom Server

regelmäßig während der Ausführung der App neu geladen und sind meistens abhängig von den EV-State Daten aus dem Fahrzeug.

- Während das Fzg. gesteuert lädt wird durch die animierte Ansicht der aktuelle SOC-Wert, Reichweite, Restladezeit, usw. angezeigt. Auch sieht der User ob das Fahrzeug gesteckt oder nicht ist, ob es lädt oder nicht. Das Laden kann vom User unterbrochen werden oder "ungesteuert" fortgesetzt werden. Das starten und stoppen des Ladevorganges aus dem Ladeassistenten funktioniert wie spezifiziert.
- Der User kann seine Mobilitätswünsche - Regelfahrten, Ausnahmefahrten, Urlaubinfos - in den Mobilitätskalender eingeben. Diese Zeiten werden am Server in der Berechnung des Ladeplanes erfolgreich berücksichtigt. Auch Änderungen des Kalenders während eines laufenden Ladevorganges haben eine Wirkung auf den Ladeplan, der dann neu berechnet wird.
- Die Ladestationen der Stadt werden auf einer Google-Map angezeigt. Diese Daten werden am BMW Server von Vattenfall geladen und erfolgreich am Ladeassistenten angezeigt.
- Planstand im Ladeassistenten ist es, ausführliche Daten über den letzten Ladevorgang anzuzeigen, und auch über die Windbilanz der vergangenen und der kommenden 24 Stunden anzuzeigen. Die Schnittstellen hierfür wurden auf Grund der fehlenden Zeit nicht implementiert.
- In den Einstellungen des Ladeassistenten kann der User seine Heim- und Arbeitsadresse angeben. Diese werden in der Anzeige der Reichweite im E-Status angezeigt. Das Einstellen der Daten funktioniert und wird in der Datenbank gespeichert, aber auf Grund der falschen Reichweitenangabe vom Auto werden diese Werte im Screen "E-Status" nicht richtig angezeigt.

Fahrzeug über PLC

- Alle geplanten Interfaces und Funktionen wurden implementiert und funktionieren. Nachrichten ans/vom Fahrzeug finden ihren Weg über PLC, über Vattenfall-Backend, an das BMW Backend und zurück.
- Gesteuertes Laden funktioniert einwandfrei bis auf ein paar Problemen mit Mobilfunkverbindungsstärke und dem PLC-Moden in der Ladesäule. Diese Probleme sind außerhalb der Kontrolle der Entwickler im Projekt.

Fahrzeug über Teleservices

Alle Fahrzeuge im Projekt sind mit einer Combox ausgestattet. Die Combox ermöglicht Kommunikation über Mobilfunk mit dem BMW Backend ohne Notwendigkeit einer PLC-Verbindung während des Ladens.

Eine Schnittstelle zwischen dem BMW Backend und dem Teleservices-Switchboard wurde spezifiziert und entwickelt. Statusnachrichten (wie EV-State oben) vom Fahrzeug sollen über Combox an das BMW-Backend geliefert werden. Das Backend soll auch Ladekommandos an das Fahrzeug verschicken können.

Wegen Probleme auf BMW Seite, die vor Projektschluss nicht behoben werden konnten, konnte die Kommunikation zwischen Fahrzeug und BMW Backend über Teleservices/Combox nicht gewährleistet werden. Das Fahrzeug kann also über Combox/Teleservices nicht gesteuert geladen werden. Fahrzeuge mit LIM Steuergeräten (PLC-Fähigkeit) können aber problemlos an PLC-fähigen Ladesäulen noch laden.

Schnittstellen zu den Systemen der Partner

Im Projekt mussten Schnittstellen zur Datenkommunikation zwischen den verschiedenen Systemen bei verschiedenen Projektpartnern implementiert werden. Die Integrationsplattform fungiert dabei als integrierende Instanz für alle Schnittstellen. Innerhalb der Integrationsplattform existieren ebenso Schnittstellen zwischen den einzelnen Teilsystemen. Diese internen Schnittstellen werden hier nicht näher betrachtet, da sie für die Gesamtbetrachtung eine untergeordnete Rolle spielen.

Die zentralen und bereits erwähnten Schnittstellen zu den Partnern lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Zur **TU Ilmenau** wurden Schnittstellen erstellt, die die Übertragung der Prognosedaten (siehe Folgeabschnitt) ermöglichen. Weiterhin wurde eine Schnittstelle implementiert um für einen neuen Ladevorgang eines Fahrzeugs eine W2V-Zielfunktion zur Verfügung zu stellen. Es wurde eine weitere Schnittstelle erstellt, um die Berechnung des W2V-Ladeerfolgs zu übertragen.
- Zur **TU Berlin** wurde die Verbindung zwischen dem Radius-Server der TU Berlin und der Integrationsplattform als Proof of Concept vorgenommen. Detailliert wird auf diese Schnittstelle im Deliverable 4.3 eingegangen.

- Zu **BMW** wurden – neben den Schnittstellen in der Ladesäule zum Fahrzeug – Schnittstellen zum Austausch der Informationen (Payload) für die Ladevorgangssteuerung implementiert. Das BMW-Backend ruft Zielfunktion, Belegung der Ladesäulen und den Ladeerfolg in der Integrationsplattform ab.

Prognosedaten 50Hertz Transmission

Die Basisdaten zur Windprognose und zur Energieeinspeisungsprognose werden von 50Hertz auf ihrer Webseite zur Verfügung gestellt. Damit im Projekt alle beteiligten Partner mit den gleichen Daten arbeiten, werden diese zentral in der Integrationsplattform aufbereitet und per Webservice für die Partner im Projekt zugänglich gemacht. Die Prognosedaten werden direkt nach der Veröffentlichung abgerufen und normiert. Auf diesem Weg ist zusätzlich auch die Historisierung gewährleistet.

Schlussfolgerung

Die IT-Plattform ist der Integrationsleistung der diversen Applikationen durch eine moderne Anforderungsanalyse und modernen Entwicklungsverfahren gerecht geworden. Die Konzentration auf nur drei verschiedene Arten von Schnittstellen sichert zusammen mit dem modularen Aufbau eine tragfähige Basis für einen späteren Betrieb. Die anfängliche Aufgabenstellung für einen prototypischen Betrieb konnte so übertroffen werden, die Integrationsplattform kann für den Produktionsbetrieb eingesetzt werden.

4.4.3 Deliverable 4.2: Anbindung der eMobility Teilsysteme

4.4.3.1 Management Summary

Die Integrationsplattform stellt auf der einen Seite Applikationen zur Verfügung und verbindet auf der anderen Seite externe Applikationen miteinander. Auf diese Applikationen können direkt oder indirekt sowohl interne Nutzer wie Systemadministratoren als auch externe Nutzer wie Fahrzeugnutzer zugreifen. Dabei kommunizieren die Applikationen auf unterschiedliche Weise – je nach ihrer Systemzugehörigkeit – untereinander. Für diese Kommunikationswege waren die technischen Voraussetzungen zu schaffen und eine IT-Infrastruktur zur Verfügung zu stellen. Das beinhaltete die Entwicklung von serverseitigen Komponenten für die Interpretation von Kommunikationsdiensten, ihrer Aufbereitung auf dem Client sowie die Kommunikationsschnittstelle zum Client selbst. Es

waren die Integrationsschnittstellen zu definieren und zu implementieren, über die die Teilsysteme mit dem Gesamtsystem Daten austauschen.

Grundsätzlich war bei der Ausprägung der IT-Infrastruktur zwischen der kommerziellen und der technischen Infrastruktur zu unterscheiden. Die kommerzielle Infrastruktur bezeichnet den Bereich für die öffentliche Nutzung des Gesamtsystems, wie z.B. die Nutzung einer Endkunden Webseite.

Die technische Infrastruktur bezieht sich auf alle IT-Systeme, die den Betrieb des Gesamtsystems innerhalb der Produktionslandschaft sicherstellen.

Dadurch waren eingehende IT-Sicherheitsbetrachtungen notwendig, die über ein Zonenmodell bewertet wurden. Danach konnten dezidierte Verbindungsmechanismen ausgewählt und implementiert werden, um die verschiedenen Kommunikationskanäle zu gewährleisten.

Im Projekt wurde konkret die technische Anbindung zum benötigten Datenaustausch aller internen und externen IT-Teilsystemen und deren Basis-Infrastrukturen für den eMobility-Client sowie die Applikationen W2V und V2G realisiert. Die Anbindung und Integration der technischen Schnittstellen erfolgte über die Betrachtung der Sicherheitsanforderungen der Infrastrukturen und Module zueinander. Es wurden Teilsysteme klar zueinander abgegrenzt, um einen störungsfreien und sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Die Anbindungen zu den Partnern und deren Systemen erfolgte im Wesentlichen über VPN-Tunnel, die eine verschlüsselte sichere Kommunikation über das Internet ermöglichen. Als zweite sichere Anbindung wurden SLL-VPNs etabliert. Hierbei werden die Applikationen selbst über eine sichere verschlüsselte Verbindung mit integrierter Nutzer und Passwortabfrage aufgebaut.

4.4.3.2 Ziele und Aufgaben

Im Deliverable 4.2 soll der Aufbau der für den Probebetrieb notwendigen zentralen IT-Infrastruktur sichergestellt werden. Ziel ist, dass insbesondere die in TP1 und TP2 entwickelten Applikationen in eine zentrale Plattform angebunden und integriert werden können.

Die entwickelten Applikationen eMobility-Client, W2V und V2G müssen in die Infrastruktur der aufgebauten IT-Service-Plattform mit ihren vorhandenen Benutzerschnittstellen

auf Kommunikationsebene verbunden werden. Alle notwendigen Funktionen und Prozessabläufe für den eMobility-Nutzer und den beteiligten Partnern müssen über die Integrationsplattform zur Verfügung gestellt werden können.

Die Einbindung in die bestehende technische Infrastruktur des Betreibers muss innerhalb der Betriebsführung und Gefahrenübergänge des Netzes (Grid) definiert und abgegrenzt werden.

Dazu erfolgt eine Betrachtung zur Abgrenzung der Teilsysteme und Applikationen nach einem definierten und etablierten Zonenmodel innerhalb der IT Landschaft. Dieses Zonenmodel stellt für den Betreiber die Grundlage für einen stabilen und störungsfreien Test- und Produktionsbetrieb dar. Die Anwendung des Zonenmodels soll den erforderlichen Sicherheitsbedarf der einzelnen Teilsysteme der Infrastruktur gewährleisten.

Aus betrieblicher Sicht besteht eine zu berücksichtigende Sicherheitsanforderung von technischen IT-Bereichen (z.B. der Ladeinfrastruktur eines Verteilnetzbetreibers) zu kommerziellen IT-Bereichen (z.B. Smartphones oder Webserver) und dem öffentlichen Internet. Zur technischen Infrastruktur zählt der Strom-Zähler Anschluss einer Ladesäule an das Grid mit den technischen Rahmenbedingungen und Anforderungen für den Betrieb und der Überwachung. Innerhalb der technischen IT sind Anwendungen auf produktiven Systemen für den Betreiber kritisch. Sie können schwerwiegende Konsequenzen für das Kerngeschäft des jeweiligen Business bedeuten.

Die W2V- und V2G-Applikation werden in die Systemplattform integriert. Dadurch stehen Netzinformationen des Netzbetreibers auf der Plattform für andere Applikationen wie dem Ladeassistent aus AP2.3.3. zur Verfügung und können vom eMobility-Nutzer genutzt werden

Die Abnahme der Produktivsetzung und Bereitstellung der zentralen IT-Plattform und des mobilen Dienstes für den Pilotbetrieb muss realisiert werden.

4.4.3.3 Vorgehen, Methodik

Die Strukturierung einer IT-Infrastruktur erfolgt nach bestimmten Methoden und Sicherheitsaspekten, die in den nachfolgenden Kapiteln zum Verständnis der Ergebnisse näher erläutert werden. Ausgehend von grundsätzlichen Überlegungen erfolgt eine Zonenbetrachtung zur Einschätzung der Sicherheit für eine IT-Produktionslandschaft, die dann

mit einer Bewertung abschließt. Dabei wurde die Infrastruktur des Projekts MINI E Berlin 1.0 als Ausgangsbasis verwendet.

Innerhalb der IT-Infrastruktur bzw. der Gesamtnetzwerklandschaft werden verschiedene bestehende Basisdienste, Systemplattformen und Basisapplikation zu einem Gesamtsystem aufgebaut und bieten die grundlegende IT Plattform auf der alle weiteren Anforderungen aus dem Projekt aufgebaut werden.

- **Prinzipen zur IT-Infrastruktur für die Integrationsplattform**

Die „IT-Sicherheitsarchitektur für den operativen Betrieb“ innerhalb des Rechenzentrums von Vattenfall unterstützt insbesondere die Implementierung und Anwendung der folgenden Grundprinzipien:

- Prinzip der niedrigsten Berechtigung
    - Benutzer und Systemkomponenten besitzen nur die für die Ausübung ihrer definierten Funktion mindestens erforderlichen (Zugriffs-) Berechtigungen.
- Prinzip der „Defense in Depth“
    - Sicherheitsbedrohungen werden nicht durch eine einzelne Gegenmaßnahme abgewehrt, sondern durch Implementierung verschiedener komplementärer Verfahren auf mehreren Systemebenen/ Zonen.
- Prinzip von Schutz/Erkennung/Reaktion
    - Es werden Kontrollen implementiert, die darauf abzielen, den Schutz vor, die Erkennung von und die Reaktion auf Sicherheitsereignisse zu verbessern.

- **Zonenbetrachtung einer neuen Topologie**

Für eine Umsetzung der Anforderungen zur Anbindung der Applikationen und Teilsysteme aus dem TP1 und TP2 an eine zentrale IT-Plattform wurden die definierten und etablierten Systemlandschaften in einzelne Bausteine untergliedert. Deren Kommunikationsbedarf wird über die definierten und gewünschten Schnittstellen analysiert (siehe Abbildung 162).

Der Datenverkehr der uni- bzw. bidirektionalen über die Schnittstellen transportiert wird, muss für den jeweiligen Schutzbedarf nach dem Zonenmodel bewertet werden, damit in der Produktivlandschaft die Verfügbarkeit und Integrität gewährleistet werden kann.

Angewendetes Zonenmodel

Das angewendete Zonenmodell gliedert IT-Systeme in sechs verschiedene Zonen, die von Vattenfall kontrolliert werden. Systeme, die sich der Kontrolle durch Vattenfall entziehen, werden als „Extern“ bezeichnet. Primärfunktion des Zonenmodells ist es, den Schutz kritischer IT-Systeme in den Zonen zu bewerten und zu verbessern. Für die Anbindung der externen Subsysteme wurden teilweise VPN- oder SSL-Verbindungen mit User und Passwort etabliert, um dem Sicherheitsgedanken im Hinblick auf die Produktion in einem verteilten System gerecht zu werden.

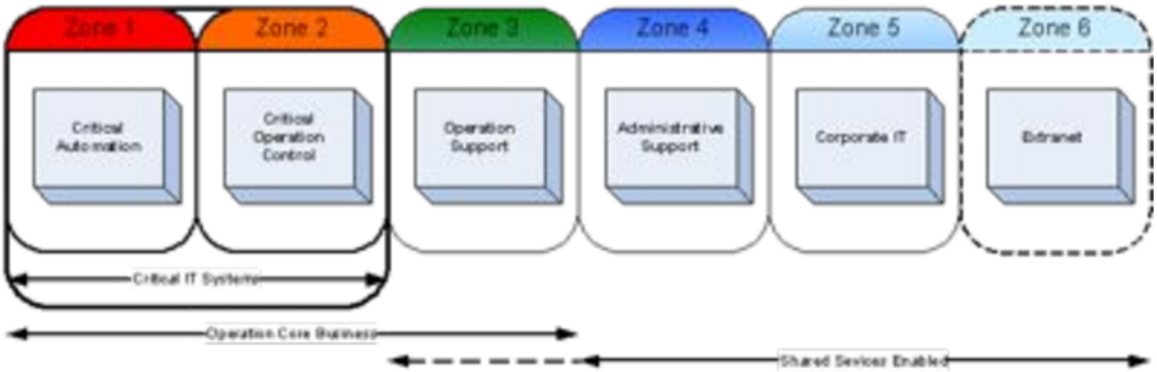


Abbildung 146: Zonenmodell

Für den Aufbau einer Produktivlandschaft wurden die unterschiedlichen Zonenübergänge zwischen dem zentralen IT-System der Integrationsplattform und den angebundenen Teilsystemen mit und zu den Partnern bewertet.

Zone	Zonenname	Beschreibung	Wesentliche Sicherheits-anforderung	Zeit des Serviceausfalls bis schwerwiegende Konsequenzen eintreten
Zone 1	Kritische Automatisierung	IT-Systeme, die kritische physikalische Prozesse unmittelbar und automatisch steuern	Verfügbarkeit (Integrität)	Millisekunden bzw. Sekunden
Zone 2	Kritische Betriebs-Steuerung	Entscheidende Systeme zur Kontrolle von Automatisierungssystemen in Zone 1	Verfügbarkeit Integrität	Minuten
Zone 3	Betrieblicher Support	IT-Systeme, die keine oder nur marginale Auswirkungen auf den kritischen Betrieb haben, aber den Betriebsablauf unterstützen	Integrität Vertraulichkeit	Stunden
Zone 4	Administrativer Support	Systeme, die administrative Prozesse unterstützen, die für den technischen Betrieb nicht erforderlich sind	Vertraulichkeit	
Zone 5	Unternehmens-IT	Gemeinsam genutzte IT-Services und gemeinsame IT-	Vertraulichkeit	

		Infrastrukturfunktionen des Unternehmens-IT-Netzes		
Zone 6	Extranet	Funktionen zur Integration zwischen Unternehmens-IT-Netzwerk und dem Internet oder anderen externen Netzwerken	Integrität Vertraulichkeit	

Tabelle 51: Bewertung der Zonenübergänge

Die Erfüllung der Infrastrukturanforderungen eines Fuhrparks setzt eine hohe Zuverlässigkeit des Ladesystems inklusive aller beteiligten Komponenten und Prozesse voraus. Daher müssen die zentralen IT-Systeme redundant und ohne äußeren Einfluss betrieben werden.

- **Infrastruktur/Topologiebetrachtung Vorprojekt MINI E Berlin 1.0**

Im vorangegangen Projekt MINI E Berlin 1.0 wurde die etablierte Topologie der Infrastruktur betrachtet und auf weitere Nutzbarkeit bewertet. Die Topologie aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0 stellt sich als ein geschlossenes System dar. Die Kommunikation der hier verwendeten Wallboxen zum Backend der TU Ilmenau erfolgt über eine öffentliche GSM-Funkverbindung, die über das Internet via VPN-Verschlüsselung zum Backend übertragen wird. Es besteht eine unidirektionale Kommunikation, die die aktive Steuerung in Richtung der Wallboxen/Ladesäulen über das Internet im öffentlichen Bereich nicht ermöglicht.

Für das Projekt GL V2.0 hingegen wird eine bidirektionale Kommunikation benötigt, die eine Steuerung, aktive Überwachung und Administration der Ladeinfrastruktur und deren Teilbausteine wie z.B. FI-Schutzschalter Prüfung via Fernwartung ermöglicht.

Auf die Einbindung der Wallboxen aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0 in die zukünftige Integrationsplattform wurde verzichtet, da sie nicht primäres Projektziel war. Die Integration setzt eine Reihe von Änderungen der öffentlichen Kommunikationsverbindung voraus.

- **Evaluierung der beteiligten Systeme und Bewertung**

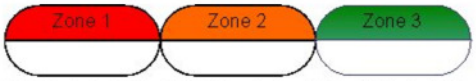
Im Verlauf des Projektes mussten unterschiedliche Teilsysteme an die zentrale Integrationsplattform angebunden werden. Diese Systeme unterliegen eigenen Sicherheitsanforderungen der Partner und den Sicherheitsanforderung der zentralen IT der Vattenfall. Diese Systeme werden in einer produktionsnahen Umgebung aufgebaut und nach Test und Funktionskontrolle in den produktiven Probebetrieb überführt. Für die Planung, In-

stallation und den Betrieb der Integrationsplattform wurde auf die Einbindung und Anpassung bestehender und bewährter Infrastruktur zurückgegriffen. Die Systemlandschaft wird im Rechenzentrum angebunden.

Die einzelnen Teilsysteme wurde nach interner Betrachtung anhand der Bewertungsmatrix (Tabelle 52) an die Integrationsplattform angebunden. Dieses beinhaltet mehrere Zonenübergänge.

Folgende Unterteilung der Systeme wurde vorgenommen:

- Frontend Systeme Intern



  - Ladeinfrastruktur (Ladeboxen –Säulen Lieferant 1/ Lieferant 3

- *VE Integrationsplattform* (Subsysteme und verteilte Serverlandschaft DC)

  - Authentifizierung/Autorisierung/Abrechnung
  - Benutzerverwaltung
  - Reporting
  - Ladeinfrastrukturverwaltung
  - Jobverwaltung
  - Datenbanksysteme
  - LLM/W2V

- Backend Systeme Intern

  - Abrechnung SAP

- Backend Systeme Extern

- TU Berlin / Radius /V2G
- Radius Vattenfall
- Datenbank 50 Herz Transmission
- DSO Berlin/Hamburg
- TU Ilmenau W2V
- BMW Backend /Ladeassistent Server und Ladesteuerung

- Frontend Systeme Extern

- BMW Combox/LIM
- Lagezentrum/Datenauswertung via Internet
- Internet User

- Anbindungsmöglichkeiten der beteiligten Systeme und Anwendung an die jeweiligen Sicherheitszonen

Für den Übergang an den Schnittstellen zu den Teilsystemen wurden unterschiedliche, sichere IT-Kommunikationsverbindungen zum Datenaustausch etabliert, die im Folgenden aufgelistet sind:

- VPN Tunnel IPsec[25] via Firewall-Systemen zu den Partnern mit entsprechendem Regelwerk
  - Für die Kommunikation von virtuellen Teilnetzen zwischen zwei Partner, wird eine sichere, gekapselte IP-Verbindung zwischen den Quell- und Zielsystemen oder Netzwerken aufgebaut. Diese Verbindung kann über ein entsprechendes Regelwerk noch auf die notwendigen Kommunikations- Ports einer IP-Verbindung eingeschränkt werden.

25 IPsec (Internet Protocol Security) ist ein Sicherheitsprotokoll, das für die Kommunikation über IP-Netze die Schutzziele Vertraulichkeit, Authentizität und Integrität gewährleisten soll. Es kann zum Aufbau virtueller privater Netzwerke (VPN) verwendet werden. Die Verbindung kann über öffentliche oder private Netzwerke eingerichtet werden. Die Partner verständigen sich über die jeweiligen Sicherheitsparameter.

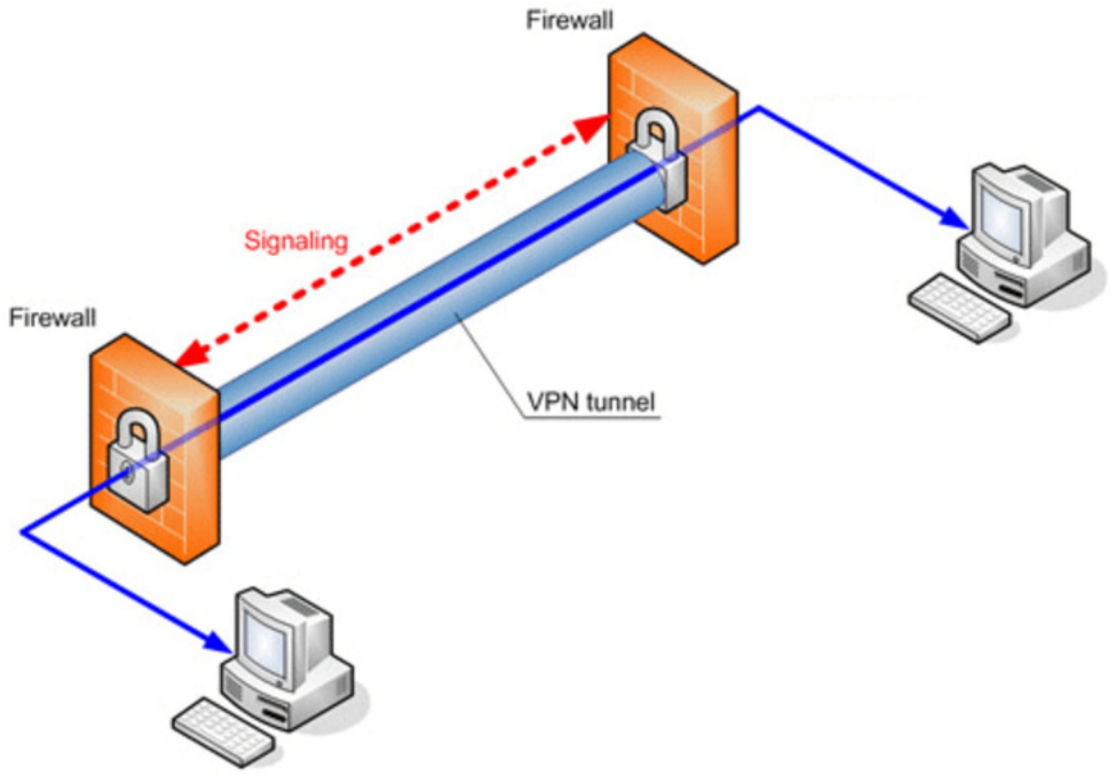


Abbildung 147: VPN-Tunnel IPsec

- Webservice-Schnittstelle via SSL Verschlüsselung und User Authentifizierung

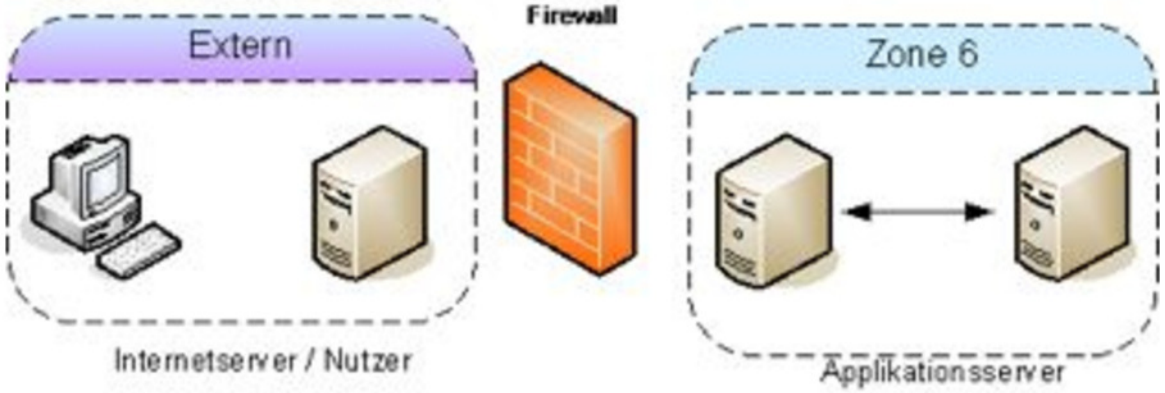


Abbildung 148: Webservice-Schnittstelle via SSL Verschlüsselung und User Authentifizierung

- Die Webservice-Schnittstellen von Vattenfall werden im Internet mit SSL (Secure Sockets Layer) verschlüsselt zur Verfügung gestellt. Das ist ein Netzwerkprotokoll zur sicheren Übertragung von Daten.
    - Jeder Webservice ist zusätzlich durch eine HTTP-Authentifizierung über User und Passwort geschützt.
    - Die Internetserver sind eine Gruppe von Servern, die als Verbund die Ausfallsicherheit und Lastverteilung gewährleisten. Die zugreifbaren Dienste sind nicht auf diesen Servern realisiert, sondern werden auf Systemen im Backend in einer anderen Sicherheitszone bereitgestellt. Die Internetserver dienen als Reverse-Proxy (Vermittler) und leiten die Anfragen an einen Verbund von Applikationsservern – die Integrationsplattform – weiter, auf denen die Dienste installiert sind. Reverse-Proxy ist ein Stellvertreter und tritt im Falle des Proxys (Vermittler) als vermeintliches Zielsystem in Erscheinung, wobei die Adressumsetzung dann in der entgegengesetzten Richtung vorgenommen wird und so dem Client die wahre Adresse des Zielsystems verborgen bleibt. Während ein typischer Proxy dafür verwendet werden kann, mehreren Clients seines internen (privaten – in sich geschlossenen) Netzes den Zugriff auf ein externes Netz zu gewähren, funktioniert ein Reverse Proxy genau andersherum.“
- Transparente IP-Kommunikation

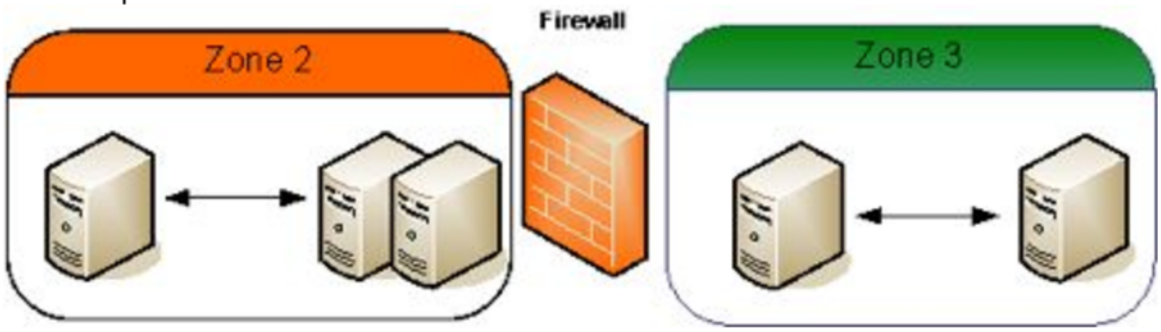


Abbildung 149: Transparente IP-Kommunikation

- Für die Kommunikation von Backend-Systemen in den gleichen Sicherheitszonen erfolgt der Austausch von Daten transparent über das IP-Netzwerk. Das bedeutet, dass keine weiteren Sicherheitsanforderungen zur Trennung bzw. Prü-

fung der Daten umgesetzt werden, da die Systeme in der gleichen Schutzklasse / Ebene eingestuft wurden.

Grundsätzlich sollen alle Partner und die entsprechenden Teilsysteme über dedizierte VPN-Tunnel auf eine zentrale Frontend-Infrastruktur zur Absicherung der inneren IT-Integrationsplattform miteinander verbunden werden.

Innerhalb dieser VPNs werden alle benötigten und definierten Dienste über Standard-Webservices oder dedizierter IP-Kommunikation zur Verfügung gestellt. Dies gilt für die eMobility-IT-Integrationsplattform und die Backends der Teilsysteme für alle agierenden Partner.

Die geplante Umsetzung wurde im Rahmen der technischen Voraussetzungen und Möglichkeiten der Partner bei der Systementwicklung gemeinsam definiert.

Die zu erstellenden Anforderungen, Use Cases und Funktionen für Endkunden und Produktionssystem wurden mit allen Kooperationspartnern erstellt. Sie sind in D4.1 beschrieben.

4.4.3.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Mit Hilfe der oben beschriebenen Verfahren wurde die zentrale IT-Infrastruktur aufgebaut. Das führte zu den zentralen Ergebnissen dieses Deliverable:

- Erstellung einer Endkundenwebsite für die individuelle Einstellung des Ladevorgangs für einzelne Nutzergruppen
- Art und Weise der Anbindung der W2V2G-Applikationen. Konkrete Ausprägungen der Sicherheitsaspekte für einen Betrieb.
- Die Ladepunkte sind an die zentrale IT-Plattform innerhalb dedizierter Sicherheitszonen angebunden. Nur definierte Kommunikation ist zugelassen. Die Kommunikation erfolgt in einem geschlossenen System via VPN

4.4.3.4.1 Endkundenwebseite

Eine Endkundenwebsite ermöglicht sowohl Privatkunden als auch Flottenbetreibern die individuelle Einstellung ihres Aufladevorgangs. Sie ermöglicht den Flottenbetreibern die Verwaltung ihrer Fahrzeuge und ist über ein Subsystem der Integrationsplattform angebunden.

Die Endkundenwebsite setzt auf der gesamten eMobility-Integrationsplattform auf und nutzt deren zentrale Dienste über standardisierte Schnittstellen. Insofern fügt sich die Anwendung in die Architektur - gleich der Leitwarte - mit ein und läuft auch auf der gleichen Infrastruktur mit.

Der Fokus bei der Bestimmung der Funktionen lag auf der Nutzergruppe Fuhrpark. Grund hierfür ist, dass davon ausgegangen werden kann, dass diese ihre Dienstfahrzeuge tagsüber nutzt und die Fahrzeuge ab Abend auf dem Betriebsgelände mit den Ladesäulen verbunden sind. Somit ergeben sich für die Wind-to-Vehicle-Anwendung große Zeitfenster zu einem Zeitpunkt, zu dem die Last im Netz insgesamt gering ist.

Hieraus resultieren für den Betrieb der Plattform drei Rollen:

1. Administrator
2. Fuhrparkmanager
3. Fuhrparknutzer

Der Administrator auf Seite des Vertriebs (RFID-Karten-Vergabe) richtet die RFID-Karten im System ein und ordnet diese den Fuhrparks zu. Zudem richtet er zu jedem Fuhrpark einen oder mehrere Fuhrparkmanager und Fuhrparkbenutzer ein.

Der Fuhrparkmanager verwaltet alle RFID-Karten und kann über diese die Wind-to-Vehicle-Funktionen der zugeordneten Fahrzeuge kontrollieren. Wichtig ist hierfür eine feste organisatorische Zuordnung der RFID-Karten zu den Fahrzeugen, damit die konfigurierten täglichen Abfahrtzeiten zutreffen und die richtigen Fahrzeuge am Morgen – dem Bedarf entsprechend – aufgeladen sind.

Der Fuhrparknutzer hat den Zugriff auf einzelne dezidierte RFID-Karte oder auf einen dem Fuhrpark zugehörigen Pool an Karten. Der Manager kann, um die Verwaltung auf Seite der Administratoren zu vereinfachen, weitere Fuhrparknutzer für seinen eigenen Fuhrpark anlegen.

Nach der Anmeldung wird der Status der Kommunikation zur eMobility-Integrationsplattform gemeldet. Generell steht diese zu Verfügung. Die Funktion ist vor allem zur Testphase mit häufigen Down-Zeiten wg. Release-Wechseln oder Anfangsproblemen hilfreich gewesen. Unter anderem wird hierdurch signalisiert, dass die Funktion Sofortladen nicht zur Verfügung steht, wenn die Integrationsplattform nicht erreichbar ist.

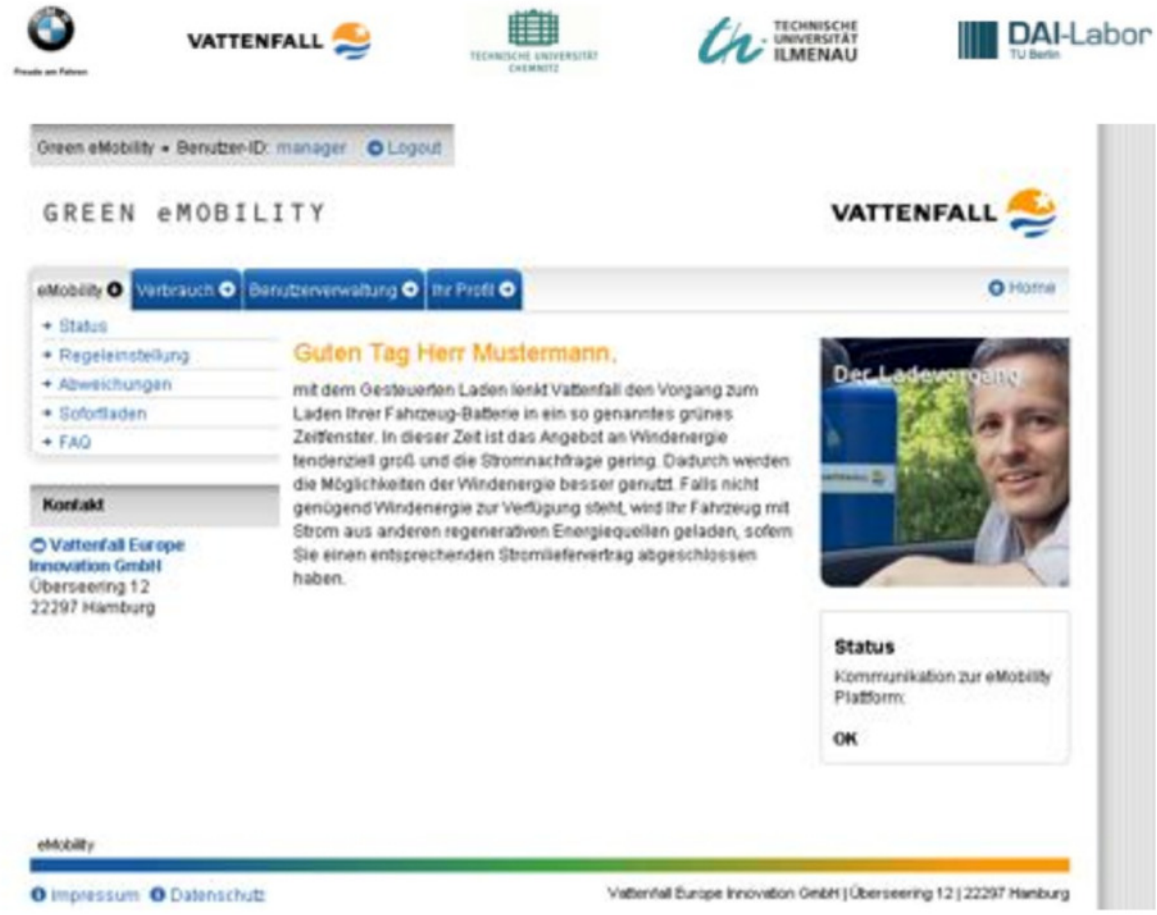


Abbildung 150: Startseite Green-eMobility-Webseite

Die Endkundenwebsite wurde noch nicht für Smartphones optimiert, obwohl die Wichtigkeit der mobilen Nutzerunterstützung erkannt ist (zum Beispiel Funktion Sofortladen, wenn der Benutzer am Wind-to-Vehicle teilnimmt, um in Ausnahmefällen relativ schnell wieder Mobilität zu gewährleisten oder aktuelle Daten zum Batterieladestand). Um die Möglichkeiten aufzuzeigen, wird hier trotzdem die momentane Darstellung auf dem Smartphone mit angegeben.

Abbildung 151: Smartphone: Startseite

Die wichtigste Funktion für den Fuhrparkmanager, bei der täglichen Verwaltung, ist der momentane „Status“ der angeschlossenen Fahrzeuge. Über diese Übersicht kann kontrolliert werden, welche RFID-Karten bzw. diesen zugeordnete Fahrzeuge zurzeit angeschossen sind und abgeschätzt werden, wann diese für den nächsten Einsatz wieder verfügbar sein werden. Über die Funktion „Laden“ kann die Wind-to-Vehicle-Einstellung an dieser Stelle übersprungen werden.

Abbildung 152: Green-eMobility-Webseite Status

Abbildung 153: Smartphone: Status

Die Regeleinstellung definiert die täglich wiederkehrende Abfahrtszeit, zu welcher das Fahrzeug unbedingt voll aufgeladen sein muss (Gewährleistung der Mobilität). Um die Wind-to-Vehicle-Berechnung über alle Teilnehmer noch weiter optimieren zu können, ist außerdem die Angabe einer maximalen Ladedauer sinnvoll (diese ist dem Nutzer des Fahrzeugs als Erfahrungswert bekannt – so dass eine organisatorische Zuordnung der RFID-Karte zum Fahrzeug sinnvoll und notwendig ist). Ansonsten muss – um die Mobilität in jedem Fall gewährleisten zu können - von einer ungünstig hohen maximalen Ladedauer ausgegangen werden. Dieser Informationsfluss fließt in die Berechnung der Wind-to-Vehicle-Ladekurven mit ein und schränkt somit das Zeitfenster für eine optimale Ausnutzung des Windstroms ein.

Um die Gewährleistung der Mobilität weiter zu erhöhen, ist es möglich für den Fuhrpark eine Kernzeit zu definieren. In dieser Kernzeit wird immer sofort geladen, so dass die Funktion Wind-to-Vehicle zum Beispiel erst am Abend greift. Die Kernzeit darf nicht zu spät enden, da Wind-to-Vehicle sonst abends durch bereits volle Fahrzeuge nicht mehr zum Tragen kommt.

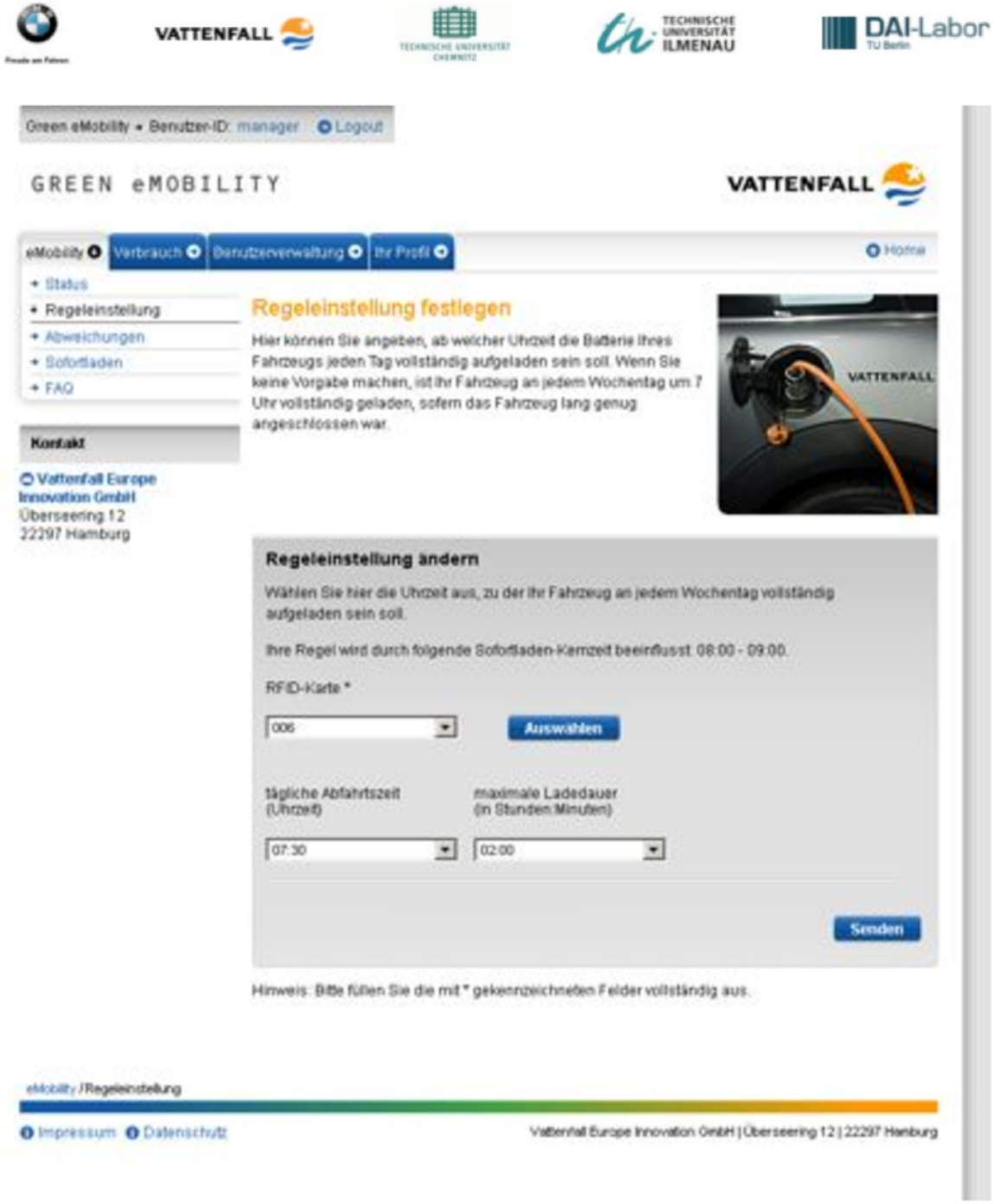


Abbildung 154: Green-eMobility-Webseite: Regeleinstellung

Abbildung 155: Smartphone: Regeleinstellung

Geplante Abweichungen von der täglichen Abfahrtszeit können über einen Kalender gepflegt werden. Dadurch kann der Benutzer sowohl einen früheren morgendlichen Termin für die Anfahrt definieren (Fahrzeug ist also früher aufgeladen) als auch einen späteren Termin (muss abends noch einmal los), so dass das Fahrzeug tagsüber (bei Anschluss) geladen wird.
Bei dieser Funktion wird auf die Smartphone-Darstellung verzichtet.

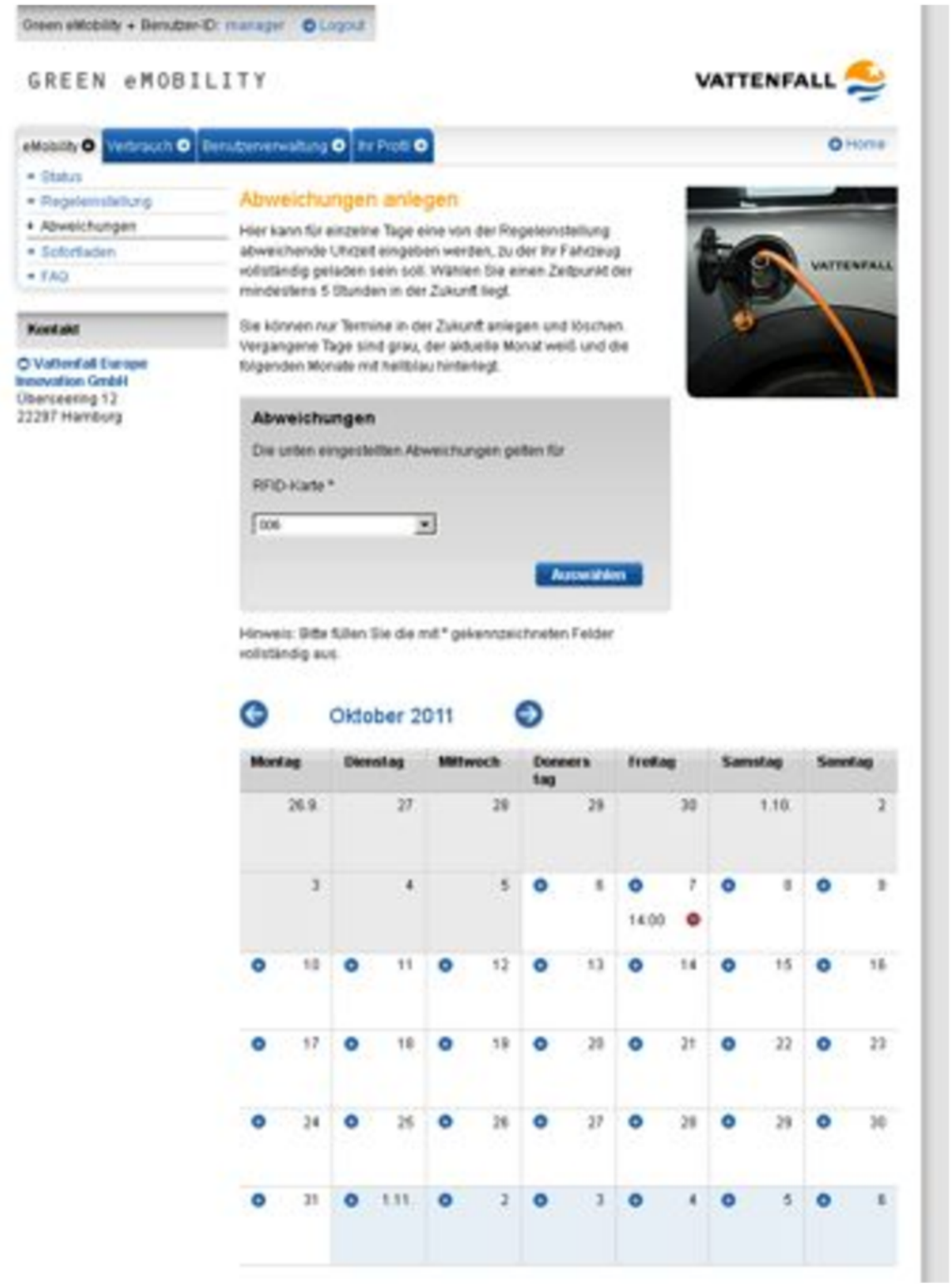


Abbildung 156: Green-eMobility-Webseite: Abweichungen

Damit der Fahrzeugnutzer jederzeit mobil ist wenn er es braucht, ist für den dringenden Fall die Funktion Sofortladen verfügbar. Hierüber kann ein momentan angeschlossenes Fahrzeug sofort mit dem Laden beginnen, egal was in der Regeleinstellung oder unter den Abweichungen definiert ist.

Das gleiche gilt für die Funktion Laden in der Statusübersicht.

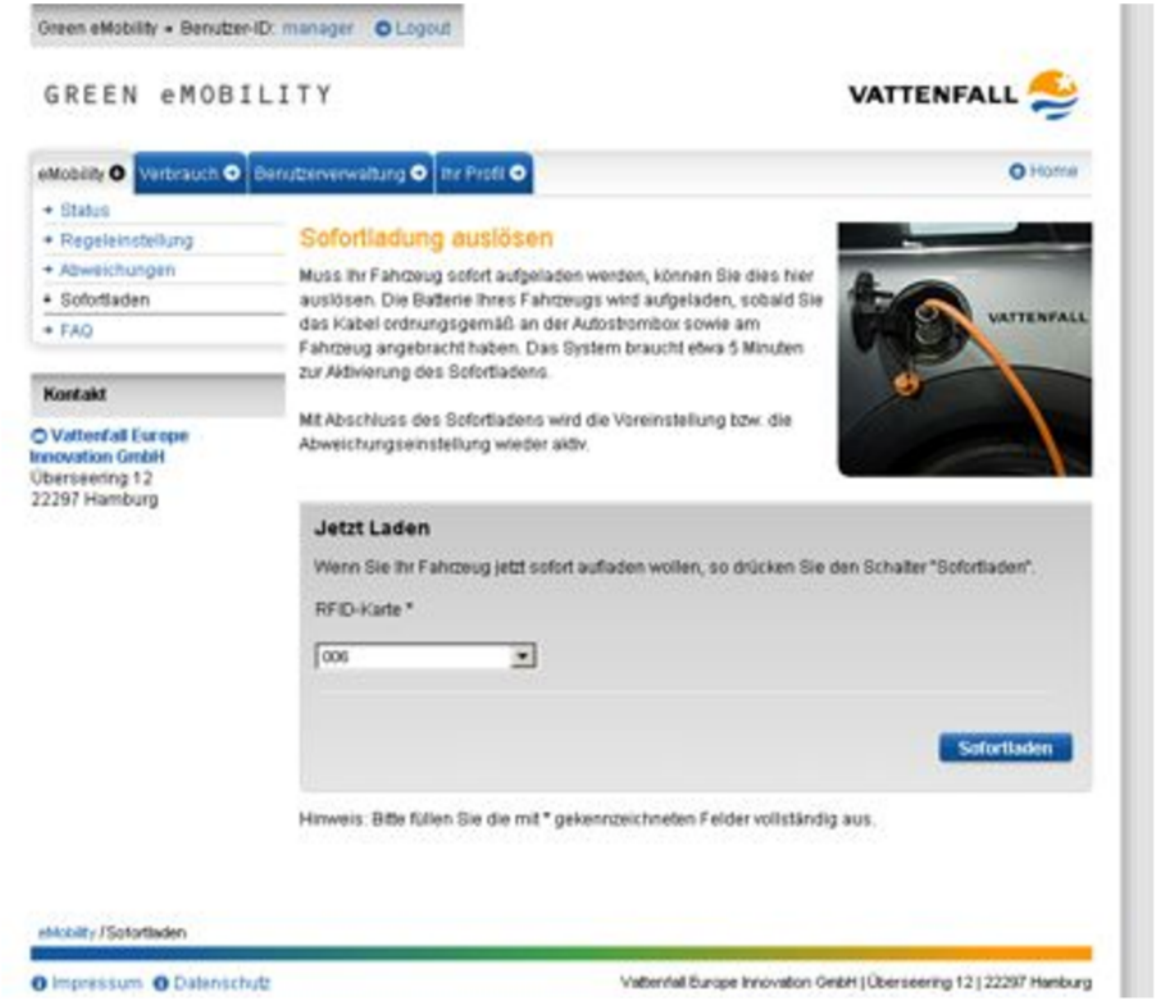


Abbildung 157: Green-eMobility-Webseite: Sofortladen

Abbildung 158: Smartphone: Sofortladen

Die Funktion Verbrauch liefert eine Einzelübersicht über alle in diesem oder im Vormonat getätigten Ladevorgänge. Wichtig ist hierbei zu berücksichtigen, dass es sich um Ladevorgänge der entsprechenden RFID-Karte handelt. Da eine RFID-Karte auch für mehrere Fahrzeuge genutzt werden kann, ist eine eindeutige Zuordnung zu einem bestimmten Fahrzeug nicht möglich. Dadurch können sich überschneidende Ladezeiten in der Liste ergeben.

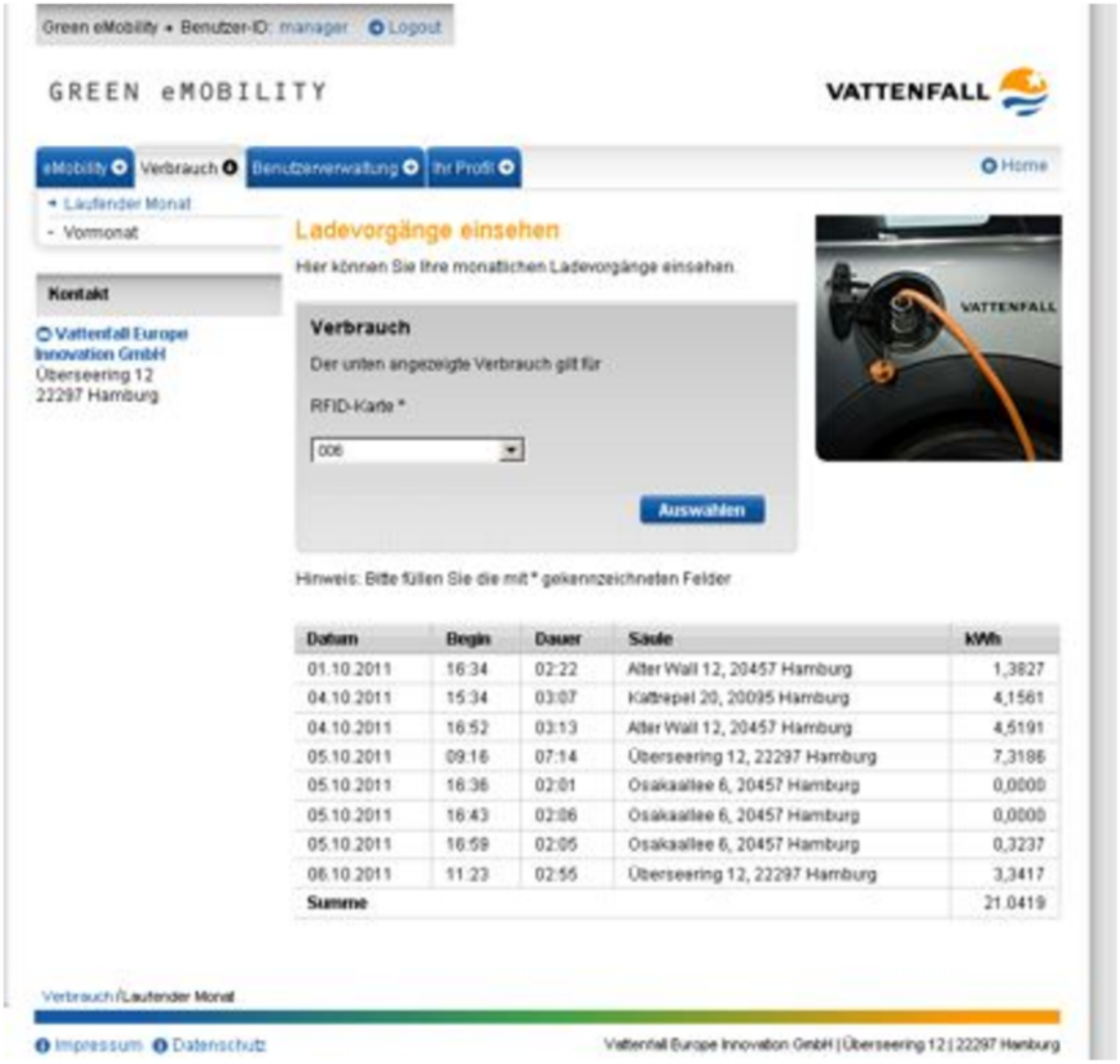


Abbildung 159: Green-eMobility-Webseite: Verbrauch

Abbildung 160: Smartphone: Verbrauch

4.4.3.4.2 Anbindung an zentrale IT-Plattform

Die W2V-Anwendung, die V2G-Anwendung und BMW Backend sind an die zentrale IT-Plattform angebunden und tauschen nach dem vereinbarten Kommunikationsbild ihre Daten aus.

Für die Anbindungen der Applikationen W2V und V2G an die zentrale VE-Integrationsplattform wurde über den Internetzugang der Vattenfall-IT ein Webservice mit HTTP-Authentifizierung und mehrere dedizierte VPN-Tunnel eingerichtet.

Innerhalb der zentralen Systemumgebung im Rechenzentrum wurden über diese technische Schnittstelle Frontendsysteme sowie auch die Backendsysteme der Partner an den unterschiedlichen Applikationsbausteinen der zentralen VE-Integrationsplattform angebunden. Der Zugriff auf die einzelnen Module und Bausteine erfolgt über dedizierte Aufrufe auf der Systemplattform innerhalb unterschiedlicher Sicherheitszonen, so dass je nach Sicherheitsbedarf der Einstieg auf unterschiedlichen Systemen abgebildet wurde.

Ein interner Nutzer aus der operativen Betriebsführung der Warten Applikation mit einer internen transparenten IP-Netzwerkanbindung an die zentrale Plattform hat eine andere Sicherheitsbewertung, als ein externes Modul der Partner über eine externe Schnittstelle wie das Internet.

Je nach Vertraulichkeit der Daten und der Kommunikationsrichtung (ausgehende oder eingehende Aufrufe) wird durch das Anwenden des Zonenmodels die Sicherheitsstufe festgelegt und somit die technische Anbindungslösung und Ausprägung.

Für die externe bidirektionale Kommunikation zu den Partner ist eine VPN Punkt zu Punkt Verbindung eine der bevorzugten Anbindungen, da hier beide Partner die Anforderungen der Kommunikation klar für die Kernsysteme definieren.

Diese Variante wird bei folgenden Arten der Kommunikation genutzt:

- Ladesäulen zur zentralen Integrationsplattform für die Übermittelung von W2V- und LLM/ÖLM-Parameter an das Elektrofahrzeug
- Transport der Fahrzeug-Payload von der Ladesäule über die Integrationsplattform zum BMW-Backendsystem
- Anbindung des Radiusservers für die Authentifizierung der RFID-Karten an den Ladesäulen der TU Berlin. (siehe
- Abbildung 162).

Allgemein kann diese Variante für die Anbindung von Fremdsystemen verwendet werden.

Diese Verbindungen werden über dedizierte Netzwerksysteme wie Firewall, Router im Rechenzentrum eingerichtet, betrieben und überwacht.

Die Anbindung über Webservices mit HTTP-Authentifizierung erfolgt ebenfalls auf deduzierten Netzwerksystemen wie interne Proxy oder externe Reverse-Proxy-Server innerhalb unterschiedlicher demilitarisierten Zonen im Rechenzentrum.

Diese Variante wurde für die Anbindung der Prognosedaten genutzt. Die verschiedenen Prognosedaten werden für die Regelzone von 50Hertz Transmission über die Integrationsplattform über einen Webserver zur Verfügung gestellt. Die Daten von 50Hertz Transmission werden von diversen Webseiten von 50Hertz Transmission eingelesen und verarbeitet. Folgende Prognosedaten werden angeboten:

- Windprognose
- Windeinspeisung
- Erzeugungsprognose
- Erzeugung
- Regelzonenlast

Die Prognosedienste werden von der TU Ilmenau genutzt und sind über die Internetnetzwerkinfrastruktur der Vattenfall über Webservices mit einer HTTP-Authentifizierung

von Nutzer und Passwort geschützt und stehen für den Betrieb der Anwendungen bereitgestellt.

Die Prognosedienste können unter

https://www.vattenfall.de/emobility-backend-web/ForecastWebService aufgerufen werden.

Über diese Schnittstellte bietet die W2V-Applikation der TU Ilmenau folgende von außen aufrufbare Dienste auf:

- Berechnung der Zielfunktion und des öffentlichen Lademanagements. Dieser Dienst kann unter http://141.24.122.56:8080/axis2/services/ObjectiveFunctionWebService aufgerufen werden.
- Berechnung des Winderfolges. Dieser Dienst kann unter http://141.24.122.56:8080/axis2/services/GetW2VSuccessWebService aufgerufen werden.
- Standardladeprofil für einen abgeschlossenen Ladevorgang. Dieser Dienst kann unter http://141.24.122.56:8080/axis2/services/gs20chargeprofile aufgerufen werden.
- CO_2-Emission für einen abgeschlossenen Ladevorgang. Dieser Dienst kann unter http://141.24.122.56:8080/axis2/services/gs20co2emissions aufgerufen werden.

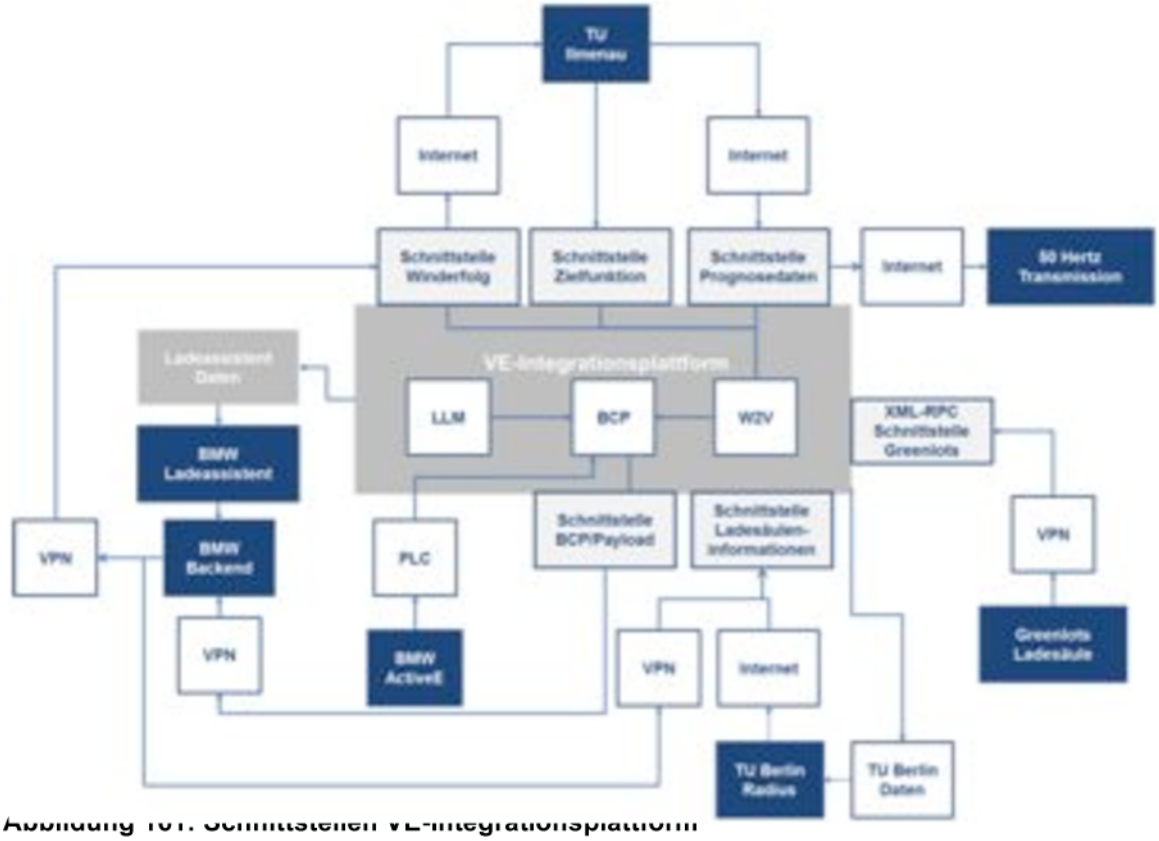


Abbildung 101: Schnittstellen VE-Integrationsplattform

Die VE–Integrationsplattform als produktives Kernsystem des Gesteuerten Ladens ist das zentrale Element in diesem Schaubild. In

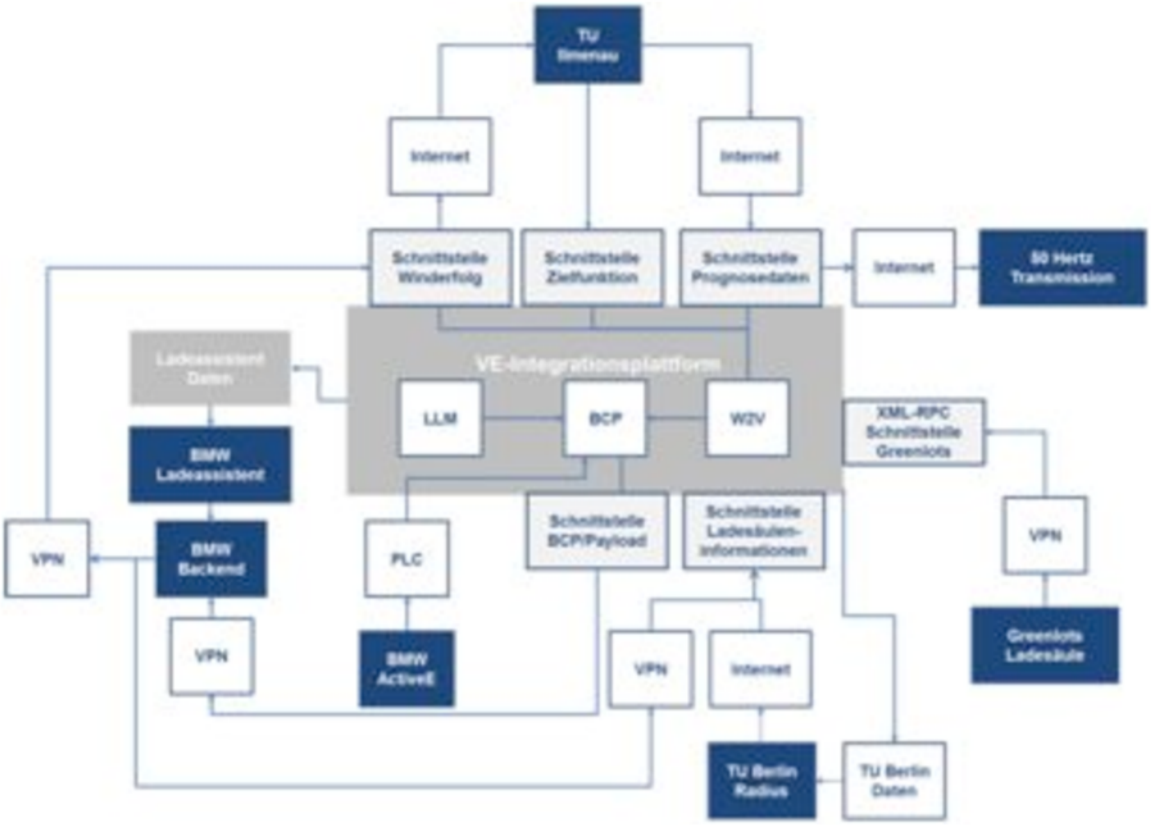


Abbildung 161 sind die unterschiedlichen technischen Ausprägungen bzw. Anbindung der externen Teilsysteme die nicht im Rechenzentrum betrieben werden, dargestellt. Die hier eingerichteten funktionalen Schnittstellen werden innerhalb der Netzwerktopologie über externe Verbindungen angeschlossen. Die einzelnen Module an sich stellen ebenfalls komplexe Teilsysteme dar.

4.4.3.4.3 Trennung der Ladepunkte von der zentralen IT-Plattform

Die Ladepunkte sind innerhalb dedizierter Sicherheitszonen von der zentralen IT-Plattform getrennt, nur definierte Kommunikation ist zugelassen. Die Kommunikation erfolgt in einem geschlossenen System via VPN

Im GL V2.0 wird die Kommunikation der Ladeinfrastruktur zur zentralen Integrationsplattform über ein Funkmodem innerhalb der Ladesäule über das GSM der T-Mobile realisiert. Die Ladesäulen stehen im öffentlichen Feld und benötigen ein ausreichendes Funksignal des Funkanbieters.

Die Ladesäulen haben eine spezielle M2M (Maschine zu Maschine) SIM-Karte die innerhalb des GSM-Funk-Netzwerkes der T-Mobile einer geschlossenen Benutzergruppe Vattenfall zugeordnet ist. Über diesen Zugangspunkt erkennt T-Mobile die Zugehörigkeit

und Funktion der jeweiligen SIM-Karte und sendet alle Verbindungsaufbauparameter zum Gateway der Vattenfall.

Diese geschlossen Benutzergruppe ermöglicht es eine dedizierte Anmeldung innerhalb einer definierten und sicheren Authentifizierungsinstanz zu erzwingen.

Diese Instanz ist ein interner Radius- / DHCP-Server der Vattenfall, der Benutzer und Passworte bei der Anmeldung prüft, um dann eindeutige statischen IP-Adressen zu vergeben.

Jede Ladesäule benötigt zur internen Kommunikation eine eindeutige IP-Adresse, um im Backend mit der Integrationsplattform zu kommunizieren und die entsprechenden Webservices aufrufen zu können.

Bei der Installation der Ladesäule und in der Inbetriebnahme der Funkverbindung werden für jede Ladesäule ein eindeutiger User und ein entsprechendes Passwort vergeben.

Für die bidirektionale Kommunikation und den Verbindungsaufbau zur Integrationsplattform wird jede einzelne Ladesäule in der zentralen Netzwerkinfrastruktur eingerichtet und muss sich bei jedem erneuten Anmeldevorgang im GSM-Netzwerk der T-Mobile an der Vattenfall-Infrastruktur authentifizieren.

Die Ladesäule im Netz als Teil der technischen Infrastruktur wird innerhalb der Zonen 1 und 2 als Teil der kritischen Sicherheitsinfrastruktur betrachtet und muss demnach entsprechende geschützt werden. Innerhalb dieser Sicherheitszonen werden unterschiedliche Authentifizierungs- und Autorisierungs-Funktionen durchlaufen, damit die Systemintegrität für die Kernfunktionen des Ladens für einen stabilen Betrieb gewährleistet wird.

Der Übergang vom GSM-Funknetzwerk zum IP-basierten-Netzwerk der Vattenfall erfolgt über die Anbindung von zwei Firewall-Systemen mit einem VPN-Tunnel. Der Datenverkehr von externen Netzwerken wird in einer demilitarisierten Zone (DMZ) abgeschlossen. Von dieser DMZ aus werden die entsprechenden Systeme oder Applikation der Integrationsplattform angesprochen. Es erfolgte keine transparente IP-Kommunikation zum Schutz der zentralen IT-Plattform (siehe Abbildung 17).

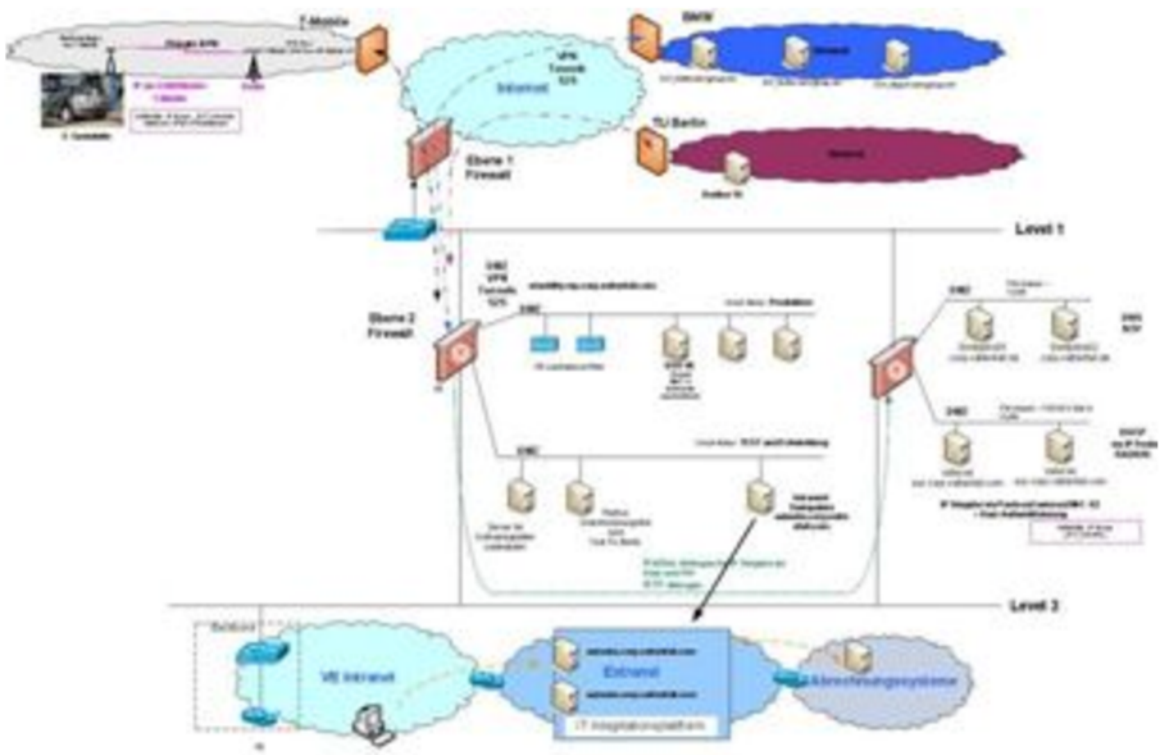


Abbildung 162:Schaubild Infrastruktur / Detaildarstellung IP-Kommunikation

Für die Anbindung aller IT-Teilsysteme an eine zentrale IT-Integrationsplattform wurden die benannten Verbindungs- und Kommunikationsvarianten für einen effizienten Austausch von Daten und Informationen eingesetzt. Diese sind abhängig von den bestehenden technischen Möglichkeiten und den definierten Schnittstellen der beteiligten Partner. Die Sicherheitsanforderungen der Teilsysteme untereinander und gegenüber dem Gesamtsystem wurden entsprechend der beschriebenen notwendigen Prozesse, Funktionen und Verantwortlichkeiten für einen stabilen Regelbetrieb abgegrenzt.

Diese Gesamt-Infrastruktur mit dem Kern der VE-Integrationsplattform als zentrales System kann beliebig erweitert werden. Aufgrund der flexiblen technischen Schnittstellen und Anbindungsmöglichkeiten vom Kernsystem zu den anderen Teilsystemen, kann eine Erweiterung mit anderen Partnern oder Systemen ohne Probleme erfolgen.

Als Voraussetzung für den Betreiber zur Anbindung neuer Module und Systeme ist die Bewertung der Sicherheitsanforderung gegenüber den kritischen Kernprozessen der produktiven Systemlandschaft notwendig. Ein Ausbau der Infrastruktur ist aus derzeitiger

technischer Sicht unkritisch. Das System kann in einen produktiven Regelbetrieb überführt werden.

4.4.4 Deliverable 4.3: Zentrale Authentifizierung und Identitätsmanagement (AAA)

4.4.4.1 Management Summary

Ein attraktives Merkmal der Elektromobilität ist der technische und vertragliche diskriminierungsfreie Zugang zum Netzanschluss, so dass die Fahrzeugnutzer als mobile Stromkunden einen ortsunabhängigen Zugriff auf die Leistungen eines Stromlieferanten haben. Die Bereitstellung derartiger Leistungen bedeuten einerseits eine entsprechende Nutzeridentifikation (Identifikationsmanagement) für die Verbrauchs- und Abrechnungserfassung der bezogenen Strommenge und anderseits eine adäquate Rechnungsstellung. Für dieses Szenario gibt es bisher weder eine Beschreibung von Prozessen noch eine IT-technische Konzeption bei Vattenfall.

Die zugehörigen Prozesse wurden zunächst in Form von Anwendungsfalldiagrammen beschrieben und anschließend in die gegebene Infrastruktur von Verteilnetzbetreiber und Stromvertrieb nach den Vorgaben des „Unboundlings“ der Bundesnetzagentur implementiert. Die Stromrechnung weist dabei grundsätzlich die Netznutzungsentgelte für den Verteilnetzbetreiber und die Stromverbräuche für die Ladevorgänge aus. Zur Abgrenzung zu bestehenden Modellen - wie dem Betreibermodell von RWE - wurde ein Vergleich des entwickelten Durchleitungsmodells vorgenommen und bewertet. Der Vergleich zeigte, dass das hier entwickelte Vertrags- und Abrechnungsmodell einfacher ist als das Betreibermodell (RWE).

Voraussetzung für die erfolgreiche Einführung und den Betrieb vieler Elektrofahrzeuge ist ein diskriminierungsfreier Zugang zur Ladeinfrastruktur. Das setzt die Interoperabilität der technischen Systeme verschiedener Betreiber für die Nutzerverwaltung und Abrechnungsdatenerfassung voraus.

4.4.4.2 Ziele und Aufgaben

Die Erarbeitung von Prozessen zur Abrechnung mobiler Stromkunden ist eine notwendige Voraussetzung für die Verbreitung der Elektromobilität über EVU-Grenzen hinaus.

Dabei sollen die bisherigen Abrechnungssysteme wie etwa SAP IS-U berücksichtig werden, um die IT-technischen Anpassungen gering zu halten. Ziel ist die Darstellung verschiedener Abrechnungsprozesse sowie ihre Bewertung für mögliche Anwendungen und eine Rechnungslegung in Einzelfällen. Dazu sollen die in AP 4.3.2 entwickelten Authentifizierungsmethoden für die IT-technische Umsetzung herangezogen werden.

Im Rahmen dieses Deliverables wird ebenfalls untersucht, inwieweit sich Standards und Protokolle aus dem Telekommunikationsbereich für Authentisierung, Autorisierung und Abrechnungsdatenerfassung (AAA) im Rahmen der Elektromobilität erweitern, adaptieren und auf diese Domäne anwenden lassen. Aufbauend auf den resultierenden Erkenntnissen dieser Untersuchung soll eine zentrale, skalierbare, zuverlässige und sichere Infrastruktur für Authentisierung und Autorisierung der Nutzer und Erfassung der Nutzungsdaten konzipiert und umgesetzt werden. In diese Lösung soll der aktuelle Stand der Standardisierungsbemühungen einfließen, und es wird ein Beitrag zur laufenden Standardisierung geleistet. Aufbauend auf offenen Standards und Protokollen soll eine Blaupause erstellt werden, die eine großflächige Umsetzung ermöglicht und dabei die Verwendung von Systemen verschiedener Hersteller gestattet.

Nach erfolgreicher Abnahme der Konzepte (AP 4.3.1) und der Realisierung von entsprechenden Authentifizierungsmethoden (AP 4.3.2) erfolgt die Integration der Lösung in die IT-Plattform (AP 4.3.3). Damit sollen einerseits der Anmeldevorgang zum Laden und anderseits die kunden- und EVU-spezifische Rechnungslegung ermöglicht werden.

Die implementierte Lösung zur Authentifizierung und Identifizierung wird in die neue Integrationsplattform aus dem Projekt GL V2.0 integriert. Die Authentifizierungs- und Identifizierungsmechanismen für eMobility-Kunden sollen unter realen Bedingungen ermöglicht werden. Ziel ist, dass der Benutzer - bei erfolgreicher Authentifizierung - Zugriff auf die Ladesäule hat und über ein Identitätsmanagement sein Stromverbrauch an seinen EVU-Vertragspartner zur Abrechnung gelangen kann. Darüber hinaus soll diese Authentifizierung auch den Zugriff auf weitere interne Datenbestände (Stromverbrauch, eMobility-Kennzahlen (CO_2-Einsparung, Anteil regenerativer Energien u.a.) ermöglichen.

4.4.4.3 Vorgehen, Methodik

Für die Umsetzung wurde dieses Deliverable in der Projektantrags-Phase in drei Arbeitspakete aufgeteilt:

- 4.3.1 Prozessmodulierung für AAA
- 4.3.2 Entwicklung eines AAA-Systems für Elektromobilität
- 4.3.3 Integration der Authentifizierung in die Integrationsplattform

Alle drei Pakete hängen thematisch zusammen. Das AP 1 konnte unabhängig von AP 2 und 3 umgesetzt werden. AP 2 und 3 bauen hingegen aufeinander auf. AP 1 dient der allgemeinen Definition der Prozesse, welche allgemeingültig auf die Prozesse der Energiewirtschaft anwendbar sein sollen. AP 2 befasst sich mit der Untersuchung der Realisierung einzelner Prozesse mit bereits vorhandener Standardtechnik. AP 3 übernimmt die in AP 2 untersuchte Techniken und verbindet mit dieser die TU Berlin und Vattenfall. Mit der Umsetzung von AP 1 und 2 konnte also parallel begonnen werden, während die Umsetzung von AP 3 von ersten abgestimmten Ergebnissen (Schnittstellen) im AP 2 abhängig war.

Prozessmodellierung für AAA

Prozesse von verschiedenen Abrechnungsszenarien mit bestehenden Billing-Systemen der Energiewirtschaft wurden diskutiert und dokumentiert. Dabei ist entscheidend, sichere Transaktionen kundenbezogener Datenübertragung zu Abrechnungsvorgängen zu gewährleisten.

Ausgehend von der IT-Integrationsplattform soll eine Rechnungslegung für ausgewählte Prozessfälle in die bestehende Billing-Systemlandschaft implementiert werden.

AAA-System für Elektromobilität

Ausgehend von der RADIUS[26]-Implementierung der TU Berlin soll als Demo eine Anbindung an einen Vattenfall-RADIUS-Server erfolgen. Ziel ist, dass mit einer Vattenfall-RFID-Karte an einer der drei TU-Berlin-Säulen exemplarisch geladen werden kann. Voraussetzung hierfür ist ein Kartenleser an den Säulen der TU Berlin.

Integration der Authentifizierung in die Integrationsplattform

Zunächst war eine Abstimmung zwischen der TU Berlin und Vattenfall bezüglich der RADIUS-Schnittstelle erforderlich. Da die TU Berlin Erweiterungen am RADIUS-Protokoll vornehmen musste, wurde entschieden bei Vattenfall keine bestehende RADI-

26 Remote Authentication Dial-In User Service

US-Infrastruktur zu nutzen, sondern aus Kompatibilitätsgründen eine neues System aufzusetzen. Als Abschluss sollte die Funktion durch einen Test bestätigt werden.

4.4.4.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Es konnte durch die Zuordnung einer RFID-Kartennummer zu einem mobilen Zählpunkt ein einfacheres Vertrags- und Abrechnungsmodell für Vattenfall Europe gefunden werden als das aktuell verwendete Betreibermodell von RWE. Grundlage dieses Modells ist einerseits, dass der Verteilnetzbetreiber auch der Ladesäulenbetreiber ist. Anderseits, dass das Konstrukt eines virtuellen Zählpunkts eine transparente Abrechnung in den bereits bestehenden Abrechnungsprozessen des Netzbetreibers und des Vertriebs zulässt. Dadurch war es möglich, die gebräuchliche Rechnungslegung mit den Positionen Netznutzungsentgelte und Stromverbräuche automatisiert zu erzeugen.

Dieses zentrale Ergebnis wird im Folgenden durch die Modellierung von Anwendungsfällen gezeigt und anschließend mit dem Betreibermodell verglichen. Die Evaluation der Integrationsfähigkeit in die bestehende EVU Umgebung rundet die Ergebnisse ab.

Im Rahmen des Gesamtprojektes wurden sämtliche Anwendungsfalldiagramme mit Hilfe des Anforderungsmanagement-Werkzeugs „TREND Analyst“ aufgenommen, modelliert und dokumentiert. Dadurch waren alle Abhängigkeiten eines zentralen Authentifizierungs- und Identitätsmanagement sichtbar und konnten bei der Implementierung berücksichtigt werden. Die Modellierung wird im Anwendungsfalldiagramm im Überblick (Abbildung 163) gezeigt und ist detailliert in den Anwendungsfallspezifikationen (Abbildung 164 - Abbildung 171) abgebildet.

Darauf aufbauend werden die vertraglichen und abrechnungstechnischen Beziehungen untersucht und mit bestehenden Modellen verglichen.

Die Ergebnisse zur Alternativen AAA-Lösung über das Radius-Protokoll werden separat im Abschnitt „Entwicklung Authentifizierungs-, Autorisierungs- und Abrechnungssystems für Elektromobilität“ beschrieben.

Anwendungsfalldiagramme

Das Anwendungsfalldiagramm listet alle softwaretechnischen Anwendungsfallspezifikationen auf, welche im Rahmen des Projektes als für die Abrechnung relevant erachtet worden sind. Diese sind jeweils einem oder mehreren Akteuren zugeordnet.

Eine allgemeine Erläuterung zu Anwendungsfalldiagrammen ist bereits in Deliverable 4.1 gegeben worden.

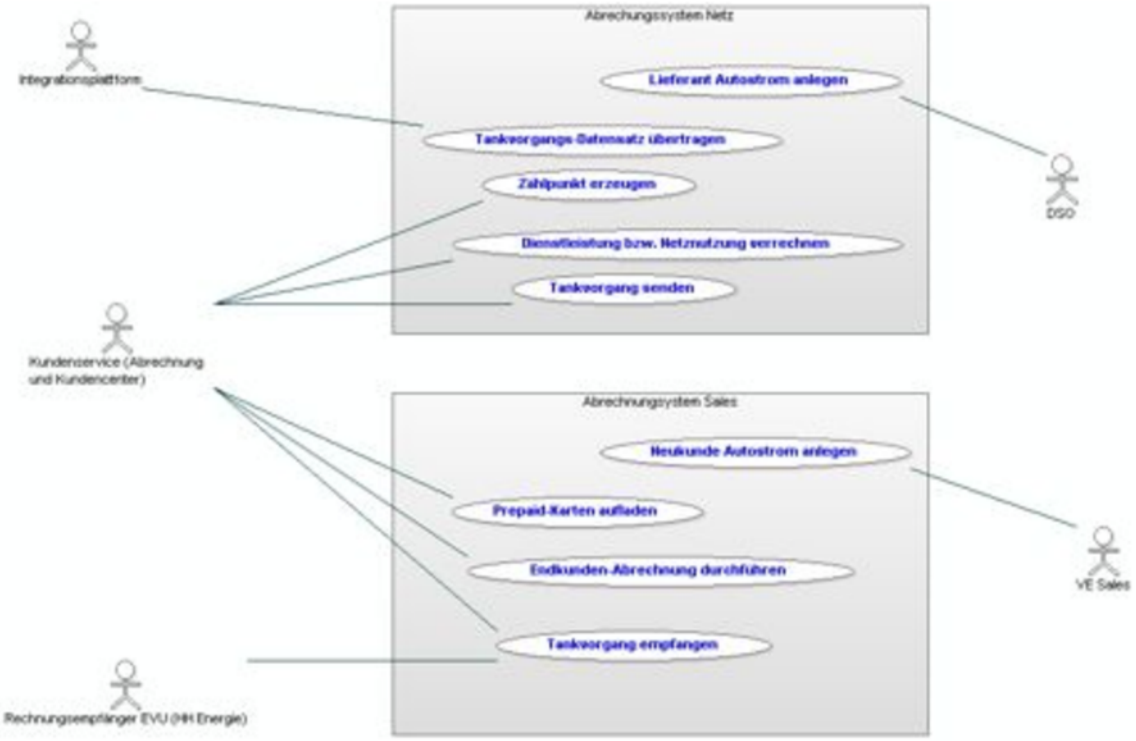


Abbildung 163 Anwendungsfalldiagramm

Die identifizierten Akteure der Domäne[27] Elektromobilität sind:

- DSO – der Verteilnetz- und Ladesäulenbetreiber.
- VE Sales – der Vertrieb, dessen Kunden an den Ladesäulen laden wollen.
- EVU – weitere Energieversorgungsunternehmen (Vertriebe), deren Kunden an den Ladesäulen des DSO laden wollen.
- Kundenservice – verantwortlich für die Rechnungslegung.
- Integrationsplattform – die neue Integrationsplattform aus dem Projekt GL V2.0.

Anwendungsfallspezifikation - Zählpunkt erzeugen

Für die Abrechnung von Strom ist u. a. die sogenannte Zählpunkbezeichnung relevant. Diese bezeichnet den Übergabepunkt (Zählpunkt) vom Strom Verteilnetz an den Stromzähler bzw. die dahinter liegende Wohnung oder Anlage. Der Zähler misst demzufolge

27 Die Domäne bezeichnet das softwaretechnisch zu beschreibende Umfeld bzw. dient der Abgrenzung des zu untersuchenden Bereiches nach außen.

den Verbrauch an dem betreffenden Zählpunkt. Der Zähler kann gewechselt werden, der Zählpunkt selbst bleibt hingegen immer eindeutig. Deshalb ist er für die Stromversorger ein wichtiges Identifikationsmerkmal, dass für die Kundenabrechnung herangezogen wird.

Dieses Modell wurde bei Vattenfall auf eine RFID-Karte übertragen, d.h. die ausgegebene RFID-Karte zur Authentifizierung des Kunden bzw. des Vertrages an der Ladeinfrastruktur, wird im Abrechnungssystem ebenfalls wie ein Zählpunkt behandelt. Je nach Ladeinfrastruktur bzw. Ladevorgang des Fahrzeugs ändert sich der Zähler. Der Zählpunkt in Form der RFID-Karte bleibt jedoch immer gleich.

Diese Betrachtung ermöglicht die Zuordnung mehrerer RFID-Karten zu einem Zählpunkt. Infolge dessen muss ein Kunde nur einen Vertrag haben, kann aber – zum Beispiel für einen Fuhrpark – mehrere Karten ausgehändigt bekommen.

Da es sich um eine Modellbetrachtung handelt und nicht um tatsächliche physikalische Zählpunkte bzw. Zählpunktbezeichnungen, hat sich der Sprachgebrauch des virtuellen Zählpunktes etabliert.

Um die RFID-Karten an die Kunden auszuhändigen, muss also zuvor ein virtueller Zählpunkt im Abrechnungssystem angelegt werden und diesen Karten zugeordnet werden. Nur so können die Verbräuche dieser RFID-Karten später richtig abgerechnet werden (siehe Abbildung 164).

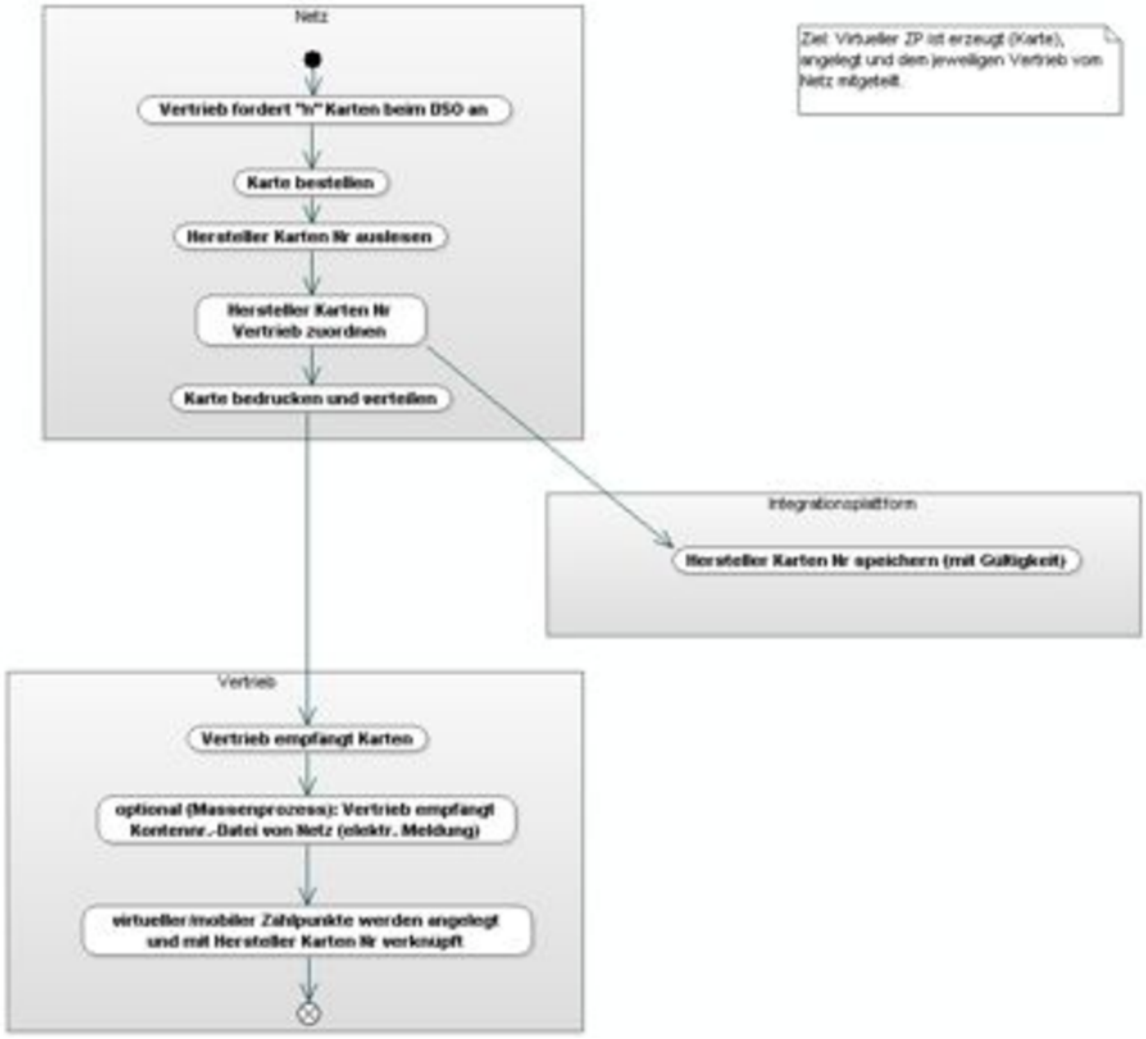


Abbildung 164 Zählpunkt erzeugen

Anwendungsfallspezifikation – Ladevorgangs-Datensatz übertragen

Jeder Ladevorgang erzeugt in der Ladesäule einen Datensatz. Dieser besteht im Wesentlichen aus dem Zeitpunkt des Ladevorgangendes, dem Zählerstand zu Beginn und Ende des Ladevorgangs sowie der RFID-Kartennummer und der Ladesäulen-ID. Nach Abschluss des Ladevorgangs wird dieser Datensatz an die eMobility-Integrationsplattform übermittelt.

Die Abrechnungsdaten werden in der eMobility-Integrationsplattform vorgehalten und in definierten Intervallen an die betroffenen Backend-Abrechnungssysteme weitergeleitet (siehe Abbildung 165).

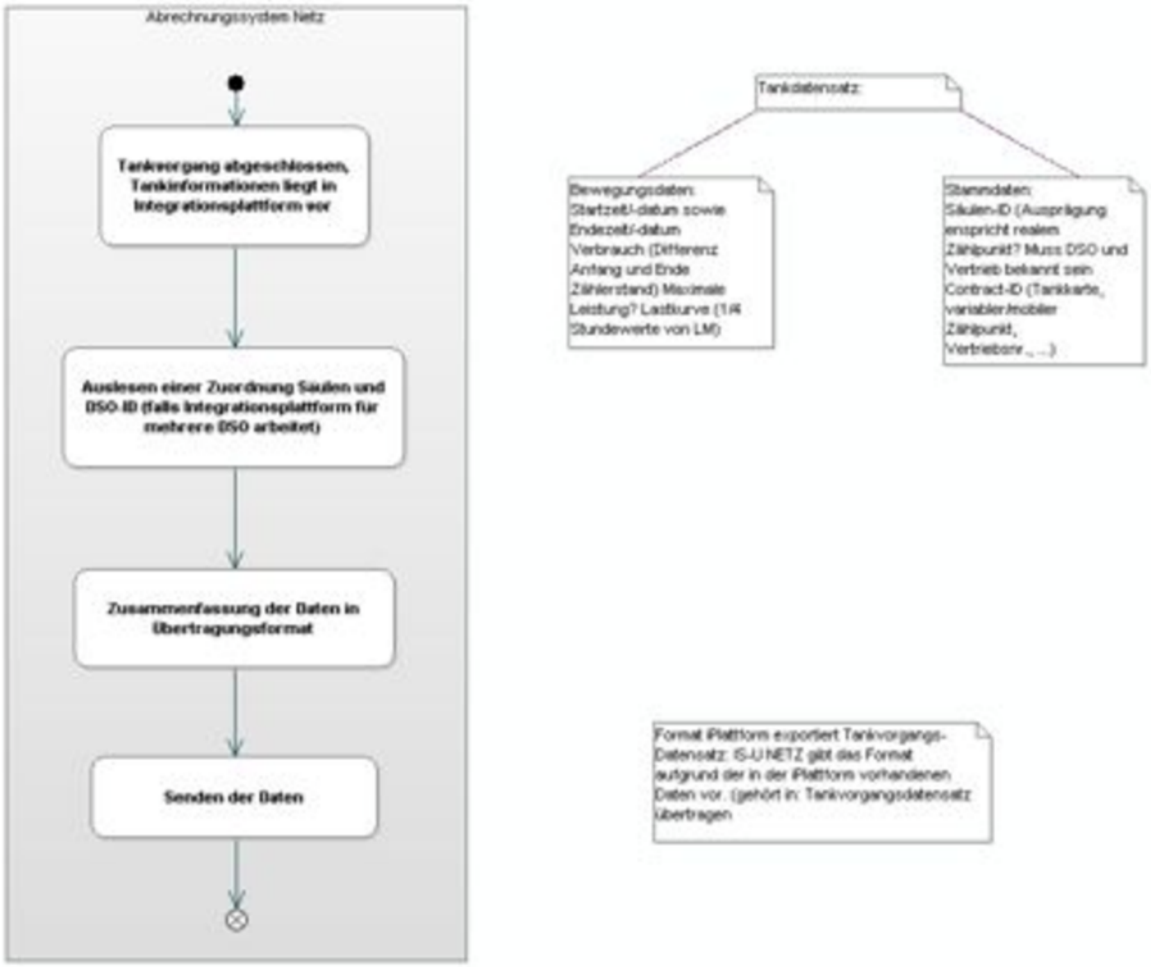


Abbildung 165: Ladevorgangs-Datensatz übertragen

Anwendungsfallspezifikation – Endkunden-Abrechnung durchführen

Die durch die einzelnen Ladevorgänge erzeugten Datensätze müssen dem Endkunden in Rechnung gestellt werden. Hierzu sind die bestehenden Abrechnungssysteme des Vertriebs zu nutzen. Um das zu ermöglichen wurde bei Vattenfall der virtuelle Zählpunkt definiert. Über diesen können die Karte(n) des Kunden im SAP abgerechnet werden. Die Zählerstände (Beginn und Ende) können somit wie die Zählerstände eines normalen Hausanschlusses behandelt und zur Abrechnung gebracht werden (siehe Abbildung 166).

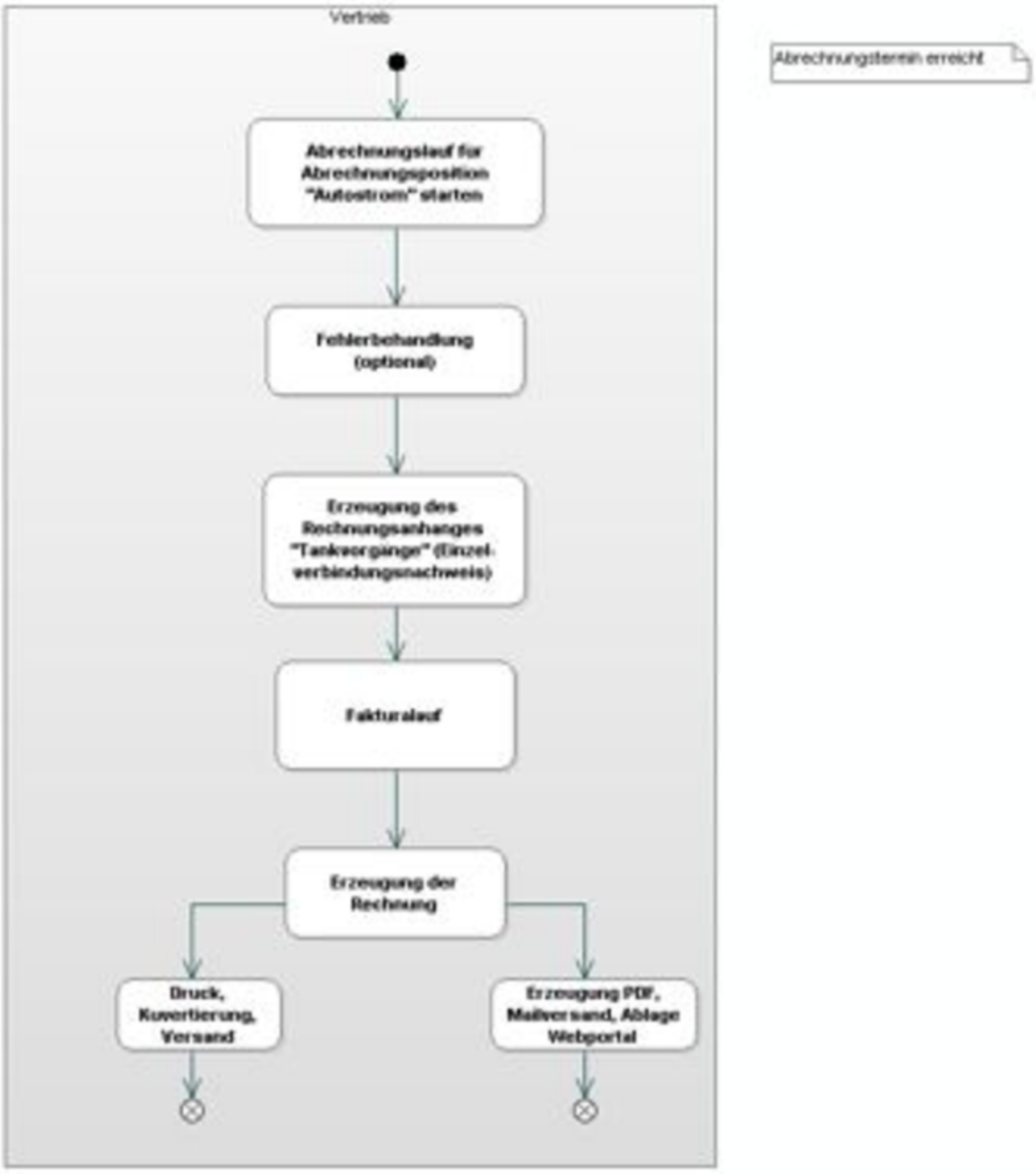


Abbildung 166 Endkunden-Abrechnung durchführen

Anwendungsfallspezifikation - Dienstleistung bzw. Netznutzung verrechnen

Der Ladesäulenbetreiber muss in der Lage sein, Vertrieben die Benutzung der Ladesäulen durch ihre Kunden, in Rechnung zu stellen. Hierfür werden nicht unbedingt die Einzelabrechnungsdatensätze benötigt, mindestens aber die Summen der Verbräuche welche auf den einzelnen virtuellen Zählpunkten aufgelaufen sind. Hierbei kann ein Kunde

durchaus mehr als eine RFID-Karte haben, welche aber alle einem virtuellen Zählpunkt zugeordnet sind. Die Kosten welche vom Ladesäulen-/Netzbetreiber an den Vertrieb weiterberechnet werden, bestehen aus dem Netznutzungsentgelt für die Durchleitung des Stroms sowie den Kosten für Abschreibung, Betrieb und Wartung der Ladesäule (siehe Abbildung 167).

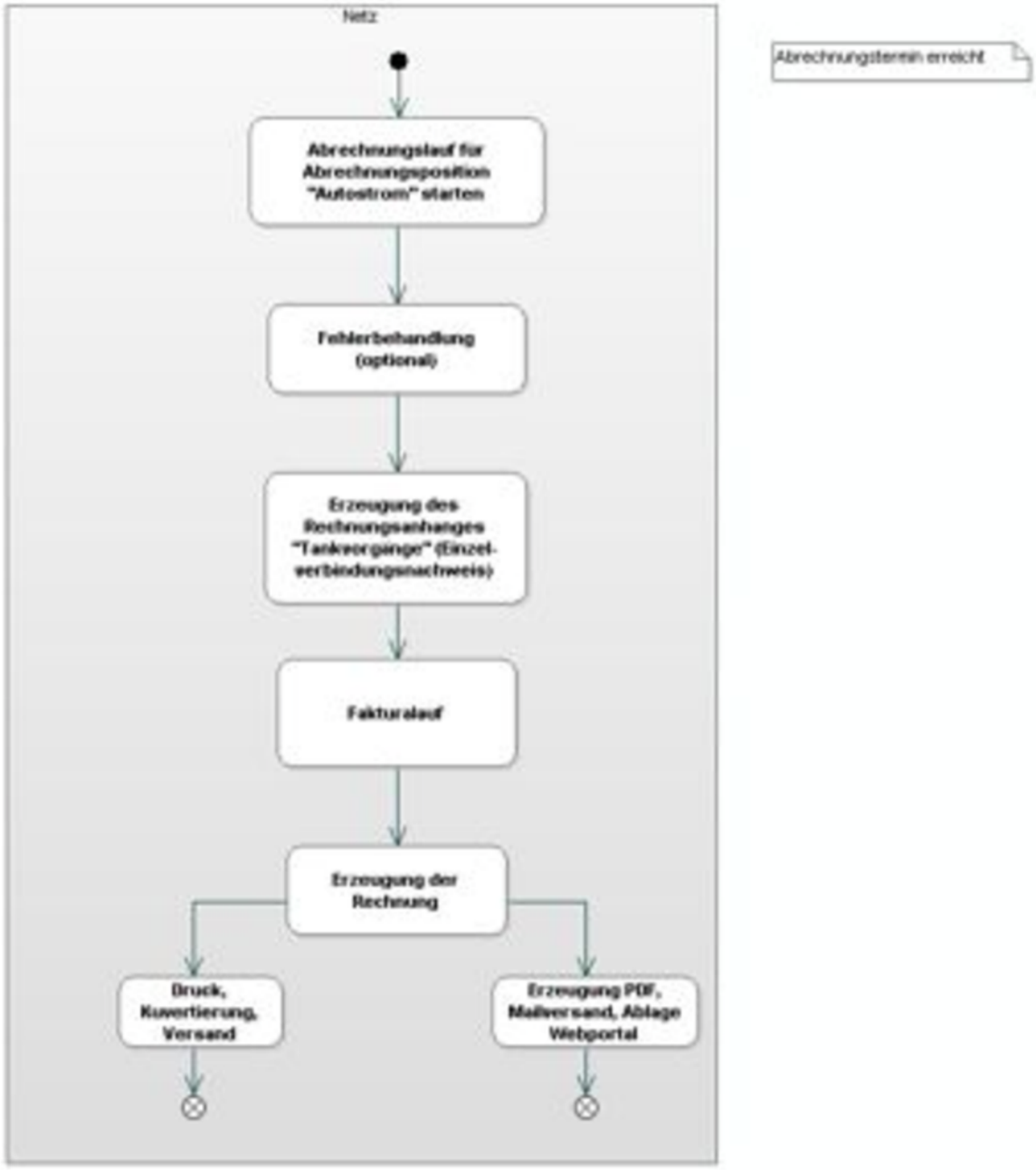


Abbildung 167 Dienstleistung bzw. Netznutzung verrechnen

Anwendungsfallspezifikation - Rechnung empfangen

Dieser Anwendungsfall wurde nicht weiter ausmodelliert, da er im Rahmen des Gesteuerten Ladens keine Relevanz besitzt.

Anwendungsfallspezifikation - Ladevorgang empfangen

Wird mit einer RFID-Karte geladen, muss der Ladevorgang beim Vertrieb verarbeitet werden. Hierbei ist die Frage zu klären, ob der Datensatz sofort an das Abrechnungssystem geliefert werden muss (was zum Beispiel im Fall von Prepaid-Karten zur Prüfung des Guthabens notwendig wäre), oder ob eine einmalige monatliche Abrechnung ausreichend ist. Die Abrechnungsdaten müssen über das gesetzlich vorgeschriebene EDIFACT-Format zwischen Netz-/Ladesäulenbetreiber und Vertrieb ausgetauscht werden (siehe Abbildung 168).

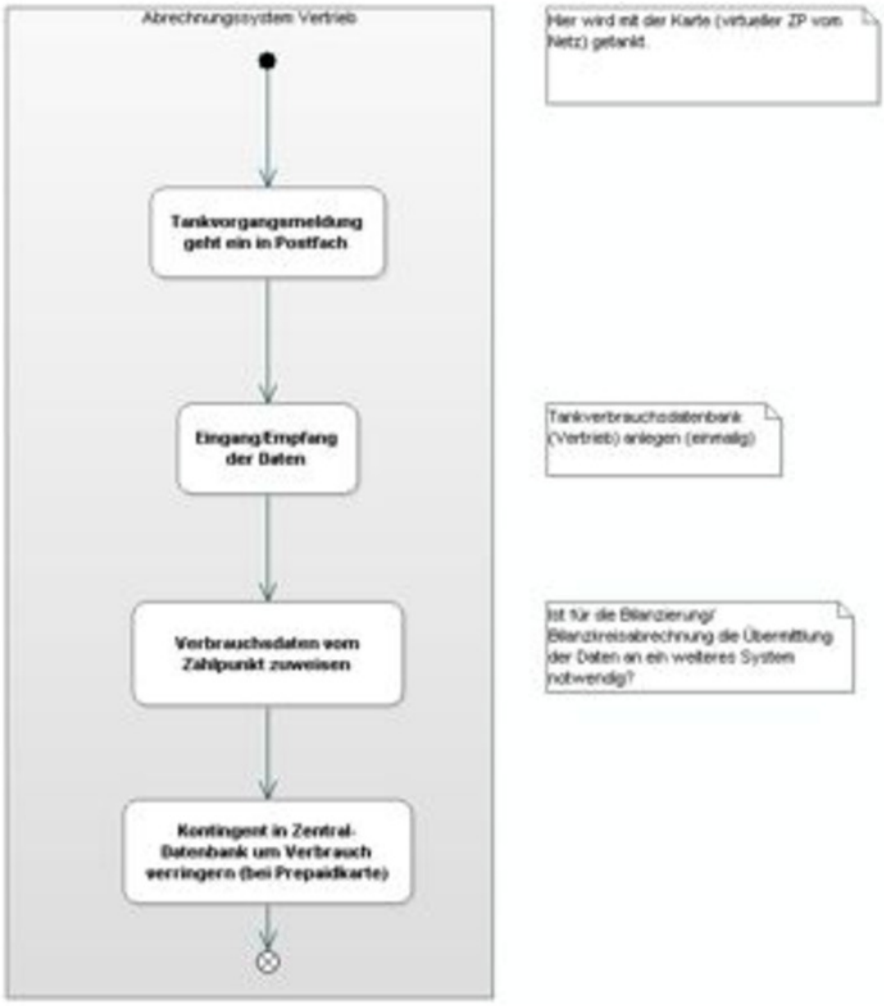


Abbildung 168: Ladevorgang empfangen

Anwendungsfallspezifikation - Ladevorgang senden

Das Abrechnungssystem des Netzes/des Ladesäulenbetreibers empfängt die einzelnen Ladevorgänge, bildet die Summen für die einzelnen virtuellen Zählpunkte (welche vom Netz vergeben werden und dem jeweiligen Vertrieb bekannt gemacht worden sind) und leitet diese zur Abrechnung des Netznutzungsentgeltes an den jeweiligen Vertrieb weiter.

Die Abrechnungsdaten müssen über das vorgeschriebene EDIFACT Format zwischen Netz / Ladesäulenbetreiber und Vertrieb ausgetauscht werden (siehe Abbildung 169).

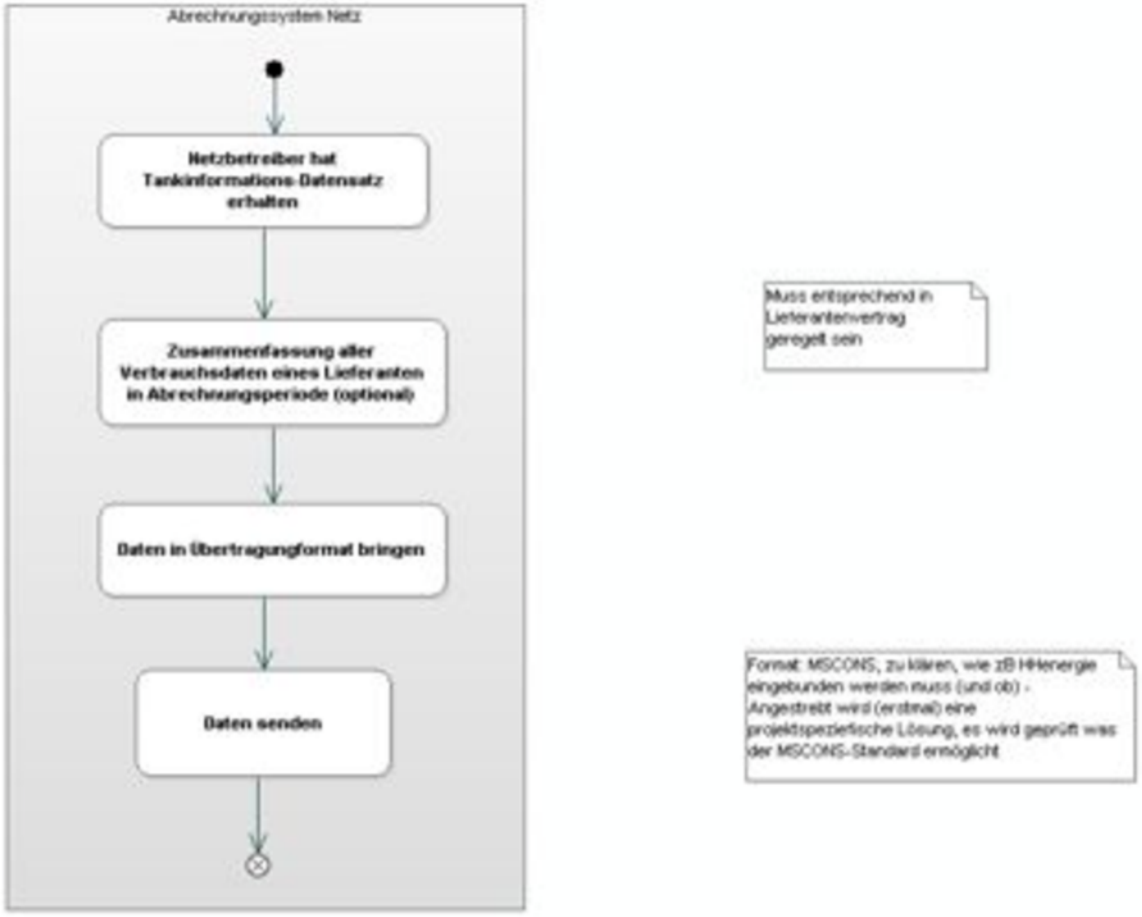


Abbildung 169 Ladevorgang senden

Anwendungsfallspezifikation - Neukunde Autostrom anlegen

Um vertriebsseitig einen Neukunden anzulegen, muss zuvor zwischen Netz / Ladesäulenbetreiber und dem jeweiligen Vertrieb ein Rahmenvertrag geschlossen worden sein.

Das Netz liefert dem Vertrieb einen verabredeten Vorrat an RFID-Karten und virtuellen Zählpunkten. Der neue Kunde / Vertrag wird dann vertriebsseitig einem Zählpunkt zugeordnet und mit einer oder mehreren RFID-Karten ausgestattet. Diese Zuordnung virtueller Zählpunkt zu den RFID-Karten ist zusammen mit dem Vertragsanfang und -ende an das Netz zurückzumelden. Über diese Informationen kann das Netz dann die Karten freischalten/sperren und die Abrechnung dem richtigen Kunden, bzw. dem Zählpunkt, zuordnen. Dem Netz ist der Endkunde des Vertriebs nicht bekannt. Für eine kundennahe Ansprache bei der Anmeldung kann es aber nützlich sein den Namen zu kennen, um etwa eine persönliche Anrede an der Ladesäule zu ermöglichen. (siehe Abbildung 170).

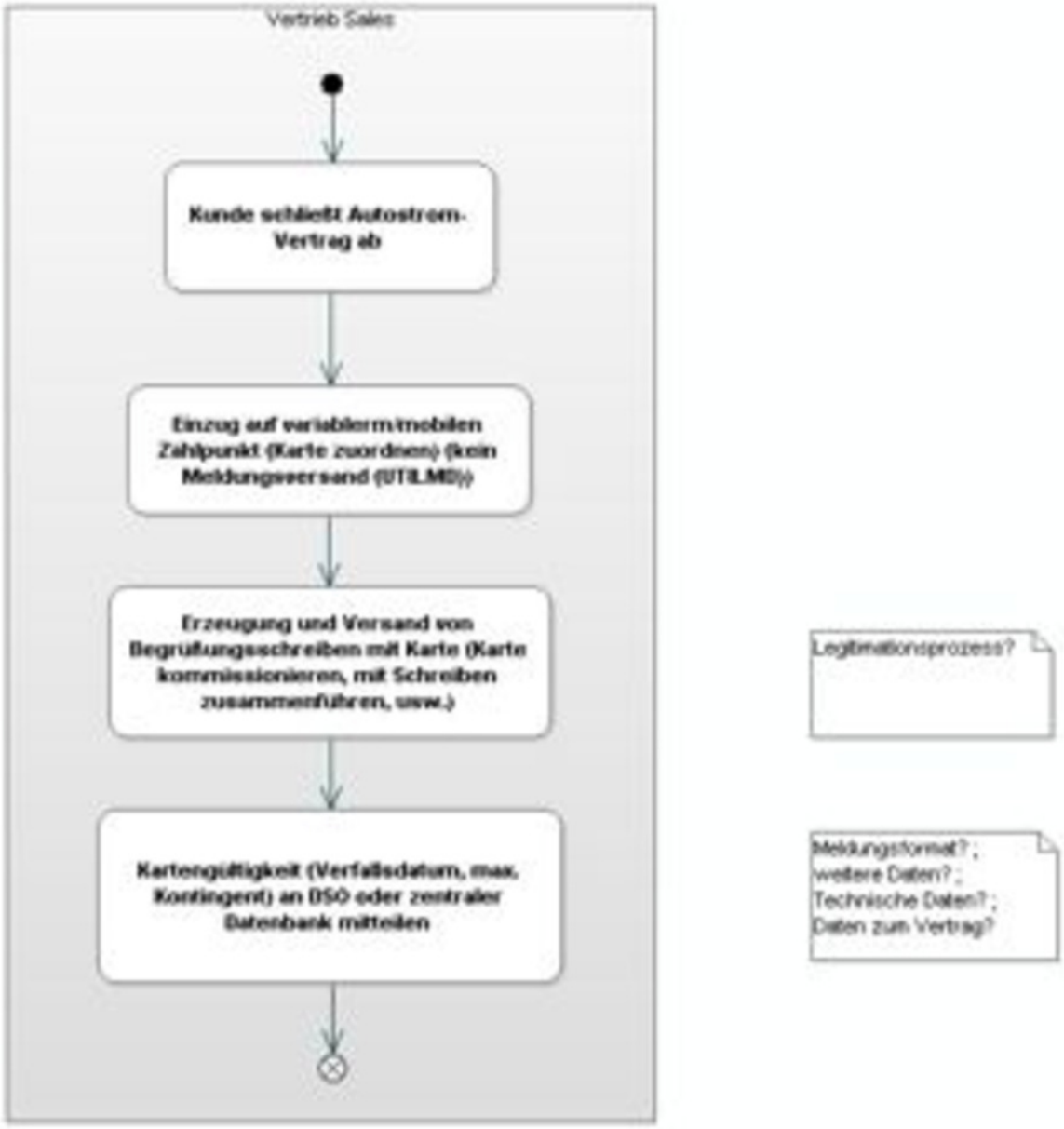


Abbildung 170 Neukunde Autostrom anlegen

Anwendungsfallspezifikation - Lieferant Autostrom anlegen

Dieser Fall wurde im Projekt nicht tiefer untersucht, da er für das Gesteuerte Laden keine tiefere Relevanz besitzt. Mit Vattenfall Sales und Hamburg Energie Sales als weiteren Stromvertrieb wurde ein derartiger Anwendungsfall bei Vattenfall bereits in der Praxis umgesetzt.

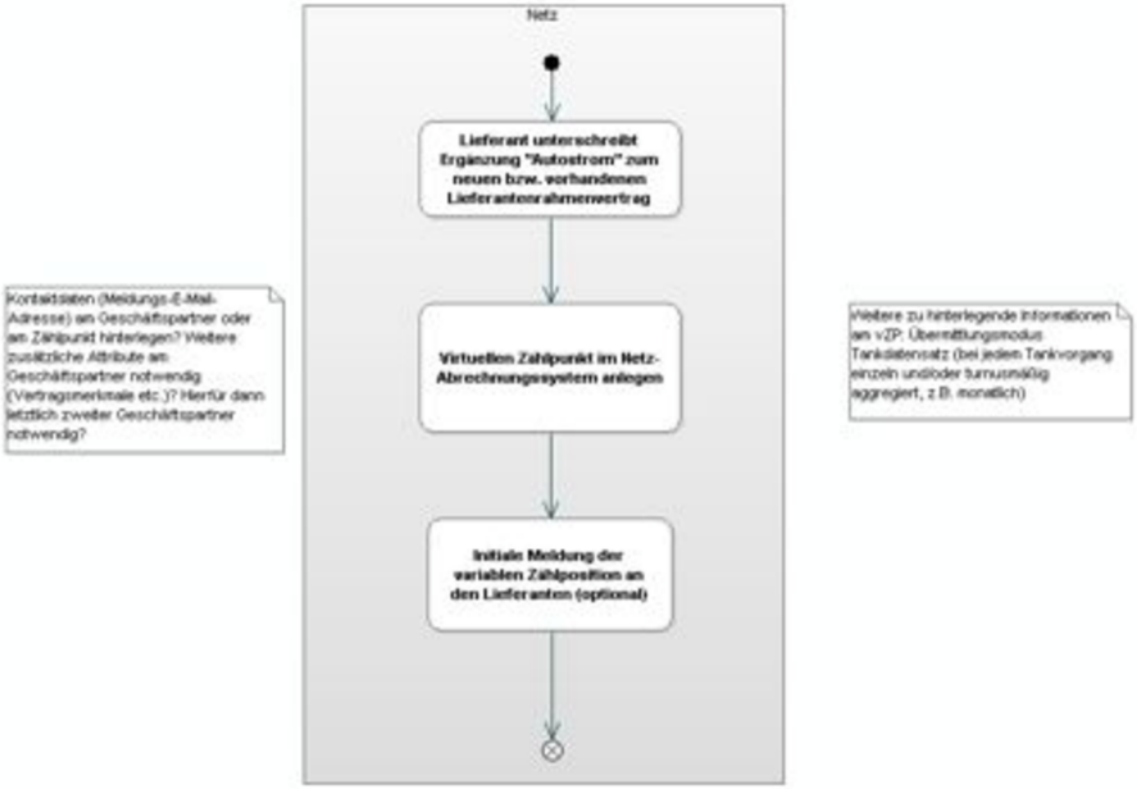


Abbildung 171 Autostrom anlegen

Anwendungsfallspezifikation - Prepaid-Karten aufladen

Dieser Anwendungsfall wurde nicht weiter ausmodelliert. Er ist gleich einem Prepaid-Stromzähler mit Kartenaufladung zu verstehen. Das bedeutet, dass der eingebaute Zähler über eine Prepaid-Karte oder einen Münzschlitz eingeschaltet wird. Da die im Projekt eingesetzten Ladesäulen alle nur über einen RFID-Kartenleser verfügen ist die weitere Betrachtung dieser Prepaid-Variante nicht erfolgt.

Anwendungsfälle in Bezug auf das Projekt

Die vorgestellten Anwendungsfälle sind unter dem Gesichtspunkt der Allgemeingültigkeit und Vollständigkeit modelliert worden, um alle IT-Aspekte der Elektromobilität erfassen und entsprechend einordnen zu können. Das war wichtig, um die konkrete Ausprägung im Rahmen des Projektes mit dem Blick auf zukünftige Erweiterungen zu gewährleisten.

Nicht alle sind in die Umsetzung der Integrationsplattform des Projektes Gesteuertes Laden 2.0 eingeflossen. Das liegt zum einen daran, dass einige Anwendungsfalle fachliche Prozesse außerhalb der Integrationsplattform beschreiben und zum anderen daran, dass einige Anwendungsfälle keine direkte Relevanz für das Gesteuerte Laden besitzen. Folgende Fälle sind in die Implementierung der Integrationsplattform bzw. der betroffenen Umsysteme mit eingeflossen:

- Ladevorgangs-Datensatz übertragen
- Ladevorgang senden
- Ladevorgang empfangen

Die folgen Fälle sind nicht in die Integrationsplattform eingeflossen da sie fachliche Prozesse außerhalb der Plattform beschrieben:

- Zählpunkt erzeugen
- Dienstleistung bzw. Netznutzung verrechnen
- Neukunde Autostrom anlegen
- Endkunden-Abrechnung durchführen

Evaluation der Integrationsfähigkeit in die bestehende EVU Umgebung

Mögliche Varianten der Nutzung und Abrechnung von Ladesäulen

Gewünschtes Ziel: Die notwendige vertragliche Ebene der Energiewirtschaft (d.h. Verträge zwischen Betreibern der Ladesäulen, Netzbetreibern, Vertrieben und Nutzer) kann vom Nutzer entkoppelt werden. Der Nutzer der Ladeinfrastruktur ist also nicht gezwungen mit jedem einzelnen der genannten Beteiligten einen separaten Vertrag abzuschliessen.um die Ladeinfrastruktur nutzen zu können.

Dabei lassen sich die vertraglichen Dimensionen der Ladeinfrastruktur wie folgt beschreiben:

- Exklusive Lösung (d. h. keine öffentliche Ladeinfrastruktur sondern Nutzung ausschließlich durch einen kleinen exklusiven Nutzerkreis)

- Nachfrage: Säule wird von einem Nutzer exklusiv genutzt
- Angebot: Ein Anbieter verkauft exklusiv Strom an der Säule

- Offene Lösung (Ladeinfrastruktur auf öffentlichem Straßenland an der diskriminierungsfrei durch jeden geladen werden kann)
  - Nachfrage: Säule kann von verschiedenen und beliebigen Nutzern genutzt werden
  - Angebot: Verschiedene Anbieter können Strom an der Säule verkaufen (Öffentliche Säule des Netzes oder E-Roaming)

Abbildung 172 Kombination der oben aufgeführten vertraglichen Lösungen und Beispiele

Daraus ergeben sich folgende Möglichkeiten/Varianten in der Abrechnung:

- Fall 1 (Wall Box oder Home Box, ggf. auch mehrere, exklusiv genutzt und exklusiv beliefert)
  - Eine direkte Abrechnung zwischen Nachfrager und Anbieter ist möglich
  - Verschiedene Lösungen sind denkbar, z.B. Abrechnung über die normale Haushaltsstromrechnung
- Fall 2: Flotte mit Least-Cost-Loading28 (in der Praxis nicht relevant)
- Fall 3 Pay per Use29

28 Laden zu geringsten Kosten – mehrere Vertreiber bieten Strom an der Ladesäule an, der Nutzer kann den günstigsten auswählen.

29 Laden ohne vorheriges Vertragsverhältnis.

- Nutzer bezahlen direkt an der Säule (bar, Kreditkarte, …)
- Säulenbetreiber und Energielieferant fallen vertraglich für den Nutzer zusammen

- Fall 4 (Roaming / Clearing oder Pay per Use)
  - Clearing: Ausgleich der Energiemengen und Zahlungsströme der verschiedenen Nutzer an den Säulen unterschiedlicher Anbieter möglich
  - Abrechnung der Nutzer über Vertrag oder mit Pay per Use an einer Ladesäule möglich
  - Der Säulenbetreiber und der Energielieferant an einer Ladesäule können unterschiedlich sein

Betrachtung Ladestationsbetreiber als Anschlussnehmer – Fall 1

In diesem Fall ist der Ladesäulenbetreiber Anschlussnehmer des physikalischen Anschlusspunktes der Ladestation. Der Fahrzeugführer wird beim Be- und Entladevorgang an der Ladesäule als Anschlussnutzer betrachtet.

Der Vorteil dieser Variante ist die freie Wahl des Lieferanten für den Fahrzeugführer (Nutzer). Jedoch schließt er bei jedem Ladevorgang einen Anschlussnutzungsvertrag, einen Messstellen-/Messdienstleistungsvertrag sowie einen Stromliefervertrag mit einem an der Ladesäule geführten Lieferanten ab.

Aus GPKE[30]-Sicht ist diese Variante jeweils ein An- und Abmeldevorgang beim Netzbetreiber (also Einzug und Auszug, dabei erfolgt jeweils eine Zuordnung der Lieferstelle zum Lieferanten und zum Bilanzkreis).

Ein untertäglicher Wechsel des Anschlussnutzers führt zu erhöhten Anforderungen an den Datenaustausch. Jeder Ladevorgang verursacht also einen Ein- und Auszug im Abrechnungssystem. Im Fall der Messung außerhalb des Fahrzeugs muss auch der Fahrzeugwechsel beim Laden innerhalb der abrechnungsrelevanten Viertelstunde berücksichtigt werden.[31]

Ein untertäglicher Ein- und Auszug mit verschiedenen Lieferanten auf eine Lieferstelle ist derzeit nicht realisierbar, da die bilanzierungsrelevante Zuordnung der Lieferstelle zu

30 Standardisierte Geschäftsprozesse zur Kundenbelieferung mit Elektrizität.

31 Die Abrechnung zwischen Netzbetreibern und Lieferanten erfolgt auf Viertelstundenbasis. Laden mehrere Nutzer mit unterschiedlichen Vertrieben innerhalb einer Viertelstunde, so ist die Abrechnung nicht klar abgrenzbar.

einem Lieferanten und Bilanzkreis nicht sichergestellt werden kann (nicht MaBiS-konform[32]). Bedingt durch ein Ladeverhalten asynchron zur energiewirtschaftlich relevanten Viertelstunde müssen für eine korrekte Abrechnung Regularien ähnlich dem Mehr-/Mindermengenmodell[33] geschaffen werden, welche eine Abrechnung entsprechend der Viertelstunde ermöglichen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass bei dieser Variante größte Flexibilität geboten ist, da der Lieferant frei wählbar ist, aber die Realisierung aus aktueller energiewirtschaftlicher Sicht nicht möglich ist.

Betrachtung des Ladestationsbetreibers (LSB) als Strombezugskunde am physischen Zählpunkt (Ladestationsbetreiber als Anschlussnutzer) - Fall 3

Der LSB tritt in diesem Fall als Anschlussnutzer gegenüber dem Netzbetreiber, dem Lieferanten und dem Messstellenbetreiber auf. Zur Be- und Entladung geht der E-Fahrzeugführer / Nutzer lediglich ein Vertragsverhältnis mit dem LSB ein. Damit ist er nicht direkt am Energiemarkt vertreten, weil nur ein direktes Vertragsverhältnis mit dem LSB besteht. Der LSB ist seinerseits über seine Verträge am Energiemarkt integriert (Verträge mit Netzbetreiber, Stromvertrieb / Lieferant und Messstellenbetreiber).

Daraus folgt, dass die Bilanzkreiszuordnung der Ladestation über die in der GPKE definierten Fristen eindeutig ist. Sowohl Lieferant als auch Messstellenbetreiber sind für den LSB im Rahmen der definierten Fristen frei wählbar. Der LSB stellt die über einen Lieferanten beschaffte Energie den E-Fahrzeugkunden / Nutzer zur Verfügung und die Abrechnung der Be- und Entladung erfolgt direkt zwischen LSB und Fahrzeugführer / Nutzer.

32 Marktregeln für die Durchführung der Bilanzkreisabrechnung Strom der Bundesnetzagentur

33 siehe Geschäftsprozesse zur Kundenbelieferung mit Elektrizität - Rückwirkende Abwicklung von Ein- und Auszügen

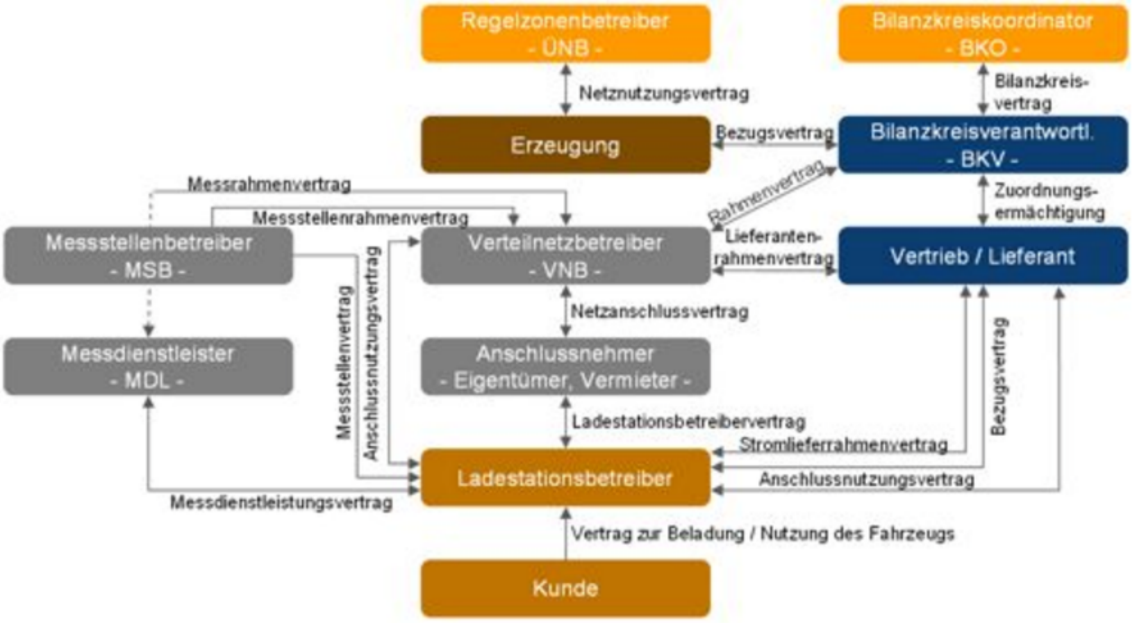


Abbildung 173: Vertragsbeziehung zwischen LSB, Netz, Vertrieb34

Vattenfall Europe Modell nach welchem der Verteilnetzbetreiber der Ladestationsbetreiber, Anschlussnehmer und -nutzer in einem ist – Fall 4.

Der LSB ist Anschlussnehmer und -nutzer in einem. Der Stromverbrauch wird am physischen Zählpunkt an der Säule ermittelt und sogenannten virtuellen Zählpunkten zugeordnet. Der Verbrauch des physischen Zählpunkts der Ladeinfrastruktur wird nicht abgerechnet. Die Weiterverrechnung der Netznutzung an der Ladesäule erfolgt plus der umgelegten Kosten der Ladesäule.

Jeder Vertrieb besitzt einen virtuellen Zählpunkt im Netz-Abrechnungssystem, über den Verbräuche nominiert und abgerechnet werden (im jeweiligen Bilanzkreis des ÜNB). Für Vattenfall Europe bedeutet das, dass nur eine Zusatzvereinbarung in bereits bestehenden Lieferantenrahmenverträgen zwischen Vertrieben und den Verteilnetzbetreiber über entsprechende Nutzung der Ladesäulen erforderlich ist.

Jede RFID-Kundenkarte, über die sich die Fahrzeugnutzer an den Ladesäulen identifizieren muss, ist ebenfalls einem virtuellen Zählpunkt zugeordnet (ohne Zuordnung eines

34 Vgl. Zeitschrift für Energie, Markt, Wettbewerb, Ausgabe 04/2010

tatsächlichen Stromzählers), über den der jeweilige Vertrieb als Vertragspartner die Abrechnung je Kunde durchführen kann.

Bei einem Ladevorgang wird zunächst die Gültigkeit des Lieferantenrahmenvertrags überprüft und bei Freigabe die Gültigkeit des virtuellen Zählpunktes der Kundenkarte. Entsprechend wird eine zentrale Datenbank zur Prüfung der Autorisierung benötigt.

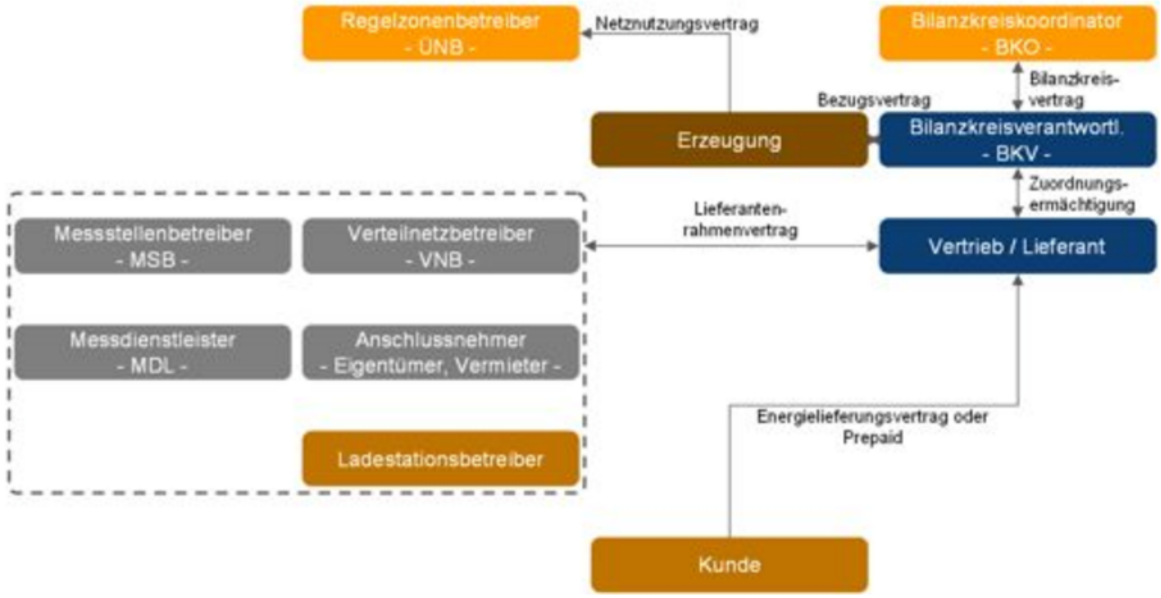


Abbildung 174 Vertragsbeziehung bei Betrieb der Ladeinfrastruktur durch den Verteilnetzbetreiber

Abrechnung nach dem Vattenfall Europe Modell

Der Verteilnetzbetreiber kumuliert als Betreiber der Ladestationen über die Abrechnung der virtuellen Zählpunkte jedes Vertriebs den Gesamtverbrauch je Vertrieb. Die Abrechnung des Gesamtverbrauchs erfolgt über die im Lieferantenrahmenvertrag vereinbarten Konditionen. Je virtuellem Zählpunkt erhält der jeweilige Vertrieb eine Aufstellung der Ladevorgänge (virtueller Zählpunkt, Anfangsdatum, Anfangszeit, Enddatum, Endzeit, Verbrauch). Das Netzentgelt trägt der Ladesäulenbetreiber. Er berechnet ein Ladesäulenentgelt, das das Netzentgelt und die Kosten der Ladeninfrastruktur beinhaltet (je nach Ausprägung des Rechtsrahmens).

Ladesäulen des VNB	Vertrieb 1	Vertrieb 2	Vertrieb …	Vertrieb n
Ladesäule 1				
Ladesäule 2				
Ladesäule …				
Ladesäule n				
Summe	Abrechnung über alle LS	Abrechnung über alle LS	Abrechnung über alle LS	Abrechnung über alle LS

Abbildung 175 Abrechnung des Verbrauchs aller Ladesäulen je Vertrieb

Der Vertrieb kumuliert die Ladevorgänge jedes eMobility-Kunden über alle Ladesäulen in allen Netzen auf den virtuellen Zählpunkt der RFID-Karte dieses Kunden und rechnet den Verbrauch der RFID-Karte ab. Der Vertrieb kann das Ladesäulenentgelt an die Kunden durchreichen oder einen Inklusivpreis anbieten, der das Ladesäulenentgelt implizit enthält (abhängig vom Rechtsrahmen).

Vergleich der unterschiedlichen Vertragsvarianten

Als Vergleich wird das von RWE präferierte Betreibermodell mit dem hier entwickelten Durchleitungsmodell zur Darstellung der Vertragsbeziehung herangezogen.

	RWE	VE
Unterschiede in den Vertragsbeziehungen	• Messdienstleistungsvertrag zwischen LSB und Messdienstleister • Messstellenvertrag zwischen LSB und Messstellenbetreiber • Netzanschlussvertrag und Anschlussnutzungsvertrag zwischen LSB und Verteilnetzbetreiber • Stromlieferrahmenvertrag, Bezugsvertrag und Anschluss-nutzungsvertrag zwischen LSB und Lieferant	• Zusatzvereinbarung im Lieferantenrahmenrahmenvertrag zwischen Vertrieb und VNB über Nutzung der Ladesäulen, ggf. neuer Vertrag, falls noch kein Rahmenvertrag bestanden hat
Unterschiede beim Datentransfer / Größe der Datenbank	• Der LSB übermittelt für jeden einzelnen Ladevorgang den entsprechenden Verbrauch jedes einzelnen Kunden an den zugehörigen Vertrieb	• Der LSB übermittelt für jeden einzelnen Ladevorgang den entsprechenden Verbrauch jedes einzelnen Kunden an den zugehörigen Vertrieb

Abbildung 176 Vergleich der unterschiedlichen Vertragsvarianten

Bewertung: Gegenüber dem RWE-Vertragsmodell ergibt sich eine deutlich reduzierte Komplexität.

Entwicklung Authentifizierungs-, Autorisierungs- und Abrechnungssysteme für Elektromobilität

Es wurde untersucht, inwieweit sich Standards und Protokolle aus dem Telekommunikationsbereich für Authentisierung, Autorisierung und Abrechnungsdatenerfassung (AAA) im Rahmen der Elektromobilität erweitern, adaptieren und auf diese Domäne anwenden lassen. Aufbauend auf den resultierenden Erkenntnissen dieser Untersuchung wurde eine zentrale, skalierbare, zuverlässige und sichere Infrastruktur für Authentisierung und Autorisierung der Nutzer und Erfassung der Nutzungsdaten konzipiert und umgesetzt.

Ausgehend von den erarbeiteten Anforderungen für das V2G-Freilandlabor wurden bestehende Standards zur Nutzerauthentifizierung und Abrechnungsdatenerfassung aus dem Telekommunikationsbereich auf ihre Eignung untersucht. Nach Abwägung der Vor- und Nachteile für die Umsetzung im Rahmen des Projektes fiel die Wahl auf RADIUS. Um die spezifischen Anforderungen zu erfüllen, wurde die Möglichkeit des RADIUS-Protokolls zur Erweiterung um eigene Datenfelder genutzt. Auf dieser Basis konnten existierende Softwarelösungen für die Nutzerverwaltung an den Ladestationen eingesetzt werden.

Die AAA-Infrastruktur im Backend wurde auf Basis von FreeRADIUS umgesetzt. Dabei wurden verschiedene „virtuelle“ Energieanbieter nachgebildet, denen die Nutzer und Ladestationen zugeordnet waren. Damit konnte gezeigt werden, dass Nutzungsszenarien ähnlich dem Roaming im Telekommunikationsbereich umsetzbar sind. Zur Visualisierung der Abrechnungsdaten wurde ein Web-Frontend für FreeRADIUS entsprechend den Anforderungen des V2G-Freilandlabors entwickelt.

Der Betrieb von verteilt installierten Ladestationen erfordert Möglichkeiten zur zentralen Überwachung, Diagnose und Fehlerbehebung. Dazu wurde für das V2G-Freilandlabor eine Lösung auf Basis des Simple Net Management Protocols (SNMP) umgesetzt. Dieses wurde ebenfalls durch anwendungsspezifische Daten in Form einer eigenen Management Information Base (MIB) erweitert und in der Ladestation implementiert. Dadurch ist die Überwachung der Ladestation („Monitoring“, z.B. Zustand der Klappe, Spannungsfreigabe, FI-Schutzschalter, Zählerstand), die Fernsteuerung in Problemsituationen (z.B. Rücksetzten des FI-Schutzschalters, entriegeln der Klappe) und die Alarmie-

rung in Fehlerfällen (z.B. Auslösung des FI-Schutzschalters) möglich. Durch den Einsatz von SNMP kann beim Betreiber auf eine Vielzahl von vorhandenen Überwachungslösungen zurückgegriffen werden. Im V2G-Freilandlabor wurde als Monitoringsystem Centreon/Nagios zur Überwachung und Alarmierung der Ladestationen und Backendserver eingesetzt.

Zur Nutzerauthentifizierung und Abrechnungsdatenerfassung hat sich das Protokoll RADIUS als eine geeignete Lösung erwiesen. Durch die Erweiterung des Protokolls konnte eine Anpassung an die spezifischen Anforderungen vorgenommen werden. Die geplanten Anwendungsszenarien wurden auf Basis dieser Lösung demonstriert. Auf Basis von RADIUS lassen sich anbieterübergreifende Infrastrukturen realisieren. Dabei kann RADIUS als standardisierte Schnittstelle sowohl zwischen Ladestationen und dem Backend eines Betreibers als auch zwischen verschiedenen Betreibern bzw. Anbietern eingesetzt werden. Im Hinblick auf Verbesserungen bezüglich der Erweiterbarkeit und der Sicherheit wäre für einen produktiven Einsatz aber eine Lösung auf Basis des Nachfolgeprotokolls DIAMETER zu diskutieren.

Der Einsatz von SNMP zur Fernüberwachung und -wartung zeigt die Flexibilität dieser Lösung. Es wird eine permanente Funktionsüberwachung der Ladestationen, Fehlerbenachrichtigung innerhalb weniger Sekunden und die Fernsteuerung bzw. -diagnose ermöglicht. Die Standardisierung und Verbreitung des Protokolls erlauben den Einsatz verschiedenster Überwachungslösungen und eine nahtlose Integration in die IT-Infrastruktur eines Betreibers.

Die zwischen TU Berlin und Vattenfall geplante Anbindung der drei Säulen der TU Berlin über ihr SNMP-Protokoll an die Integrationsplattform, zur Nutzung der Überwachung (Warte), konnte leider aus Zeitmangel nicht mehr umgesetzt werden. Technische Probleme wären hier nicht zu erwarten gewesen, da die vollständige Funktion bereits innerhalb der TU Berlin erfolgreich umgesetzt worden ist.

Die Verwendung von Standardprotokollen (RADIUS) aus der Telekommunikation und Netztechnik (SNMP) scheinen geeignet, das Problem der zu erwartenden großen Datenmengen in Zukunft zu beherrschen. Möglich wird dies durch die flexible Erweiterbarkeit der Protokolle, welche sich somit an die Bedürfnisse der Elektromobilität anpassen lassen. Da diese Protokolle auch im Telekommunikations- und Mobilfunkbereich bereits

heute mit extrem großen Datenmengen umgehen können, ist hier für die kommenden Jahre kein Problem für die Elektromobilität zu erkennen.

Die Verwendung von erprobter und bewährter Standardtechnologie, bzw. in diesem Fall Protokollen, könnte das diskriminierungsfreie Laden erheblich voranbringen / verbessern. Voraussetzung hierfür ist eine Einigung auf einen Standard zwischen Ladesäulenherstellern, -betreibern und Stromvertrieben.

Integration der Authentifizierung in die Integrationsplattform

Die in AP 2 entstandene Lösung (versuchsweise Umsetzung des Themas AAA mit Hilfe von RADUIS), sollte in diesem AP mit der Integrationsplattform verbunden werden um die Interoperabilität der erarbeiteten Lösung zu beweisen. Das RADIUS Protokoll erlaubt eigenständige Erweiterungen was auch durch die TU-Berlin genutzt worden ist. Um eventuelle Kompatibilitätsprobleme zu vermeiden wurde bei Vattenfall entschieden ein neues RADIUS-System aufzusetzen und die gleiche Distribution und Version wie die TU-Berlin zu verwenden[35]. Über das gemeinsame VPN[36] wurde dann eine Verbindung des Systems auf Seite TU-Berlin mit dem Vattenfall System etabliert.
Als Test wurde auf Seite TU-Berlin eine RFID-Karte per Software simuliert[37] und an das Vattenfall RADIUS-System übermittelt. Hier wurden zuvor mehrere Kunden eingerichtet, so dass zum angefragten Token eine positive Authentifizierungsantwort an das anfragende System zurückgeliefert werden konnte.
Leider konnte aus Zeitgründen das Vattenfall seitige RADIUS-System nicht mehr direkt und automatisiert an die Integrationsplattform angebunden werden. Für diese Konstellation hätte der Vattenfall seitige RADIUS-Server nur noch eine Funktion als Reverse-Proxy für die Authentifizierung, Autorisierung und die Abrechnungsdaten zwischen TU-Berlin und der Integrationsplattform gehabt.
Dieser Test zeigt, dass die Idee der Verwendung des RADIUS Standards hervorragend funktioniert und geeignet ist, diese Lösung ähnlich in der Telekommunikation auch über Domänengrenzen hinaus einzusetzen.

---

35 Vattenfall betreibt bereits mehrere unterschiedliche kommerzielle RADIUS-Systeme zur Authentifizierung in verschiedenen Bereichen

36 Virtual Private Network

37 als Workaround, da die RFID-Kartenleser der Ladesäulen der TU-Berlin die Vattenfall RFID-Karten, aus technischen. Gründen, nicht lesen konnten

4.4.5 Deliverable 4.4: Evaluierung der Anwendung

4.4.5.1 Management Summary

Die Prozesse für das „Gesteuerte Laden“ wurden vollständig modelliert und mit den entsprechenden ISO-Normen abgeglichen. Damit konnte ein effizienter Kommunikationsaustausch für ein optimales Energie- und Lademanagement erstellt werden. Nach Kann- und Muss-Regeln, die sich durch die Abhängigkeiten der technischen Rahmenbedingungen von Fahrzeug und Ladeinfrastruktur und Kundenbedürfnisse ergeben, bestimmt das Elektrofahrzeug seinen Ladevorgang. Aus diesen Abhängigkeiten wurde eine Projektsystemarchitektur entwickelt, die die spezifischen Infrastrukturen und gegebenen Systemausprägungen aller Partner berücksichtigt. Die zugehörigen Applikationen und Infrastrukturkomponenten sind modular aufgebaut und kommunizieren insgesamt über drei Arten von Schnittstellen: Webservices für die Applikationen, OCPP für die Ladesäule mit einem Backend und ein BMW normkonformes Smart Charge Protokoll für die PLC-Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule. Damit ist eine offene, skalierbare und zukunftsorientierte Systemarchitektur entstanden.
Zur Beurteilung der Nutzerakzeptanz des Gesamtsystems können die anfallenden Bewegungs- und Nutzungsinformationen in einer zentralen Datensammelstelle gespeichert, aufgearbeitet und analysiert werden. Durch automatisierte Standard-Reports ist eine zeitnahe Berichtserstattung möglich, um so Präferenzen, Handlungsempfehlungen und Optimierungen abzuleiten. Eine Datenerhebung im Rahmen des Projektes fand nicht statt, da ein Probebetrieb nicht zustande gekommen ist. Durch die Integration von Ladesäulen anderer Projekte (MINI E Berlin 1.0, MINI E 2.0, EMKEP, BeMobility) und einer Altdatenmigration der MINI E Berlin 1.0 Daten der Jahre 2008/2009/2010, konnte ein Datenbestand aufgebaut werden, an dem geeignete Analysestrategien entworfen wurden. Die Auswertung der Berichte befindet sich in Teilprojekt 5.

4.4.5.2 Ziele und Aufgaben

Das Gesamtprojektziel „Gesteuertes Laden“ ist gekennzeichnet durch eine komplexe Systemvernetzung von Komponenten unterschiedlicher Organisationen, die durch das Fahrzeug, die Ladesäule, das Netz mit Energie- und Lademanagement bis hin zu einem Abrechnungssystem repräsentiert werden. Diese Komponenten IT-technisch optimal

miteinander zu vernetzten ist das primäre Ziel und ihre Wirksamkeit in Bezug auf Nutzerakzeptanz durch Reports zu beurteilen das sekundäre Ziel des Deliverables.

Aus diesen beiden Zielen ergeben sich folgende Aufgaben:

- Prozessmodellierung des Energie- und Lademanagement zwischen EVU und OEM für eine optimierte Abbildung der W2V, LLM und V2G Konzepte.
- Abgleich und Einbindung der durch die verschiedenen Organisationen präferierten und vorgegeben Systemarchitekturen.
- Aufbau einer zentralen Datensammelstelle mit ihren Datenstrukturen, um die anfallenden Bewegungs- und Nutzungsinformationen aufzunehmen und anschließend zeitnah analysieren zu können. Dabei sind geeignete Analysestrategien zu entwerfen und IT-technisch umzusetzen, so dass Präferenzen, Handlungsempfehlungen und Optimierungen abgeleitet werden können. Die Signifikanz der Aussagen wird durch die Einbeziehung der Ladeinfrastruktur und des historischen Datenbestandes des MINI E Berlin 1.0 Projektes erhöht.

4.4.5.3 Vorgehen und Methodik

Ausgehend von der Vorgehensweise in der Softwareentwicklung wurden die Methodiken in der Definitionsphase[38] verwendet, um die Produktanforderungen einer IT-Plattform „Elektromobilität“ zu definieren und die fachliche Lösung zu modellieren. Das Gesamtsystem „Elektromobilität“ wurde unter den Sichten: Daten, Funktionen (Prozesse), Dynamik, Benutzer, und ihrer Zusammenhänge betrachtet. Da sich das System durch eine hohe Systemvernetzung (Fahrzeug, Ladesäule, Lademanagement, Ladeassistent, Netz, Abrechnungssystem etc.) von bereits komplexen Systemen darstellt, ist die Funktionssicht (Prozesssicht) der geeignete Zugang zur Beschreibung des zukünftigen IT-Systems (Produkts). Nach der objektorientierten Analyse[39] wurden die Grundobjekte und ihre Wirkzusammenhänge, die sich über die Konzepte W2V, V2G und LLM ergeben, identifiziert und ein Prozessbild mit Hilfe von BPNM[40] modelliert.

---

38 Balzer 2000, S. 97ff

39 Balzer 2000, S375ff

40 Business Process Model Notation

Damit waren die Systemabgrenzungen für die Entwicklungstätigkeiten der verschiedenen Kooperationspartner und die System-Schnittstellen zueinander gegeben, die dann in die realen Gegebenheiten der IT-Systeme und IT-Strategien des OEM oder des Energieversorgers eingebettet werden mussten. Dabei zeigten sich grundsätzlich verschiedene Ansätze von zentraler und dezentraler Steuerung zur Handhabung der IT-Kommunikation, die verschiedene IT-Architekturen bedingten und aufgelöst werden mussten. Parallel dazu war die Entwicklung und Ausprägung der Schnittstellen an vorhandene Standardisierungsdokumente auszurichten.

Mit diesem geschaffenen Überbau war die Leitlinie für die konkrete Umsetzung eines IT-Systems „Elektromobilität“ gegeben:

Ausgehend von einem mit allen Kooperationspartnern erarbeiteten Prozessbild wurde eine Systemarchitektur und Applikationsstruktur entwickelt, die in **D4.1** konzeptioniert und implementiert wurde.

Die dafür notwendige Infrastruktur mit einem Entwicklungs-, Test- und Produktionssystem wurde in **D4.2** aufgebaut. Die externen Schnittstellen zu den Applikationen in TP1 und TP2 wurden festgelegt und implementiert, so dass die einzelnen Applikationen ihre Informationen miteinander austauschen konnten.

Die dabei erzeugten Ladevorgangsdaten wurden in **D4.3** über vorhandene Schnittstellen und nach den etablierten Prozessen in der Energiewirtschaft an die Abrechnungssysteme des Verteilnetzbetreibers und Vertriebs überführt. Als Alternative wurde der Abrechnungsprozess speziell für die V2G-Anwendung über das in der Telekommunikation gebräuchliche Roaming-Konzept konzeptioniert und in der autonomen V2G-Applikation implementiert.

Die anfallenden Lade- und Verbrauchsdaten sowie die Nutzer- und Bewegungsdaten wurden in **D4.4** zentral gesammelt und über generische Reports zur Auswertung gebracht. Der Datenbestand wurde durch die Migration der Daten als auch der Applikationen aus dem MINI E 1.0 Berlin Projekt wesentlich vergrößert, so dass die wissenschaftlichen Auswertungen eine höhere Signifikanz erreichten.

4.4.5.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Deliverable 4.4 hat die Rahmenbedingungen vorgegeben, in denen sich der Aufbau der IT-Plattform in den Deliverables 4.1 bis 4.3 vollzogen hat. Dieser Rahmen lässt sich durch vier zentrale Ergebnisse zusammenfassen, die dann nachfolgend im Einzelnen beschrieben werden:

- Es gibt ein allgemeingültiges und normkonformes Prozessbild für den Kommunikationsaustausch zwischen EVU und OEM für ein optimiertest Energie- und Lademanagement für LLM und W2V.
- Die Systemarchitekturen von EVU und OEM sind aufeinander abgestimmt und bilden mit den W2V2G eine einheitliche Applikationsstruktur.
- Es gibt eine modulare Systemarchitektur, die über insgesamt drei Arten von Schnittstellen (PLC, XML-RPC und Webservices) alle Kommunikationsaustausche zwischen den Systemen bedient.
- Alle relevanten Daten werden automatisiert in die Datensammelstelle verschickt und von dort in vordefinierten Standard-Reports ausgewertet.

Allgemeingültiges und normkonformes Prozessbild

Nachdem alle Objekte und deren Beziehungen auf der Geschäftsebene identifiziert wurden, konnten auf der zugehörigen technischen Ebene die Wirkzusammenhänge zwischen den entsprechenden technischen Objekten präzisiert werden.

Abbildung 177: Objekte Geschäftsebene

In Abbildung 177 sind die an einem Ladevorgang beteiligten Akteure mit ihren entsprechenden Organisationen aufgelistet. Dadurch wird die Beziehung der Akteure untereinander transparent. In Abbildung 178 ist dieses Beziehungsgefüge in die Abhängigkeiten der betreffenden technischen Instanzen übersetzt.

Abbildung 178: Technische Ebene EVU

Aus dieser objektorientierten Analyse wurde der Kommunikationsprozess in drei Hauptprozesse unterteilt:

- Die „Reservierung der Ladesäule“ als die Zusammenfassung aller Aktivitäten vor einem physischen Ladevorgang.
- Der „Ladevorgang“ als Beschreibung aller Aktivitäten für das konkrete Aufladen des Elektrofahrzeugs. Er definiert sich durch die Anmeldung mit dem Verbinden des Kabels zwischen Fahrzeug und Ladepunkt und der Abmeldung einschließlich des Entfernens des Ladekabels.
- Der „Abrechnungs“-Prozess als Beschreibung aller nachgelagerten Aktivitäten; im Wesentlichen die Abrechnung der getankten Stromverbräuche.

Der Abrechnungsvorgang und die Reservierung eines Ladepunktes werden im Einzelnen in den Deliverables D4.3 und D4.1 behandelt. Der grundlegende Kommunikationsprozess der „Elektromobilität“ ist hingegen der „Ladevorgang“. Dieser wird im Detail in der ISO 15118 Norm Teil 1 beschrieben. Zunächst unabhängig von dieser Vorschrift

wurde der Prozess „Ladevorgang“ mit Hilfe von BPMN moduliert und anschließend mit der ISO 15118 abgeglichen.

Abbildung 179: Prozesslandkarte

In den Geschäftsprozessdiagrammen in Abbildung 179,

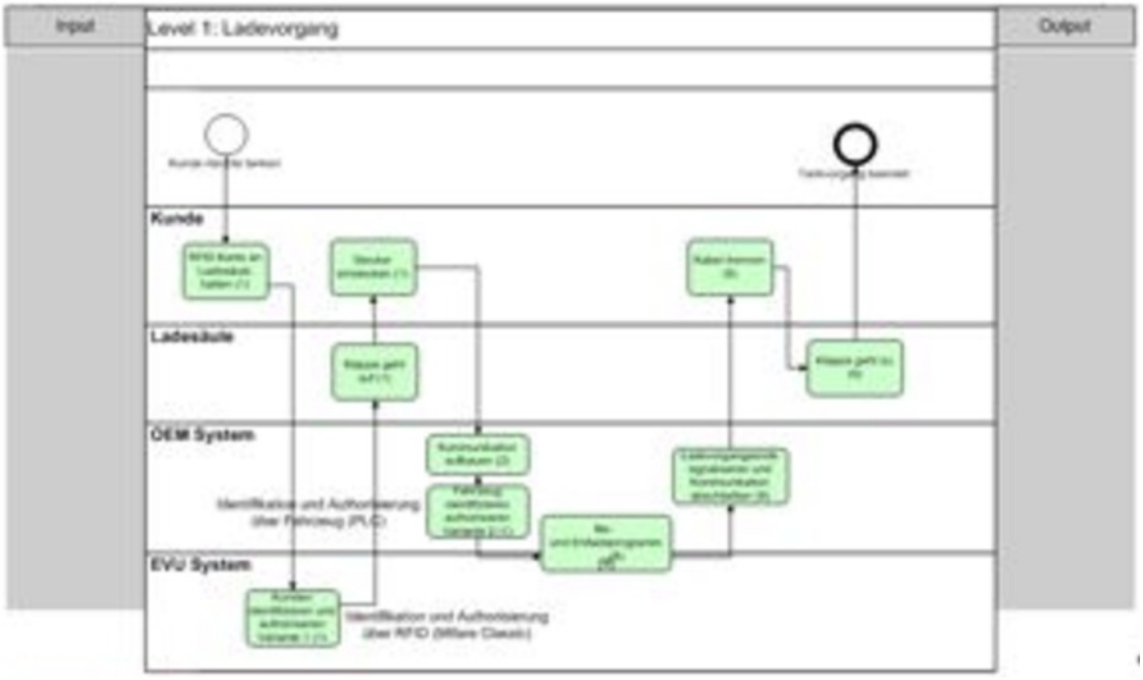


Abbildung 180,

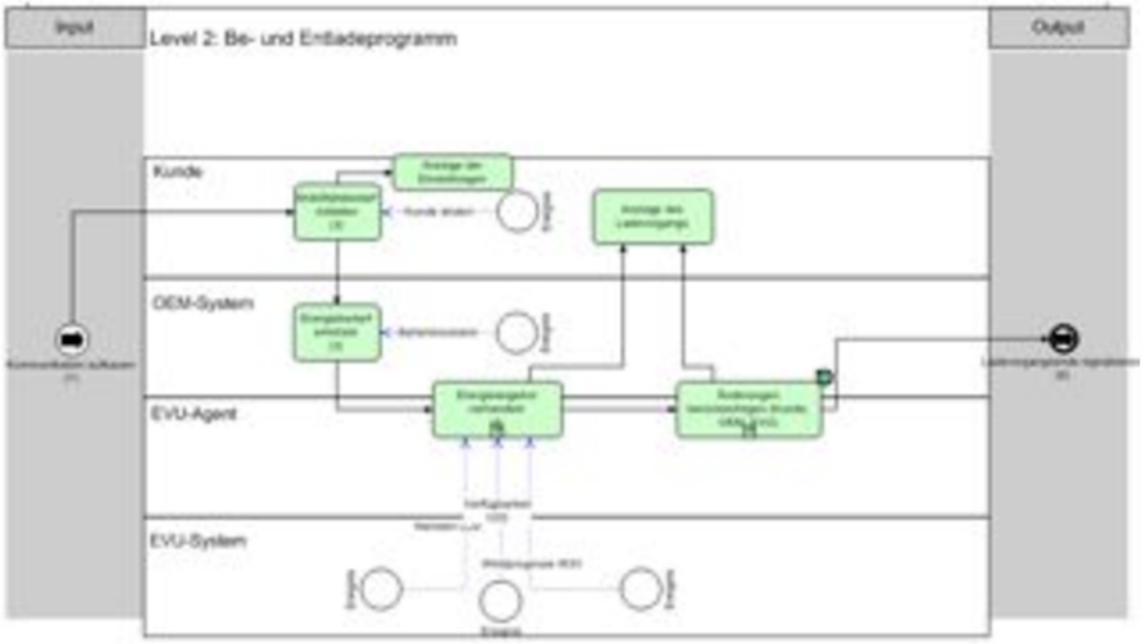


Abbildung 182, Abbildung 184,

Abbildung 185, Abbildung 186 und Abbildung 187 wird ausgehend von einer Grobübersicht (Abbildung 179) in Detailsichten auf die einzelnen Prozessschritte eingegangen,

um präzise die Kommunikationswege und -inhalte für die anschließende softwaretechnische Umsetzung vorzugeben.

Insgesamt nehmen am Ladevorgang vier Organisationseinheiten teil: Der Kunde als Nutzer eines Elektrofahrzeugs hat das Bedürfnis nach höchstmöglicher Mobilität, die Ladesäule verbindet physisch über ein Kabel das Elektrofahrzeug mit dem Verteilnetzbetreiber und verbindet kommunikationstechnisch beide Organisationen, während der Hersteller eines Elektrofahrzeugs (OEM) mit dem Verteilnetzbetreiber mit Hilfe der Ladesäule Informationen über W2V, LLM oder V2G austauscht.

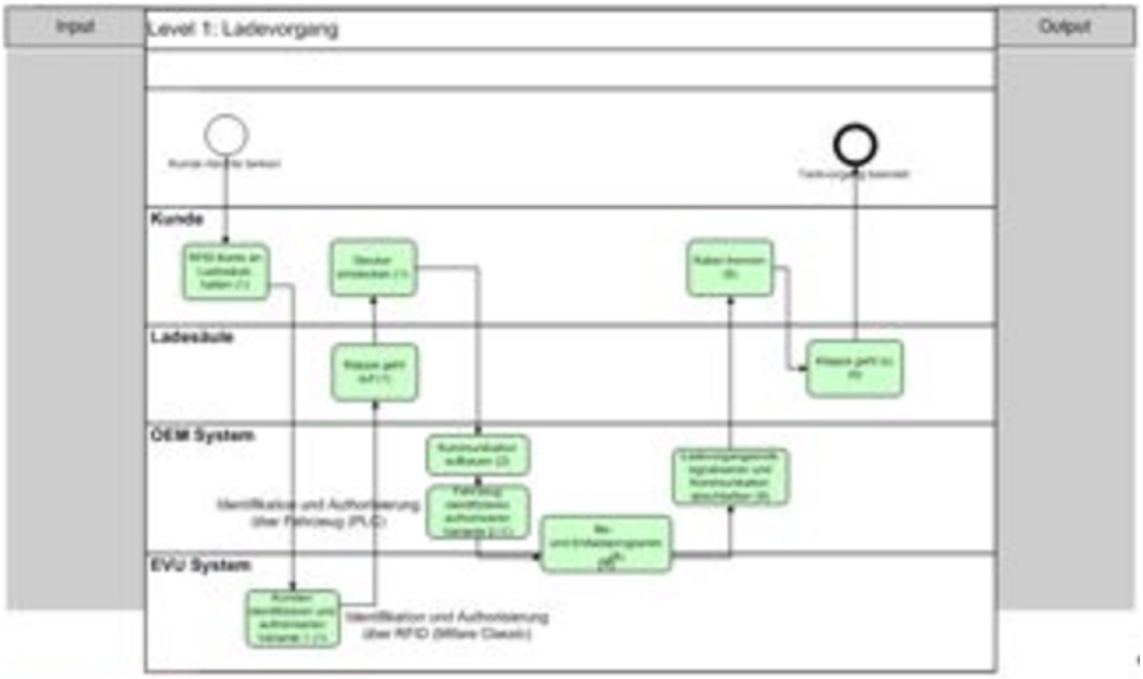


Abbildung 180: Ladevorgang

Im Geschäftsprozessdiagramm

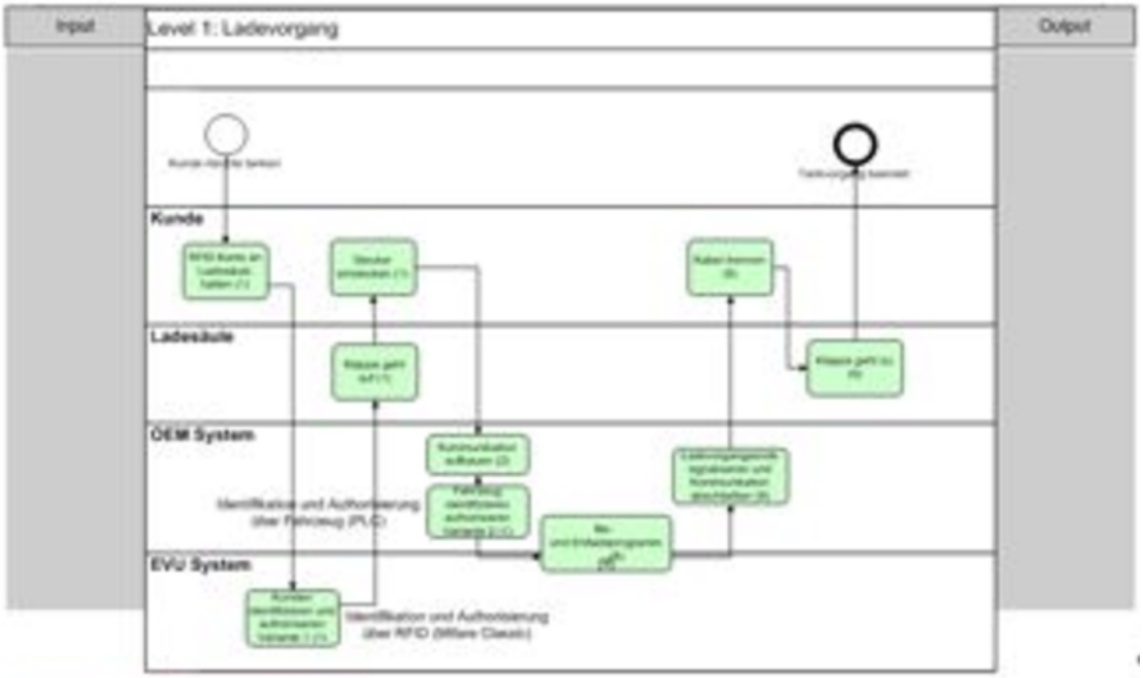


Abbildung 180 meldet sich der Kunde mit Hilfe einer RFID-Karte an der Ladesäule an und wird in dem Betreiber-Backend identifiziert und autorisiert, durch Öffnen der Klappe den Ladepunkt zu benutzen. Alternativ zu einer RFID-Karte kann die Identifikation über das Fahrzeug erfolgen, nachdem eine PLC-Kommunikation in Schritt 2(1) aufgebaut wurde. In diesem Fall gibt es eine Ladesäulenklappe die nicht explizit freigeschaltet werden muss. Wenn das Ladekabel sowohl im Auto als auch im Ladepunkt eingesteckt ist, wird eine PLC-Kommunikation aufgebaut, die den Datenaustausch zwischen Fahrzeug und dem Betreiber-Backend gewährleistet. Die Identität wird an Hand einer Kundennummer mit Hilfe entsprechender Zertifikate festgestellt. Das gleiche Anmeldeverfahren wird anstelle der PLC-Kommunikation über eine GSM-Verbindung zwischen dem Fahrzeug, dem Fahrzeug-Backend und dem Betreiber-Backend erprobt. Diese drei verschiedenen Anmeldevarianten sind in Abbildung 181 mit ihren verschiedenen Implikationen wiedergegeben.

Die darauffolgende Art und Weise des Informationsaustauschs (Schritt 8) für die Bestimmung eines Ladevorgangs wird in

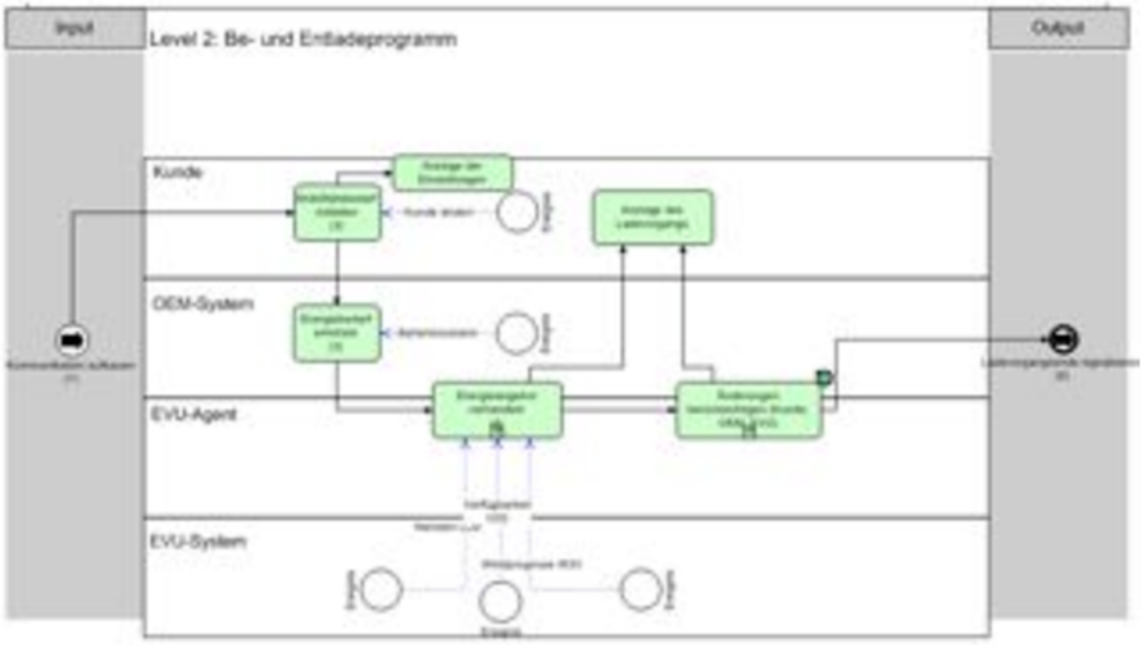


Abbildung 182 und Abbildung 184 bis Abbildung 187 näher beschrieben. Nach den Verhandlungen zwischen Auto und Backend über das Be- und Entladeprogramm erfolgt der Ladevorgang und endet mit einem Ladeende-Signal. Die Kommunikation wird unterbrochen und der Nutzer am Backend abgemeldet. Nach Entfernen des Kabels schließt sich die Klappe. Der Ladevorgang ist beendet.

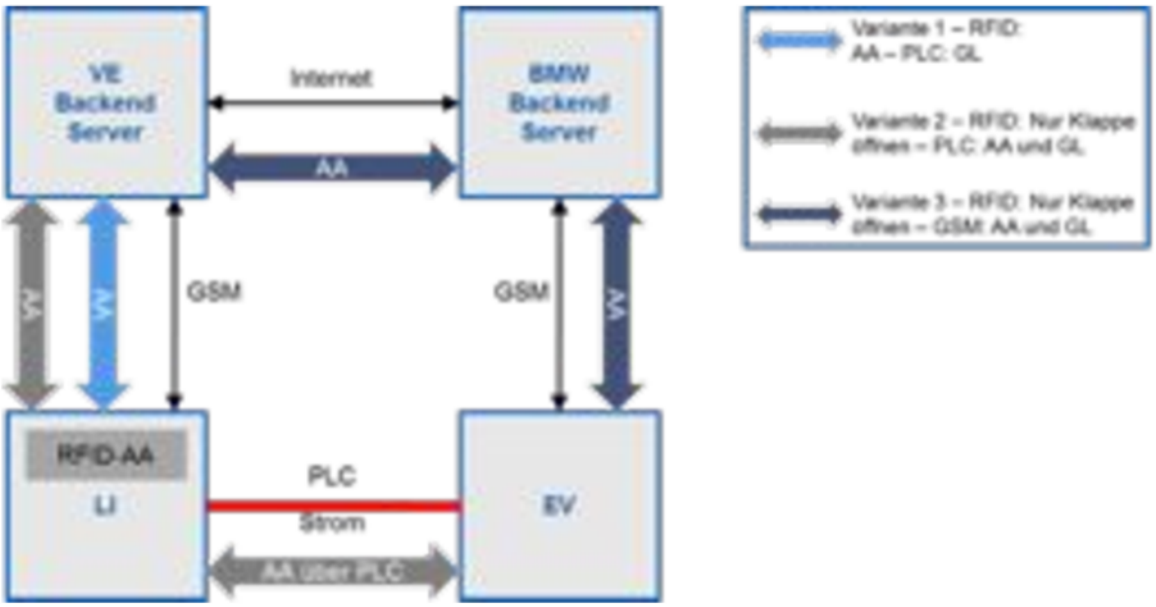


Abbildung 181: Anmeldevarianten

Die verschiedenen Varianten wurden untersucht, um den in der ISO 15118 beschriebenen technischen Gestaltungsraum zu evaluieren und Handlungsempfehlungen für Standardisierungs-Lösungen anzubieten.

Bei Variante 1 wird über die Anmeldung mit einer RFID-Karte eine Anmeldung auch lokal an der Ladesäule zugesichert, wenn es keine Verbindung zu einem Backend gibt. Dadurch wird ein unGesteuertes Laden (Mode 3) immer zugesichert, so dass der Kunde einen Ladevorgang durchführen kann.

Bei Variante 2 und 3 ist eine Anmeldung nur möglich, wenn es einen Informationsaustausch zwischen dem Fahrzeug und einem Backend gibt. Bei diesen Varianten benötigt der Nutzer keine zusätzliche RFID-Karte und kann durch das Plug & Charge am Stromladen teilnehmen. Andererseits setzt das Anmeldeverfahren eine IT-Kommunikation voraus, die nicht immer gewährleistet werden kann.

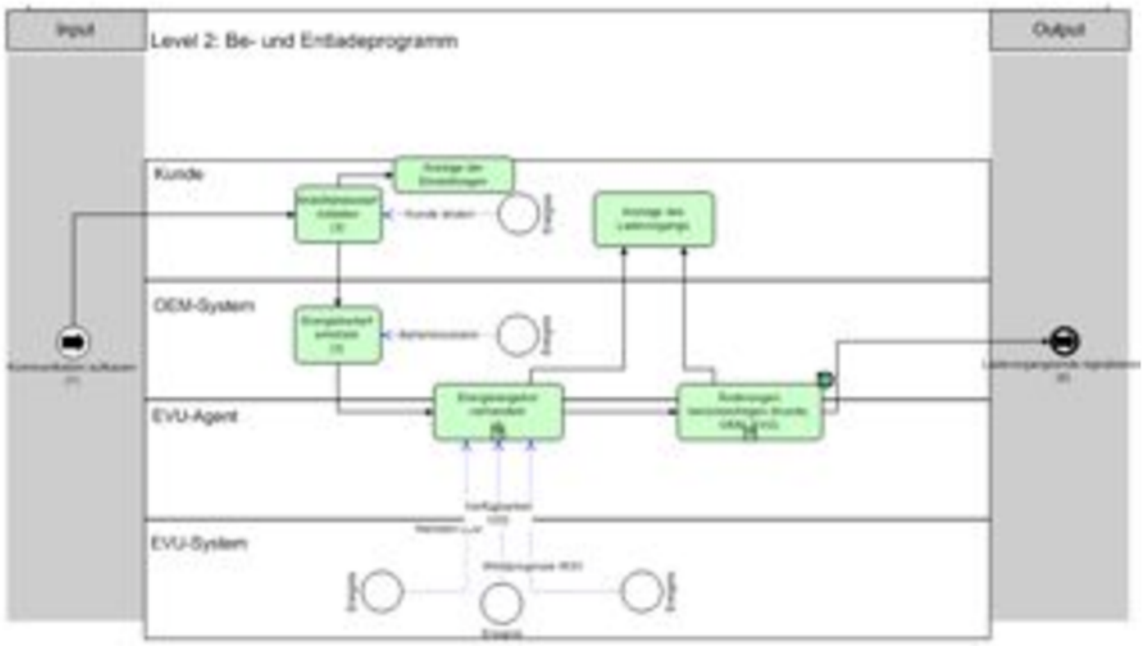


Abbildung 182: Be- und Entladeprogramm

Die Abhängigkeiten bei der Berechnung einer Ladekurve sind von einzelnen Bestimmungsgrößen prozessual in Abb. 6 beschrieben. Eine Übersicht der erarbeiteten Prämissen der Ladekurvenberechnung ist in Abbildung 183 zusammengestellt.

Abbildung 183: Prämissen für die Berechnung der Ladekurve

Das Elektrofahrzeug entscheidet über die Ladekurve nach Kann- und Muss-Regeln, die die Mobilität des Nutzers sicherstellen. In der konkreten Projektrealisierung war die logische Entscheidungsinstanz im BMW-Backend lokalisiert, die der Batteriesteuerung im Fahrzeug die Ein- und Ausschaltsequenzen für den Ladevorgang mitteilte.

1. Die Infrastruktur gibt technische Rahmendaten vor:
    - MUSS: Lokales Lastmanagement zur Einhaltung der Netzbelastungsgrenzen (LLM Summe)
    - KANN: Prioritätssignal (Wind, Netzlast, Preis usw.)
2. Das OEM System gibt technische Rahmendaten vor:
    - Rahmendaten des Fahrzeugs (SOC, Vor- und Nach-Konditionierung, Batteriebedürfnisse usw.)
3. Der Kunde gibt seine Rahmendaten vor:
    - Präferenzen / Bedürfnisse des Kunde
4. Das OEM System (BMW Backend) errechnet die Ladekurve aus den Punkten 1+2+3

Zur Sicherstellung des Ladevorgangs bei einer Störung des Datenaustauschs zwischen Fahrzeug und Ladesäule bzw. Backend tritt eine Fall-Back-Lösung ein, die ein Sofortladen (ungesteuertes Laden) im Mode 3 Betrieb ermöglicht.

Die detaillierte Beschreibung des Verhandlungsprozesses zur Ladekurvenberechnung ist in Abbildung 184 gezeigt.

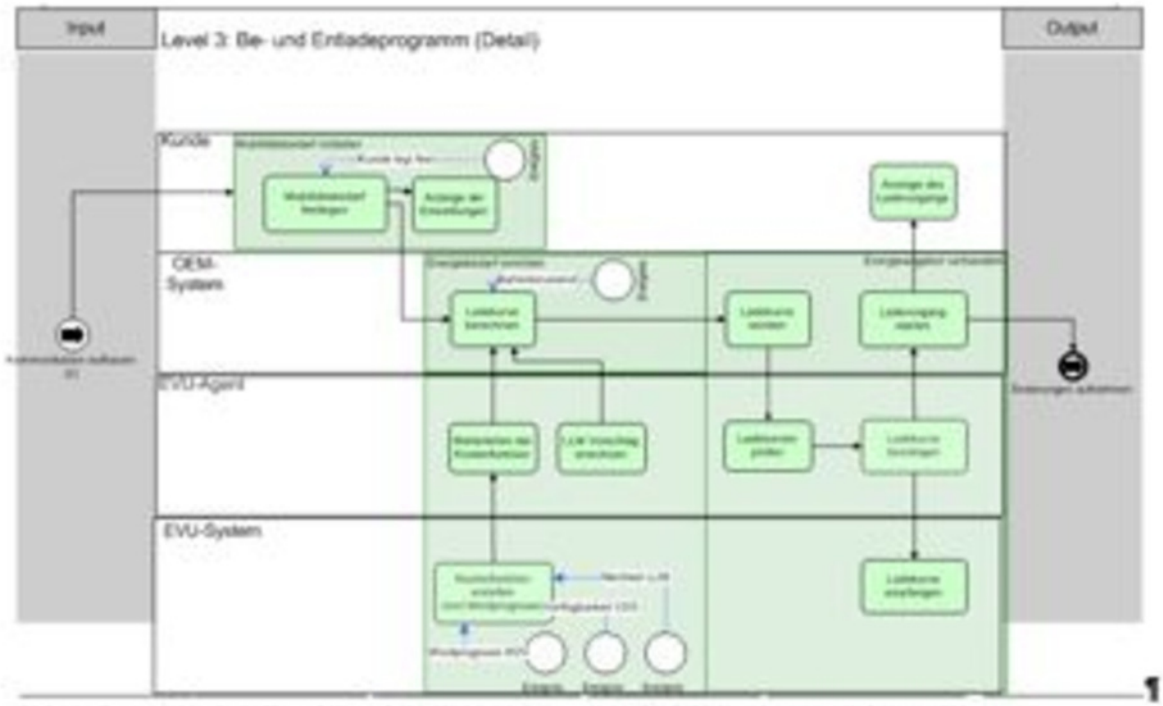


Abbildung 184: Ladeprogramm (Detail: Verhandlungsprozess Energieangebot)

Dieser Verhandlungsprozess schließt mit dem Starten des Ladevorgangs ab, der das Stromladen des Autos in einer durch den Kunden vorgegebenen Zeit bestimmt.

Abbildung 185: Änderungen berücksichtigen

Während des Ladevorgangs können sich die Bestimmungsgrößen aus Abbildung 183 jedoch ändern: Der Kunde benötigt sein Auto bereits früher oder später als angegeben, die Netzlast oder die Windprognose gestattet es, an dem Ladepunkt eine höhere Leistung zu beziehen, zur Vermeidung von Lastspitzen wird ein neuer V2G-Bedarf ermittelt. Allerdings ist der Entwicklungsstand im Projekt so, dass nur Änderungen der Kundenwünsche berücksichtigt werden. Der Energieanbieter wird keine Neuverhandlung der Kurven vom BMW Backend Server anfordern. Dies basiert auf eine Entscheidung des Energieanbieters in der frühen Konzeptionsphase, da die Funktion im Projekt nicht notwendig ist. Die prozessuale Handhabung der Änderungen innerhalb eines vereinbarten Ladevorgangs wird zur besseren Verdeutlichung zunächst in einer Übersicht in

Abbildung **185** dargestellt. Nachfolgend werden im Detail die Änderungen seitens des Kunden bzw. des Autos (Abbildung 186) und anschließend die Änderungen auf Seiten des EVU (Abbildung 187) dargestellt. Der Fluss in der Abbildung 187 wurde im Projekt konzipiert, aber nicht implementiert.

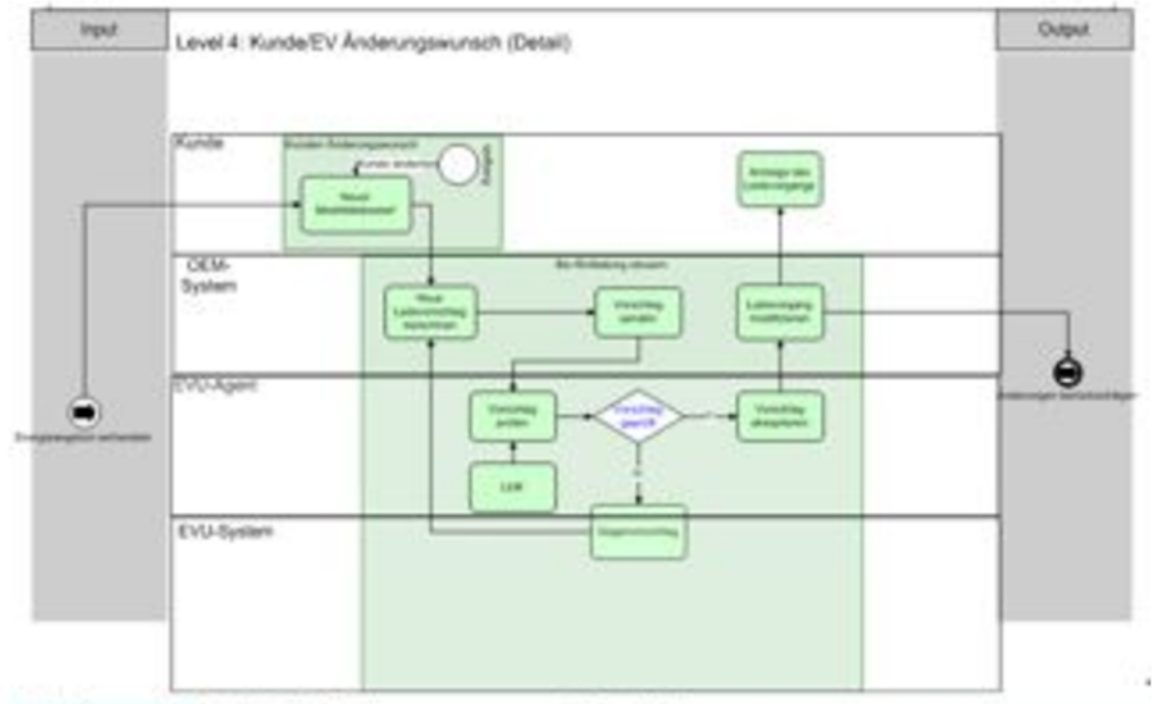


Abbildung 186: Kunde/EV Änderungswunsch (Detail)

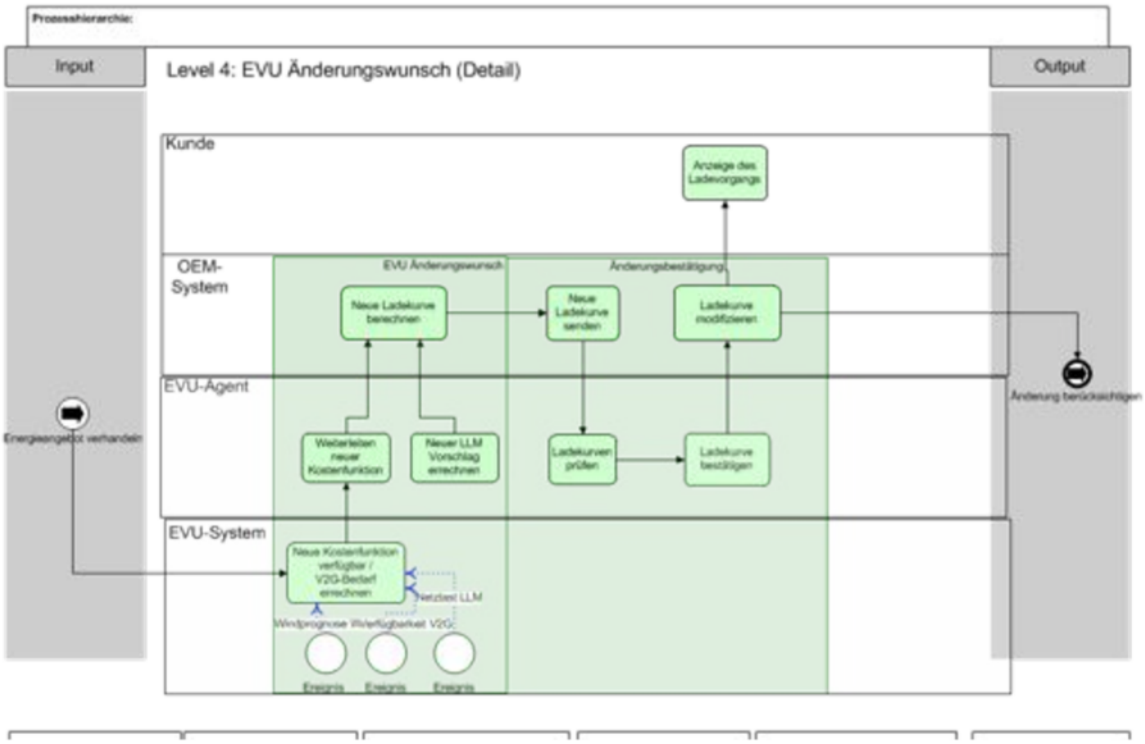


Abbildung 187: EVU Änderungswunsch (Detail)

In beiden Fällen werden Vorschläge ausgetauscht und bestätigt, um dadurch einen neuen Ladevorgang zu initialisieren.

Die Geschäftsprozessmodellierung definiert die Aufgabenbereiche und Verantwortlichkeiten der einzelnen Elektromobilitätsteilnehmer. Sie beschreibt mit wenigen Grundelementen die Kommunikation untereinander und steckt so eine vollständige Prozesslandschaft für die Elektromobilität ab.

Abgestimmte Systemarchitektur

Die Prozessmodellierung bildete zum einen die Grundlage für die Bewertung der verschiedenen, bereits bei den Kooperationspartnern vorhandenen, Systemarchitekturen und zum anderen die Grundlage für die Ausprägung einer tragfähigen Systemarchitektur für den Gesamtprozess des „Gesteuerten Ladens“.

Dabei standen sich grundsätzlich die Systemarchitekturen von OEM und EVU gegenüber. Die W2V- wie auch die V2G-Applikation als eigenständige Anwendungen waren in diese verschiedenen Systemlandschaften einfach zu integrieren. Die V2G-Anwendung ist ein separates Anwendungsfeld mit eigenen Elektrofahrzeugen MINI E und eigener Kommunikationsanbindung über einen CarPC an eine spezifische Ladeinfrastruktur mit einem dezidierten Backend. Deshalb beschränkte sich diese Anbindung auf die Identifikations- und Autorisierungsfunktionen an die IT-Plattform.

Die OEM-Architektur erfolgte nach dem etablierten Verfahren des „Connected Drive“. Das ist eine zentrale Steuerungsinstanz für alle Autos, bei der das einzelne Elektrofahrzeug keine eigene Entscheidungskompetenz hat, sondern die Entscheidungen zum Be- und Entladevorgang immer von einem zentralen Backend erhält. Dem gegenüber stand der dezentrale Steuerungsansatz des Infrastrukturbetreibers, der bilateral mit den einzelnen Fahrzeugen in einen Kommunikationsaustausch treten wollte, um dadurch den Datentransfer auf ein Minimum zu beschränken und eine große Flexibilität beim Verhandlungsprozess mit dezentralen Entscheidungsinstanzen zu ermöglichen.

Die Auflösung dieser verschiedenen Architekturansätze von OEM und EVU befindet sich in Abbildung 188. Es wird zwischen zwei Arten von Informationsströmen unterschieden:

- Die Protokollnachrichten zum Austausch des Fahrzeugs mit der Ladesäule zur Autorisierung.

- Die Payload-Nachrichten zum Informationsaustausch des Fahrzeugs mit dem OEM Backend.

Diese Nachrichtenarten können einerseits über die Infrastruktur des Ladesäulenbetreibers erfolgen und anderseits über eine eigene GSM-Verbindung. Das OEM-Backend und das VE-Backend tauschen dabei alle relevanten Daten für einen Ladevorgang aus, der in Kapitel 1.4.1 beschrieben ist.

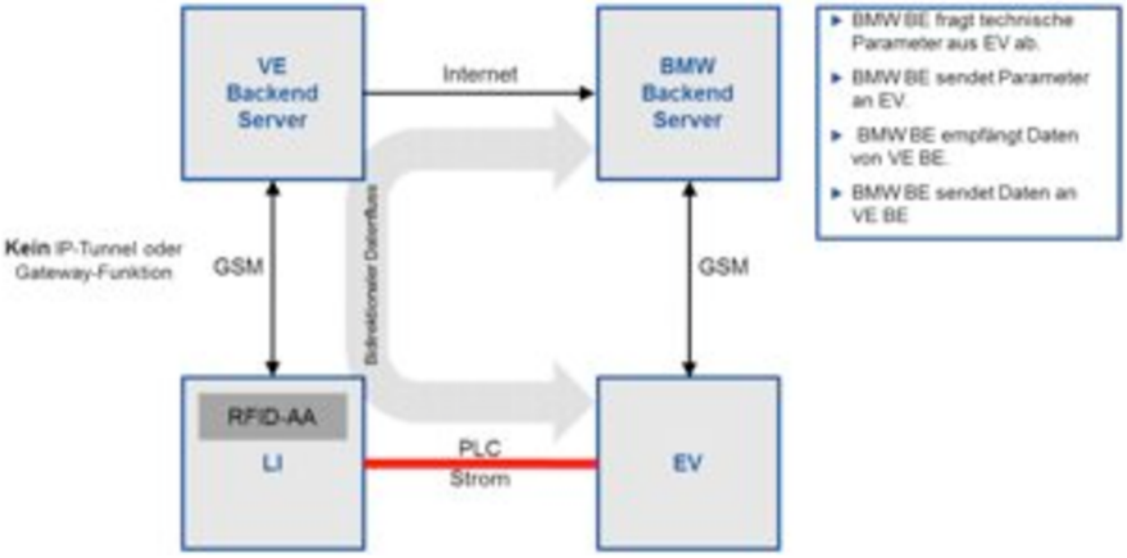


Abbildung 188: Abgestimmte Systemarchitektur

Das zugehörige Kommunikationsprotokoll (BCP: BMW Charge Protokoll) wurde in Deliverable 4.1 nach den Vorgaben der ISO 15118 entwickelt.

Damit ist ein Kommunikationsaustausch entstanden, der flexibel die unterschiedlichen Architekturkonzepte von EVU und OEM bedienen kann.

Modulare Systemarchitektur der IT-Plattform

Die Synthese der beiden Architekturansätze erlaubte die prototypische Umsetzung der Prozesse in den Gegebenheiten der jeweiligen Systemlandschaften. In Abbildung 189 ist die Ausdifferenzierung der Funktionskomponenten und ihres Zusammenwirkens erläutert. Für die Interaktionen werden insgesamt nur drei Arten von Schnittstellen benötigt und so eine offene und skalierbare Plattform geschaffen:

- Webservices werden für die Anbindung von externen Applikationen verwendet.

- OCPP[41] dient als standardisiertes Protokoll zu den Ladesäulen.
- PLC mit Homeplug AV ist die in der IOS-Norm 15118 geforderte Schnittstelle zu den Elektrofahrzeugen.

Eine zentrale Integrationsplattform verwaltet alle Daten und stellt sie für die externen Applikationen (BMW, W2V, V2G) zeitnah, im Bereich von Sekunden, nach ihrer Anforderung zur Verfügung. Sie ist das Bindeglied zwischen allen Systemkomponenten vom Auto, über die Ladesäule bis zum Ladeassistenten und gibt Auskunft über den Status jedes Ladevorgangs. Die Plattform besteht aus unabhängigen Modulen für dezidierte Anwendungen, wie etwa der LLM-Applikation oder der Abrechnung, die nach Bedarf untereinander kommunizieren. Durch definierte Schnittstellen der Module zueinander ist die Ausprägung der Module voneinander unabhängig. Eine vollständige Beschreibung der Plattform befindet sich im Detail in Deliverable 4.1. Durch die zentrale Datenhaltung kann darüber hinaus eine übergreifende Datenauswertung vorgenommen werden, die in Kapitel 4.4.4 näher beschrieben wird.

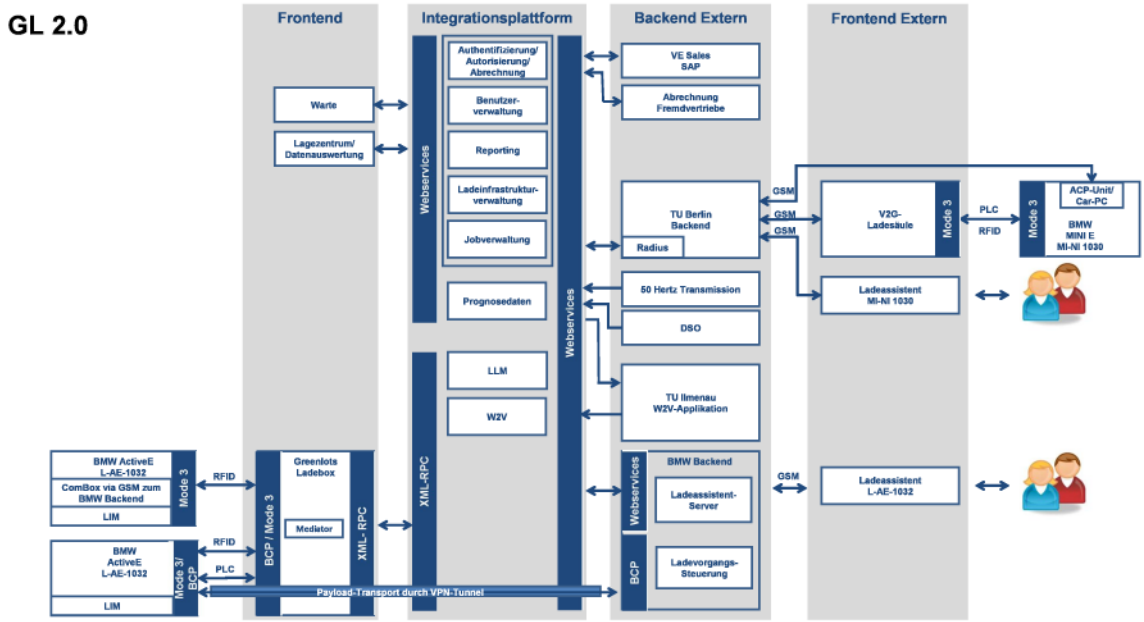


Abbildung 189: Modulare Systemarchitektur VE mit zentralem Backend

Von dieser IT-Plattform unabhängig wurde eine zweite Systemlandschaft mit einer V2G-Plattform aufgebaut, um das separate Anwendungsszenario mit eigener Ladeinfrastruk-

41 Open Charge Point Protocol (http://www.e-laad.nl/uploads/files/010-3_030_007%20-%201_0%20-%20Logica_CiMS_EID_OCPP.pdf)

tur und speziellen Elektrofahrzeugen (MINI E) untersuchen zu können. Die beiden Plattformen sind miteinander verbunden, um Autorisierungsinformationen auszutauschen. Die V2G-Plattform ist in der IT-Plattform (Abbildung 189als V2G-Applikation enthalten und in Teilprojekt 1 im Detail beschrieben.

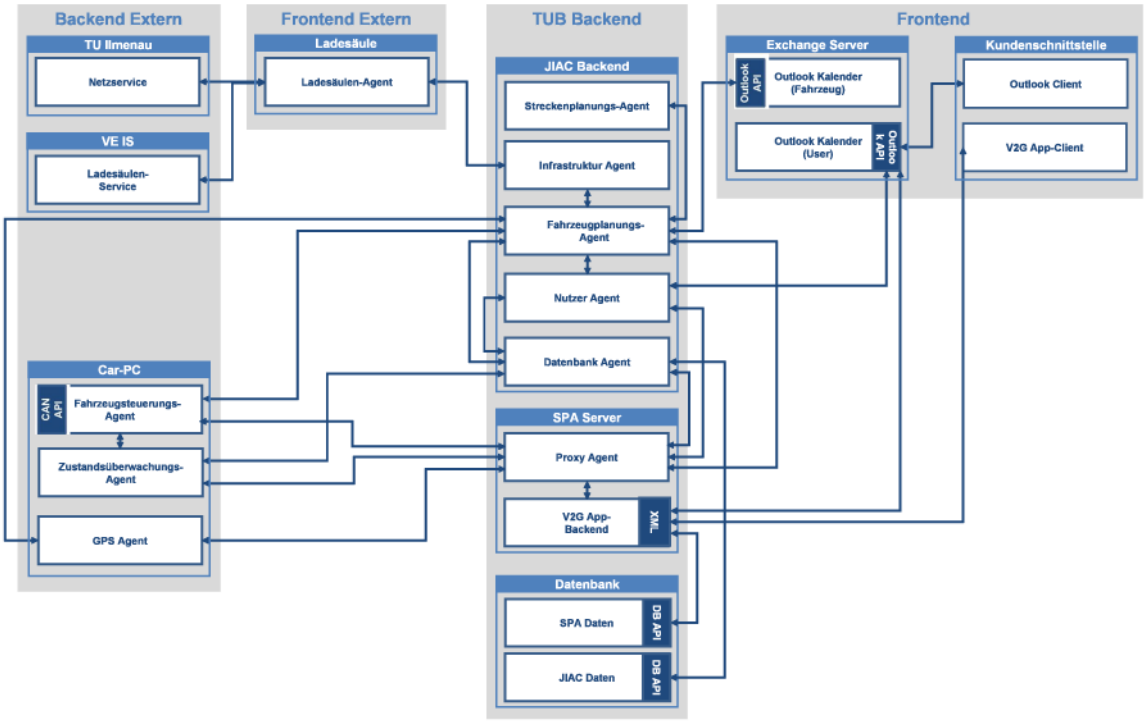


Abbildung 190: Dezentrale Systemarchitektur für V2G TU Berlin

Beide Systemlandschaften verwenden den gleichen architektonischen Ansatz einer modular aufgebauten Plattform und einer zentralen Datenverwaltung.

Die Systemarchitekturen wurden unabhängig auf Grundlage der Prozesslandschaft in Kap. 1.4.1 und mit dem Ziel, offen und skalierbar zu sein, aufgebaut. Der Vergleich zeigt, dass die gewählte Architektur auch in verschiedenen Anwendungsszenarien wirksam ist. Das bedeutet implizit, dass diese Architektur trag- und zukunftsfähig für Elektromobilität ist.

Auswertung und Online Reports

Die zentrale Datenhaltung ermöglicht die übergreifende Analyse und Auswertung aller gesammelten Daten. Diese werden automatisiert den Anwendern für die wissenschaftliche Auswertung zur Verfügung gestellt.

Leitlinie der Datenauswertung war die größtmögliche Signifikanz von Messgrößen bei der Analyse zu gewährleisten. Daher wurden alle verfügbaren Daten der aktuellen Förderprojekte betrachtet. Zusätzlich wurde die Datenbasis des Vorgängerprojekts MINI E Berlin 1.0 durch Datenmigration und Einbindung der Ladeinfrastruktur vergrößert.

Das machte eine Datenkonsolidierung der Alt-Daten und eine generische und automatisierte Berichtserstattung erforderlich. Um die automatisierten Berichte und die zugrunde liegenden Daten als Download auch anderen Projektpartnern sowie Kunden zur Verfügung zu stellen, wurde mit dem Aufbau der Datenbank ein gruppenbasiertes Rechtesystem geschaffen.

Durch ein gruppenbasiertes Berechtigungskonzept ist es möglich, die Inhalte der Datenbank automatisiert zu filtern und unterschiedlichen Nutzergruppen zur Verfügung zu stellen. Gruppen können auf Basis von Nutzern oder Ladeinfrastruktur gebildet werden. So ist es beispielsweise möglich, die Ladeinfrastruktur eines Firmenkunden zu gruppieren und dem Kunden die entsprechenden Berichte seiner Ladeinfrastruktur automatisiert über das Online-Portal zur Verfügung zu stellen.

Bezogen auf die öffentliche Ladeinfrastruktur sind unterschiedliche Generationen zu unterscheiden. Die erste Generation der Hersteller 3 sowie Hersteller 2 liefert nur bei Ladevorgängen jeweils einen Datensatz, der konsolidierte Informationen über den entsprechenden Ladevorgang enthält. Aussagen über die Verfügbarkeit der Ladesäulen lassen sich nur anhand von manuell gepflegten Tabellen mit hohem Aufwand schätzen.

Die neue Generation der öffentlichen Ladesäulen des Herstellers 1 hat teilweise die Ladeinfrastruktur in Berlin ersetzt und ist zudem in Hamburg zum Einsatz gekommen. Gegenüber der ersten Generation bieten die Ladesäulen des Lieferanten 1 einen erheblichen Mehrwert. Anstelle eines einzelnen Datensatzes zu den Ladevorgängen, übermitteln diese Ladesäulen in einem frei definierbaren Zeitintervall eine Statusmeldung der Ladestation. Dadurch lassen sich u.a. automatisiert Aussagen über die Verfügbarkeit und Auslastung der Säulen treffen. Ein konsolidierter Datensatz zu den jeweiligen Ladevorgängen lässt sich zudem aus den Daten erzeugen.

Ein konsolidierter umfassender Datensatz über die Ladevorgänge enthält abschließend folgende Datenfelder aus den aufgeführten Datenquellen.

Datenfeld	Quelle	Erläuterung
Kartennummer	VE-Backend	Karte, mit der sich die Nutzer an der öffentlichen Ladeinfrastruktur identifizieren
Kunden-ID	VE-Backend	Zur Karte gehörender Kunde
Nutzerkreis	VE-Backend	Gruppierung anhand der Nutzergruppen
Tranche	TU Ilmenau	In einzelnen Projekten (z.B. MINI E) wurden die Nutzer in unterschiedliche Tranchen untergliedert
Fahrzeug-ID	TU Ilmenau / BMW	ID anhand derer das Fahrzeug eindeutig identifiziert wird
Fahrzeug-Kennung	BMW	Chassis-Nr. oder Fahrzeug-Kennzeichen
Fahrzeug-Typ	BMW	Fahrzeug-Typ (z.B. BMW MINI E)
Ladepunkt-ID	VE-Backend	ID zur Identifizierung des Ladepunktes
Ladepunkt-Name	VE-Backend	Bezeichnung des Ladepunktes
Ladestation-ID	VE-Backend	ID zur Identifizierung der Ladestation
Ladestation-Name	VE-Backend	Bezeichnung der Ladestation (Besitzt eine Ladestation nur einen Ladepunkt, ist der Wert gleich dem Ladepunkt-Namen.)
Stations-Typ	VE-Backend	Hersteller der Ladestation
Anmeldung	VE-Backend	Zeitpunkt der Fahrzeug-Anmeldung
Abmeldung	VE-Backend	Zeitpunkt der Fahrzeug-Abmeldung
Ladedauer	VE-Backend	Ladedauer
Lademenge	VE-Backend	Lademenge (in kWh)
Max. Ladestrom	VE-Backend	Maximal gemessener Ladestrom
Tarif	VE-Backend	Zugrunde liegender Tarif
Fahrtbeginn	BMW	Fahrtbeginn
Fahrtende	BMW	Fahrtende

SOC Start	BMW	Ladezustand der Fahrzeugbatterie (State of Charge) zu Beginn des Ladevorgangs
SOC Ende	BMW	Ladezustand der Fahrzeugbatterie (State of Charge) bei Ende des Ladevorgangs
Kilometerstand	BMW	Kilometerstand des Fahrzeugs
Quelle	VE-Backend	Quelle des Datensatzes

Tabelle 53: Datensatz zu Ladevorgängen

Zusätzliche Status-Datensätze der neuen Generation der öffentlichen Ladeinfrastruktur enthalten folgende Felder:

Datenfeld	Quelle	Erläuterung
Ladepunkt-ID	VE-Backend	ID zur Identifizierung des Ladepunktes (s.o.)
Status	VE-Backend	Status des Ladepunktes zum jeweiligen Zeitpunkt (Beispiele für Status: verfügbar, Ladevorgang aktiv, Fehler)
Fehler-Flag	VE-Backend	Kennzahl zur Identifizierung der Fehlermeldung
Zählerstand	VE-Backend	Zählerstand zum jeweiligen Zeitpunkt
Ladestrom	VE-Backend	Ladestrom zum jeweiligen Zeitpunkt
Zeitstempel	VE-Backend	Entsprechender Zeitpunkt des Datensatzes

Tabelle 54: Datensatz zu Statusmeldungen der Ladeinfrastruktur

Datenintegration Hersteller 2 und Hersteller 3 Ladesäulen

Neben privaten Wallboxen für die Projektteilnehmer wurden im Rahmen des MINI E 1.0 Projektes insgesamt 37 öffentlich zugängige Ladesäulen der Hersteller 2 sowie Hersteller 3 errichtet. Für die Datenevaluation des MINI E Berlin 1.0 Projektes wurden die Daten aller öffentlichen Ladevorgänge in einer eigenen Datenbank gespeichert. In dieser Datenbank wurden keine weiteren Datenquellen berücksichtigt. Entsprechende Auswertun-

gen des Projektes konnten manuell über einen Datenexport und Verwendung in MS Excel geniert werden.

An stark frequentierten öffentlichen Standorten wurden diese Ladesäulen der ersten Generation teilweise durch Säulen des Lieferanten 1 ersetzt. Dennoch sind aktuell weiterhin 15 Ladesäulen der ersten Generation im Einsatz.

Um für die neue Datenbank eine umfassende Datenbasis zu schaffen, war es also erforderlich, zum einen die Altdaten der bestehenden sowie bereits abgebauten Ladesäulen zu migrieren, sowie eine Schnittstelle der weiter im Betrieb befindlichen Ladesäulen zur neuen Datenbank zu schaffen.

Grundsätzlich übermitteln die Ladesäulen beider Hersteller nach Beendigung eines Ladevorgangs den entsprechenden Datensatz an das Vattenfall-Backend. Dieser Datensatz beinhaltet folgende Felder:

- Kartennummer
- Netzgesellschaft
- Verfallsdatum
- Säulennummer
- Tankvorgangsnummer
- Ladebeginn
- Ladeende
- Zählerstandsbeginn
- Zählerstandsende

Erhält die Ladesäule eine Rückmeldung über die erfolgreiche Übermittlung des Datensatzes, wird dieser bei den Ladesäulen von Hersteller 3 gelöscht. Erfolgt keine Rückmeldung, wird der Datensatz in jeder Ladesäule auf einer SD-Karte gespeichert. Die SD-Karten in jeder Ladesäule des Herstellers 3 enthalten demnach alle potenziell nicht übermittelten Datensätze.

Die Ladesäulen vom Lieferanten 3 übermitteln ebenfalls einen Datensatz im identischen Format. Dieser wird allerdings grundsätzlich zusätzlich in der Ladesäule gespeichert. Jede Ladesäule vom Lieferanten 3 hat also eine vollständige Historie der Ladevorgänge gespeichert.

Um eine vollständige Abbildung aller Ladevorgänge zu gewährleisten, war es demzufolge notwendig, nicht nur die übermittelten und bereits in der alten Datenbank befindlichen Daten zu betrachten. Neben den vorhandenen Daten wurden die SD-Karten jeder Ladesäulen vom Hersteller 3 ausgelesen sowie die gespeicherten Datensätze innerhalb aller Ladesäulen vom Lieferanten 3. Zur Vermeidung von redundanten Datensätzen wurden die Datensätze mit Hilfe der eindeutigen Tankvorgangsnummer untereinander geprüft und abgeglichen.

Datenintegration TU Ilmenau, TU Berlin, BMW und DSO

TU Ilmenau

Die TU Ilmenau richtete für die Projekte MINI E Berlin 1.0 sowie MINI E 2.0 an jeder privaten Wallbox einen Datenlogger ein, der laufend Daten über die Nutzung der Wallbox übermittelt. Zusätzlich wurde ein Datenlogger an einem kritischen Netzknotenpunkt installiert, der Informationen über die Belastung des Netzes übermittelte. Diese Daten wurden Vattenfall als Excel-Datei zur Verfügung gestellt.

Ein vollständiger Wallbox-Datensatz der TU Ilmenau umfasst folgende Felder:

- Jahr
- Monat
- Tag
- Wochennummer
- Wochentag
- Plugin-Zeit
- Dauer des Anschlussvorgangs
- Geladene Energiemenge
- ID der Wallbox
- Information über Aktivierung der Sofort-Laden-Funktion

Jede Netz-Messbox war mit drei Wandlern verbunden, die jeweils eine Phase gemessen haben. Die Messboxen enthielten eine SD-Speicherkarte und sendeten ihre Daten via Funk an die TU Ilmenau.

Die Netz-Messbox erfassten im 10-Sekunden-Intervall Informationen über die Spannung und Stromstärke der unterschiedlichen Phasen. Zudem wurde je Phase die Wirk-, Schein- und Blindleistung gemessen.

Die Daten der Wallboxen wurden analog zu den Daten der öffentlichen Ladevorgänge in die Datenbank integriert. Die Daten der Netz-Messbox wurden parallel abgelegt, so dass eine Zuschlüsselung der Netzbelastung zu den entsprechenden Ladevorgängen erfolgen konnte.

TU Berlin

Die TU Berlin speicherte im Intervall von wenigen Sekunden den Status der eigenen Ladeinfrastruktur. Da die Universität im Rahmen des V2G-Ansatzes auch die Rückspeisung von Energie in das Netz analysiert, war es notwendig, dass zwei parallele Zählerstände betrachtet werden, um Aufschluss darüber zu erhalten, wieviel Energie an das Fahrzeug bzw. vom Fahrzeug übertragen wurde.

Dementsprechend umfasst ein vollständiger Datensatz der TU Berlin folgende Felder:

- ID des Fahrzeugs
- IP-Adresse der Wallbox
- Zeitstempel
- Zählerstand über abgegebene Strommenge
- Zählerstand über erhaltene Strommenge

BMW

BMW sammelte im Backend Fahrzeugdaten. Anhand der Veränderung des State of Charge (SOC) der Fahrzeugbatterie zwischen Fahrtende und darauffolgendem Fahrtbeginn konnte ein Ladevorgang identifiziert werden. Durch eine Spontanregeneration der Batterien verzeichneten diese allerdings auch ohne Ladevorgang eine Veränderung. Ab einem Delta von 20% des SOC geht BMW sicher von einem Ladevorgang aus. Für die Datenintegration der BMW-Daten wurde allerdings eine geringere Grenze von 5%-SOC gewählt um ggf. auch Ladevorgänge mit geringem Stromfluss zu berücksichtigen.

- Abgleich mit vorhandenen Daten
- Größere SOC oder Gegenpart → Schuko-Ladevorgang

Ein vollständiger Datensatz von BMW enthält folgende Felder:

- ID des Fahrzeug-Chassis
- Zeitpunkt des Fahrtendes (Zündung aus)
- Zeitpunkt des Fahrtbeginns (Zündung an)

- Maximaler Ladestrom
- Außentemperatur letzte Fahrt
- Außentemperatur Fahrtbeginn
- Kilometerstand
- Strecke seit letztem Fahrtbeginn

Verteilnetzbetreiber

Über den Berliner Netzbetreiber Vattenfall Europe Distribution Berlin (DSO) konnten weitere Daten herangezogen werden. In den Berliner Ladesäulen der ersten Generation, in den Wallboxen für das EMKEP-Projekt sowie in den Wallboxen der MINI E-Nutzer wurden Lastgangzähler verwendet, die im Viertelstundenraster die jeweilige Last aufzeichnen. Darüber war es möglich, die geflossene Strommenge, die von den Fahrzeugherstellern nur näherungsweise angegeben wurde, exakt zu ermittelt. Zudem konnten die Daten des DSO herangezogen werden, um Unstimmigkeiten in den übermittelten Daten zu überprüfen.

Ein Datensatz des DSO enthält je Zählpunkt auf Basis von Viertelstunden die gemessene Leistung in Watt.

Analyse und automatisierte Reports der Nutzer und Bewegungsdaten.

Grundsätzlich hat der Nutzer die Möglichkeit, vorgegebene Standardreports direkt über die Webseite anzeigen zu lassen oder die Rohdaten über vorgegebene Filter herunterzuladen.

Automatisierte Reports

Bei den vorgegebenen Reports können die Berichte über unterschiedliche Filter angepasst werden. Die Verfügbarkeit der Optionen richtet sich nach den jeweiligen Rechten des Nutzers. So hat beispielsweise ein Firmenkunde bei der Auswahl der Gruppen nur Zugriffe auf seine eigene Ladeinfrastruktur bzw. Nutzer.

Der „Reporttyp“ legt vorab fest, um welchen Bericht es sich handelt. Dabei stehen Reports aus Sicht der Ladeinfrastruktur sowie aus Sicht der Nutzer zur Auswahl. Über das Feld „Gruppe“ können vorab definierte Gruppen gefiltert werden. Z.B. kann über diesen Filter die öffentliche Ladeinfrastruktur in Hamburg selektiert werden. Die Auswahl des Standortes ist möglich, wenn ein Bericht aus Sicht der Ladeinfrastruktur gewählt wurde. So können alle entsprechenden Berichte auf einen bestimmten Standort

eingegrenzt werden. Zudem lässt sich für alle Berichte der Betrachtungszeitraum auf Monatsbasis frei wählen.

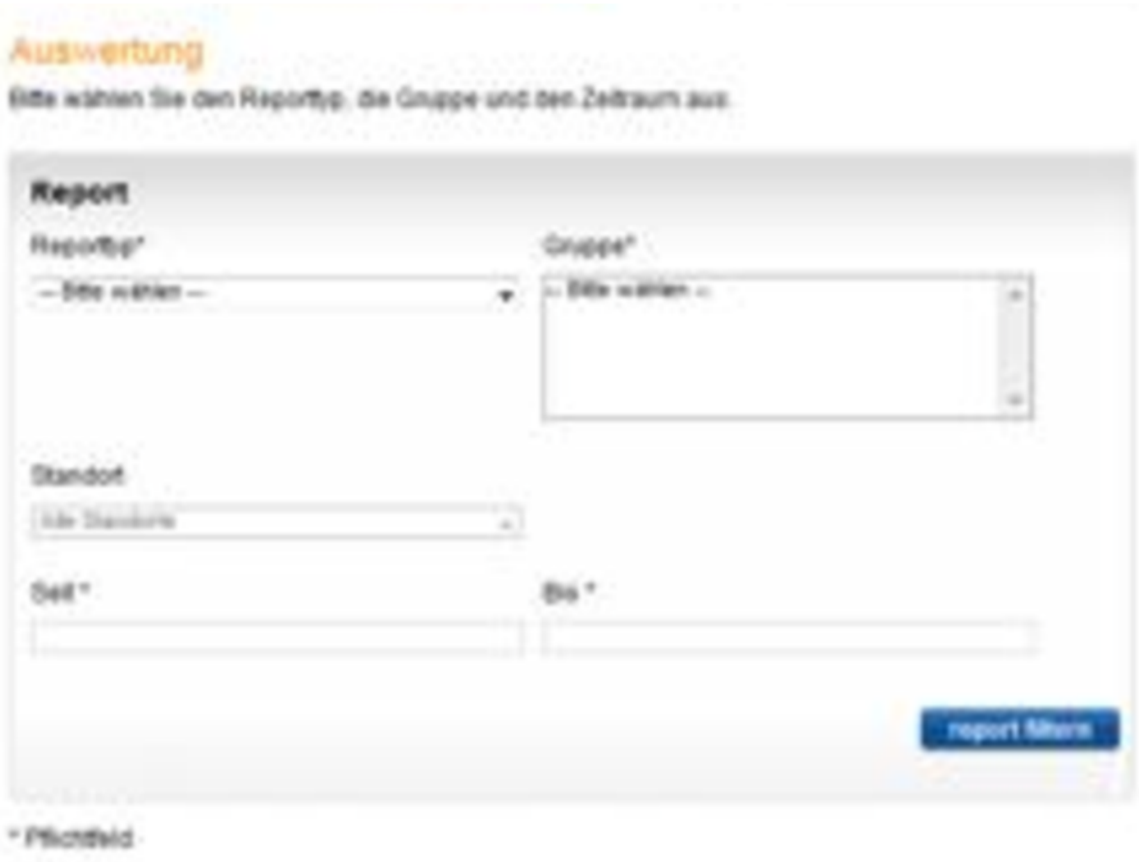


Abbildung 191: Automatisierte Reports – Filterauswahl

Aktuell sind folgende automatisierte Reports über die Webseite abrufbar:

- Reports aus Nutzersicht
  - Stromabsatz und Ladevorgänge je Nutzer
  - Stromabsatz und Ladevorgänge – Gesamt
- Reports aus Sicht der Ladeinfrastruktur
  - Stromabsatz und Ladevorgänge – Gesamt
  - Nutzung nach Tageszeit
  - Status & Auslastung (nach Standort sowie Ladepunkt)

Der erste Bericht aus Nutzersicht beinhaltet die Anzahl der Ladevorgänge sowie den Stromabsatz in kWh. Parallel wird je Nutzer der durchschnittliche Stromabsatz je Ladevorgang angezeigt.

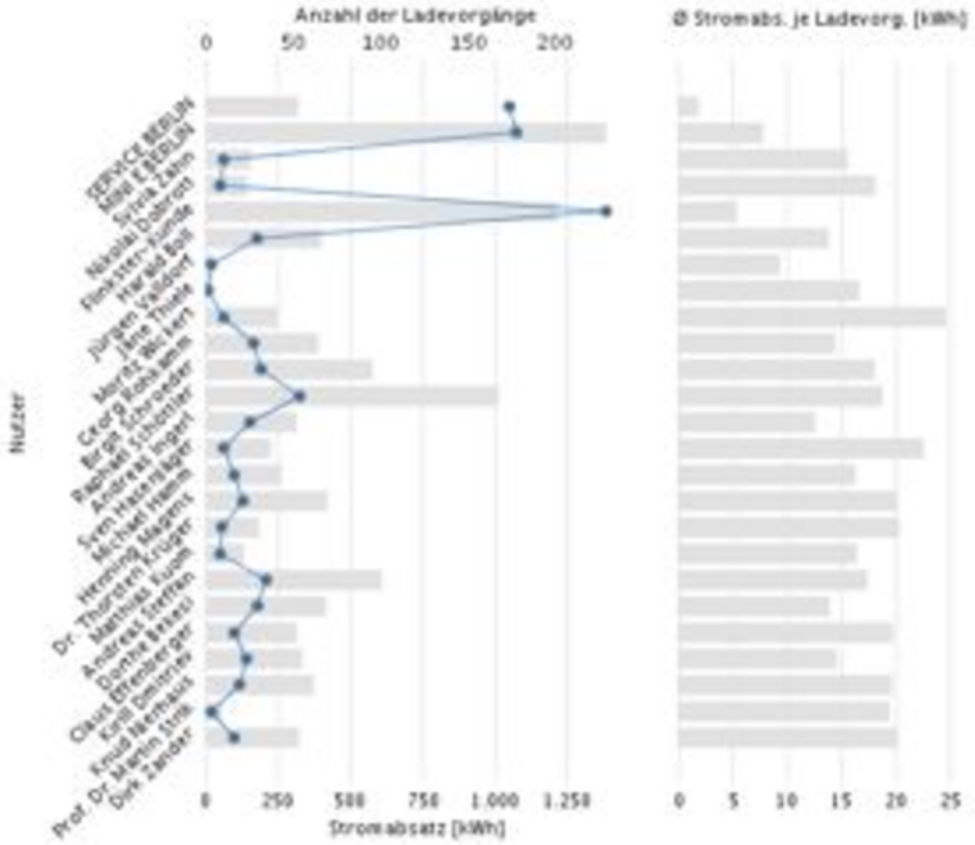


Abbildung 192: Reportbeispiel aus Nutzersicht: Energieabsatz und Ladevorgänge je Nutzer

Der zweite Bericht betrachtet die Nutzung der gewählten Gruppe im entsprechenden Zeitfenster. Dargestellt wird hier auf Basis jedes Monats der Energieabsatz in kWh sowie die Gesamtanzahl der Ladevorgänge im jeweiligen Monat.

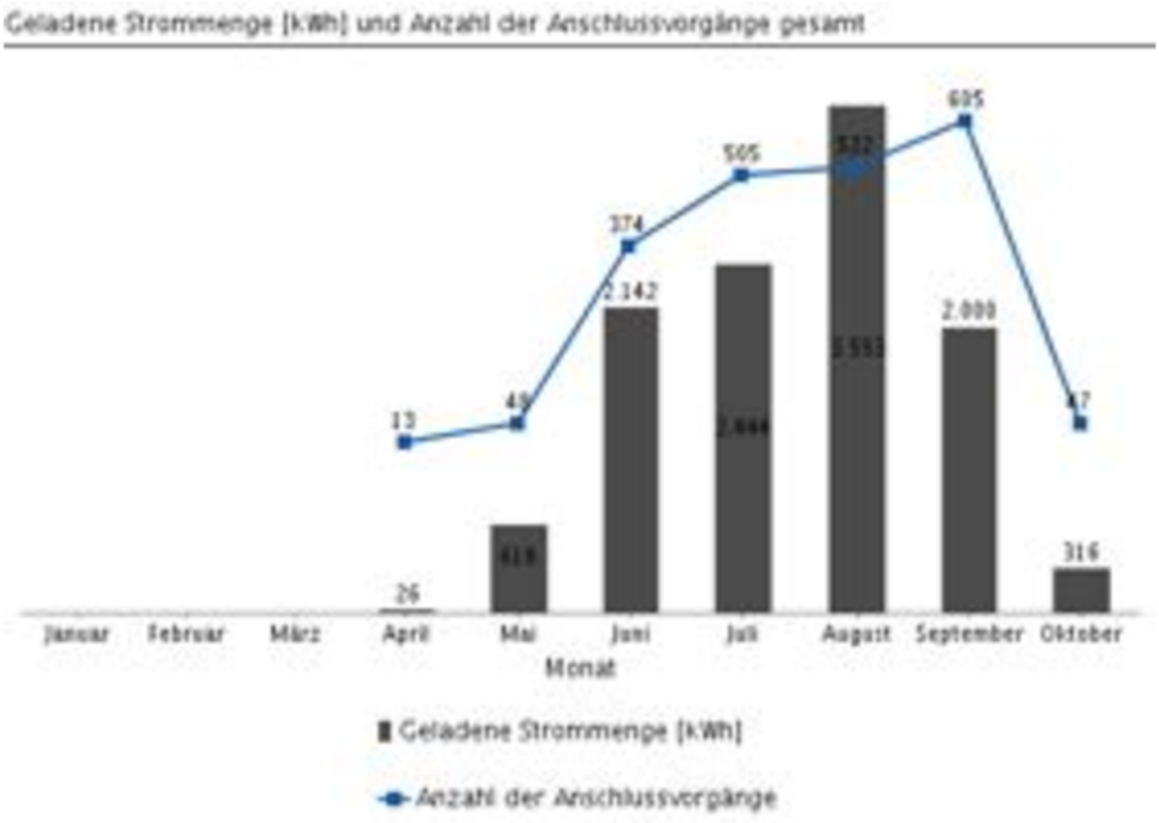


Abbildung 193: Reportbeispiel aus Nutzersicht: Energieabsatz und Ladevorgänge – Gesamt

Beide Reports lassen sich auch aus Sicht der Ladeinfrastruktur aufrufen. Wie oben beschrieben, besteht beim Report aus Infrastruktursicht zudem die Möglichkeit, den Stromabsatz und die Anzahl der Ladevorgänge je Standort zu betrachten. Bei einem entsprechenden Filter für einen Standort wird die Strommenge für jeden einzelnen Ladepunkt dargestellt. So ist eine sehr differenzierte Auswertung der Nutzung der Ladeinfrastruktur möglich.

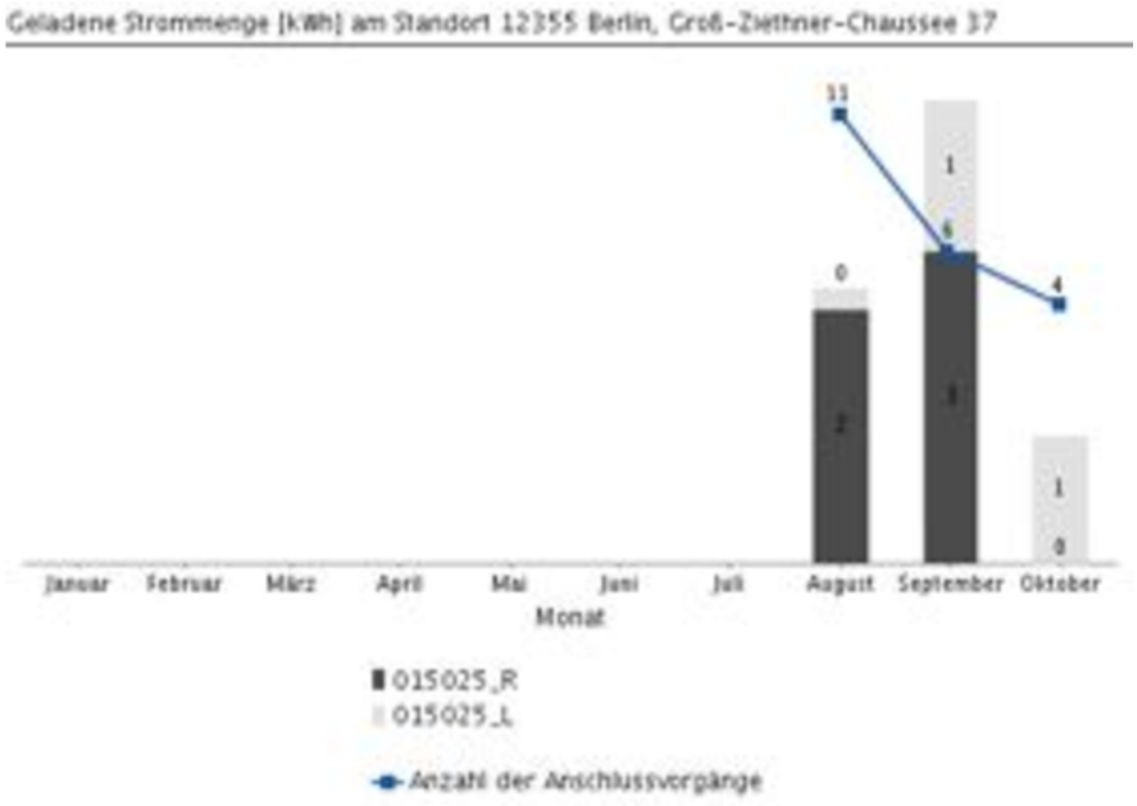


Abbildung 194: Reportbeispiel aus Sicht der Ladeinfrastruktur: Energieabsatz und Ladevorgänge je Standort

Der nächste Infrastruktur-Bericht stellt die Nutzung der Ladeinfrastruktur im Tagesverlauf dar. Wie oben beschrieben, übermittelt die neue Generation der öffentlichen Ladeinfrastruktur den eigenen Status in regelmäßigen Abständen. Dadurch ist es möglich, differenziert zu betrachten, ob eine Auswahl von Ladesäulen durch Fahrzeuge nur belegt ist oder ob auch tatsächlich geladen wird. In diesem Report wird dargestellt, wie die gewählte Gruppe der Ladeinfrastruktur im Tagesverlauf genutzt wurde. In Abbildung 19 ist z.B. deutlich zu sehen, dass zwar nachts ein recht konstanter Anteil an Fahrzeugen angeschlossen war, aber geladen wurde überwiegend tagsüber. Der Anteil der angeschlossenen Fahrzeuge gibt Aufschluss darüber, inwiefern sich die gewählte Gruppe für das gesteuerte Laden nutzen lässt.

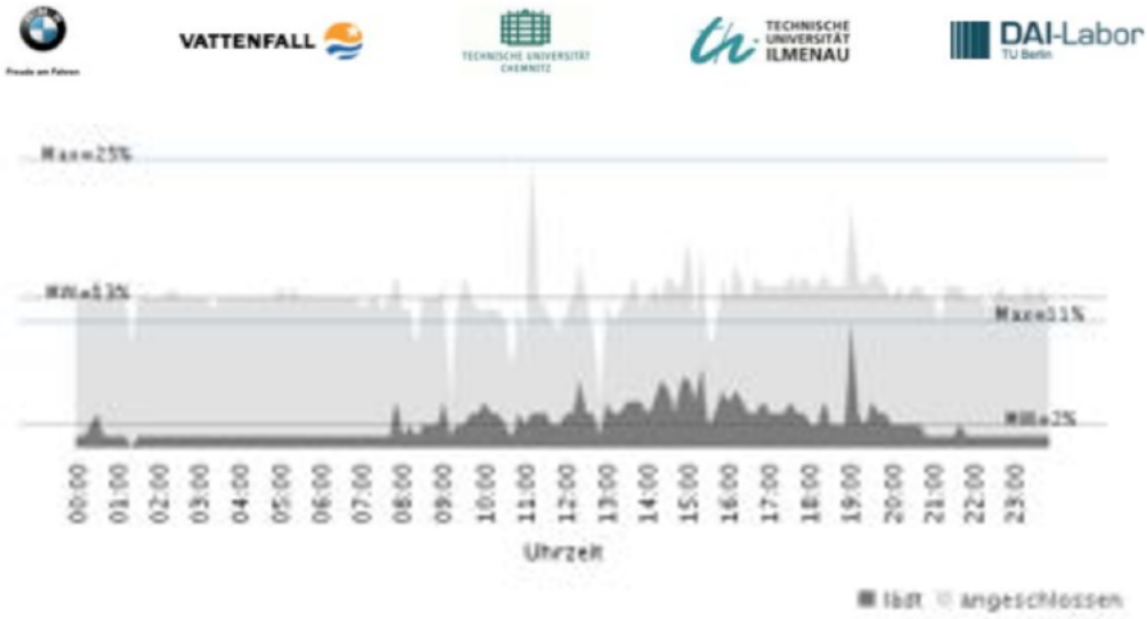


Abbildung 195: Reportbeispiel aus Sicht der Ladeinfrastruktur: Anteil angeschlossener Fahrzeuge

Die Statusmeldungen der Ladesäulen bieten zudem die Möglichkeit, in einer aggregierten Übersicht zu analysieren, an welchen Standorten eine intensive Nutzung stattfand. Der nachfolgende Bericht fasst die Statusmeldungen des definierten Zeitraums je Standort zusammen und gibt zudem die Auslastung der Standorte wider.

Abbildung 196: Reportbeispiel aus Sicht der Ladeinfrastruktur: Status und Auslastung

Downloads

Der Download-Bereich bietet die Möglichkeit, die den Reports zugrundliegenden Rohdaten herunterzuladen und alternativ zu den Standardreports flexible Auswertungen vorzunehmen. Dadurch können bei Bedarf eigene Reports erstellt werden, die sich durch einen neuen Download der Rohdaten einfach aktualsieren lassen. Auch die Rohdaten lassen sich auf Basis der definierten Gruppen und über die Eingabe des Zeitraums filtern.

Aktuell stehen folgende Downloads zur Verfügung:

- Nutzung im Zeitverlauf: Dieser Download beinhaltet alle oben erläuterten Felder in Tabelle 1 mit einem Datensatz je Anschlussvorgang
- Status-Report: Dieser Download umfasst die Datenfelder der Tabelle 2 und enthält im vorgegebenen Zeitraster die Statusmeldungen der entsprechenden Ladeinfrastruktur

Abbildung 197: Downloads – Filterauswahl

4.5 Teilprojekt 5: Probebetrieb

4.5.1 Management Summary

4.5.1.1 Ziele und Aufgaben

Ziel des Teilprojektes 5 war es, das Gesamtsystem bestehend aus Ladeinfrastruktur, E-Fahrzeugen, Ladeassistent und Backendsystemen in einem Probebetrieb zu validieren. Die in den vorangegangen Teilprojekten entwickelten Systeme sollten im Hinblick auf ihre (IT-)technische Funktionsfähigkeit sowie Nutzerfreundlichkeit getestet werden. Auf Basis der im Probebetrieb erhobenen Daten sollte überprüft werden, ob die in TP1 aufgestellten Hypothesen verifiziert werden können und insgesamt die Effizienz des Gesteuerten Ladens gegenüber MINI E Berlin 1.0 gesteigert werden konnte. Der Probebetrieb sollte gleichwohl für einen Piloteinsatz qualifizieren, welcher ab 2012 durchgeführt wird.

Zu diesem Zwecke wurden folgende Aufgaben geplant

1. Gesamtheitliche Planung des Probebetriebs,
2. Durchführung der Systemintegration und End-to-End-Test des Gesamtsystems,
3. Aufbau bzw. Bereitstellung der einzelnen Teilkomponenten des Systems für den Probebetrieb,
4. Erarbeitung von Use Cases (Anwendungsfälle), die im Zuge des Probebetriebs getestet werden sollten,
5. Durchführung und Betreuung des Probebetriebs,
6. Durchführung des V2G-Probebetriebs im Freilandlabor der TUB,
7. Evaluation der Komponenten hinsichtlich der Nutzerakzeptanz.

Das Teilprojekt war unterteilt in folgende Deliverables

- D5.1 „Lagezentrum“
- Aufgabe des Lagezentrums war es, als zentrale Anlauf- und Koordinierungsstelle zu fungieren. Es wurde aufgebaut, um als Ansprechpartner für jegliche Fragen, die sich aus dem Probebetrieb ergeben, zur Verfügung zu stehen und diese an die jeweils zuständigen Partner bzw. Arbeitspakete weiterzuleiten. Eine weitere zentrale Aufgabe war das Zusammentragen sämtlicher Daten und Ergebnisse.

- D5.2 „Systemintegration und End-to-End-Test“
- Ziel des Deliverables war es, nach der schrittweisen Integration der einzelnen Systemkomponenten zu einem Gesamtsystem, die störungsfreie Funktionsweise für den Pilotbetrieb über einen Systemtest und End-to-End-Test sicherzustellen.
- D5.3 „Betrieb Ladeinfrastruktur, Fahrzeuge und Integrationsplattform“
- Ziel des Deliverables war es, dass die jeweils zuständigen Projektpartner dafür Sorge tragen, dass die Ladeinfrastruktur, die Elektrofahrzeuge, der smartphone-basierte Ladeassistent sowie die IT-Umgebung für die reibungslose Durchführung des Probebetriebs zur Verfügung stehen.
- D5.4 „Evaluierung“
- Ziel des Deliverables war, die Ergebnisse des Probebetriebs einer kritischen Bewertung hinsichtlich der Funktionalitäten, der Nutzerakzeptanz sowie dem Vergleich zum Projekt MINI E Berlin 1.0 zu unterziehen. Im Rahmen des Probebetriebes sollte die Akzeptanz des Gesamtsystems bzw. des Zusammenspiels der Teilkomponenten unter noch alltagsnäheren Bedingungen im Feld untersucht werden.

4.5.1.2 Vorgehen und Methode

Das TP5 war direkt abhängig von den anderen Teilprojekten, in denen die Komponenten des Gesamtsystems entwickelt worden sind. Die Deliverables 5.1 unD5.2 und der Aufbau bzw. die Bereitstellung der einzelnen Komponenten innerhalb des D5.3 verliefen weitestgehend parallel. D5.4 (Evaluation) war zeitlich unmittelbar abhängig von den anderen Deliverables und folgte am Schluss.

Die einzelnen Systemkomponenten wurden erfolgreich ausgehend von Teilprojekt 4 sukzessive zu einem Gesamtsystem bestehend aus den Frontend- und Backendkomponenten sowie der zentralen Systemplattform mit all ihren Schnittstellen zusammengefügt. Die Prüfung der softwaretechnischen Umsetzung dieses Funktionsumfanges war Gegenstand des Systemtests. Die IT-Plattformen einschließlich aller uni- und bidirektionalen Schnittstellen, und die Einrichtung aller definierten Clients, Server, Netzwerksysteme, Dienste und Schnittstellen konnten erfolgreich eingerichtet werden.

In der ursprünglichen Planung war der Einsatz von zehn BMW ActiveE-Fahrzeugen im Rahmen des Probebetriebs ab Mai 2011 in Berlin vorgesehen. Aufgrund terminlicher

Verzögerungen, resultierend aus den Herausforderungen der F&E-Aktivitäten hinsichtlich der Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur, kam es zu einer Verschiebung der Zeitplanung des TP5. Daraufhin wurde die inhaltliche Planung des Probebetriebs überarbeitet. Um den Probebetrieb mit der zeitlichen Begrenzung noch durchführen zu können, wurde dieser in zwei Teile aufgeteilt. Dies waren zum einen der technische Probebetrieb in Berlin und zum anderen der Nutzerprobebetrieb am Standort München. Zudem wurden zwei Fahrzeuge in Hamburg zu System- und Integrationstests temporär eingesetzt. In Berlin sollte die Effizienzsteigerung des Gesteuerten Ladens technisch geprüft werden. In München sollte die TU Chemnitz die Nutzerakzeptanz der Teilsysteme testen. Die Verkürzung des Probebetriebs bedingte auch eine Anpassung der zu erprobenden Use Cases. Von Seiten der TU Chemnitz konnte die Datenerhebung für das Deliverable 5.4 in vollem Umfang nur bis Anfang September stattfinden, da die nachgelagerten Arbeitspakete bis zum Projektende fertiggestellt sein mussten.

Nachdem die End-to-End-Tests funktional erfolgreich abgeschlossen wurden, aber jedoch die Stabilität des Gesamtsystems im Dauerbetrieb nicht sichergestellt war, konnte der technische Probebetrieb im Rahmen der Projektlaufzeit nicht mehr stattfinden. Der Nutzerprobebetrieb fand daher im Rahmen des der V2G- Probebetrieb im Freilandlabor der TUB mit zwei umgebauten MINI E-Fahrzeugen statt.

4.5.1.3 Ergebnisse

D5.1 „Lagezentrum“

Die inhaltliche Funktion und die Kommunikationsschnittstellen des Lagezentrums wurden im Konsortium definiert und ausgestaltet, woraufhin das Lagezentrum seinen Betrieb aufnehmen konnte. Ein Entstörungsteam (NSO) wurde geschult und stand bereit. Nachdem die Standorte für die Ladeinfrastruktur abgestimmt waren, erfolgte die Koordinierung zur Planung der Installation.

Aufgrund der technischen Herausforderungen im umzusetzenden Gesamtsystem musste der technische Probebetrieb mehrfach neu geplant werden. Es wurden sehr flexibel immer wieder Anpassung vorgenommen und dafür gesorgt, daß das Lagezentrum die diese im betrieblichen Ablauf berücksichtige. Alle benötigen Funktionen konnten zur Verfügung gestellt werden.

D5.2 „Systemintegration und End-to-End-Test“

Durch den Systemtest konnten die verschiedenen Authentifizierungsvarianten (RFID und PLC), die Steuerung des Ladevorgangs unter Berücksichtigung des öffentlichen Lastmanagement sowie der Windsituation im Netz und die Bereitstellung der Ladedaten für eine Abrechnung erfolgreich bestätigt werden. Es ist somit gelungen, dass im Gegensatz zum MINI E-Projekt, ein Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur, sowie Fahrzeug zu Backend erfolgreich aufgebaut werden konnte. Des Weiteren konnten Probleme der PLC-Kommunikation aufgezeigt und Lösungen umgesetzt werden.

Obwohl die End-to-End-Tests erfolgreich waren, stand innerhalb der Projektlaufzeit, kein stabiles Gesamtsystem für den Probebetrieb zur Verfügung, da bei Dauereinsatz mit Schwachstellen gerechnet werden musste.

D5.3 „Betrieb Ladeinfrastruktur, Fahrzeuge und Integrationsplattform“

Um im zeitlich verkürzten Rahmen von TP5 die Integrationstests als auch die Hypothesenüberprüfung durchführen sowie die Interaktion System-Nutzer untersuchen zu können, wurden die Use Cases und Testszenarien für drei Standorte in Hamburg, Berlin und München definiert. An diesen Standorten wurden Ladeinfrastruktur, Elektrofahrzeuge sowie die Applikationen für den reibungslosen täglichen Betrieb inklusive vorsorgender Wartung und Pflege der Systeme bereitgestellt.

Insgesamt muss die Zielerreichung der einzelnen Arbeitspakete im Deliverable 5.3 sehr unterschiedlich bewertet werden:

- Die Elektrofahrzeuge, die Infrastruktur für die Tests, Funktionen des Gesteuerten Ladens und die Integrationsplattform konnten bereitgestellt werden.
- Der eigentliche technische/operative Probebetrieb konnte nicht mehr im Projektrahmen durchgeführt werden. Die Ursache dafür war die verspätete Bereitstellung der BMW ActiveE-Fahrzeuge und die Fehleranfälligkeit der Soft- und Hardware im Dauerbertrieb. Dadurch verlängerten sich die dem Probebetrieb vorgelagerten Integrations- und Systemtests.
- Die Tests der gesamten Systeme konnten an den Standorten Hamburg, Berlin und München erfolgreich durchgeführt werden.

Davon weitgehend unberührt, konnten die Versuche im Freilandlabor des DAI-Labors an der Technischen Universität Berlin zum Aspekt der Rückspeisefähigkeit Vehicle-to-Grid mit zwei umgebauten MINI E-Fahrzeugen mit Erfolg umgesetzt werden. Hier konnten zusätzlich noch aufschlussreiche Nutzerversuche der Technischen Universität Chemnitz erfolgen (AP 4.5).

D5.4 „Evaluierung“

Da die ursprünglich geplante Evaluierung des W2V-Probebetriebs aufgrund von Verzögerungen im Projektverlauf nicht stattfinden konnte, wurde in Absprache mit dem Fördergeber der V2G-Probebetrieb im Freilandlabor der Technischen Universität Berlin evaluiert.

Bezüglich des W2V-Probebetriebs wurde die Entscheidung unter den Projektpartnern BMW und Vattenfall gefällt, diesen im Anschluss an das geförderten Projekts Gesteuertes Ladens nachzuholen.

Der V2G-Probebetrieb konnte insgesamt erfolgreich evaluiert werden. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Komponenten Ladeassistent und Gesteuertes Laden. Die Möglichkeit, das Gesteuerte Laden über ein Smartphone zu steuern, wurde von allen Studienteilnehmern befürwortet. Bei der Frage, welche Schnittstelle die Teilnehmer zur Koordination des Gesteuerten Ladevorgangs präferieren würden, zogen sie die Smartphone-Applikation gegenüber der Steuerung im Fahrzeug oder an der Ladestation vor. Alle Teilnehmer gaben an, gut mit dem Ladekonzept zurechtgekommen zu sein. Bedenken äußerten die Teilnehmer gegenüber dem Planungsaufwand und den damit verbundenen Problemen, das Gesteuerte Laden in den Alltag zu integrieren. Entsprechend fiel die Bewertung der Zufriedenheit mit dem Ladekonzept nur leicht positiv aus, während die Nützlichkeit von allen Teilnehmern positiv bewertet wurde. Für die Bereitschaft zur Nutzung des Gesteuerten Ladens standen vor allem der finanzielle Vorteil und der Zugriff auf eine private Autostrombox im Vordergrund. Als Anreiz die Bereitschaft zur Nutzung des Gesteuerten Ladens zu erhöhen, wurde neben finanziellen Aspekten v.a. die Übertragung der Verantwortung für die Instandhaltung und Garantie der Batterie zum Stromanbieter genannt.

Die Ergebnisse der Evaluation können als wichtiger Input für die Entwicklung der nächsten Generation eines Ladeassistenten einfließen.

4.5.1.4 Schlussfolgerungen für das Teilprojekt

Es hat sich im Verlauf des Projekts herausgestellt, dass die Zeitplanung für eine derart innovative und komplexe Entwicklung neuer Technologie sehr ambitioniert war. Das war deshalb der Fall, weil es keine Hersteller zum Zeitpunkt der Realisierung gab, die vollumfängliches Know-how besaßen und daher auch keine verfügbaren Produkte liefern konnten. Es zeigt sich, dass die Entwicklung der technischen Systeme eine besonders betreuungsintensive Arbeit für das Projektteam war: Mit den gewählten Lieferanten mussten die Entwicklungen gemeinsam mit den Experten aus dem Projektteam erarbeitet werden. Dadurch konnten die ursprünglichen Zeitplanungen nicht eingehalten werden.

Für zukünftige Entwicklungen auf dem Niveau sollten Zeitpuffer für unvorhersehbare technische Komplikationen während der Entwicklungsphase eingeplant werden. Das ist insbesondere vor dem Hintergrund möglicher oder notwendiger Konzeptänderungen während der Projektlaufzeit zu berücksichtigen.

Trotz der Verzögerungen und den daraus folgenden Konsequenzen, konnten während der internen Tests die Funktionen des Gesteuerten Ladens erfolgreich nachgewiesen werden:

- Die Verhandlungsprozesse zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur konnten realisiert werden. Dadurch konnten im Gegensatz zu den Projekten MINI E die technischen Bedürfnisse der Fahrzeuge, die Restriktionen im Netz und die Nutzerbedürfnisse bei den Ladevorgängen berücksichtigt werden:
- Durch die Berücksichtigung der technischen Bedürfnisse der Fahrzeuge werden im Gesteuerten Laden die Batterien der Fahrzeuge geschont. Das beruht darauf, dass die Stromzufuhr nicht wie in den Projekten MINI E hart - und damit ohne Einfluss der Fahrzeuge - geschaltet wird.
- Im Netz können im Gesteuerten Laden durch die Integration von LLM Überlastungen verhindert werden. Der Ausbau und die Erweiterung einzelne Netzanschlüsse kann damit vermieden werden, womit die Investitionskosten für Flottenbetreiber unter Umständen reduziert und damit die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen erhöht werden kann.
- Der Nutzer hat durch Gesteuertes Laden mehr Einfluss auf die Ladevorgänge und mehr Rückmeldungen (siehe Ladeassistent). Bezogen auf Flottenbetreiber

kann diese zusätzliche Information für den Betrieb in Zukunft genutzt werden. Dadurch kann sich die Akzeptanz bei den Nutzern und Flottenbetreibern erhöhen.

Eine praktische Evaluation mit Nutzern fand zwar nicht im geplanten Umfang statt, bzgl. der der Ergebnisse der Effizienzsteigerung kann hier auf die Ergebnisse der Simulationen in D1.1 verwiesen werden.

4.5.2 Deliverable 5.1: Lagezentrum

4.5.2.1 Management Summary

Aufgabe des Lagezentrums war es, als zentrale Anlauf- und Koordinierungsstelle zu fungieren. Es wurde aufgebaut, um als Ansprechpartner für jegliche Fragen, die sich aus dem Probebetrieb ergeben zur Verfügung zu stehen und diese an die jeweils zuständigen Partner bzw. Arbeitspakete weiterzuleiten. Eine weitere zentrale Aufgabe war das Zusammentragen sämtlicher Daten und Ergebnisse.

Die Schnittstellen des Lagezentrums wurden definiert und ausgestaltet und das Lagezentrum war betriebsbereit. Ein Entstörungsteam (NSO) wurde geschult und stand bereit. Die Standorte für die Ladeinfrastruktur waren abgestimmt und die Koordinierung zur Planung der Installation erfolgte.

Aufgrund der technischen Herausforderungen im umzusetzenden Gesamtsystem musste der technische Probebetrieb immer wieder neu geplant werden und fand innerhalb der Projektlaufzeit letztendlich doch nicht statt. Grund dafür war, dass die technischen Voraussetzungen für die einwandfreie Nutzung des Gesamtsystems nicht gegeben

4.5.2.2 Ziele und Aufgaben

Ziel des Deliverables D5.1 war der Aufbau eines Lagezentrums, welches als zentrale Anlauf- und Koordinierungsstelle fungiert, um Fehler zu beheben und Maßnahmen für die Betriebsoptimierung einzuleiten. Eine weitere, zentrale Aufgabe war die Erhebung und Auswertung der anfallenden Betriebs- und Messdaten.

Im Rahmen von Vattenfalls Green eMobility Programms wurde ein projektübergreifendes Lagezentrum eingerichtet. Das Herzstück war die eMobility IT-Plattform. Die Anforderungen des Projektes GL V2.0 wurden aufgenommen und in die IT-Plattform integriert.

Des Weiteren sollten die Betriebsabläufe des Probebetriebs durch die Planung des Aufbaus der Ladeinfrastruktur und die Bereitstellung einer Entstörungseinheit sichergestellt werden.

Aus dieser Zielsetzung leiteten sich folgende Aufgaben ab.

- Aufbau eines Datensammelpunktes für den Betrieb,
- Datenerhebung für die Evaluierung des Gesteuerten Ladens und Auswertung der Ladedaten,
- Bereitstellung einer Entstörungseinheit,
- Planung des Aufbaus der Ladeinfrastruktur in Hamburg, Berlin und München,
- Planung des Probebetriebes für die Standorte in Berlin und München.

4.5.2.3 Vorgehen / Methodik

Voraussetzung für den sicheren Betriebsablauf ist der Aufbau und Betrieb eines Lagezentrums. Es ist ein Knotenpunkt, bei dem alle betriebsrelevanten Informationen eingehen und für Entscheidungen aufbereitet werden. Entsprechend werden Maßnahmen eingeleitet.

Aufbau eines Datensammelpunktes für den Betrieb

Die zentrale Funktion, um den Betrieb der Ladeinfrastruktur sicherzustellen, ist die Datenzusammenführung der Ladeinfrastruktur-Zustände. Die von der Ladeinfrastruktur generierten Daten, wie Ladedauer, Lademenge, Störungsfall etc. werden per GSM an den Vattenfall-Server geschickt und von Anwendungen der VE IS ausgewertet. Die ausgewerteten Daten stehen dann dem Lagezentrum zur Verfügung. Folgende automatisierte Reports sind über das Lagezentrum abrufbar:

- Reports aus Nutzersicht
    - Stromabsatz und Ladevorgänge je Nutzer
    - Stromabsatz und Ladevorgänge – Gesamt
- Reports aus Sicht der Ladeinfrastruktur
    - Stromabsatz und Ladevorgänge – Gesamt
    - Nutzung nach Tageszeit
    - Status & Auslastung (nach Standort sowie Ladepunkt)

Datenerhebung für die Evaluierung des Gesteuerten Ladens und Auswertung der Ladedaten

Während des Probebetriebs ist eine Auswertung der Ladedaten und eine Evaluierung des lokalen Lastmanagements notwendig, insbesondere unter dem Gesichtspunkt des Gesteuerten Ladens der Fahrzeugbatterien in Abhängigkeit des Windstromangebots (W2V). Die Ladedaten werden durch Messboxen, die ihre Daten an einen Server der TU Ilmenau senden, festgehalten. Am Ende eines Testtages werden diese per Email an den Testfeldverantwortlichen sowie an den Datenkoordinator im Lagezentrum verschickt. Zudem besteht die Möglichkeit, während eines Testvorgangs die Messdaten als dynamische MSExcel-Tabelle durch eine Fernübertragung des Server-Bildschirmes über Skype einzusehen. Die auszuwertenden Ladedaten sind die tatsächlich geladenen Stromwerte in Abhängigkeit der Zeit eines ladenden Fahrzeuges. Diese Messdaten werden als Ist-Ladekurve aufbereitet und mit der präferierten Soll-Ladekurve, die vom Backend berechnet und zur Verfügung gestellt wird, verglichen.

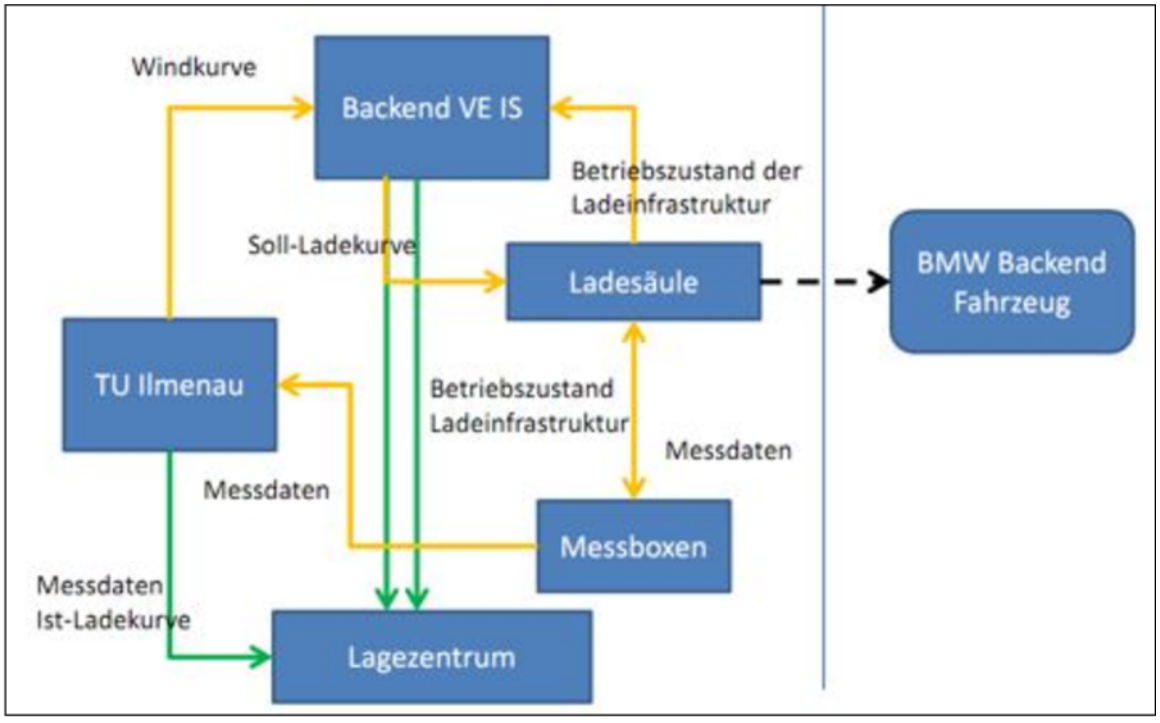


Abbildung 1: Datenschnittstellen des Lagezentrums

Das Lagezentrum sammelt somit die Daten der Betriebszustände der Ladeinfrastruktur sowie die Messdaten für die Evaluierung. Das Lagezentrum bzw. der Testverantwortli-

che erhält die berechnete, präferierte Soll-Ladekurve von der VE IS und vergleicht diese mit der tatsächlichen Ist-Ladekurve der TU Ilmenau (grüne Pfeile). . Als Ergebnis wird eine Korrelation von Windeinspeisung und Ladeleistung dargestellt. So kann überprüft werden, inwieweit die Ladevorgänge tatsächlich in den bevorzugten Zeiträumen stattfinden, mit welcher Stromstärke die Nutzer tatsächlich laden und wie oft das Sofortladen aktiviert wird. Das Sofortladen setzt die Regeln des Gesteuerten Ladens außer Kraft, wenn der Nutzer zu einem bestimmten Zeitpunkt den Ladevorgang beginnen will, um seine Mobilitätsbedürfnisse bzw. geplante Abfahrtszeit garantieren zu können.

Bereitstellung einer Entstörungseinheit

Im Rahmen eines Projektes, in dem die zu erprobende Technik innerhalb kürzester Zeit teilweise zunächst neu entwickelt wird und somit im Erstbetrieb sehr störanfällig sein kann, hat die schnelle und flexible Sicherung der Betriebsabläufe eine zentrale Bedeutung. Ein Entstörungsteam des Vattenfall Europe Netzservice führt bei Bedarf die notwendigen Wartungs- und Reparaturmaßnahmen umgehend aus, was für den Betrieb der Ladeinfrastruktur im Feld notwendig ist. Das Entstörungsteam befand sich in Berlin vor Ort, stand aber darüber hinaus auch zur Verfügung, um per Ferndiagnose oder im Notfall per Anreise die Ladeinfrastruktur des parallel laufenden Probebetriebs in München ebenfalls zu entstören.

Planung des Aufbaus der Ladeinfrastruktur und Planung des Probebetriebs

Die Standorte des Probebetriebs wurden mit den jeweiligen lokalen Testfeldverantwortlichen abgestimmt und die Ladeinfrastruktur für den Aufbau und die Inbetriebnahme eingeplant.

Ursprünglich hatte man den Einsatz von zehn BMW ActiveE im Rahmen eines Probebetriebs ab Juni 2011 in Berlin geplant. Aufgrund terminlicher Verzögerungen, resultierend aus den technischen Herausforderungen der F&E-Aktivitäten der Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur, ist es zu einer Verschiebung der Zeitplanung des Probebetriebs gekommen. Um den Probebetrieb mit der zeitlichen Begrenzung optimal durchführen zu können, wurde der Probebetrieb zwischen dem technischen Probebetrieb in Berlin, wo die Effizienzsteigerung des Gesteuerten Ladens technisch geprüft werden sollte, und dem Nutzerprobebetrieb der TUC, der nunmehr in München stattfinden sollte, aufgeteilt. Es wurden Use Cases / Anwendungsfälle im Arbeitspaket 5.3 für unterschiedliche

Standorte konzipiert und der Probebetrieb an den Standorten Berlin und München geplant.

Von Seiten der TU Chemnitz konnte die Datenerhebung (AP 5.4.2) in vollem Umfang nur bis Anfang September stattfinden, da das nachgelagerte Arbeitspaket 5.4.3 (Auswertung Probebetrieb und Ergebnisbericht) und der Projektabschlussbericht bis Projektende (30. September) fertiggestellt sein mussten. Die Datenerhebung für den Probebetrieb konnte somit nicht über den ursprünglich geplanten Viermonatszeitraum (06/2011 – 09/2011) stattfinden, sondern wurde auf einen halben Monat gekürzt sowie auf nur zwei bis vier Fahrer eingeschränkt.

Ab 01.09.2011 sollten insgesamt 10 BMW ActiveE Fahrzeuge für den Probebetrieb bereit stehen. Ab diesem Zeitpunkt war es den von BMW speziell ausgebildeten Fahrern von Vattenfall gestattet, mit den Fahrzeugen am Straßenverkehr teilzunehmen.

Wochentage	8/9/10/11/12	15/16/17/18/19	22/23/24/25/26	29/30/31/1/2	5/6/7/8/9	12/13/14/15/16	19/20/21...	
Kalenderwoche	KW 32	KW 33	KW 34	KW 35	KW 36	KW 37	KW 38	KW 39
Termine				September				Okt
Fahrzeuganlieferung	2 Fahrzeuge PLC	4 Fahrzeuge PLC	6 Fahrzeuge				Ende der Datenerhebung für den Endbericht	
Einsatzort	1 HH / 1 MUC	1 HH / 3 MUC	5 B / 1 MUC					
Fahrzeug Σ	1 HH / 1 MUC	2 HH / 4 MUC	5 B /2 HH / 5 MUC	7 B / 0 HH /5 MUC	7 B / 0 HH /5 MUC	7 B / 0 HH /5 MUC		
Ansprechpartner BMW	Hr. Brennan	Hr. Brennan	Hr. Brennan	Hr. Gabel	Hr. Gabel	Hr. Gabel		
Ansprechpartner VE	Hr. Schmidtke	Hr. Schmidtke	Hr. Schmidtke	Hr. Gebser	Hr. Gebser	Hr. Gebser		
Ladeinfrastruktur Σ	1 HH / 1 MUC	2 HH / 4 MUC	5 B / 2 HH / 5 MUC	7 B / 2 HH / 5 MUC	7 B / 2 HH / 5 MUC	7 B / 2 HH / 5 MUC		
Tests (E2E* 2-4 Wochen)		End-to-End	End-to-End	End-to-End*	End-to-End*			
Probebetrieb Evaluation		TUC Eval. Plan A	TUC Eval. Plan A	TUC Eval. Plan A?	TUC Eval. Plan A?			
Einsatzort		MUC	MUC	MUC	MUC			
Probebetrieb Technik				VE Probebetrieb	VE Probebetrieb	VE Probebetrieb		Fortsetz.

Abbildung 2: Verzögerte zeitliche Planung des Probebetriebs Nutzertests München

Die Voraussetzung für den Start des Probebetriebs war die Beendigung der End-to-End Tests in Hamburg, Berlin und München, und somit die Erteilung einer Freigabe für die Nutzung der Ladeinfrastruktur und Fahrzeuge durch die VE IS sowie BMW. Die Dauer der End-to-End-Tests hatte man mit 2-4 Wochen kalkuliert. Aufgrund einer verspäteten Lieferung der Testfahrzeuge in Hamburg und Berlin konnte erst am 23.08.2011 mit den End-to-End-Tests begonnen werden. Damit konnten rein rechnerisch von der TU Chemnitz bei einer Testdauer von 4 Wochen keine Anwendungsfälle mehr getestet werden.

Wochentage	22/23/24/25/26	29/30/31/1/2	5/6/7/8/9	12/13/14/15/16	19/20/21/22/23	26/27/28/29/30
Kalenderwoche	KW 34	KW 35	KW 36	KW 37	KW 38	KW 39
Termine		September				Okt
Fahrzeuganlieferung	2 Fahrzeuge PLC			4 Serien + 2 PLC		
Einsatzort	2 HH			6 B	Datenerhebung für den Endbericht	
Ansprechpartner BMW	Hr. Brennan			Hr. Gabel		
Ansprechpartner VE	Hr. Schmidtke			Hr. Gebser		
Tests (E2E* 2-4 Wochen)	End-to-End	End-to-End	End-to-End*	End-to-End*		
Probebetrieb Technik		VE Probebetrieb	VE Probebetrieb	VE Probebetrieb		Fortsetz.

Abbildung 3: Verzögerte zeitliche Planung des technischen Probebetriebs in Berlin

Auch am Standort in Berlin konnte innerhalb der offiziellen Projektlaufzeit bis zum 30.09.2011 der Probebetrieb aufgrund des verlängerten Testzeitraums nicht stattfinden. Die personellen und technischen Strukturen für eine schnelle und flexible Sicherung der Betriebsabläufe waren aber dennoch durch das Lagezentrum und die bei Vattenfall in Berlin bereitgestellten personellen und räumlichen Kapazitäten gegeben.

4.5.2.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.5.2.4.1 Ergebnisse

Die Schnittstellen des Lagezentrums sind definiert und ausgestaltet. Das Lagezentrum ist betriebsbereit. Der Probebetrieb konnte aufgrund der terminlichen Verzögerungen bei der Entwicklung der Ladeinfrastruktur und der Lieferung der Fahrzeuge nicht durchgeführt werden. Somit ist die Akkumulierung von Ladedaten aus dem oben genannten Grund nicht erfolgt. Dadurch konnte eine wissenschaftliche Evaluierung im TP5.4. innerhalb der Projektlaufzeit nicht - wie zu Förderantragsabgabe geplant – vollständig durchgeführt werden.

Die Standorte für die Ladeinfrastruktur wurden abgestimmt und die Koordinierung zur Planung der Installation erfolgte. Die vollständige Inbetriebnahme (inklusive Freigabe durch die VE IS) ist in der offiziellen Projektlaufzeit bis zum 30.09.2011 nicht vollständig umgesetzt worden, da die technischen Voraussetzungen für die einwandfreie Nutzung nicht gegeben waren.

Im Falle einer technischen Störung der Ladeinfrastruktur während des Probebetriebs, stand ein geschultes Entstörungsteam (NSO) zur Verfügung.

4.5.2.4.2 Schlussfolgerungen

Bei innovativen und komplexen Projekten sollte man den Testzeitraum eines abschließenden Probebetriebs flexibler gestalten. Technischen Komplikationen bei der Fahrzeug- und Ladeinfrastrukturentwicklung können außerplanmäßig zu Verzögerungen führen und damit nicht unbedingt präzise einplant werden.

Die beiden Projektpartner BMW AG und Vattenfall Europe Innovation GmbH haben sich auf privatwirtschaftlicher Ebene geeinigt, das die ursprünglich geplanten Inhalte zu realisieren und neue Aspekte zu integrieren.

4.5.3 Deliverable 5.2: Systemintegration und End-to-End-Test

4.5.3.1 Management Summary

Die einzelnen Systemkomponenten wurden ausgehend von Teilprojekt 4 sukzessive zu einem Gesamtsystem zusammengefügt. Dieses Gesamtsystem besteht aus den Frontend- und Backendkomponenten sowie der zentralen Systemplattform mit all ihren Schnittstellen. Es dient zur Realisierung des Funktionsumfangs , der in der Anforderungserhebung in Teilprojekt 1 bis 3 erfasst worden ist. Die Prüfung der Softwaretechnischen Umsetzung dieses Funktionsumfanges ist Gegenstand der System- und Integrationstests. Er beinhaltet alle Prozesse vom ‚Betanken' des Fahrzeugs, über die Optimierung der Netzlast, der Nutzung des Mehrwertdienstes bis hin zu einer Rechnungsstellung.

Die IT-Plattformen einschließlich aller uni- und bidirektionalen Schnittstellen, und die Einrichtung aller definierten Clients, Server, Netzwerksysteme, Dienste und Schnittstellen konnten erfolgreich eingerichtet werden.

Die TU-Ilmenau und Vattenfall richteten frühzeitig die definierten Webservice-Schnittstellen ein. BMW stellte Vattenfall zeitnah ein Software-LIM[42] zur Verfügung, Vattenfall lieferte im gleichen Zeitraum eine Ladesäule an den BMW Entwicklungsstandort in München. Dadurch wurden bereits in früher Phase Modul- und Integrationstests vorgenommen, um den Systemtest zu gewährleisten.

Der Systemtest konnte folgendes Verhalten erfolgreich prüfen:

42 LIM = Ladeinfrastruktur Interface Modul

- Die Authentifizierungsvarianten 1 und 2[43].
- Die Steuerung des Ladevorgangs unter Berücksichtigung des öffentlichen Lastmanagement.
- Die Steuerung des Ladevorgangs unter Berücksichtigung der Windsituation im Netz.
- Die Tankdaten stehen für die Abrechnung zur Verfügung.

Die Integrationstests sind erfolgreich beendet worden. Die Authentifizierungsvariante 3 wird jedoch erst in den nächsten Wochen final getestet werden können.

4.5.3.2 Ziele und Aufgaben

Die einzelnen Systemkomponenten wurden ausgehend von Teilprojekt 4 sukzessive zu einem Gesamtsystem zusammengefügt. Dieses Gesamtsystem besteht dann aus den Frontend- und Backendkomponenten sowie der zentralen Systemplattform mit all ihren Schnittstellen. Es bildet den Funktionsumfang ab, der in der Anforderungserhebung in Teilprojekt 1 bis 3 erfasst worden ist. Die Prüfung der Software-technischen Umsetzung dieses Funktionsumfanges ist Gegenstand des Systemtests. Er beinhaltet alle Prozesse vom ‚Betanken' des Fahrzeugs, über die Optimierung der Netzlast, den Mehrwertdiensten bis hin zu einer Rechnungsstellung.

Um den Systemtest und den nachfolgenden Probebetrieb zu gewährleisten, muss die Betriebsfähigkeit der IT-Plattformen mit klar definierten und funktionsfähigen Anbindungen sichergestellt sein.

Weitere Voraussetzungen für die Überleitung in den Probebetrieb sind:

- Die entwickelten Applikationen der TU Berlin und der TU Ilmenau sollen erfolgreich an die Systemplattform angebunden werden.
- Alle Client-, Frontend-, Server- und Backendservices und Netzstrukturen müssen zur Verwendung im laufenden Betrieb eingerichtet werden.
- Die Funktion aller benötigten Schnittstellen muss sichergestellt sein.
- Eine erfolgreiche Abnahme stellt den Betrieb sicher.

---

43 Die Authentifizierungsvariante 1 sieht eine Authentifizierung des Fahrzeuges gegenüber der Ladesäule über eine PLC-Verbindung vor. Bei der Variante 2 wird zusätzlich mit Hilfe von Verschlüsselungstechnologien geprüft. Bei Variante 3 findet die Authentifizierung nicht zwischen Ladesäule und Fahrzeug statt, sondern zwischen dem BMW Backend und der Vattenfall Integrationsplattform.

Zusammenfassend ist das Ziel des Systemtests, ein abgenommenes und qualitätsgesichertes W2V2G Software-System zu liefern.

4.5.3.3 Vorgehen und Methodik

Die IT-Plattformen einschließlich aller uni- und bidirektionalen Schnittstellen, und die Einrichtung aller definierten Clients, Server, Netzwerksysteme, Dienste und Schnittstellen werden bereitgestellt. Der Client, Server und die Netzstrukturen werden eingerichtet und alle Schnittstellen werden geprüft. Um dieses Ziel zu erreichen, ist der Systemtest in drei Arbeitspakte unterteilt, die im Folgenden beschrieben werden.

AP 5.2.1 Produktionsbereitstellung Infrastruktur Integrationsplattform

Zur Produktionsbereitstellung gehört die finale Bereitstellung der IT-Plattformen einschließlich aller uni- und bidirektionalen Schnittstellen (vgl. TP4). Ebenso müssen alle definierten Clients, Server, Netzwerksysteme, Dienste und Schnittstellen bereitgestellt und eingerichtet werden.

AP 5.2.2 Produktionsübernahme Applikationen für Systemhaus

Für die Produktionsübernahme müssen die Clients, Server und Netzstrukturen entsprechend angepasst und eingerichtet werden. Alle Schnittstellen müssen eingebunden, aktiviert und geprüft werden. Die Wartung/Modifikation für Hardware, Software und Schnittstellen muss gewährleistet werden.

AP 5.2.3 Systemtest

Es werden End-to-End-Tests vom Tankvorgang über die zentrale Systemplattform mit allen Schnittstellen bis hin zur Abrechnung definiert und anschließend vorgenommen. Eine Checkliste/Abnahmeliste mit allen erforderlichen Teiltests (Installation Qualifikation) wird erstellt und dient als Ablaufplan.

Der Systemtest wird durch ein Abnahmeprotokoll bestätigt.

4.5.3.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete vorgestellt.

4.5.3.4.1 Produktionsbereitstellung Infrastruktur Integrationsplattform

Die Infrastruktur der Integrationsplattform inklusive der Softwarekomponenten als auch der Hardwarekomponenten steht zur Verfügung und kann genutzt werden.

Die Integrationsplattform ist auf einer Multi-Systemlandschaft installiert. Für Test und Experimentierzwecke hat jeder Entwickler einen eigenen Applikationsserver, der mit einer Entwickler-Datenbank verbunden ist. Für Integrationstests und Fachbereichsabnahme dient ein Integrationssystem. Dieses System ist von den Hardwarekomponenten, Verzeichnisstrukturen, Netzwerkzugängen und Netzwerkkonfiguration analog zum Produktivsystem aufgebaut. Ladesäulen, die als Testladesäulen benutzt werden, kommunizieren mit dem Integrationssystem. Das Integrationssystem verfügt über eine eigene Datenbank. Das Produktivsystem ist das System mit dem die Ladesäulen im Feld kommunizieren und mit dem Endkunden und Benutzer interagieren. Dieses System verfügt über eine eigene Datenbank und stellt seine Dienste externen Partnern zur Verfügung.

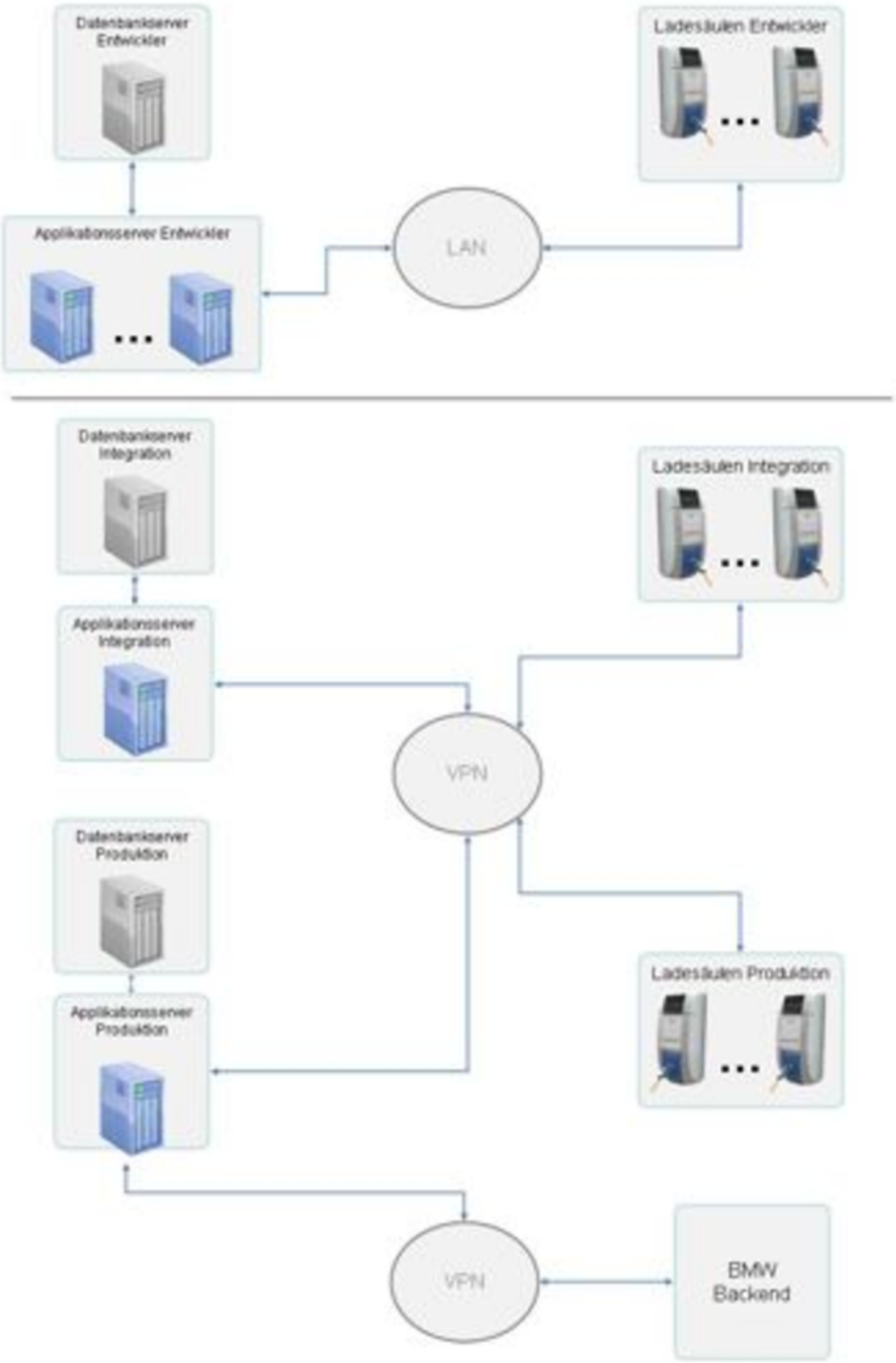


Abbildung 198 Ausschnitt Systemlandschaft Integrationsplattform

Ein Virtual Private Network (VPN) für alle Ladesäulen ist eingerichtet und mit den Integrations- und Produktions-Applikationsservern verbunden. Für die Kommunikation zwischen dem BMW Backend und dem Vattenfall Backend ist ein weiteres VPN eingerichtet worden. Im Vattenfall Backend ist ein Radius-Server eingerichtet, der über VPN mit dem Radius-Server der TU Berlin verbunden ist.

4.5.3.4.2 Produktionsübernahme Applikationen für Systemhaus

Sämtliche Netzstrukturen und Server wurden eingerichtet. Detaillierte Informationen sind in dem Arbeitspaket 5.3.4. zu finden. Sämtliche Schnittstellen, die für das gesteuerte Laden notwendig sind, wurden eingerichtet, dazu zählen die Schnittstellen:

- Fahrzeug - Ladesäulen
  - Alle Schnittstellen des BMW Charge Protokolls (BCP) [44] inklusive der Authentifizierungsvarianten 1 und 2.
- Fahrzeug - BMW-Backend
  - Das Fahrzeug tauscht mit dem BMW Backend Nachrichten aus (Backendnachrichten). Die Verbindung ist unidirektional. Das Fahrzeug initiiert die Verbindung und verarbeitet die Antwort. Die Nachricht wird vom Fahrzeug zur Ladesäule, von der Ladesäule zur Integrationsplattform und von der Integrationsplattform zum BMW Backend gesendet. Die Antwort des BMW Backends wird von der Integrationsplattform zur Ladesäule und von der Ladesäule zurück an das Fahrzeug geleitet.
- Vattenfall Integrationsplattform –TU Ilmenau W2V-Applikation
  - Berechnung der Zielfunktion und des öffentlichen Lastmanagements.
  - Berechnung des Winderfolges.
  - Standardladeprofil für einen abgeschlossenen Ladevorgang.
  - CO_2-Emission für einen abgeschlossenen Ladevorgang.
- Vattenfall Integrationsplattform – BMW-Backend
  - Ladesäuleninformationen
    - Informationen zu den Ladesäulen in Listenform.

44 BCP – BMW Charge Protocol. Das BCP wurde im Projekt für die Fahrzeug-Ladesäulen-Kommunikation definiert.

        - Status eines Ladepunktes.
        - Buchung.
        - Stornierung einer Buchung.
    - Ladevorgangsdienste
        - Anlegen/Anmelden eines Ladevorgangs (relevant für Authentifizierungsvariante 3).
        - Ermitteln der Zielfunktion und der Ladekurve des öffentlichen Lastmanagements.
        - Ermittlung des Winderfolges.
        - Berechnung der Kosten eines Ladevorganges.
        - Überprüfung einer vom Fahrzeug gelieferten Ladekurve gegen die Ladekurve des öffentlichen Lastmanagements.
- Anbindung der Prognosedaten des Übertragungsnetzbetreibers. Diese Daten werden von der Integrationsplattform als WebService zur Verfügung gestellt.
    - Windprognose.
    - Windeinspeisung.
    - Erzeugungsprognose.
    - Erzeugung
    - Regelzonenlast

Die TU Ilmenau richtete frühzeitig die W2V-Schnittstellen auf dem produktiven System ein. Um die Schnittstellen von Vattenfall bereit zu stellen, wurde das Entwicklersystem als ein eigener WebService-Server im Internet aufgebaut. BMW stellte Vattenfall ein Software-LIM zur Verfügung, Vattenfall lieferte eine Ladesäule an den BMW Entwicklungsstandort.

Dadurch wurden bereits in früher Phase Modul- und Integrationstests vorgenommen, um den Systemtest zu gewährleisten.

Verschiedene Daten der TU Berlin und der TU Ilmenau wurden und werden in die Datensenke der Integrationsplattform übernommen und dienen der Auswertung (vgl TP4).

4.5.3.4.3 Systemtest

Die Ladesäulen wurden an mehreren Standorten[45] aufgestellt und konfiguriert. Die Installation und Konfiguration bestand aus folgenden Schritten:

- Funktionscheck Ladesäule
- SIM-Kartenkonfiguration
- Netzwerkkonfiguration
- Ladesäulenverbindung zur Ladeinfrastruktur konfigurieren
- Whitelist erzeugen
- Ladeinfrastrukturkonfiguration
- Vattenfall-Software (Mediator) auf der Ladesäule installieren und konfigurieren

Der Testaufbau des Systemtests in Hamburg bestand aus zwei Fahrzeugen mit je einer Ladesäule.

Abbildung 199 Testaufbau Systemtest in Hamburg

Es wurden verschiedene Tests vorgenommen, die - nach entsprechenden Nachbesserungen - letztendlich erfolgreich abgeschlossen wurden.

Im Folgenden werden die Tests im Einzelnen beschrieben.

45 Berlin, Hamburg und München

MODE3-Laden (keine BCP-Authentifizierung[46])

Dieser Test prüft, ob das Fahrzeug einen Ladevorgang im MOD3-Modus startet, obwohl keine Möglichkeit besteht, an der Ladesäule eine BCP-Authentifizierung durchzuführen.

Um diesen Test durchzuführen, müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:

- Es darf keine Möglichkeit zur BCP-Authentifizierung vorhanden sein.
- Der Timeout zum gesteuerten Laden muss abgelaufen sein.

Erwartetes Ergebnis: Das Fahrzeug startet einen Ladevorgang im MOD3, nachdem keine BCP-Authentifizierung möglich war.

BCP-Authentifizierung zwischen EV und Ladesäule (inkl. DHCP-Option 250)

Dieser Test prüft, ob das Fahrzeug sich gemäß BMW Charge Protocol erfolgreich an der Ladesäule authentifizieren kann.

Erwartetes Ergebnis: Das Fahrzeug hat sich erfolgreich gemäß BMW Charge Protocol an der Ladesäule authentifiziert.

MODE3-Laden (keine Backendnachrichten[47])

Dieser Test prüft, ob das Fahrzeug einen Ladevorgang startet, obwohl keine Möglichkeit zum gesteuerten Laden besteht. Das bedeutet in diesem Fall, dass die Ladesäule keine Verbindung zum Vattenfall Backend hat.

Um diesen Test durchzuführen, müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:

- Das Fahrzeug soll sich gemäß BCP an der Ladesäule authentifizieren können.
- BCP-Backendnachrichten des Fahrzeugs dürfen von der Ladesäule nicht beantwortet werden.
- Der Timeout zum gesteuerten Laden muss abgelaufen sein.

Erwartetes Ergebnis: Das Fahrzeug startet einen Mode3-Ladevorgang, nachdem BCP-Backendnachrichten nicht beantwortet wurden.

BCP-Backendnachrichten (Heartbeats)

---

46 Die BCP-Authentifizierung ist der Teil des BMW Charge Protokolls, der die Authentifizierung behandelt.

47 Die BCP-Backendnachrichten sind die Nachrichten, die vom Fahrzeug über die Ladesäule und das Vattenfall-Backend an das BMW-Backend überreicht werden.

Dieser Test prüft, ob das Fahrzeug BCP-Backendnachrichten (Heartbeats) versendet und von der Ladesäule entsprechende Antworten erhält und verarbeitet.

Um diesen Test durchzuführen, muss die Anforderung erfüllt sein, dass das Fahrzeug sich an der Ladesäule gemäß BMW Charge Protocol authentifizieren kann.

Erwartetes Ergebnis: Das Fahrzeug versendet BCP-Backendnachrichten und verarbeitet die Antworten der Ladesäule. Es dürfen keinerlei Fehler in den Antworten der Ladesäule auftreten und es sollten keine Timeouts vorkommen.

BCP-Backendnachrichten (Zielfunktion und LLM[48]-Kurve)

Dieser Test prüft, ob das Fahrzeug BCP-Backendnachrichten (Status) versendet und von der Ladesäule entsprechende Antworten erhält und verarbeitet. Innerhalb dieses Prozesses erfragt das BMW-Backend die Zielfunktion sowie die LLM-Kurve vom Vattenfall-Backend und berechnet eine Ladekurve.

Um diesen Test durchzuführen, muss die Anforderung erfüllt sein, dass das Fahrzeug sich an der Ladesäule gemäß BMW Charge Protocol anmelden kann.

Erwartetes Ergebnis: Das Fahrzeug versendet BCP-Backendnachrichten und verarbeitet die Antworten der Ladesäule. Es dürfen keinerlei Fehler in den Antworten der Ladesäule auftreten und es sollten keine Timeouts vorkommen. Zusätzlich sollen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Das BMW-Backend muss für das Fahrzeug eine Zielfunktion im Vattenfall-Backend abfragen.
- Das BMW-Backend muss für das Fahrzeug eine LLM-Kurve im Vattenfall-Backend abfragen.
- Das BMW-Backend berechnet für das Fahrzeug eine Ladekurve und diese Ladekurve muss durch das Vattenfall-Backend freigegeben sowie gespeichert werden.

LLM Clustering[49]

---

48 LLM – Lokales Lastmanagement

49 Cluster bzw. Clustering bezeichnet in der Informationstechnologie eine Menge von Objekten mit ähnlichen Eigenschaften. In diesem Abschnitt bedeutet Clustering, dass Ladesäulen unter einem fachlichen Aspekt gruppiert werden und sich die Gruppierung der Fachlichkeit entsprechend verhält. LLM-Cluster: Ladesäulen, die als Gruppe das lokale Lastmanagement berücksichtigen, PLC-Cluster, Ladesäulen, die gruppiert sind, um den Kommunikationsaufbau eines Fahrzeuges an einem Ladepunkt ohne PLC-Übersprechen zu gewährleisten.

Dieser Test prüft, ob mehrere Fahrzeuge in einem LLM-Cluster die insgesamt zulässige Stromstärke überschreiten.

Um diesen Test durchzuführen, muss die Anforderung erfüllt sein, dass die zulässige Stromstärke im LLM-Cluster so konfiguriert wird, dass der Testaufbau berücksichtigt wird. Erwartetes Ergebnis: Der zuletzt gestartete Ladevorgang wird vom Vattenfall-Backend verweigert, weil nicht genügend Strom im LLM-Cluster verfügbar ist.

PLC Clustering: Gleichzeitige Authentifizierung mit mehreren RFID-Karten (Time-out)

Dieser Test prüft, ob ein PLC-Cluster nach der Authentifizierung mit einer RFID-Karte an einer Ladesäule für weitere Authentifizierungen an anderen Säulen bis zum Ablauf des Timeouts gesperrt ist.

Erwartetes Ergebnis: So lange ein PLC-Cluster gesperrt ist, muss die Authentifizierung an weiteren Ladesäulen mit einer entsprechenden Meldung verweigert werden. Nach Aufhebung der Sperre muss die Authentifizierung allen Säulen wieder möglich sein.[50]

PLC Clustering: Gleichzeitige Authentifizierung mit mehreren RFID-Karten (Ladekabel)

Dieser Test prüft, ob ein PLC-Cluster nach der Authentifizierung mit einer RFID-Karte an einer Ladesäule für weitere Authentifizierungen an anderen Säulen bis zum Einstecken des Ladekabels gesperrt ist.

Erwartetes Ergebnis: Ein PLC-Cluster ist so nach einer Authentifizierung gesperrt, bis das Ladekabel an einer Säule gesteckt wird. Solange ein PLC-Cluster noch gesperrt ist, muss die Authentifizierung an anderen Säulen mit einer entsprechenden Meldung verweigert werden. Nach Aufhebung der Sperre muss dann die Authentifizierung an allen anderen Säulen wieder möglich sein.

PLC Clustering: Reaktion des Fahrzeuges bei gesperrtem PLC-Cluster

---

50 Während des Kommunikationsaufbaus weist der DHCP-Server der Ladesäule beiden Kommunikationspartnern – Fahrzeug und Ladepunkt - jeweils eine eindeutige Netzwerkadresse zu. Zu diesem Zeitpunkt darf kein anderes Fahrzeug mit der Ladesäule kommunizieren, damit die Zuordnung der Netzwerkadressen eindeutig ist. Nachdem die Netzwerkadressen zugewiesen wurden, können Fahrzeug und Ladepunkt Nachrichten austauschen und die Sperrung des PCL-Clusters kann aufgehoben werden.

In einem PLC-Cluster wird geprüft, wie das Fahrzeug reagiert, wenn das Ladekabel an einer Ladesäule angeschlossen wird, bei der die Authentifizierung mit RFID-Karte aufgrund eines gesperrten PLC-Clusters verweigert wurde.

Erwartetes Ergebnis: So lange das Cluster gesperrt ist, beginnt das Auto keinerlei Kommunikation mit der Ladesäule. Erst nachdem die Cluster-Sperre aufgehoben ist, versucht das EV eine Authentifizierung gemäß BCP.

4.5.3.4.4 Abschließende Bewertung

Der Systemtest konnte erfolgreich die Authentifizierungsvarianten PLC und RFID testen, ebenso wurde erfolgreich geprüft, dass das Gesteuerte Laden das öffentliche Lastmanagement und die Windprognose erfolgreich berücksichtigt. Mit den erfolgreich abgeschlossenen Tests konnte geprüft werden, dass die Ladedaten für die Abrechnung im Backend erfolgreich gespeichert und für die weitere Verwendung zur Verfügung stehen.

Der Systemtest konnte nicht vollständig abgeschlossen werden, da die Authentifizierungsvariante über GSM nicht getestet wurde. Diese wurde aufgrund der technischen Herausforderungen bereits im Projektablauf in Abstimmung mit den Konsortialpartnern zurückgestellt. Die Integrationstests sind erfolgreich beendet worden.

4.5.4 Deliverable 5.3: Betrieb Ladeinfrastruktur, Fahrzeuge und Integrationsplattform

4.5.4.1 Management Summary

Um im Rahmen des verkürzten Probebetriebs sowohl Integrationstests als auch Hypothesenüberprüfung sowie die Interaktion System-Nutzer untersuchen zu können, wurden die Versuche im Probebetrieb für die drei Standorte Hamburg, Berlin und München geplant. An diesen Standorten wurde Ladeinfrastruktur, Fahrzeuge sowie die Applikationen für den reibungslosen täglichen Betrieb inklusive vorsorgender Wartung und Pflege der Systeme bereitgestellt.

Die Anwendungsfälle im Probebetrieb, mit denen die Forschungsfragen beantwortet werden sollten, wurden definiert. Die Versuche mit Nutzerinteraktion wurden von der TU Chemnitz in München durchgeführt. Aufgrund verspäteter Auslieferung der Fahrzeuge sowie der Komplexität der Integrations- und Systemtests konnte ein technischer Probebetrieb, wie er für Berlin geplant war, nicht mehr stattfinden.

Die Bereitschaft des Lagezentrums als leitende, koordinierende und integrierende Steuerstelle wurde organisiert. Hier wurde auch eine Datenbank realisiert, in der anfallende Betriebsdaten gesammelt und zur Auswertung vorliegen. Informations- und Prozessabläufe zur Störbeseitigung sind definiert und eingerichtet.

Insgesamt muss die Zielerreichung für die einzelnen Arbeitspakete im Deliverable 5.3 als sehr unterschiedlich bewertet werden:

Die Elektrofahrzeuge, der Ladeinfrastruktur, der Funktionalitäten des Gesteuerten Ladens und der IT-Integrationsplattform wurden bereitgestellt., Aufgrund der verspäteten Bereitstellung der Fahrzeuge und der Fehleranfälligkeit der Soft- und Hardware und der dadurch bedingten Verlängerung der dem Probebetrieb vorgelagerten Integrations- und Systemtests, konnte der eigentliche technische Probebetrieb nicht mehr durchgeführt werden. Davon weitgehend unberührt konnten die Versuche im Freilandlabor des DAI-Labor an der Technischen Universität Berlin zum Aspekt der Rückspeisefähigkeit Vehicle-to-Grid umgesetzt werden und hier erfolgten zusätzlich noch einzelne Nutzerversuche der TU Chemnitz.

Im Probebetrieb werden technische Versuche mit energiewirtschaftlichem Hintergrund unternommen. Dabei soll geprüft werden, wie gut sich Elektrofahrzeuge der neusten technischen Generation eignen, um Schwankungen in der Erzeugungsleistung auszugleichen. In einer ersten Stufe des Lastmanagements für ein Smart Grid wird erwartet, dass der Nutzer die Möglichkeit bekommt, den Ladezeitraum sowie die aufzunehmende Leistung in Abhängigkeit vom Angebotspreis zu bestimmen. Eine Preisbildung zu Beginn des Ladevorgangs ist denkbar, abhängig von Vorhersagen über das Energieangebot und die Nachfrage der nächsten Stunden. Hierbei handelt es sich aus Verbrauchersicht um ein semi-statisches Lastmanagement mit einer zeitlichen Dynamik im Stundenbereich. Im Unterschied hierzu wird unter dynamischem Lastmanagement die Möglichkeit verstanden, während des Ladevorgangs dynamisch die Ladeleistung dem aktuellen Leistungsangebot z.B. von regenerativen Energien anzupassen. Im Probebetrieb beschränkte sich das Lastmanagement im Rahmen des Gesteuerten Ladens lediglich auf die erste Ausbaustufe. Die einzelnen Testfälle, welche auch als „Use Cases“ bezeichnet werden, sollten erprobt werden. Jeder Projektpartner (BMW, Vattenfall, TU Chemnitz, TU Ilmenau und TU Berlin) hat hierfür Testfälle vorgeschlagen.

4.5.4.2 Ziele und Aufgaben

Um einen Probebetrieb durchführen zu können, ist die Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur, IT-Applikationen und Fahrzeugen im täglichen Betrieb sicherzustellen. Aufgaben sind neben der physischen Vorbereitung des Versuchsfeldes (Aufbau der Ladeboxen, Anlieferung der Testfahrzeuge, Aufbau einer Energie- und Funkversorgung) auch die vorsorgende Wartung und Pflege der Systeme und die organisatorische Sicherstellung schlanker Prozessabläufe zur schnellen Beseitigung möglicher Fehlfunktionen oder Störungen. Die Funktionsfähigkeit der beteiligten Soft- und Hardwarekomponenten muss gewährleistet sein. Neben der Absicherung des Betriebes (Systemadministration) beinhalteten die Arbeiten auch die im Rahmen der Erprobung notwendigen Problemanalysen und Korrekturen im Gesamtsystem. Eventuelle Änderungen an Einzelkomponenten erfolgten im Rahmen der entsprechenden Arbeitspakete.
Ziel des vom DAI-Labor der TU Berlin eingerichteten Freilandlabors war ein Test der Funktionalität der entwickelten V2G-Systeme zur Energierückspeisung der Fahrzeuge ins Netz, sowie der softwareseitigen Unterstützung des Nutzers beim gesteuerten Laden. Dies beinhaltete die Planung und Umplanung von Routen sowie von Lade-, Rückspeise- und Parkvorgängen auf Basis des Nutzerkalenders und des erwarteten Ladestandes des Fahrzeuges. Zusätzlich sollte die Möglichkeit einer spontanen Beeinflussung der automatischen Ladeplanung erprobt werden. Weiterhin war es ein Ziel die in D1.3 technisch entwickelten Systeme zur Realisierung des gesteuerten Ladevorgangs (V2G-fähige Fahrzeuge, ausgestattete Ladeinfrastruktur, Backend) sowie zur Authentifizierung gegenüber dem Fahrzeug und der Ladesäule (AAA-Backend) zu erproben.
Im Probebetrieb wurden die D1.4 konzipierten Messungen des Niederspannungsnetzes „Lichtenrade“ durchgeführt. Ziel der Messung war die Verifikation der in der Simulation getroffenen Annahmen zur Vorbelastung des Netzes ohne Verwendung von Elektromobilität. Desweiteren sollten für die OLM Anwendung in D1.4 echte Belastungswerte der öffentlichen Netzinfrastruktur verwendet werden.

Um den Probebetrieb durchführen zu können waren folgende Aufgaben notwendig, deren Umsetzung auf Basis der Arbeitspakte beschrieben wird:

- Erarbeitung von Testszenarien
- Ausrüstung der drei Versuchsstandorte Hamburg, München und Berlin mit für das gesteuerte, intelligente Laden geeigneter Infrastruktur (AP 5.3.2 Betrieb La-

desystem, Vattenfall).Hier wurden Ladeboxen von dem Lieferanten 3 mit HomeplugAV-PLC-Modems und mit 16A/3 Phasen eingesetzt.

- Bereitstellung und Betreuung der BMW ActiveE Fahrzeuge (AP 5.3.3 Betrieb Fahrzeuge, BMW).
- Gewährleistung der Verfügbarkeit der gesamten eingebundenen IT-Systeme zu der zentralen Systemplattform und deren Schnittstellen (AP 5.3.4 Betrieb Integrationsplattform (Applikationsmanagement), Vattenfall).
- Bereitstellung von RFID-Ladekarten (von VE Sales, Typ MiFARE classic) zur Authentifizierung für die Ladefreigabe für einen Authentisierungsfall.
- Bereitstellung der 24h Prognose der Wind-2-Vehicle-Zielfunktion für Gesteuertes Laden zum Beladen von Fahrzeugen nach dem W2V- und V2G-Prinzip und Pflege der hierfür notwendige Hard- und Software Architektur (AP 5.3.5 Wartung und Systempflege W2V, TU Ilmenau).
- Gewährleistung des laufenden Betriebs der Ladestationen, der Fahrzeuge sowie des dezentralen V2G-Softwaresystems im Freilandlabor (AP 5.3.6 -5.38,TU Berlin). Zusätzlich wurden auch Ressourcen zur Unterstützung bei der Analyse von Abweichungen der Beobachtungen während des Probebetriebs von den erwarteten Ergebnissen zur Verfügung gestellt.

4.5.4.3 Vorgehen, Methodik

AP 5.3.1 Erarbeitung und Auswahl der Anwendungsfälle

Das AP 5.3.1 Erarbeitung und Auswahl der Anwendungsfälle für den Probebetrieb wurde durch BMW verantwortet.

Zur Beantwortung der im vorliegenden Projekt gestellten Forschungsfragen in Bezug auf Mehrwertdienste sowie Ladekonzepte waren in der geplanten Erprobungsphase des Projektes die entsprechenden Voraussetzungen für eine saubere empirische Beobachtung zu schaffen. Zunächst erfolgte eine Spezifikation der fahrzeugseitigen Anforderungen für die Datengenerierung während der Erprobungsphase. Hieraus resultierte die Erarbeitung und Auswahl der geplanten Anwendungsfälle.

Die Projektpartner definierten die im Probebetrieb zu untersuchenden Anwendungsfälle. In Abbildung 200 sind diese als Liste (Auszug) dargestellt. Hierbei sind technische, fahrerbezogene und Fälle (die speziell im Freilandlabor des DAI untersucht werden sollten)

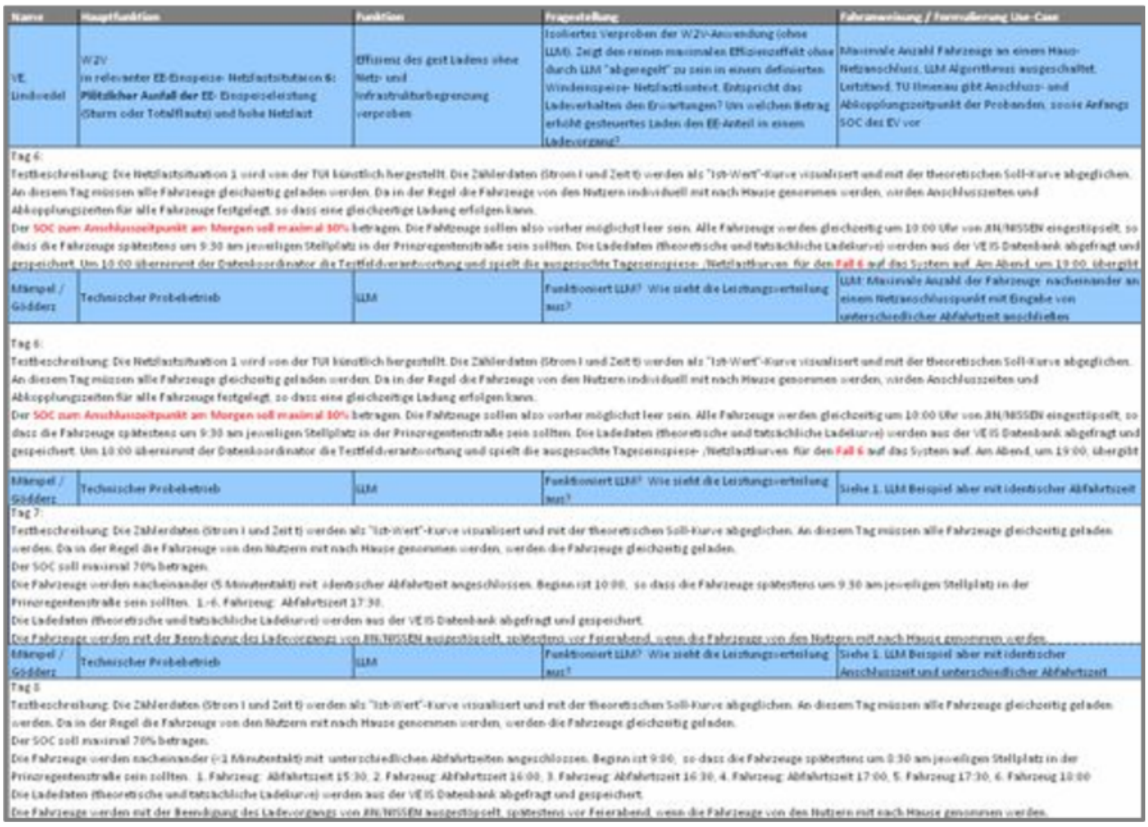
unterschieden, da unterschiedliche Akteure betroffen waren.

Name	Hauptfunktion	Funktion	Fragestellung	Fahrzuweisung / Formulierung Use-Case
VE Lindwedel	WZV in relevanter EE-Einspeise- Netzfallsituation &: **Plötzlicher Ausfall der EE**- Einspeiseleistung (Sturm oder Totalflaute) und hohe Netzlast	Effizienz des gest Ladens ohne Netz- und Infrastrukturbegrenzung verproben	Isoliertes Verproben der WZV-Anwendung (ohne LLM). Zeigt den reinen maximalen Effizienzeffekt ohne durch LLM "abgeregelt" zu sein in einem definierten Windeinspeise- Netzfallkontext. Entspricht das Ladeverhalten den Erwartungen? Um welchen Betrag erhöht gesteuertes Laden den EE-Anteil in einem Ladevorgang?	Maximale Anzahl Fahrzeuge an einem Haus-Netzanschluss, LLM Algorithmus ausgeschaltet. Leitstand TU Ilmenau gibt Anschluss- und Abkoppfungszeitpunkt der Probanden, sowie Anfangs SOC des EV vor
Tag 6: Testbeschreibung: Die Netzfallsituation 1 wird von der TUI künstlich hergestellt. Die Zählerdaten (Strom I und Zeit t) werden als "Ist-Wert"-Kurve visualisert und mit der theoretischen Soll-Kurve abgeglichen. An diesem Tag müssen alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Da in der Regel die Fahrzeuge von den Nutzern individuell mit nach Hause genommen werden, werden Anschlusszeiten und Abkopplungszeiten für alle Fahrzeuge festgelegt, so dass eine gleichzeitige Ladung erfolgen kann. Der SOC zum Anschlusszeitpunkt am Morgen soll maximal 30% betragen. Die Fahrzeuge sollen also vorher möglichst leer sein. Alle Fahrzeuge werden gleichzeitig um 10:00 Uhr von JEN/NISSEN eingestöpselt, so dass die Fahrzeuge spätestens um 9:30 am jeweiligen Stellplatz in der Prinzregentenstraße sein sollten. Die Ladedaten (theoretische und tatsächliche Ladekurve) werden aus der VE IS Datenbank abgefragt und gespeichert. Um 10:00 übernimmt der Datenkoordinator die Testfeldverantwortung und spielt die ausgesuchte Tageseinspeise- /Netzlastkurven für den Fall 6 auf das System auf. Am Abend, um 19:00, übergibt				
Mäenpel / Gödderz	Technischer Probebetrieb	LLM	Funktioniert LLM? Wie sieht die Leistungsverteilung aus?	LLM: Maximale Anzahl der Fahrzeuge nacheinander an einem Netzanschlusspunkt mit Eingabe von unterschiedlicher Abfahrtszeit möglichen
Tag 6: Testbeschreibung: Die Netzfallsituation 1 wird von der TUI künstlich hergestellt. Die Zählerdaten (Strom I und Zeit t) werden als "Ist-Wert"-Kurve visualisert und mit der theoretischen Soll-Kurve abgeglichen. An diesem Tag müssen alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Da in der Regel die Fahrzeuge von den Nutzern individuell mit nach Hause genommen werden, werden Anschlusszeiten und Abkopplungszeiten für alle Fahrzeuge festgelegt, so dass eine gleichzeitige Ladung erfolgen kann. Der SOC zum Anschlusszeitpunkt am Morgen soll maximal 30% betragen. Die Fahrzeuge sollen also vorher möglichst leer sein. Alle Fahrzeuge werden gleichzeitig um 10:00 Uhr von JEN/NISSEN eingestöpselt, so dass die Fahrzeuge spätestens um 9:30 am jeweiligen Stellplatz in der Prinzregentenstraße sein sollten. Die Ladedaten (theoretische und tatsächliche Ladekurve) werden aus der VE IS Datenbank abgefragt und gespeichert. Um 10:00 übernimmt der Datenkoordinator die Testfeldverantwortung und spielt die ausgesuchte Tageseinspeise- /Netzlastkurven für den Fall 6 auf das System auf. Am Abend, um 19:00, übergibt				
Mäenpel / Gödderz	Technischer Probebetrieb	LLM	Funktioniert LLM? Wie sieht die Leistungsverteilung aus?	Siehe 1. LLM Beispiel aber mit identischer Abfahrtszeit
Tag 7: Testbeschreibung: Die Zählerdaten (Strom I und Zeit t) werden als "Ist-Wert"-Kurve visualisert und mit der theoretischen Soll-Kurve abgeglichen. An diesem Tag müssen alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Da in der Regel die Fahrzeuge von den Nutzern mit nach Hause genommen werden, werden die Fahrzeuge gleichzeitig geladen. Der SOC soll maximal 70% betragen. Die Fahrzeuge werden nacheinander (5 Minutentakt) mit identischer Abfahrtzeit angeschlossen. Beginn ist 10:00, so dass die Fahrzeuge spätestens um 9:30 am jeweiligen Stellplatz in der Prinzregentenstraße sein sollten. 1.-6. Fahrzeug: Abfahrtszeit 17:30. Die Ladedaten (theoretische und tatsächliche Ladekurve) werden aus der VE IS Datenbank abgefragt und gespeichert. Die Fahrzeuge werden mit der Beendigung des Ladevorgangs von JEN/NISSEN ausgestöpselt, spätestens vor Feierabend, wenn die Fahrzeuge von den Nutzern mit nach Hause genommen werden.				
Mäenpel / Gödderz	Technischer Probebetrieb	LLM	Funktioniert LLM? Wie sieht die Leistungsverteilung aus?	Siehe 1. LLM Beispiel aber mit identischer Anschlusszeit und unterschiedlicher Abfahrtszeit
Tag 8: Testbeschreibung: Die Zählerdaten (Strom I und Zeit t) werden als "Ist-Wert"-Kurve visualisert und mit der theoretischen Soll-Kurve abgeglichen. An diesem Tag müssen alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Da in der Regel die Fahrzeuge von den Nutzern mit nach Hause genommen werden, werden die Fahrzeuge gleichzeitig geladen. Der SOC soll maximal 70% betragen. Die Fahrzeuge werden nacheinander (=1 Minutentakt) mit unterschiedlichen Abfahrtszeiten angeschlossen. Beginn ist 9:00, so dass die Fahrzeuge spätestens um 8:30 am jeweiligen Stellplatz in der Prinzregentenstraße sein sollten. 1. Fahrzeug: Abfahrtszeit 15:30, 2. Fahrzeug: Abfahrtszeit 16:00, 3. Fahrzeug: Abfahrtszeit 16:30, 4. Fahrzeug: Abfahrtszeit 17:00, 5. Fahrzeug 17:30, 6. Fahrzeug 18:00 Die Ladedaten (theoretische und tatsächliche Ladekurve) werden aus der VE IS Datenbank abgefragt und gespeichert. Die Fahrzeuge werden mit der Beendigung des Ladevorgangs von JEN/NISSEN ausgestöpselt, spätestens vor Feierabend, wenn die Fahrzeuge von den Nutzern mit nach Hause genommen werden.				

Abbildung **201** gibt einen Auszug der technischen Fälle des Probebetriebs wieder.

Nr.	Name	Hauptfunktion	Funktion	Fragestellung	Fahrzuweisung / Formulierung Use-Case	Signalisierungsfokus						
16	TUC	Ladesäule	Ladevorgang überprüfen	Erkennt der Nutzer im welchem Modus sich das angesteckte Fahrzeug befindet?	Überprüfen Ladevorgang Anwendung: Der Nutzer überprüft, in welchem Modus (gesteuertes laden, Volt) sich das angesteckte Fahrzeug befindet und überprüft den Batterieladezustand.	x		x		1		
18	Keil	Ladeassistent	Windprognose	Wird die Windprognose dazu genutzt, die Abfahrtszeiten zu modifizieren?	Der Proband soll seine Abfahrtszeiten anhand der Windprognose der nächsten 24h einstellen und so weit möglich auf das Windpotential anpassen?	x		x		1 (?)		
21	Keil	Ladeassistent	Wegbeschreibung Ladesäule	Lassen sich die Nutzer zu den Ladesäulen routen?	Zur Nutzung einer öffentlichen Ladesäule soll der Proband die Wegbeschreibung in der Detailansicht der Ladesäulen	x		x		1 (?)		
22	Keil	Ladeassistent	Optimierung der Standardabfahrtszeiten	Wird das Anzeigen von Optimierungsvorschlägen akzeptiert und als sinnvoll erachtet?	Der Proband soll einen Optimierungsvorschlag für seine Standardabfahrtszeiten annehmen und bewerten, ob diese seinem Verhalten besser entspricht.	x		x		1 (?)		

Abbildung 200: Auszug aus der Use Case Liste für den Probebetrieb



Name	Hauptfunktion	Funktion	Fragestellung	Fahranweisung / Fernsteuerung Use Case
VE Lindwedel	WZV in relevanter EE-Einspeise- Netzlastsituation &: **Plötzlicher Ausfall der EE**- Einspeiseleistung (Sturm oder Totalflaute) und hohe Netzlast	Effizienz des gest Ladens ohne Netz- und Infrastrukturbegrenzung verproben	Isoliertes Verproben der WZV-Anwendung (ohne LLM). Zeigt den reinen maximalen Effizienzeffekt ohne durch LLM "abgeregelt" zu sein in einem definierten Windenspeise- Netzlastkontext. Entspricht das Ladeverhalten den Erwartungen? Um welchen Betrag erhöht gesteuertes Laden den EE-Anteil in einem Ladevorgang?	Maximale Anzahl Fahrzeuge an einem Haus-Netzanschluss. LLM Algorithmus ausgeschaltet. Leitstand, TU Ilmenau gibt Anschluss- und Abkopplungszeitpunkt der Probanden, sowie Anfangs SOC des EV vor
Tag 4: Testbeschreibung: Die Netzlastsituation 1 wird von der TUI künstlich hergestellt. Die Zählerdaten (Strom I und Zeit t) werden als "Ist-Wert"-Kurve visualisert und mit der theoretischen Soll-Kurve abgeglichen. An diesem Tag müssen alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Da in der Regel die Fahrzeuge von den Nutzern individuell mit nach Hause genommen werden, werden Anschlusszeiten und Abkopplungszeiten für alle Fahrzeuge festgelegt, so dass eine gleichzeitige Ladung erfolgen kann. Der SOC zum Anschlusszeitpunkt am Morgen soll maximal 80% betragen. Die Fahrzeuge sollen also vorher möglichst leer sein. Alle Fahrzeuge werden gleichzeitig um 10:00 Uhr von JEN/NISSEN eingestöpselt, so dass die Fahrzeuge spätestens um 9:30 am jeweiligen Stellplatz in der Prinzregentenstraße sein sollten. Die Ladedaten (theoretische und tatsächliche Ladekurve) werden aus der VE IS Datenbank abgefragt und gespeichert. Um 10:00 übernimmt der Datenkoordinator die Testfeldverantwortung und spielt die ausgesuchte Tageszeitspeise- /Netzlastkurven für den Fall 4 auf das System auf. Am Abend, um 19:00, übergibt				
Mäenpel / Gödderz	Technischer Probebetrieb	LLM	Funktioniert LLM? Wie sieht die Leistungsverteilung aus?	LLM: Maximale Anzahl der Fahrzeuge nacheinander an einem Netzanschlusspunkt mit Eingabe von unterschiedlicher Abfahrtzeit anschließen
Tag 6: Testbeschreibung: Die Netzlastsituation 1 wird von der TUI künstlich hergestellt. Die Zählerdaten (Strom I und Zeit t) werden als "Ist-Wert"-Kurve visualisert und mit der theoretischen Soll-Kurve abgeglichen. An diesem Tag müssen alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Da in der Regel die Fahrzeuge von den Nutzern individuell mit nach Hause genommen werden, werden Anschlusszeiten und Abkopplungszeiten für alle Fahrzeuge festgelegt, so dass eine gleichzeitige Ladung erfolgen kann. Der SOC zum Anschlusszeitpunkt am Morgen soll maximal 80% betragen. Die Fahrzeuge sollen also vorher möglichst leer sein. Alle Fahrzeuge werden gleichzeitig um 10:00 Uhr von JEN/NISSEN eingestöpselt, so dass die Fahrzeuge spätestens um 9:30 am jeweiligen Stellplatz in der Prinzregentenstraße sein sollten. Die Ladedaten (theoretische und tatsächliche Ladekurve) werden aus der VE IS Datenbank abgefragt und gespeichert. Um 10:00 übernimmt der Datenkoordinator die Testfeldverantwortung und spielt die ausgesuchte Tageszeitspeise- /Netzlastkurven für den Fall 6 auf das System auf. Am Abend, um 19:00, übergibt				
Mäenpel / Gödderz	Technischer Probebetrieb	LLM	Funktioniert LLM? Wie sieht die Leistungsverteilung aus?	Siehe 1. LLM Beispiel aber mit identischer Abfahrtzeit
Tag 7: Testbeschreibung: Die Zählerdaten (Strom I und Zeit t) werden als "Ist-Wert"-Kurve visualisert und mit der theoretischen Soll-Kurve abgeglichen. An diesem Tag müssen alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Da in der Regel die Fahrzeuge von den Nutzern mit nach Hause genommen werden, werden die Fahrzeuge gleichzeitig geladen. Der SOC soll maximal 70% betragen. Die Fahrzeuge werden nacheinander (5 Minutentakt) mit identischer Abfahrtzeit angeschlossen. Beginn ist 10:00, so dass die Fahrzeuge spätestens um 9:30 am jeweiligen Stellplatz in der Prinzregentenstraße sein sollten. 1.-6. Fahrzeug: Abfahrtszeit 17:30. Die Ladedaten (theoretische und tatsächliche Ladekurve) werden aus der VE IS Datenbank abgefragt und gespeichert. Die Fahrzeuge werden mit der Beendigung des Ladevorgangs von JEN/NISSEN ausgestöpselt, spätestens vor Feierabend, wenn die Fahrzeuge von den Nutzern mit nach Hause genommen werden.				
Mäenpel / Gödderz	Technischer Probebetrieb	LLM	Funktioniert LLM? Wie sieht die Leistungsverteilung aus?	Siehe 1. LLM Beispiel aber mit identischer Anschlusszeit und unterschiedlicher Abfahrtzeit
Tag 8: Testbeschreibung: Die Zählerdaten (Strom I und Zeit t) werden als "Ist-Wert"-Kurve visualisert und mit der theoretischen Soll-Kurve abgeglichen. An diesem Tag müssen alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Da in der Regel die Fahrzeuge von den Nutzern mit nach Hause genommen werden, werden die Fahrzeuge gleichzeitig geladen. Der SOC soll maximal 70% betragen. Die Fahrzeuge werden nacheinander (~1 Minutentakt) mit unterschiedlichen Abfahrtzeiten angeschlossen. Beginn ist 9:00, so dass die Fahrzeuge spätestens um 8:30 am jeweiligen Stellplatz in der Prinzregentenstraße sein sollten. 1. Fahrzeug: Abfahrtszeit 15:30, 2. Fahrzeug: Abfahrtszeit 16:00, 3. Fahrzeug: Abfahrtszeit 16:30, 4. Fahrzeug: Abfahrtszeit 17:00, 5. Fahrzeug 17:30, 6. Fahrzeug 18:00 Die Ladedaten (theoretische und tatsächliche Ladekurve) werden aus der VE IS Datenbank abgefragt und gespeichert. Die Fahrzeuge werden mit der Beendigung des Ladevorgangs von JEN/NISSEN ausgestöpselt, spätestens vor Feierabend, wenn die Fahrzeuge von den Nutzern mit nach Hause genommen werden.				

Abbildung 201: Auszug technische Use Cases erweiterter Probebetrieb

AP 5.3.2 Aufbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur

An den verschiedenen Standorten wurde eine Ladeinfrastruktur für die Versorgung der Elektrofahrzeuge gemäß den Vorgaben aus dem Lade-Backend aufgebaut. In Hamburg wurde dabei auf die bereits für die Integrations- und Systemtests errichtete Ladeinfrastruktur zurückgegriffen. Die technischen Fälle der Use Cases sollten bei Vattenfall in Berlin untersucht werden.

a) Vorbereitung des Testfeldes Prinzregentenstraße

Im Weiteren wird näher auf die Vorbereitung des Testfelds in der Prinzregentenstraße in Berlin eingegangen. Die nachfolgende

Abbildung 202 zeigt das Testfeld in der Prinzregentenstraße.

Abbildung 202: Testfeld Prinzregentenstraße in Berlin mit verschiedenen Elektrofahrzeugen

In der Prinzregentenstraße wurden sechs Ladeplätze eingerichtet, an denen die von Lieferanten 3 nach Spezifikation von Vattenfall hergestellten Ladeboxen angeschlossen wurden. Diese Ladeboxen sind sowohl in der Lage, über GSM-Funk (Global System for Mobile communication) als auch über PLC (Power Line Communication) mit dem Fahrzeug zu kommunizieren. Der Versuchsaufbau bestand aus einer als Master konfigurierten Box und fünf als Slaves konfigurierten Boxen. Der Master steuert die Slaves und stellt die Verbindung zum Lade-Backend her. Der Master ist somit auf der Infrastrukturseite intelligent gestaltet, während die Slaves nur „Erfüllungsgehilfen“ sind und die Anweisungen vom Master erhalten.

Der Master greift auf die Vattenfall Integrationsplattform (Server-Umgebung, Backend) zu. Hier ist die aktuelle Liste der berechtigten Nutzer für die Authentifizierungsabfrage hinterlegt und von hier wird auch die verhandelte Ladekurve abgefragt. Die Abbildung 203 stellt die Schritte zwischen Anstecken des Fahrzeuges und Ladebeginn dar.

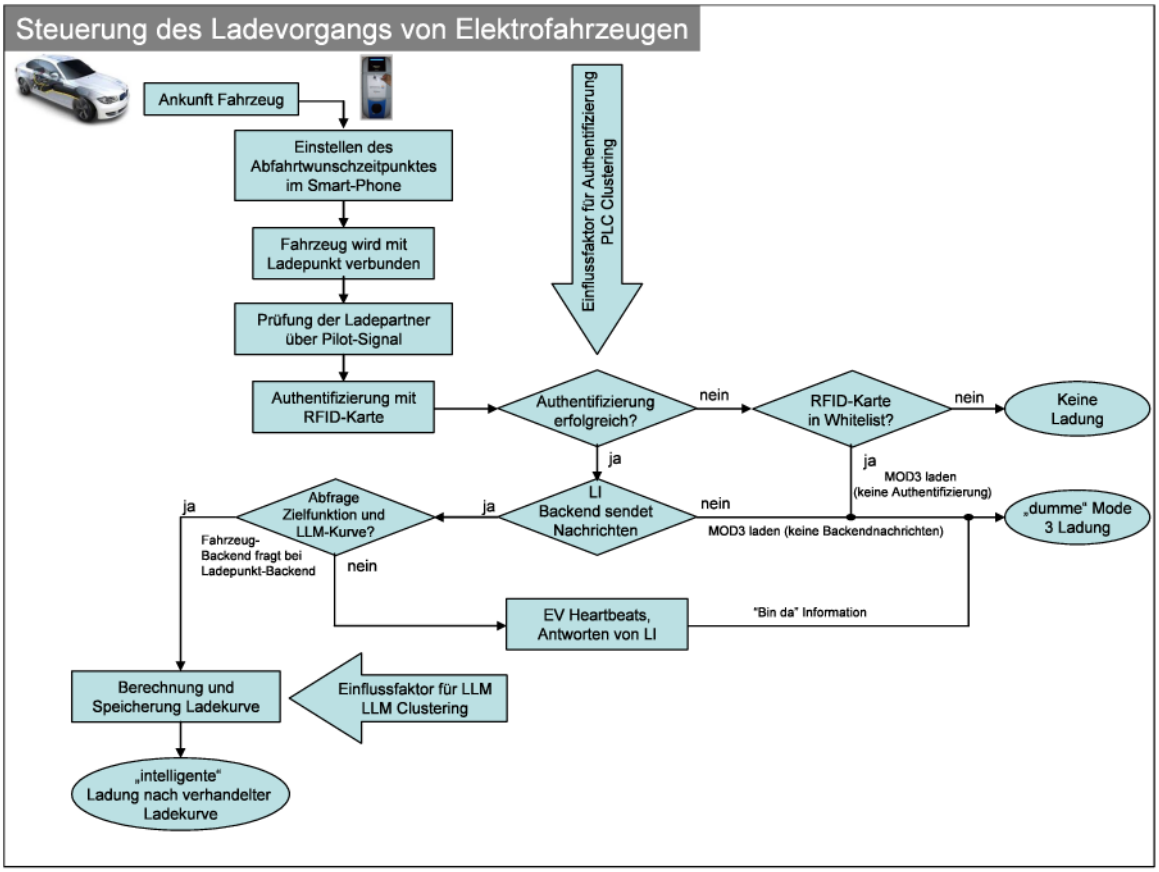


Abbildung 203: Ladevorgangsvarianten im Mode 3

Beim Gesteuerten Laden kann der Nutzer/Fahrer über den Ladeassistenten (Applikation auf Smart Phone) seine geplante Abfahrtzeit an das Fahrzeug (Backend) übermitteln. Unter Berücksichtigung der sich ergebenden Zeitspanne und weiterer Werte des Fahrzeugbatteriemanagements errechnet das Fahrzeug-Backend eine Ladekurve, die vom Infrastruktur-Backend geprüft und als Steuerungsgröße (Sollwertkurve für gesamte Ladung) an die Ladebox gegeben wird. Während des Ladevorgangs zeichnet das Lade-Backend die „Ist-Wertkurve“ auf Basis der vorgegebenen Steuerdaten auf (Zeitwerte).
Um die beim intelligenten Laden zwischen Backend des Fahrzeugs und Backend der Ladeinfrastruktur ausgehandelte Ladekurve je Fahrzeug überprüfen zu können, wurde in jeden Versorgungsstrang ein Messgerät eingebaut, welches im 10 Sekunden Takt Strom, Spannung und Leistung gemessen hat (reale Ist-Wertkurve). Eine weitere Messbox ermittelte die gesamte Leistung, die in die Versuchsanordnung zum Gesteuerten Laden eingespeist wurde. Da an der Energieversorgung (Hausanschluss) ebenfalls die Versorgung des Vito E-CELL von Daimler aus dem EMKEP-Projekt angeschlossen war, wurde diese durch eine weitere Messbox erfasst. Die Ladedaten wurden von den Messboxen an einen Server bei der TUI gesendet, dort gespeichert und am Ende eines Testtages per Email an den Testfeldverantwortlichen sowie an den Datenkoordinator im Lagezentrum verschickt. Die Grafik in Abbildung 204 zeigt den prinzipiellen Versuchsaufbau zur Prüfung der definierten technischen Anwendungsfälle.

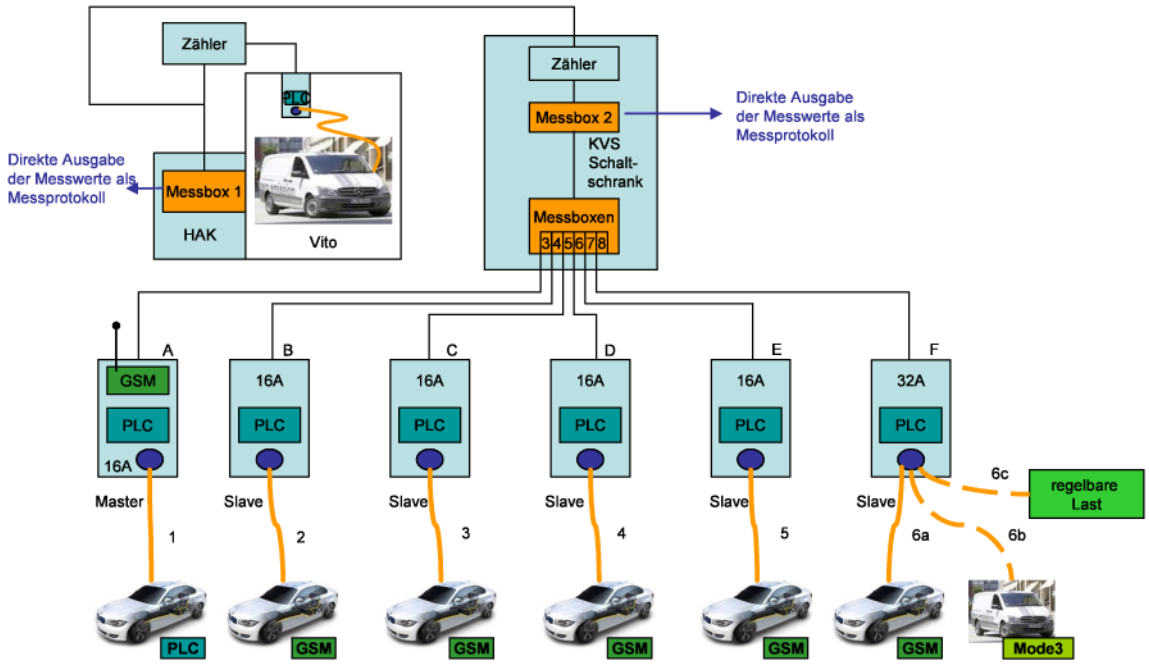


Abbildung 204: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus technischer Probebetrieb

Je nach Testanforderung konnten Fahrzeuge nur an den Ladestations-Master, nur an einen Slave, oder auch sowohl an Master und einen oder mehrere Slaves angeschlossen werden. Aufgrund der zeitlichen Verzögerungen der vorangestellten Integrations- und Systemtests konnte schlussendlich kein Probebetrieb mehr erfolgen. Im Testfeld wurden aber unterstützende Arbeiten für die Systemtests durchgeführt und zur Prüfung der Hard- und Software durchgeführt. In letzterem Fall wurden zur Simulation des Fahrzeuges Prüfboxen der Firmen Walther und Mennekes eingesetzt, sowie für die Auslesung der Software der Boxen Linux-Rechner.
Der Status der Ladeinfrastruktur an den Teststandorten konnte über das Vattenfall E-Mobility-Portal jederzeit kontrolliert werden, da sich die Ladeboxen im 10 Minuten Intervall dort melden.

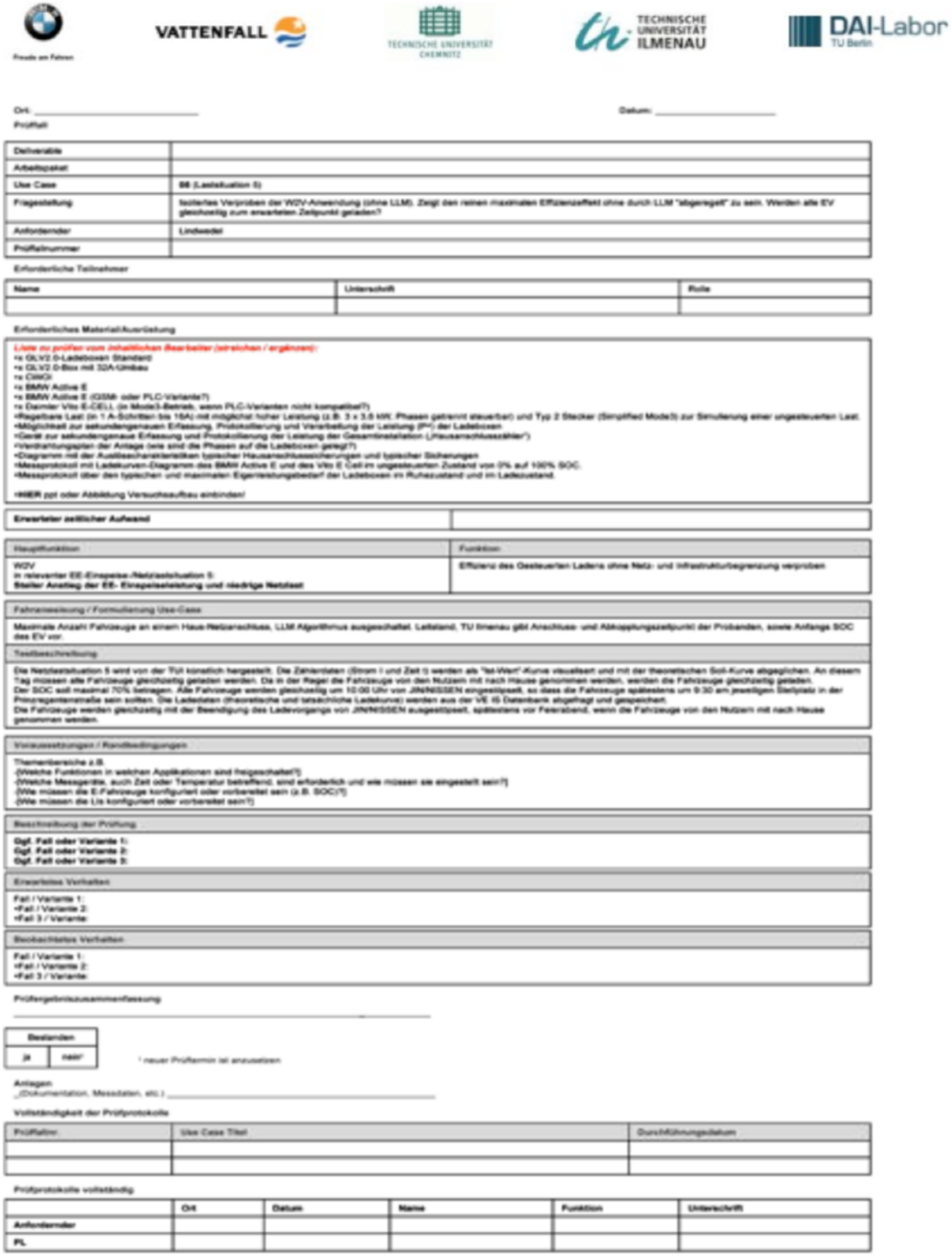
b) Rollenverteilung für den Probebetrieb

Die Anforderungen, aufgeteilt nach Nutzer, Elektrofahrzeug, Ladeinfrastruktur, Netz und Vertrieb, wurden vom Anfordernden auf Basis eines Prüfprotokolls detailliert beschrieben (siehe Abbildung 205), sodass die Versuchsdurchführenden hieraus die Versuchsablaufschritte und die Ergebnisermittlung ableiten konnten. Im Folgenden sind die Rollen im Probebetrieb beschrieben. Eine Person kann mehrere Rollen haben und eine Rolle kann auf mehrere Personen verteilt werden:

- Use Cases werden von „Anforderern“ vorgeschlagen und inhaltlich geplant (was wird getestet und wie wird es getestet). Die Anforderer interpretieren die Testergebnisse und verarbeiten sie im Endbericht.
- Der „Datenkoordinator“ stellt die datentechnischen Voraussetzungen hinsichtlich Art, Umfang und Übertragung der gemessenen und induzierten Zeitreihen sicher. Er stellt die kritischen, historischen Windeinspeise- und Netzlastkurven als Zeitreihen bereit und speist diese am Tage des Probefalls in das Gesamtsystem mit angeschlossenen Fahrzeugen ein. Dazu stimmt sich der Datenkoordinator mit dem Testplaner ab.
- Die Testfälle werden vom „Testplaner“ verantwortlich organisiert und in eine zeitliche Reihenfolge gebracht. Dazu erstellt der Testplaner eine Versuchs-Zeitplanung. Der Testplaner nimmt die Personaleinsatzplanung vor bzw. stimmt die Einsatzplanung mit den Personalverantwortlichen der Vattenfall-Facheinheiten ab.

- Der „Testfeldverantwortliche“ sorgt für die korrekte Installation der Ladehardware und der Messgeräte und prüft die korrekte Funktion der Installation zu Beginn des Probebetriebs. Er ist Ansprechpartner für Änderungen an der Installation.
- Die „Tester“ führen die Tests auf Grundlage von schriftlichen Prüfanweisungen durch. Sie prüfen die Messgeräte und die Ladehardware bei Testbeginn auf Funktion (Sichtprüfung, einfache Funktionsprüfung), notieren Umgebungsbedingungen (Wetter, Temperatur), schreiben Testergebnisse auf, lesen Messdaten aus den Messgeräten aus und prüfen die Messergebnisse grob auf Plausibilität. Nach Abschluss eines Tests stellen die Tester die Ergebnisse zusammen und senden sie dem Auswerter.
- Der „Auswerter“ wertet die Testergebnisse inhaltlich aus, bereitet die Daten auf (z.B. in Form von Diagrammen) und schickt die Analyseergebnisse zur Interpretation und weiteren Verwendung an die Anforderer.
- Die „Fahrer“ bewegen die Fahrzeuge und bringen die Fahrzeuge mit dem im Testplan festgelegten Batterieladestand und zum festgelegten Zeitpunkt (oder früher) zum Teststand.

Die technischen Voraussetzungen für Aufnahme der Daten werden vom Datenkoordinator hergestellt. Die Auswertungen erfolgen durch den Auswerter. Inhaltliche Vorgaben, wie z.B. Grenzwerte oder die Definition von KPI erfolgen durch den Anforderer vorab.



Ort: _____ Datum: _____

Prüffall

Deliverable	
Arbeitspaket	
Use Case	08 (Lastsituation 5)
Fragestellung	Isoliertes Verproben der WZV-Anwendung (ohne LLM). Zeigt den reinen maximalen Effizienzeffekt ohne durch LLM "abgeregelt" zu sein. Werden alle EV gleichzeitig zum erwarteten Zeitpunkt geladen?
Anfordernder	Lindwedel
Prüflaufnummer	

Erforderliche Teilnehmer

Name	Unterschrift	Rolle

Erforderliches Material/Ausrüstung

Liste zu prüfen vom inhaltlichen Bearbeiter (ankreuzen / ergänzen):
+x GLV2.0-Ladeboxen Standard
+x GLV2.0-Box mit 32A-Umbau
+x CWOI
+x BMW Active E
+x BMW Active E (GSM- oder PLC-Variante?)
+x Daimler Vito E-CELL (in Mode3-Betrieb, wenn PLC-Varianten nicht kompatibel?)
+Regelbare Last (in 1 A-Schritten bis 16A) mit möglichst hoher Leistung (z.B. 3 x 3,6 kW, Phasen getrennt steuerbar) und Typ 2 Stecker (Simplified Mode3) zur Simulierung einer ungesteuerten Last.
+Möglichkeit zur sekundengenauen Erfassung, Protokollierung und Weiterleitung der Leistung (P+/-) der Ladeboxen
+Gerät zur sekundengenaue Erfassung und Protokollierung der Leistung der Gesamtinstallation (Hausanschlusszähler?)
+Verdrahtungsplan der Anlage (wie sind die Phasen auf die Ladeboxen gelegt?)
+Diagramm mit der Auslösecharakteristiken typischer Hausanschlusssicherungen und typischer Sicherungen
+Messprotokoll mit Ladekurven-Diagramm des BMW Active E und des Vito E Cell im ungesteuerten Zustand von 0% auf 100% SOC.
+Messprotokoll über den typischen und maximalen Eigenverbrauchsbedarf der Ladeboxen im Ruhezustand und im Ladezustand.

+HIER ppt oder Abbildung Versuchsaufbau einbinden!

Erwarteter zeitlicher Aufwand	

Hauptfunktion	Funktion
WZV in relevanter EE-Einspeise-/Netzlastsituation 5: **Steiler Anstieg der EE- Einspeiseleistung und niedrige Netzlast**	Effizienz des Gesteuerten Ladens ohne Netz- und Infrastrukturbegrenzung verproben

Fahranweisung / Formulierung Use-Case

Maximale Anzahl Fahrzeuge an einem Haus-Netzanschluss, LLM Algorithmus ausgeschaltet, Leitstand, TU Ilmenau gibt Anschluss- und Abkopplungszeitpunkt der Probanden, sowie Anfangs SOC des EV vor.

Testbeschreibung

Die Netzlastsituation 5 wird von der TUI künstlich hergestellt. Die Zählerdaten (Strom I und Zeit t) werden als "Ist-Wert"-Kurve visualisiert und mit der theoretischen Soll-Kurve abgeglichen. An diesem Tag müssen alle Fahrzeuge gleichzeitig getaten werden. Da in der Regel die Fahrzeuge von den Nutzern mit nach Hause genommen werden, werden die Fahrzeuge gleichzeitig geladen.
Der SOC soll maximal 70% betragen. Alle Fahrzeuge werden gleichzeitig um 10:00 Uhr von JINNISSEN eingestöpselt, so dass die Fahrzeuge spätestens um 9:30 am jeweiligen Stellplatz in der Prinzipalsterstraße sein sollten. Die Ladedaten (theoretische und tatsächliche Ladekurve) werden aus der VE IS Datenbank abgefragt und gespeichert.
Die Fahrzeuge werden gleichzeitig mit der Beendigung des Ladevorgangs von JINNISSEN ausgestöpselt, spätestens vor Feierabend, wenn die Fahrzeuge von den Nutzern mit nach Hause genommen werden.

Voraussetzungen / Randbedingungen

Themenbereiche z.B.
-(Welche Funktionen in welchen Applikationen sind freigeschaltet?)
-(Welche Messgeräte, auch Zeit oder Temperatur betreffend, sind erforderlich und wie müssen sie eingestellt sein?)
-(Wie müssen die E-Fahrzeuge konfiguriert oder vorbereitet sein (z.B. SOC)?)
-(Wie müssen die Lis konfiguriert oder vorbereitet sein?)

Beschreibung der Prüfung

Ggf. Fall oder Variante 1:
Ggf. Fall oder Variante 2:
Ggf. Fall oder Variante 3:

Erwartetes Verhalten

Fall / Variante 1:
+Fall / Variante 2:
+Fall 3 / Variante:

Beobachtetes Verhalten

Fall / Variante 1:
+Fall / Variante 2:
+Fall 3 / Variante:

Prüfergebnisszusammenfassung

_____

Bestanden	
ja	nein*

* neuer Prüftermin ist anzusetzen

Anlagen
_(Dokumentation, Messdaten, etc.) _____

Vollständigkeit der Prüfprotokolle

Prüflaufnr.	Use Case Titel	Durchführungsdatum

Prüfprotokolle vollständig

	Ort	Datum	Name	Funktion	Unterschrift
Anfordernder					
PL					

Abbildung 205: Beispiel eines Prüfprotokolls für die Versuche im Gesteuerten Laden

c) Zu prüfende technische Use Cases

Es war geplant dass für einige Probe-Use Cases sollte die Windeinspeise- und Netzlast-situation nachgebildet werden. Dazu wären interessante historische Einspeise- und

Lastverläufe als Zeitreihen aus dem Jahr 2010 herangezogen und auf das Gesamtsystem mit angeschlossenen, ladenden Fahrzeugen gespielt worden. Auf diese Art hätte man die realen Verhältnisse für die ausgesuchten sechs Fälle nachgebildet und die Reaktion des Gesamtsystems gemessen. Die geplanten sechs zu untersuchenden Fälle waren:

- Starklast – Starkwind,
- Starklast – Schwachwind,
- Schwachlast – Starkwind,
- Schwachlast – Schwachwind,
- Plötzlich Flaute,
- Plötzlich Wind.

Die nachfolgende Tabelle stellt die einzelnen geplanten Testfälle in Kurzform dar.

Testfall	Einhaltung von Sollwertkurve durch das Fahrzeug
Beschreibung	Die ungesteuerte Ladekurve des Versuchsfahrzeugs soll ermittelt werden. Randbedingung: Niedrige EE-Einspeiseleistung und hohe Netzlast
Erwartetes Ergebnis	Es wird eine höchstwahrscheinlich rechteckförmige Ladekurve ermittelt.
Testfall	Wie reagiert die Ladeinfrastruktur bei Abbruch der W2V-Ladung durch Sofortladung?
Beschreibung	Während eines gesteuerten Ladevorgangs wird vom Nutzer die Sofortladung eingeleitet. Randbedingung: Niedrige EE-Einspeiseleistung und hohe Netzlast
Erwartetes Ergebnis	Sofortladung hat Vorrang vor gesteuertem Laden, d.h. falls aktuell kein Laden stattfand, beginnt der Ladevorgang unmittelbar und läuft bis zur Vollladung bzw. zum Abstecken des Fahrzeugs. Falls das Fahrzeug geladen wurde, wird die Ladung unterbrechungsfrei fortgesetzt bis zur Vollladung bzw. zum Abstecken des Fahrzeugs.
Testfall	Wie reagiert die Ladeinfrastruktur, wenn nacheinander 6 Fahrzeuge angeschlossen werden und alle auf „Sofortladen“ gehen?
Beschreibung	Fahrzeuge werden nacheinander mit geringem zeitlichem Versatz (Minutenbereich) angeschlossen und über die Sofortladefunktion wird

	ein unmittelbarer Ladebeginn erzwungen. Randbedingung: Hohe EE-Einspeiseleistung und niedrige Netzlast
Erwartetes Ergebnis	Das lokale Lastmanagement erlaubt das Anschließen und Laden von Fahrzeugen bis zur Belastungsgrenze des Anschlusses. Darüber hinaus werden die Fahrzeuge bereits bei der Authentifizierung abgewiesen.
Testfall	Funktioniert LLM? Wie sieht die Leistungsverteilung aus?
Beschreibung	Die maximale Anzahl der Fahrzeuge werden zu unterschiedlichen Anschlusszeiten an einem Netzanschlusspunkt mit Eingabe von identischer Abfahrtszeit angeschlossen. Randbedingung: Hohe EE-Einspeiseleistung und niedrige Netzlast
Erwartetes Ergebnis	Fahrzeuge, die angeschlossen werden, nachdem die max. Anschlusspunktbelastung erreicht wurde, werden abgewiesen. Fahrzeuge deren gesteuerte Ladung erst noch beginnen würde, werden nicht geladen, wenn die max. Anschlusspunktbelastung erreicht ist.
Testfall	Funktioniert LLM? Wie sieht die Leistungsverteilung aus?
Beschreibung	Die maximale Anzahl der Fahrzeuge werden zu unterschiedlichen Anschlusszeiten an einem Netzanschlusspunkt mit Eingabe von identischer Abfahrtszeit angeschlossen. Randbedingung: Niedrige EE-Einspeiseleistung und hohe Netzlast
Erwartetes Ergebnis	Fahrzeuge, die angeschlossen werden, nachdem die max. Anschlusspunktbelastung erreicht wurde, werden abgewiesen. Fahrzeuge deren gesteuerte Ladung erst noch beginnen würde, werden nicht geladen, wenn die max. Anschlusspunktbelastung erreicht ist.
Testfall	Gibt es eine Effizienzsteigerung des Gesteuerten Ladens gegenüber MINI E 1.0?
Beschreibung	Isoliertes Erproben der W2V-Anwendung (ohne LLM). Randbedingung: Steiler Anstieg der EE-Einspeiseleistung und niedrige Netzlast.
Erwartetes Ergebnis	Es gibt eine Effizienzsteigerung. System signalisiert mehr zur Verfügung stehende Energie, sodass am Anschlusspunkt mehr Fahrzeuge geladen werden können.
Testfall	Gibt es eine Effizienzsteigerung des Gesteuerten Ladens gegenüber

	MINI E 1.0?
Beschreibung	Isoliertes Erproben der W2V-Anwendung (ohne LLM). Randbedingung: Plötzlicher Ausfall der EE-Einspeiseleistung (Sturm oder Totalflaute) und hohe Netzlast.
Erwartetes Ergebnis	Es gibt vermutlich keine Effizienzsteigerung. Das System signalisiert einen Abfall der bereitstehenden Energie, sodass zu erwarten ist, dass der gesamte Anschlusspunkt aufgrund der Netzüberlastung ausfällt und alle angeschlossenen Fahrzeuge nicht mehr geladen werden.
Testfall	Gibt es eine Effizienzsteigerung des Gesteuerten Ladens gegenüber MINI E 1.0?
Beschreibung	Isoliertes Erproben der W2V-Anwendung (ohne LLM). Randbedingung: Niedrige EE-Einspeiseleistung und hohe Netzlast
Erwartetes Ergebnis	Es gibt eine Effizienzsteigerung, da am Anschlusspunkt kein Fahrzeug angenommen wird, da nicht genug Energie für die Fahrzeugladung zur Verfügung steht. Zusätzliche Netzlast wird vermieden
Testfall	Gibt es eine Effizienzsteigerung des Gesteuerten Ladens gegenüber MINI-E 1.0?
Beschreibung	Isoliertes Erproben der W2V-Anwendung (ohne LLM). Randbedingung: Hohe EE-Einspeiseleistung und niedrige Netzlast
Erwartetes Ergebnis	Es gibt vermutlich keine Effizienzsteigerung, da am Anschlusspunkt zwar genug Energie für die Fahrzeugladung zur Verfügung steht, aufgrund fehlendem LLM aber keine Signale an die Fahrzeuge für einen möglichen Ladebeginn gehen.

Abbildung 206: Geplante Testfälle

Aufgrund der technischen Herausforderungen im Projekt und der damit verbundenen Auswirkungen für den Probebetrieb wurden alternative Tests durchgeführt, um die Systemstabilität zu erhöhen. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle kurz beschrieben.

Testfall	MOD3 laden (keine BCP[51]-Authentifizierung)
Beschreibung	Es wird getestet, ob das EV einen Ladevorgang startet, obwohl keine Möglichkeit besteht, an der Ladesäule eine BCP-Authentifizierung durchzuführen.
Erwartetes Ergebnis	Das EV startet einen Ladevorgang im MOD3, nachdem keine BCP-Authentifizierung möglich war.
Testfall	BCP-Authentifizierung zwischen EV und Ladesäule (inkl. DHCP-Option 250)
Beschreibung	Es wird getestet, ob das EV sich gemäß BCP erfolgreich an der Ladesäule authentifizieren kann.
Erwartetes Ergebnis	Das EV authentifiziert sich erfolgreich gemäß BCP an der Ladesäule.
Testfall	MOD3 laden (keine Backendnachrichten)
Beschreibung	Es wird getestet, ob das EV einen Ladevorgang startet, obwohl keine Möglichkeit zum gesteuerten Laden besteht (keine BCP-Backendnachrichten).
Erwartetes Ergebnis	Das EV startet einen Ladevorgang im MOD3, nachdem BCP-Backendnachrichten nicht beantwortet wurden.
Testfall	BCP-Backendnachrichten (Heartbeats)
Beschreibung	Es wird getestet, ob das EV BCP-Backendnachrichten (Heartbeats) versendet und von der Ladesäule entsprechende Antworten erhält und verarbeitet.
Erwartetes Ergebnis	Das EV versendet BCP-Backendnachrichten und verarbeitet die Antworten der Ladesäule. Es dürfen keinerlei Fehler in den Antworten der Ladesäule auftreten und es sollten keine Timeouts vorkommen.
Testfall	BCP-Backendnachrichten (Zielfunktion und LLM-Kurve)
Beschreibung	Es wird getestet, ob das EV BCP-Backendnachrichten (Status) versendet und von der Ladesäule entsprechende Antworten erhält und verarbeitet.
Erwartetes	EV versendet BCP-Backendnachrichten und verarbeitet die Antworten

[51] BCP = Backend Communication Protocol = eine Authentifizierungsvariante

Ergebnis	der Ladesäule. Es dürfen keinerlei Fehler in den Antworten der Ladesäule auftreten und es sollten keine Timeouts vorkommen. Zusätzlich soll • das BMW-Backend für das EV eine Zielfunktion im Vattenfall-Backend abfragen • das BMW-Backend für das EV eine LLM-Kurve im Vattenfall-Backend abfragen • für das EV eine Ladekurve berechnet und diese durch das Vattenfall-Backend freigegeben, sowie gespeichert werden.
Testfall	LLM Clustering
Beschreibung	Es soll getestet werden, ob mehrere EVs in einem LLM-Cluster die insgesamt zulässige Stromstärke überschreiten.
Erwartetes Ergebnis	Der zuletzt gestartete Ladevorgang wird vom Vattenfall-Backend verweigert, weil nicht genügend Strom im LLM-Cluster verfügbar ist.
Testfall	Gleichzeitige Authentifizierung mit mehreren RFID-Karten (Timeout)
Beschreibung	In einem PLC-Cluster soll getestet werden, ob das Cluster nach der Authentifizierung mit einer RFID-Karte an einer Ladesäule für weitere Authentifizierungen an anderen Säulen bis zum Ablauf des Timeouts gesperrt ist.
Erwartetes Ergebnis	So lange das Cluster gesperrt ist, muss die Authentifizierung an Säule 2 mit einer entsprechenden Meldung verweigert werden. Nach Aufhebung der Sperre muss dann die Authentifizierung an Säule 2 wieder möglich sein.
Testfall	Gleichzeitige Authentifizierung mit mehreren RFID-Karten (Ladekabel)
Beschreibung	In einem PLC-Cluster soll getestet werden, ob das Cluster nach der Authentifizierung mit einer RFID-Karte an einer Ladesäule für weitere Authentifizierungen an anderen Säulen bis zum Einstecken des Ladekabels gesperrt ist.
Erwartetes Ergebnis	So lange das Ladekabel an Säule 1 noch nicht gesteckt wurde, wodurch das PLC-Cluster noch gesperrt ist, muss die Authentifizierung an Säule 2 mit einer entsprechenden Meldung verweigert werden. Nach Aufhebung der Sperre muss dann die Authentifizierung an Säule 2 wieder möglich sein.

Testfall	Reaktion des EV bei gesperrtem PLC-Cluster
Beschreibung	In einem PLC-Cluster soll getestet werden, wie das EV reagiert, wenn das Ladekabel an einer Ladesäule angeschlossen wird, bei der die Authentifizierung mit RFID-Karte aufgrund eines gesperrten PLC-Clusters verweigert wurde.
Erwartetes Ergebnis	So lange das Cluster gesperrt ist, beginnt das Auto keinerlei Kommunikation mit der Ladesäule. Erst nachdem die Cluster-Sperre aufgehoben ist, versucht das EV eine Authentifizierung gemäß BCP.

Abbildung 207: Alternative Testszenarien

Alle Daten, die während der Versuchsdurchführung aufgenommen wurden, liefen im Vattenfall Backend auf, archivierte Daten aus den Messboxen wurden von der TU Ilmenau zur Verfügung gestellt.

Die Tests zum intelligenten Laden fanden mit zehn BMW ActiveE Fahrzeugen ab 09/2011 in Berlin (Haupttestst and am Vattenfallstandort Prinzregentenstr. 26-30), ab 08/2011 in Hamburg (Nebenteststand im Parkhaus City Nord) und ab 08/2011 in München statt. Sechs Fahrzeuge vom Typ BMW ActiveE waren mit eingebautem GSM-Funkmodem (D1-Netz, Deutsche Telekom) ausgestattet, zwei dienten als Reserve. Die anderen sechs Fahrzeuge wurden zusätzlich mit einer PLC-Kommunikationstechnik (Typ: Homeplug AV) ausgerüstet. Die Aufteilung der Fahrzeuge auf die Standorte ist in Abbildung 208 zu sehen. Die Fahrzeuge laden auf einer elektrischen Phase mit maximal 32A. Die BMW ActiveE sind vollständig konform mit der Normengruppe IEC 61851.

Standort	**PLC-Fahrzeuge**	**GSM-Fahrzeuge**	**Summe**
BMW München	2 (ab KW33)	2 (ab KW33, Reserve)	4
VE Berlin PRZ	2 (ab KW39)	4 (ab KW37)	6
VE Hamburg CINO	2 (ab KW34)	0	2
Summe ActiveE	*6*	*6*	*12*
DAI-Labor Berlin	3 (ab KW33)*	0	3
Summe FZ ges.	*9*	*6*	*15*
*Die Fahrzeuge sind ebenfalls mit UMTS-Funktechnik ausgestattet			

Abbildung 208: Zuteilung der Fahrzeuge auf die Standorte

Für einzelne Tests konnten vergleichsweise Fahrzeuge des Typs MINI E und Vito E-CELL herangezogen werden. Der MINI E kann einphasig mit 12A, 32A oder 50 A geladen werden, der Vito E- CELL zweiphasig mit 16A.

Alle Daten, die während des Probebetriebs aufgenommen wurden, fielen in einer einheitlichen Datensenke zentral im Lagezentrum an. Sie waren über Web-Applikationen abrufbar. Inhaltliche Vorgaben, wie z.B. Grenzwerte oder die Definition von Key Performance Indicators (KPI) erfolgten durch den Anforderer vorab. Bei Problemen und/oder Fragestellungen, die sich im Lagezentrum ergaben, standen die Beteiligten des D5.3 als primäre Ansprechpartner für das Lagezentrum zur Verfügung.

Für einige Probe-Use Cases wurde die Windeinspeise- und Netzlastsituation nachgebildet. Dazu sind interessante historische Einspeise- und Lastverläufe als Zeitreihen aus dem Jahr 2010 herangezogen und auf das Gesamtsystem mit angeschlossenen, ladenden Fahrzeugen gespielt worden. Auf diese Art wurden die realen Verhältnisse für die ausgesuchten sechs Anwendungsfälle nachgebildet und die Reaktion des Gesamtsystems gemessen. Regulär konnte Montag bis Freitag von 7:30 Uhr bis 16 Uhr getestet werden.

4.5.4.3.1 Betrieb der Fahrzeuge

Der Probebetrieb der Fahrzeuge, den es logistisch und juristisch sicherzustellen galt, sollte wichtige Rückschlüsse auf die in den Teilprojekten 1 bis 4 entwickelte technologische Umsetzung sowie auf die Modell-Simulationen geben. Es war zu erwarten, dass aus den Ergebnissen Anpassungsvorschläge zur Optimierung der Fahrzeuge ableitbar gewesen wären, die in einem späteren Roll-out von BMW Elektrofahrzeugen hätten einfließen sollen.

Im Vorfeld der Fahrzeugauslieferung wurden die notwendigen organisatorischen und rechtlichen Vereinbarungen zur Durchführung des Probebetriebs mit den BMW ActiveE und MINI E V2G Fahrzeugen mit Vattenfall bzw. der TU Berlin getroffen. Die räumlichen und personellen Kapazitäten für Service und Wartung der Fahrzeuge speziell am Standort Berlin sind bis Ende 09/11 vorhanden. An die TU Berlin wurden drei speziell ausgerüstete MINI E Fahrzeuge für die Freilandlaborversuche zum gesteuerten Rückspeisen von Energie aus dem Fahrzeug in das Verteilnetz (Vehicle-to-Grid, V2G) gegeben und an Vattenfall vier BMW ActiveE für Versuche in Berlin sowie zwei ActiveE für Integrationstests in Hamburg.

Im Unterschied zu etablierten Prozessen für Betrieb und Betreuung von Serienfahrzeugen werden für den Betrieb von Elektrofahrzeugen speziell in F&E-Projekten gewisse Sonderumfänge gewährleistet. Vor diesem Hintergrund wurden sämtliche vertragliche Voraussetzungen für die Fahrzeugübernahme sichergestellt, im Speziellen der Nutzungsvertrag, die Orientierung bezüglich Einsatzbedingungen und Haftungsregelungen, besondere Nutzungshinweise und die Anpassung der Kunden- sowie Fahrzeugbetreuung im Betrieb gemäß Anwendungsfall. Mangels einer Abbildung der BMW E Fahrzeuge und MINI E V2G Fahrzeuge in BMW AG IT-Systemen, wurden nahezu alle Prozesse rund um die BMW E Fahrzeugnutzung händisch abgewickelt.

4.5.4.3.2 Betrieb der Integrationsplattform (Applikationsmanagement)

Während des Probebetriebs war die Verfügbarkeit der gesamten eingebundenen IT-Systeme zu der zentralen Systemplattform und deren Schnittstellen zu gewährleisten. Das beinhaltete den laufenden Betrieb der Applikation, reguläre Wartungsarbeiten und -unterstützung sowie die Analyse von auftretenden Problemen. Die Anwendung ist in einer mehrstufigen Systemlandschaft integriert. Zur Entwicklung der Anforderungen und Fehlerbereinigungen dient das Entwicklungssystem. Im Testsystem finden intensive Integrations- und Systemtests durch Entwickler und den Fachbereich statt. Nach erfolgreicher Abnahme des Fachbereichs werden die Softwaremodule in ein Release eingebunden und auf dem Produktivsystem installiert.

a) Backendeinstellungen Gesteuertes Laden

Für die erweiterten Systemtests (technische Use Cases) im Probebetrieb in Berlin werden im Vattenfall Backend Simulationseinstellungen für die zur Verfügung stehende erneuerbare Energie (EE) sowie für die Netzbelastung eingespielt. Diese dienen als Basis für das zu erprobende lokale Lastmanagement (LLM). Der LLM-Mechanismus lässt sich folgendermaßen beschreiben:

Im Vattenfall System wird ein LLM-Cluster (Cluster = eine Menge von Objekten mit ähnlichen Eigenschaften) mit einer zulässigen Gesamtstärke angelegt. Dem Cluster werden einzelne Ladepunkte zugeordnet. Somit lassen sich beliebige Cluster konfigurieren (alle Ladepunkte einer Ladesäule, alle Ladepunkte an einem Hausanschluss, alle Ladepunkte in einem Straßenzug usw.). Der Cluster berechnet die lokale Last mit Hilfe eines Algorithmus. Das von Vattenfall entwickelte System sieht vor, dass es unterschiedliche Ausführungen des LLM-Algorithmus gibt. Im LLM-Cluster konfiguriert Vattenfall den Algorithmus, der vom Cluster verwendet werden soll. Für den Cluster lässt sich beispielswei-

se eine zulässige Stromstärke eingeben, z.B. 64A für die sechs Ladeplätze in der Prinzregentenstraße.

Für die Simulation unterschiedlicher Netzlastbedingungen sieht das Vattenfall System vor, dass man für einen Ladesäulentyp den W2V-Algorithmus hinterlegt. Vattenfall entwickelte einen weiteren Algorithmus, der die Netzlastbedingungen simuliert. Dieser Algorithmus sieht vor, dass, per Datenbank konfiguriert, folgende Zielfunktionen zurückgegeben werden:

- Originalzielfunktion der TU-Ilmenau (= aktuelle 24 Stunden Prognose)
- Starklast – Starkwind,
- Starklast – Schwachwind,
- Schwachlast – Starkwind,
- Schwachlast – Schwachwind,
- Plötzlich Flaute,
- Plötzlich Wind.

D.h. es wird ein Ladesäulentyp (z.B. vom Lieferanten 3 - W2V Simulation) definiert und dieser mit dem Simulations-W2V-Algorithmus versehen. Alle Ladesäulen, welche die Netzlast simulieren sollen, werden dem Ladesäulentyp zugeordnet. Der Simulations-W2V-Algorithmus wird per Datenbank so konfiguriert, dass er die gewünschte Zielfunktion zurückgibt.

Folgende Einschränkungen sind zu beachten:

- Die in der Datenbank konfigurierte Zielfunktion gilt für alle Ladesäulentypen, die mit dem Simulations-W2V-Algorithmus konfiguriert sind.
- Die Zielfunktion gilt für alle Ladesäulen des Ladesäulentyps.

Beispiel:

Ladesäule in Berlin und Ladesäule in Hamburg sind vom Typ "Lieferant 3 - W2V Simulation". Per Datenbank ist "Starklast - Starkwind" konfiguriert. Alle intelligenten Fahrzeuge, die an den Ladesäulen laden und die Zielfunktion abrufen, bekommen die Werte aus der Zielfunktion – siehe Spalte 2 in nachfolgender

	Starklast		Starklast		Schwachlast		Schwachlast		Plötzlich Flaute		Plötzlich Wind	
	Starkwind		Schwachwind		Starkwind		Schwachwind					
Datum	02.02.2011		26.02.2010		11.12.2010		10.07.2010		21.04.2010		29.10.2010	
Zeit [1/4]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]
40	0,18534432	0	0,0303136	3,6	0,33849447	0	0,00228848	0	0,16680452	0	0,04068023	0
41	0,20015742	0	0,02496401	3,6	0,33894573	3,6	0,00260571	0	0,16852268	0,8	0,03479623	0
42	0,20015742	0	0,02496401	3,6	0,33894573	3,6	0,00260571	0	0,16852268	3,6	0,03479623	0
43	0,20015742	0	0,02496401	3,6	0,33894573	3,6	0,00260571	0	0,16852268	3,6	0,03479623	0
44	0,20015742	0	0,02496401	3,6	0,33894573	3,6	0,00260571	0	0,16852268	3,6	0,03479623	0
45	0,21828099	0	0,02281116	3,6	0,34078372	3,6	0,00279971	0	0,17226636	3,6	0,03502575	0
46	0,21828099	0	0,02281116	3,6	0,34078372	3,6	0,00279971	0	0,17226636	3,6	0,03502575	0
47	0,21828099	0	0,02281116	3,6	0,34078372	3,6	0,00279971	0	0,17226636	3,6	0,03502575	0
48	0,21828099	0	0,02281116	3,6	0,34078372	3,6	0,00279971	0	0,17226636	3,6	0,03502575	0
49	0,24050771	3,6	0,02275612	3,6	0,34512652	3,6	0,00285781	3,6	0,17144458	3,6	0,0389258	3,6
50	0,24050771	3,6	0,02275612	3,6	0,34512652	3,6	0,00285781	3,6	0,17144458	3,6	0,0389258	3,6
51	0,24050772	0	0,02275612	3,6	0,34512652	3,6	0,00285781	3,6	0,17144458	3,6	0,0389258	0
52	0,24050772	0,8	0,02275612	3,6	0,34512652	3,6	0,00285781	3,6	0,17144458	3,6	0,0389258	0,8
53	0,26936583	3,6	0,02146512	3,6	0,35807214	3,6	0,00282396	0,8	0,17922927	3,6	0,04464805	3,6
54	0,26936583	3,6	0,02146512	3,6	0,35807214	3,6	0,00282396	0	0,17922927	3,6	0,04464805	3,6
55	0,26936583	3,6	0,02146512	3,6	0,35807214	3,6	0,00282396	3,6	0,17922927	3,6	0,04464805	3,6
56	0,26936583	3,6	0,02146512	3,6	0,35807214	3,6	0,00282396	3,6	0,17922927	3,6	0,04464805	3,6
57	0,28982405	3,6	0,02033228	3,6	0,36037655	3,6	0,00297492	3,6	0,18305141	3,6	0,05012519	3,6
58	0,28982405	3,6	0,02033228	0,8	0,36037655	3,6	0,00297492	3,6	0,18305141	3,6	0,05012519	3,6
59	0,28982405	3,6	0,02033228	0	0,36037655	3,6	0,00297492	3,6	0,18305141	3,6	0,05012519	3,6
60	0,28982405	3,6	0,02033228	3,6	0,36037655	3,6	0,00297492	3,6	0,18305141	3,6	0,05012519	3,6
61	0,29877325	3,6	0,01816825	0	0,34814257	3,6	0,00340884	3,6	0,18636049	3,6	0,05599557	3,6
62	0,29877325	3,6	0,01816825	0	0,34814257	3,6	0,00340884	3,6	0,18636049	3,6	0,05599557	3,6
63	0,29877325	3,6	0,01816825	0	0,34814257	3,6	0,00340884	3,6	0,18636049	3,6	0,05599557	3,6
64	0,29877325	3,6	0,01816825	0	0,34814257	3,6	0,00340884	3,6	0,18636049	3,6	0,05599557	3,6
65	0,29774485	3,6	0,01735799	0	0,33404627	3,6	0,00428826	3,6	0,18278176	3,6	0,07148738	3,6
66	0,29774485	3,6	0,01735799	0	0,33404627	3,6	0,00428826	3,6	0,18278176	3,6	0,07148738	3,6
67	0,29774485	3,6	0,01735799	0	0,33404628	0,8	0,00428826	3,6	0,18278176	3,6	0,07148738	3,6
68	0,29774485	3,6	0,01735799	0	0,33404627	3,6	0,00428826	3,6	0,18278176	3,6	0,07148738	3,6
69	0,27566131	3,6	0,02111032	3,6	0,32622215	0	0,00614661	3,6	0,16759839	0	0,09797191	3,6
70	0,27566131	3,6	0,02111032	3,6	0,32622215	0	0,00614661	3,6	0,16759839	0	0,09797191	3,6
71	0,27566131	3,6	0,02111032	3,6	0,32622215	0	0,00614661	3,6	0,16759839	0	0,09797191	3,6
72	0,27566131	3,6	0,02111032	3,6	0,32622215	0	0,00614661	3,6	0,16759839	0	0,09797191	3,6
73	0,26054192	3,6	0,0261054	3,6	0,32563585	0	0,0094526	3,6	0,13137858	0	0,12547104	3,6
74	0,26054192	3,6	0,0261054	3,6	0,32563585	0	0,0094526	3,6	0,13137858	0	0,12547104	3,6

Abbildung 209 – wobei es sich hier um ¼-Std. Werte handelt und jeweils ein ganzer Tag (= 96 ¼-Std.) abgebildet wird.

Datum	Starklast Starkwind 02.02.2011		Starklast Schwachwind 26.02.2010		Schwachlast Starkwind 11.12.2010		Schwachlast Schwachwind 10.07.2010		Plötzlich Flaute 21.04.2010		Plötzlich Wind 29.10.2010	
Zeit [1/4]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]	W2V-Signal	erwartete Last BEV [kW]
40	0,18534432	0	0,0303136	3,6	0,33849447	0	0,00228848	0	0,16680452	0	0,04068023	0
41	0,20015742	0	0,02496401	3,6	0,33894573	3,6	0,00260571	0	0,16852268	0,8	0,03479623	0
42	0,20015742	0	0,02496401	3,6	0,33894573	3,6	0,00260571	0	0,16852268	3,6	0,03479623	0
43	0,20015742	0	0,02496401	3,6	0,33894573	3,6	0,00260571	0	0,16852268	3,6	0,03479623	0
44	0,20015742	0	0,02496401	3,6	0,33894573	3,6	0,00260571	0	0,16852268	3,6	0,03479623	0
45	0,21828099	0	0,02281116	3,6	0,34078372	3,6	0,00279971	0	0,17226636	3,6	0,03502575	0
46	0,21828099	0	0,02281116	3,6	0,34078372	3,6	0,00279971	0	0,17226636	3,6	0,03502575	0
47	0,21828099	0	0,02281116	3,6	0,34078372	3,6	0,00279971	0	0,17226636	3,6	0,03502575	0
48	0,21828099	0	0,02281116	3,6	0,34078372	3,6	0,00279971	0	0,17226636	3,6	0,03502575	0
49	0,24050771	3,6	0,02275612	3,6	0,34512652	3,6	0,00285781	3,6	0,17144458	3,6	0,0389258	3,6
50	0,24050771	3,6	0,02275612	3,6	0,34512652	3,6	0,00285781	3,6	0,17144458	3,6	0,0389258	3,6
51	0,24050772	0	0,02275612	3,6	0,34512652	3,6	0,00285781	3,6	0,17144458	3,6	0,0389258	0
52	0,24050772	0,8	0,02275612	3,6	0,34512652	3,6	0,00285781	3,6	0,17144458	3,6	0,0389258	0,8
53	0,26936583	3,6	0,02146512	3,6	0,35807214	3,6	0,00282396	0,8	0,17922927	3,6	0,04464805	3,6
54	0,26936583	3,6	0,02146512	3,6	0,35807214	3,6	0,00282396	0	0,17922927	3,6	0,04464805	3,6
55	0,26936583	3,6	0,02146512	3,6	0,35807214	3,6	0,00282396	3,6	0,17922927	3,6	0,04464805	3,6
56	0,26936583	3,6	0,02146512	3,6	0,35807214	3,6	0,00282396	3,6	0,17922927	3,6	0,04464805	3,6
57	0,28982405	3,6	0,02033228	3,6	0,36037655	3,6	0,00297492	3,6	0,18305141	3,6	0,05012519	3,6
58	0,28982405	3,6	0,02033228	0,8	0,36037655	3,6	0,00297492	3,6	0,18305141	3,6	0,05012519	3,6
59	0,28982405	3,6	0,02033228	0	0,36037655	3,6	0,00297492	3,6	0,18305141	3,6	0,05012519	3,6
60	0,28982405	3,6	0,02033228	3,6	0,36037655	3,6	0,00297492	3,6	0,18305141	3,6	0,05012519	3,6
61	0,29877325	3,6	0,01816825	0	0,34814257	3,6	0,00340884	3,6	0,18636049	3,6	0,05599557	3,6
62	0,29877325	3,6	0,01816825	0	0,34814257	3,6	0,00340884	3,6	0,18636049	3,6	0,05599557	3,6
63	0,29877325	3,6	0,01816825	0	0,34814257	3,6	0,00340884	3,6	0,18636049	3,6	0,05599557	3,6
64	0,29877325	3,6	0,01816825	0	0,34814257	3,6	0,00340884	3,6	0,18636049	3,6	0,05599557	3,6
65	0,29774485	3,6	0,01735799	0	0,33404627	3,6	0,00428826	3,6	0,18278176	3,6	0,07148738	3,6
66	0,29774485	3,6	0,01735799	0	0,33404627	3,6	0,00428826	3,6	0,18278176	3,6	0,07148738	3,6
67	0,29774485	3,6	0,01735799	0	0,33404628	0,8	0,00428826	3,6	0,18278176	3,6	0,07148738	3,6
68	0,29774485	3,6	0,01735799	0	0,33404627	3,6	0,00428826	3,6	0,18278176	3,6	0,07148738	3,6
69	0,27566131	3,6	0,02111032	3,6	0,32622215	0	0,00614661	3,6	0,16759839	0	0,09797191	3,6
70	0,27566131	3,6	0,02111032	3,6	0,32622215	0	0,00614661	3,6	0,16759839	0	0,09797191	3,6
71	0,27566131	3,6	0,02111032	3,6	0,32622215	0	0,00614661	3,6	0,16759839	0	0,09797191	3,6
72	0,27566131	3,6	0,02111032	3,6	0,32622215	0	0,00614661	3,6	0,16759839	0	0,09797191	3,6
73	0,26054192	3,6	0,0261054	3,6	0,32563585	0	0,0094526	3,6	0,13137858	0	0,12547104	3,6
74	0,26054192	3,6	0,0261054	3,6	0,32563585	0	0,0094526	3,6	0,13137858	0	0,12547104	3,6

Abbildung 209: Wind-to-Vehicle (W2V) Testplan - Auszug

Die gewünschte Zielfunktion muss per Hand in der Datenbank konfiguriert werden, deshalb ist es wünschenswert, den Algorithmus tageweise zu konfigurieren. Dies ist auch für Tagesteile möglich. Beim tageweisen Konfigurieren lässt sich somit ein Versuch durchführen, der die angegebene Zielfunktion benötigt.

Für die Versuchsdurchführung bedeutet dies, dass, wenn über den LLM-Algorithmus die zulässige Stromstärke eines Clusters vorgegeben ist, z.B. 64A für die sechs Ladeplätze in der Prinzregentenstraße, somit für ein lokales Lastmanagement eine Obergrenze vorgegeben ist. Da vier Fahrzeuge 4 * 16A = 64A Strom ziehen, würde in diesem Fall das fünfte Fahrzeug abgewiesen, was es im Versuch zu überprüfen gilt.

b) Softwareseitige Hemmnisse

Der Prozess des Gesteuerten Ladens erfordert ein intensives Zusammenspiel verschiedener Systeme. Hardware-seitig sind dies das Elektrofahrzeug und die Ladeinfrastruktur. Tatsächlich geht es aber vielmehr um die Software in bzw. hinter diesen Systemen. So

besitzt das Fahrzeug einen Fahrzeugrechner mit Software und hinter dem Fahrzeug liegt ein zentrales OEM-Backend. Auch die Ladestation besitzt einen Rechner mit Software (Firmware) und hinter der Ladestation befindet sich wiederum ein zentrales Energieversorger-Backend. Hinzu kommt noch eine Mediator-Software, die den Verhandlungsprozess für Ladekurven zwischen den beiden Backends steuert. Die Abbildung gibt eine vereinfachte Darstellung der Verknüpfungen wieder.

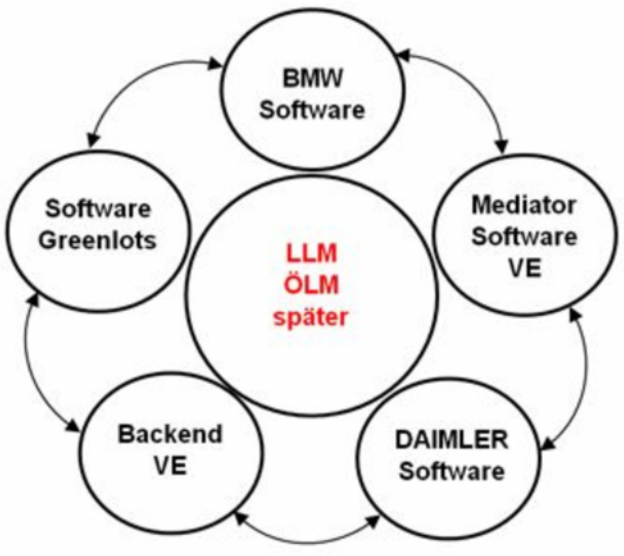


Abbildung 210: Komplexität der Softwaresysteme im Gesteuerten Laden

AP 5.3.5 Wartung und Systempflege W2V

Bereits im Rahmen des Projektes „MINI E Berlin powered by Vattenfall“ erstellte die TU Ilmenau ein Algorithmus zur rechtzeitigen Bereitstellung einer verlässlichen 24h-Prognose der Windenergie im Netz, wodurch Gesteuertes Laden Wind-to-Vehicle ermöglicht wurde. Im Rahmen des Projektes Gesteuertes Laden 2.0 war dieses System zu warten und zu pflegen, um die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des Prognosetools für die Windenergievorhersage zu gewährleisten. Die Aktivitäten liefen nach Plan begleitend zur Erprobungsphase.

AP 5.3.6 – 5.3.8 Freilandlabor V2G

Die Funktionalitäten der Vehicle-to-Grid-Applikation (V2G) wurden in einem Probebetrieb im Freilandlabor im dritten Quartal 2011 mit Nutzern getestet. In den folgenden Abschnitten werden das Vorgehen und die Ergebnisse für die Arbeitspakete Betrieb Ladestationen, Fahrzeuge und dezentrales Softwaresystem, die mit dem DAI-Freilandlabor der TU

Berlin in Zusammenhang stehen, näher erläutert. Um den Anforderungen an eine umfassende Beschreibungen der Arbeiten im Probebetrieb gerecht zu werden, wurde nicht nach Arbeitspaketen strukturiert, sondern nach Aufbau, Untersuchungsgegenstand sowie Betrieb und Erkenntnissen im Freilandlabor.

Für eine praxisnahe Erprobung der V2G-Anwendung wurden dem Freilandlabor drei V2G-fähige MINI E, drei V2G-fähige Ladestationen, drei Smartphones mit installiertem Ladeassistenten und eine umfangreiche Backend-Infrastruktur bereitgestellt (siehe auch Abbildung 211). Die Funktionen des V2G-Ladeassistenten sowie der technische Aufbau des dezentralen Softwaresystems und AAA-Systems sowie der Fahrzeuge und der Ladestationen sind in D1.3 und D4.3 ausführlich beschrieben.

Zwei V2G-fähige Ladestationen wurden am Telefunkenhochhaus der TU Berlin auf dem Parkplatz bzw. in der Tiefgarage und eine hinter dem gut 300m entfernten Hauptgebäude der TU Berlin aufgestellt. Die ersten beiden Ladestationen nutzen dabei den gleichen Netzanschlusspunkt und sind über Ethernet mit dem Backend verbunden. Die Ladestation am Hauptgebäude hingegen nutzt einen anderen Anschlusspunkt und kommuniziert über UMTS mit dem Backend. Die Ladestationen wurden zudem mit QR-Codes zum Entriegeln der Klappe ausgestattet, da es einige Zeit lang Probleme mit dem Auslesen der RFID-Karten gab. Zur Öffnung einer Ladestation musste das scannende Smart Phone im System registriert sein, dies sorgte für eine Absicherung nach außen.

Die Registrierung erfolgte durch das Scannen eines nicht-öffentlichen Registrierungsbarcodes in Verbindung mit einem Registrierungspasswort. Die drei Ladestationen als auch die Nutzer wurden auf zwei virtuelle Betreiber aufgeteilt, um die anbieterübergreifende Authentifizierung und Abrechnung zu demonstrieren. Für die Auswertung der Ladevorgänge wurde zusätzlich zum AAA-System in den Ladestationen ein Prozess installiert, der die Zählerstände in wenigen Sekundenabständen ausliest und bei Änderung an eine Datenbank übermittelt.

Während der abschließenden Tests musste leider festgestellt werden, dass sich die PLC-Signale beider am Telefunkenhochhaus angeschlossenen Ladestationen gegenseitig beeinflussten und somit eine eindeutige Zuordnung bei der Authentifizierung der Fahrzeuge und der Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Ladestationen nicht möglich war. Aus diesem Grund konnte die Ladestation in der Tiefgarage bis zum Einbau der PLC-Filter am 9. September nicht genutzt werden. Eine Verwendung unterschiedlicher PLC-Übertragungsschlüssel für die beiden Ladestationen kam als Lösung nicht in Frage,

da dann die Fahrzeuge immer nur an einer der beiden fest zugeordneten Ladestationen hätten laden können.

Die drei V2G-fähigen MINI E wurden mit entsprechenden Car-Computern ausgestattet, die unter dem Beifahrersitz an das Fahrzeug angeschlossen wurden und jeweils ein PLC-, UMTS- und GPS-Modul enthalten. Zusätzlich wurden für Auswertungszwecke Datenlogger installiert, welche die über GPS und den CAN-Bus empfangenen Daten in Sekundenabständen sammeln und in größeren Abständen zum Backend übertragen. Aufgrund eines Fehlers bei der V2G-Umrüstung war der dritte MINI E erst mit Behebung des Problems am 15. September funktionstüchtig.

Abbildung 211: V2G-fähige Ladestation und MINI E im Freilandlabor

Im Backend wurden für die drei Nutzer jeweils ein Exchange-Kalender angelegt sowie eine feste und eindeutige Zuordnung zu einem Fahrzeug vorgenommen. Jeder Nutzer bekam ein Smartphone mit installiertem Ladeassistenten und QR-Code-Scanner, einen USB-Stick mit Nutzeridentität für die Authentifizierung des Fahrzeuges an den V2G-Ladestationen und eine RFID-Karte für die Authentifizierung an den öffentlichen Ladestationen zur Verfügung gestellt. Für die Auswertung wurden entsprechende Logger eingerichtet, die Nutzeraktionen und geplante Ladevorgänge aufzeichnen.

Die V2G-Anwendung wurde zunächst in einer Laborumgebung unter kontrollierten Bedingungen erprobt und weiter entwickelt. Parallel erfolgte die Planung des Probebetriebes in Kooperation zwischen der TU Berlin mit der TU Chemnitz. Die Ausprägung des zu testenden Systems und die zu testenden Anwendungsfälle wurden final abgestimmt.
Vor der Realisierung des Probebetriebes erfolgte eine Vorbereitungsphase. In dieser wurden die in D1.3 entwickelten Systeme auf den Probebetrieb und die darin zu testenden Use Cases vorbereitet. Dies beinhaltete einerseits letzte Tests und Anpassungen an den fahrzeug- und ladestationsseitigen Systemen und den Softwaresystemen. Andererseits fand eine Umfrage zur Rekrutierung geeigneter Testnutzer und deren Auswahl und Vorbereitung statt. Aufgrund von Verzögerungen bei der Bereitstellung von Systemkomponenten (Fahrzeuge, Ladestationen, Nutzerapplikation und Planungsalgorithmen) und der somit verspäteten Durchführung der Integrationstests erfolgte der Start des Probebetriebs nicht wie geplant im Juni sondern erst am 17. August 2011.
Das Freilandlabor diente vorwiegend zum Testen der Funktionalität der entwickelten V2G-Systeme und der softwareseitigen Unterstützung des Nutzers beim gesteuerten Laden unter realistischen Bedingungen. Dies beinhaltete die Planung und Umplanung von Routen sowie Lade-, Rückspeise- und Parkvorgängen auf Basis des Nutzerkalenders und des erwarteten Ladestandes des Fahrzeuges. Zusätzlich sollte die Möglichkeit einer spontanen Beeinflussung der automatischen Ladeplanung erprobt werden. Weiterhin sollten die in D1.3 entwickelten technischen Systeme zur Realisierung des gesteuerten Ladevorgangs (V2G-fähige Fahrzeuge, ausgestattete Ladeinfrastruktur, Backend) sowie die Authentifizierung des Fahrzeuges an der Ladesäule im Zusammenspiel mit dem AAA-Backend einem Langzeittest unterzogen werden, um Erkenntnisse über die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems zu sammeln. Gemäß den identifizierten Anwendungsfällen waren konkret folgende Untersuchungen durchzuführen:

Anwendungsfall	Planung basierend auf Terminkalender, Netzprognose, SOC und Nutzerprofil
Beschreibung	Automatische Planung der Fahrten, Lade- und Rückspeisevorgänge für den Prognosezeitraum basierend auf dem Terminkalender des Nutzers, der Zielfunktion (Prognose des Windenergieanteils), des aktuellen SOC und des Nutzerprofils
Erwartetes Er-	Fahrten mit Dauer/Verbrauch vor und nach bzw. zwischen Termi-

gebnis	nen an unterschiedlichen Orten sowie Wochentags zur und von der Arbeit sind eingeplant. Ladevorgänge sind möglichst bei hohem Windenergieanteil und immer so eingeplant, dass Mindestreichweite nie unterschritten und maximaler Fußweg nicht überschritten wird. Bei ausreichendem SOC und Zeiten mit unterdurchschnittlichem Windenergieanteil sollten Rückspeisevorgänge eingeplant sein.
Anwendungsfall	Planung mit Einbeziehung öffentlicher Ladestationen
Beschreibung	Berücksichtigung verfügbarer öffentlicher Ladestationen bei der Planung von Ladevorgängen
Erwartetes Ergebnis	Sofern Ladebedarf vorhanden und Windenergieanteil günstig ist, sollten Ladevorgänge auch während Terminen in der Nähe einer öffentlichen Ladestation und nicht nur während der Arbeitszeit eingeplant sein. Die geplante Stromstärke überschreitet dabei nicht die Fähigkeit der eingeplanten Ladestation.
Anwendungsfall	Planung mit Konfliktbehandlung
Beschreibung	Information des Nutzers über einen zu behebenden Konflikt im Kalender des Nutzers (z.B. zwei örtlich entfernte Termine sind zeitlich zu dicht aneinander)
Erwartetes Ergebnis	Nutzer erhält eine E-Mail mit Informationen zu eingetragenen Terminen, deren Zeitraum dazwischen für die Fahrt nicht ausreicht.
Anwendungsfall	Umsetzung der geplanten Lade- und Rückspeisevorgänge
Beschreibung	Automatische Steuerung der geplanten Lade- und Rückspeiseströme
Erwartetes Ergebnis	Sofern das Fahrzeug erfolgreich an eine Ladestation angeschlossen wurde, sollte es automatisch während eines geplanten Lade- oder Rückspeisevorgangs annähernd mit der geplanten Stromstärke laden bzw. ins Netz rückspeisen.
Anwendungsfall	Umplanung aufgrund erhöhten Verbrauchs
Beschreibung	Umplanung von Lade- bzw. Rückspeisevorgängen bei drohender Unterschreitung der Mindestreichweite entgegen dem Plan nach einer absolvierten Fahrt
Erwartetes Er-	Ein Ladevorgang wurde verstärkt oder zusätzlich eingeplant bzw.

gebnis	ein Rückspeisevorgang wurde reduziert oder verworfen, wenn aufgrund einer geänderten Fahrweise oder eines gefahrenen Umweges sonst die Mindestreichweite innerhalb des Prognosezeitraumes unterschritten worden wäre.
Anwendungsfall	Umplanung aufgrund eines verkürzten Ladevorgangs
Beschreibung	Umplanung von Lade- bzw. Rückspeisevorgängen bei drohender Unterschreitung der Mindestreichweite entgegen dem Plan nach der darauffolgenden Fahrt
Erwartetes Ergebnis	Ein Ladevorgang wurde verstärkt oder zusätzlich eingeplant bzw. ein Rückspeisevorgang wurde reduziert oder verworfen, wenn aufgrund eines kürzer als geplant durchgeführten Ladevorgangs sonst die Mindestreichweite innerhalb des Prognosezeitraumes unterschritten worden wäre.
Anwendungsfall	Umplanung aufgrund eines anderen Ortes
Beschreibung	Anpassung der Fahrten, Lade- und Rückspeisevorgänge bei Abweichung des aktuellen Standortes vom Plan nach einer absolvierten Fahrt
Erwartetes Ergebnis	Fahrten sowie Lade- und Rückspeisevorgänge (bei Änderung der Verfügbarkeit von Ladestationen) sind gemäß dem aktuellen Ort angepasst worden.
Anwendungsfall	Umplanung aufgrund der Änderung von Terminen
Beschreibung	Anpassung der Fahrten, Lade- und Rückspeisevorgänge bei Änderung von Terminen
Erwartetes Ergebnis	Fahrten sowie Lade- und Rückspeisevorgänge wurden entsprechend des hinzugefügten, entfernten oder verschobenen Termins angepasst.
Anwendungsfall	Umplanung aufgrund geänderten Nutzerprofils
Beschreibung	Anpassung der Lade- und Rückspeisevorgänge bei Änderung der Mindestreichweite oder des maximalen Fußweges sowie zusätzliche Anpassung der Fahrten bei Änderung der Arbeitszeiten oder Heimatadresse
Erwartetes Ergebnis	Lade- und Rückspeisevorgänge sowie Fahrten sind an das neue Nutzerprofil angepasst.

Anwendungsfall	Einsicht des Fahrzeugzustandes
Beschreibung	Anzeige SOC, Stromfluss und Ort sowie ob Fahrzeug erfolgreich angesteckt wurde
Erwartetes Ergebnis	Der aktuelle SOC, Stromfluss und Ort sowie ob das Fahrzeug korrekt angeschlossen wurde ist jederzeit über den Ladeassistenten einsehbar.
Anwendungsfall	Sofortladen
Beschreibung	Eingabe der gewünschten Stromstärke und Betätigung des Sofortladen-Buttons im Ladeassistenten auch während eines geplanten Lade- und Rückspeisevorgangs
Erwartetes Ergebnis	Das angeschlossene Fahrzeug lädt annähernd mit der angegebenen Stromstärke egal ob ein Ladevorgang mit anderer Stromstärke eingeplant ist. Die maximale Stromstärke der Ladestation wird dabei aber nicht überschritten. Wird das Sofortladen über den entsprechenden Button beendet, so wird mit der ursprünglich geplanten Stromstärke weitergeladen.
Anwendungsfall	Ladehistorie
Beschreibung	Anzeige geladener, rückgespeister und verfahrener Energie für unterschiedliche Zeiträume der Vergangenheit
Erwartetes Ergebnis	Die geladene, rückgespeiste und verfahrene Energie am Tag, in der Woche oder im Monat ist jederzeit über den Ladeassistenten einsehbar.
Anwendungsfall	Suche nach Ladestationen
Beschreibung	Anzeige vorhandener Ladestationen in einem definierten Umkreis mittels des Ladeassistenten
Erwartetes Ergebnis	Die gefundenen Ladestationen werden aufsteigend sortiert nach Entfernung angezeigt. Durch Klick auf ein Element sind Detailinformationen sichtbar.
Anwendungsfall	Öffnen der Ladestationsklappe mittels QR-Code
Beschreibung	Entriegeln der Klappe einer Ladestation durch Scannen des aufgebrachten QR-Codes mittels einer entsprechenden App
Erwartetes Ergebnis	Klappe lässt sich nach Einscannen des QR-Codes öffnen, sofern sich der Nutzer zuvor einmalig mit seinem Smartphone registriert

	hat und kein Lade- oder Rückspeisevorgang läuft (siehe Display an Ladestation, LED im Fahrzeug oder Status im Ladeassistenten)
Anwendungsfall	Authentifizierung über PLC mittels USB-Token
Beschreibung	Freischaltung durch Ladestation nach erfolgreicher Authentifizierung über PLC mittels USB-Token
Erwartetes Ergebnis	Lade- oder Rückspeisevorgang läuft erfolgreich (siehe Display an Ladestation, LED im Fahrzeug oder Status im Ladeassistenten), nachdem USB-Token im Fahrzeug steckt, Fahrzeug an Ladestation angeschlossen und Klappe der Ladestation geschlossen wurde.
Anwendungsfall	Abrechnung der Energiemengen
Beschreibung	Übermittlung, Sammlung und Darstellung der Lade- und Rückspeisevorgänge inklusive der geflossenen Energiemengen durch AAA-System
Erwartetes Ergebnis	Die laufenden und historischen Lade- bzw. Rückspeisevorgänge mit Angabe des Nutzers, der Ladestation, der Start- und Endzeit sowie der geladenen und rückgespeisten Energiemengen sind über das AAA-Frontend sichtbar. In der Ansicht kann nach Nutzer, Ladestation oder aktuellen Vorgängen gefiltert werden.
Anwendungsfall	Authentifizierung und Abrechnung als Kunde eines anderen Anbieters
Beschreibung	Freischaltung und Abrechnung durch Ladestation auch für Kunden eines anderen Anbieters
Erwartetes Ergebnis	Lade- oder Rückspeisevorgang läuft erfolgreich und Vorgangsdaten sind im AAA-Frontend beider Anbieter sichtbar auch bei Kunden eines anderen Anbieters als den des Ladestationsbetreibers

Abbildung 212: Von den Testnutzern auszuführende Anwendungsfälle

Aufgrund des fehlenden Probebetriebs der W2V-Anwendung wurde die dort geplante wissenschaftliche Nutzerauswertung auf Basis der V2G-Anwendung durchgeführt. In diesem Zusammenhang konnten zusätzlich zum Plan wertvolle Erkenntnisse bezüglich der Akzeptanz und Nutzerfreundlichkeit des V2G-Systems gewonnen werden. Da in D1.3 allerdings die technische Realisierung und nicht die Nutzerfreundlichkeit der Anwendung im Vordergrund stand, gab es seitens der Nutzer eine Reihe von Verbesse-

rungsvorschlägen (siehe D5.4), die in einer weiteren Ausbaustufe des Systems Berücksichtigung finden sollen.
Nicht zuletzt sollten aus den im Probebetrieb gemessenen Daten die in der Simulation in D1.1 angenommenen Prämissen verifiziert werden, um anschließend durch Anpassungen des Modells und der Parameter die Simulationsergebnisse verbessern zu können. Hierzu gehören beispielsweise das Nutzerverhalten, die Lade- und Entladekurven, der Energieverbrauch beim Fahren, der Wirkungsgrad beim Laden und Rückspeisen sowie der Standby-Verbrauch angeschlossener Fahrzeuge ohne Laden oder Rückspeisen.

4.5.4.3.3 Betrieb des Freilandlabors

Das entstandene Konzept des Probebetriebes sah vor, jeweils einem Fahrer (durch die TU Chemnitz aus den Mitarbeitern des DAI-Labors ausgewählt) einen V2G-fähigen MINI E für mindestens sechs Tage zu überlassen. Die Fahrer erhielten zu Beginn ihres Probebetriebes eine Einweisung in das Fahrzeug und eine Liste von Anwendungsfällen, welche sie im Laufe des Probebetriebes abarbeiten und dokumentieren sollten, um umfassende Tests der Funktionalität zu gewährleisten. Um die Eindrücke der Nutzer vor und nach der Nutzung des Systems einzufangen, fand jeweils eine Online-Befragung vor und nach dem jeweiligen Probebetrieb durch die TU Chemnitz statt (siehe D5.4).
Während des Probebetriebs waren die Verfügbarkeit der speziellen V2G-fähigen Ladestationen im Freilandlabor der TU Berlin, der Systeme im Fahrzeug (Embedded Car Plattform einschließlich Softwareschnittstellen) als auch die Funktionsfähigkeit aller Module des dezentralen Softwaresystems (in Fahrzeugen, Ladestationen, Backend, etc.) sicherzustellen. Da es sich hier um ein vollkommen neues komplexes System in einem frühen prototypischen Stadium handelte war zu erwarten, dass zeitintensive Wartungsarbeiten sowohl an den Ladestationen auf dem Gelände der TU Berlin als auch an den Car-Computern und Backend-Systemen anfallen, den Nutzern Hilfestellungen bei auftretenden Problemen jeglicher Art zu geben sind und Abweichungen des Systemverhaltens analysiert werden müssen. Eine lückenlose Begleitung des Probebetriebs war durch die Qualifizierung von entsprechend vielen Mitarbeitern gewährleistet.

a) <u>Dezentrales V2G-Softwaresystem und W2V2G-Planungsalgorithmus</u>

Im Rahmen des Probebetriebes traten im dezentralen Softwaresystem beispielsweise Situationen auf, in denen die Synchronisation des Weltbildes zwischen den Entitäten Fahrzeug und Nutzer nicht korrekt erfolgte. Diese Situationen entstanden zumeist dann,

wenn zum gleichen Zeitpunkt verschiedene Trigger zur Neu- bzw. Umplanung eintrafen. Dies konnte in unserem Ansatz die Kalender- und Präferenzmodifikation durch den Nutzer, die Zustandsänderung im Fahrzeug und die Aktualisierung der Prioritätenfunktion durch die Netzseite sein. Kam es im Probebetrieb zum Beispiel zu einer Modifikation des Nutzerkalenders, während eine Neuplanung aufgrund einer Zustandsänderung im Fahrzeug durchgeführt wurde, so divergierten die Weltbilder der Nutzer- und Fahrzeuginstanz und wurden dann in der Folge auch nicht mehr zusammengeführt. Dies wurde zu einem frühen Zeitpunkt im Probebetrieb erkannt und mithilfe weiterer Synchronisationsmechanismen behoben.

Die Ladesteuerung im Fahrzeug diente dazu, die Ladepläne der W2V2G-Algorithmen umzusetzen. Dabei kam es z.B. am Anfang zu Problemen, wenn es während der Umsetzung eines geplanten Ladevorgangs zu einer Umplanung kam, die der aktuelle Ladeplan nicht mehr vorsah. Die Ladesteuerungsalgorithmen überprüften in diesem Fall nicht stetig, ob der Ladevorgang immer noch aktuell ist oder abgebrochen werden soll. Nach Analyse des Problems wurde dieser Mechanismus dahingehend verändert, dass auch während der Ladevorgänge die aktuellen Ladepläne abgefragt und gegebenenfalls die Umsetzung darauf angepasst wird.

Ein weiteres Problem, das während des Probebetriebes auftrat, war der Umgang mit bestimmten, dynamischen Parametern durch den W2V2G-Algorithmus. So wurde am Anfang bei einer Umplanung der Zeitrahmen vom Umplanungszeitpunkt bis zur nächsten Fahrt nicht als potentieller Ladevorgang in Betracht gezogen, auch wenn sich das Fahrzeug an einer Ladestation befand. Dies hatte zur Folge, dass die Flexibilität des Systems bei der Auswahl der optimalen Ladezeitpunkte verringert wurde. Dies wurde nach Analyse des Problems während des Probebetriebs behoben.

Der derzeitige Lade- und Rückspeiseplanungsansatz sieht vor, dass aus einer Menge von möglichen Standzeiten diejenigen für Ladevorgänge in Betracht gezogen werden, die zur Einhaltung der Nutzervorgaben und gleichzeitig einer optimalen Ausnutzung der Prioritätenfunktion führen. Dabei wurde allerdings das gesamte Standzeitintervall in Betracht gezogen, wodurch nicht mehr innerhalb des Intervalls differenziert wurde. Das Bestreben in der Weiterentwicklung der W2V2G-Algorithmen ist es, auch während der Standzeiten die Ladevorgänge hinsichtlich der Prioritätenfunktion anzupassen, so dass ungünstige Teilintervalle nicht als Ladeintervall vorgesehen werden. Dadurch wird eine weitere Verbesserung der Windenergieanteile in der Fahrzeugbatterie angestrebt. Dies

konnte im Rahmen des Probebetriebes nicht umgesetzt werden und ist im Rahmen von Folgeprojekten geplant.

Derzeit plant das System nur dann Ladeintervalle ein, wenn die Terminvorgaben des Nutzers und damit die errechneten Energieverbräuche aus den abgeleiteten Fahrten zu einer prognostizierten Unterschreitung der nutzerdefinierten Minimalreichweite führen. Im Rahmen des Probebetriebes ist aufgefallen, dass dadurch potentiell günstige Ladeintervalle ausgelassen werden, weil es noch keine Ladenotwendigkeit auf Seiten des Nutzers gibt. In Zukunft ist eingeplant, das Anstoßen der Ladeplanung nicht nur von der Minimalreichweite abhängig zu machen, sondern auch von Schwellenwerten der Prioritätenfunktion. So könnte ein Fahrzeug auch bei unkritischem SOC laden, was zu einer noch besseren Ausnutzung der Windenergie führen kann.

Bei der Mobilitätsplanung auf Grundlage der Nutzerkalender und -präferenzen musste ein bestimmtes prognostiziertes Fahrverhaltensmuster definiert werden, um eine möglichst genaue Abschätzung der Energieverbräuche und Standzeiten des Fahrzeuges zu gewährleisten. Im Rahmen des Probebetriebes wurde ein Arbeitsplatzszenario definiert, bei dem an Werktagen zu vom Nutzer definierten Zeiten automatisch Fahrten von zu Hause zum Arbeitsplatz und zurück berechnet wurden. Während des Probebetriebes kam es jedoch auch zu Fällen bei denen die Nutzer ausschließlich externe Termine wahrnahmen und den Arbeitsplatz nicht aufsuchten. In diesen Fällen kam es zu einer Diskrepanz zwischen dem geplanten und dem realen Verhalten. Ziel ist es, die Mobilitätsplanung flexibler zu gestalten, so dass der Nutzer zwischen verschiedenen Mobilitätsszenarien wählen kann, die auch für einzelne Tage (de-)aktivierbar sind.

b) V2G-Ladeassistent

Innerhalb des Probebetriebes bildete der V2G-Ladeassistent eine wichtige Schnittstelle zum Nutzer. Die grundlegende Kenntnis ist, dass der Assistent bereits eine gute Unterstützung für den Nutzer darstellt, jedoch durchaus noch Möglichkeiten für dessen Verbesserung bestehen. Besonders die Notwendigkeit der Kommunikation über das Internet und die benötigte Internetverbindung, welche gerade auf dem Weg durch die Stadt von durchsetzter Qualität sein kann, sorgten zu Beginn des Probebetriebes für hohe Antwortzeiten, da beispielsweise für die Abfrage von Daten aus dem Fahrzeug eine Kommunikation des Smart Phones mit den Backendsystemen und der Backendsysteme mit dem Fahrzeug für verschiedene Anwendungsfälle ein erhöhter Kommunikationsaufwand benötigt wurde. Für den Probebetrieb wurde der Kommunikationsaufwand mini-

miert, indem die entsprechend teuren Aufrufe optimiert wurden. Dies betraf sowohl die Entfernung redundanter Aufrufe, als auch das Zusammenfassen mehrerer Aufrufe zu einem, um eine mehrmalige Kommunikation zu verhindern. Für die Zukunft soll an Prinzipien der Offline-Fähigkeit geforscht werden, welche es ermöglichen, die Kommunikation aus dem Client weiter zu minimieren. Weiterhin wurde die Notwendigkeit erkannt, dem Nutzer Erinnerungen an Termine und geänderte Pläne sowie Anfragen zur Auflösung von Terminkonflikten auf Initiative der Applikation zu kommunizieren. Hierfür würde innerhalb des Frameworks ein Push-Mechanismus benötigt, um Informationen aus dem V2G-Backend eigenständig in die Applikation kommunizieren zu können. Auf Basis der Nutzererfahrungen wurden weitere Verbesserungspotentiale identifiziert. Das Handling des Terminkalenders wurde als komplex angesehen, was daran lag, dass die mobile Applikation ein Standardelement vermissen ließ, welches die Implementierung eines rudimentären Kalenders nötig machte, um diese Interaktion überhaupt zu ermöglichen. Die Ergebnisse der Adresssuche wurden ebenfalls negativ erwähnt. Für die Suche wird hier direkt auf eine API von Google zurückgegriffen. Die Ergebnisse des Probebetriebes weisen jedoch darauf hin, dass die gelieferten Ergebnisse weiter bearbeitet werden sollten, bevor sie dem Benutzer dargestellt werden. Weiterhin wurden von Nutzern weitere Anreize und Feedback zu gesteuertem Laden angefragt. Dies wird durch die Ladehistorie bereits teilweise geleistet, könnte in Zukunft aber noch durch zusätzliche Statistiken, z.B. durch eine monetäre Nutzenstatistik (Welche allerdings erst bei schwankenden Energiepreisen wirklich interessant wird) unterstützt werden.

c) Authentisierung und Car-Computer

Die im V2G Freilandlabor eingesetzte Methode zur Nutzerauthentisierung mittels eines USB-Tokens im Fahrzeug über die PLC-Schnittstelle zur Ladestation hat ihre prinzipielle Nutzbarkeit gezeigt. Dabei sind allerdings einige Schwächen in der gegenwärtigen Umsetzung zu Tage getreten, welche in zukünftigen Entwicklungen berücksichtigt werden sollten. Eine PLC-basierte Authentisierung bringt durch das mögliche Übersprechen der Signale bei benachbarten Ladestationen einige Probleme mit sich, die durch einen zusätzlichen technischen Aufwand (z.B. durch Einsatz von Bandsperren zwischen den Ladestationen) behoben werden müssen, um eine eindeutige Nutzerzuordnung zu gewährleisten.

Das eingesetzte Authentisierungsverfahren an der Ladestation zeigte im Probebetrieb einige Instabilitäten auf. Dieses ist auf die verwendeten Softwarekomponenten zurück-

zuführen, die ursprünglich für andere Einsatzfälle entworfen wurden. Im Hinblick auf die Standardisierung der Kommunikationsschnittstelle und einer größeren Flexibilität bei der Wahl der Authentisierungsverfahren sind für zukünftige Arbeiten weitere Verbesserungen in diesem Bereich vorgesehen.

Die Integration der Car-PCs in die Fahrzeuge war durch die gegebenen Randbedingungen nur eingeschränkt möglich. Insbesondere fehlte eine Möglichkeit zur direkten Nutzerinteraktion (z.B. zum Stoppen des Lade-/Einspeisevorgangs und zur Abmeldung an der Ladesäule). Die prototypische Umsetzung zielte auf eine Erprobung der grundlegenden Mechanismen. Aspekte wie der Energieverbrauch des Car-PC im Standby-Betrieb wurden zurückgestellt und müssten für einen realistischen Einsatz berücksichtigt werden.

Messung Niederspannungsnetz in Berlin-Lichtenrade

Die Messung im Niederspannungsnetz „Lichtenrade“ sollten für die ÖLM-Anwendung im D1.4 echte Belastungswerte der öffentlichen Netzinfrastruktur verwendet werden. Da in dem ausgewählten tatsächlichen Netz jedoch keine Ladeinfrastruktur installiert wurde, beschränkte sich die Verwendung der Belastungswerte auf die Daten der Transformatoreinspeisung. Näheres dazu findet sich im D1.4-Bericht unter dem Kapitel ÖLM. Desweiteren sollten für die die Simulation der Netzbelastbarkeit im Verteilnetz Berlin drei Niederspannungsreferenznetze ausgewählt (siehe D1.1 Bericht). Das Niederspannungsnetz in Lichtenrade stellt dabei Eines der Netze dar. Die Messung diente dort der Verifikation der in der Simulation getroffenen Annahmen zur Vorbelastung des Netzes ohne Verwendung von Elektromobilität.

Erfasst werden soll die Belastung von Kabeln und Transformator hinsichtlich des Stromes und der Spannung je Phase. Die Platzierung der Messpunkte wurde erarbeitet (siehe Abbildung 212). Diese wurden so ausgewählt, dass zum einen die Gesamtbelastung (Transformatoreinspeisung), als auch die Belastung einzelner Netzabgänge zu jedem Zeitpunkt ein allumfassendes Bild der Netzbelastung liefern sollte. Die Belastung nicht erfasster Netzabgänge kann, durch die getroffene Wahl der Messpunkte, errechnet werden.

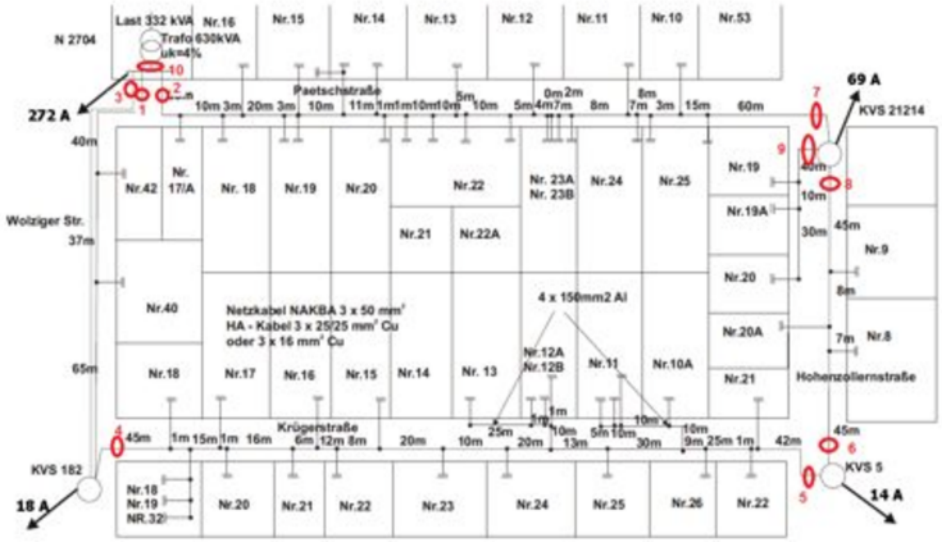


Abbildung 213: Platzierung Messstellen anhand des Netzplanes

Die Anbindung an das IT-System der TU Ilmenau zur Datenspeicherung und Auswertung benötigt die Zuordnung der Messpunkt-Nr. zur MEB-Nr. Nach einer ersten Prüfung durch eine Ortsbegehung konnte für die Platzierung folgender Status der Umsetzbarkeit ermittelt werden:

Messpunkt Nr.	Ort	Zu Abgang	Anzahl MEB in KVS oder Station	MEB Nr.
1	N2704	KVS 182	4	127
2		KVS 21214		134
3		KVS 182		110
10		Trafoeinspeisung		137
4	KVS 182	KVS 5	1	103
5	KVS 5	KVS 182	2	131
6		KVS 21214		132
7	KVS 21214	N2704	3	?
8		KVS 5		?
9		Abgang		?

Abbildung 214: Platzierung der Messboxen

Die Funktionsfähigkeit jeder Messstelle definiert sich aus der Erfassung und Übermittlung folgender Messwerte:

- Spannung: U1,U2,U3,Un
- Strom: I1, I2, I3, In
- Leistung: P_{Σ}, Q_{Σ}
- Leistungsfaktor: LF1, LF2, LF3

Der Zeitraum der Messung fand vom 1.Juni 2011 bis zum 28.September 2011 statt.

4.5.4.4 Ergebnisse und Schlusfolgerungen

Insgesamt müssen die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete im Deliverable 5.3 sehr unterschiedlich bewertet werden:

- Die Elektrofahrzeuge, die Infrastruktur für die Tests, Funktionen des Gesteuerten Ladens und die Integrationsplattform konnten bereitgestellt werden.
- Der eigentliche technische/operative Probebetrieb konnte nicht mehr im Projektrahmen durchgeführt werden. Die Ursache dafür war die verspätete Bereitstellung der BMW ActiveE Fahrzeuge und die Fehleranfälligkeit der Soft- und Hardware. Dadurch verlängerten sich die dem Probebetrieb vorgelagerten Integrations- und Systemtests.
- Die Tests der gesamten Systeme konnten an den Standorten Hamburg, Berlin und München durchgeführt werden.

Davon weitgehend unberührt, konnten die Versuche im Freilandlabor des DAI-Labors an der Technischen Universität Berlin zum Aspekt der Rückspeisefähigkeit Vehicle-to-Grid mit zwei umgebauten MINI E Fahrzeugen umgesetzt werden. Hier konnten zusätzlich noch einzelne Nutzerversuche der Technischen Universität Chemnitz erfolgen (AP 4.5).

Die vielen unterschiedlichen Softwaresysteme und -architekturen waren ein Grund für die Störanfälligkeit des Ladevorgangs und erschwerten auch die Fehlersuche und -beseitigung. Zukünftig muss entweder eine saubere und stabile Schnittstellendefinition zwischen den beteiligten Systemen herbeigeführt werden oder aber die Softwaresysteme müssen miteinander verbunden und vereinheitlicht werden. Letzteres dürfte auf-

grund der damit einhergehenden Notwendigkeit der Offenlegung von Quellcodes, etc., also von Firmen-Know-how, eher unwahrscheinlich sein.

Aufgrund von Verzögerungen bei der Auslieferung der BMW ActiveE Fahrzeuge und durch die verlängerte Integrations- und Systemtestphase konnte ein technischer Probebetrieb letztlich nicht mehr erfolgen.

Die Messstellen für das Netz in Lichtenrade konnten erfolgreich installiert werden und lieferten Daten an das Leitsystem. Exemplarisch soll die Funktionsfähigkeit an einem Stichtag überprüft werden. Hierfür wurde der 06.09.11 gewählt und der Verlauf der Wirkleistung ermittelt. Dabei handelt es sich um einen Werktag außerhalb der Ferienzeit. In Abbildung 213 ist der Verlauf der Wirkleistungseinspeisung in das Referenznetz dargestellt. Die dargestellten Punkte sind die ¼-h Mittelwerte. Für Fehlstellen konnte kein Wert ermittelt werden, da es zu Kommunikationsausfällen und damit dem Verlust an übermittelten Daten kam. Der zeitliche Verlauf entspricht dem für Wohngebiete erwartetem Verlauf.

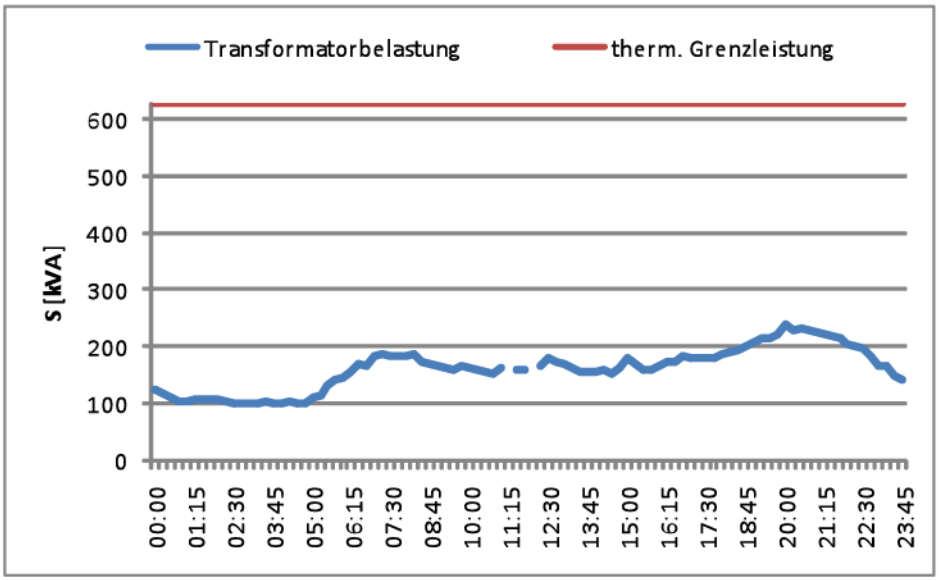


Abbildung 215: Wirkleistungsverlauf für Transformatoreinspeisung am 06.09.11

Hinsichtlich der ÖLM-Anwendung ergibt die gemessene Belastung der Transformatoreinspeisung in der Zeit zwischen 0:00 Uhr und 5:00 Uhr (niedrigste gemessene Last) Leistungsreserven von 530 kVA bis zum Erreichen der thermischen Grenzleistung, was je nach Leistungsfaktor und unter Berücksichtigung einer Leistungsreserve von 30% bis zu 100 gleichzeitig ladbaren Elektrofahrzeugen entspricht (Annahme Ladung mit 3,6

kVA). Für die Zeit um 20:00 Uhr (Starklastphase) wurde eine Leistung von 234 kVA ermittelt. Damit bleibt zu dieser Zeit eine Leistungsreserve von 207 kVA, was einer Anzahl von bis zu 57 gleichzeitig ladenden Elektrofahrzeugen entspricht (Annahme Ladung mit 3,6 kVA). Unter Berücksichtigung einer Laststeigerung zu den Wintermonaten, für die jedoch keine Messwerte vorliegen, müssen die angegeben Zahlen noch einmal um den entsprechenden Faktor der Laststeigerung reduziert werden. Ein Vergleich zur ÖLM-Anwendung kann nicht direkt erfolgen. Gründe hierfür sind aus dem entsprechenden Kapitel des D1.4 Berichtes ersichtlich.

Zum Abgleich der Annahmen der Netzsimulation im D1.1 und den aus den Messungen im Niederspannungsnetz wurde die Stunde der Höchstlast im gemessenen Intervall ermittelt. Aufgrund der verfügbaren Daten aller Messpunkte wurde der 09.09.11 21:15 Uhr gewählt. Ein Vergleich aus Messung und Simulation basierend auf dem gewählten Vergleichstag ist in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich:

Messpunkt	**S (kVA)**		**$U_{Kollektiv}$ (V)**	**U (V)**	**dS % bezogen auf Gesamtlast**	**dU %**
	Messwert	Simulation	Messwert	Simulation		
10	225,39	282,47	230,55	227,80	20,2%	1,2%
4	23,90	55,64	230,04	224,85	11,2%	2,3%
3	20,52	36,04	230,94	227,80	5,5%	1,4%
1	24,65	37,91	230,99	227,80	4,7%	1,4%
5	4,20	16,66	228,67	218,90	4,4%	4,5%
6	26,80	11,89	228,73	218,90	5,3%	4,5%
2	49,56	87,40	230,93	227,80	13,4%	1,4%

Tabelle 55: Vergleich aus Messung und Simulation

Der Vergleich macht deutlich, dass der Leistungsfluss für Messpunkt 10 (Transformatoreinspeisung) in der Simulation um ca. 20% höher angenommen wurde. Der Vergleich aus gemessene Spannung und Annahmen der Simulation unterscheiden sich um ca.

1%. Der Unterschied im Leistungsfluss lässt sich unter anderem durch den saisonalen Lastunterschied des Messintervalls und den Annahmen für die Simulation erklären. Für die in Niederspannungsabgängen installierten Messpunkte ergeben sich im Leistungsfluss Differenzen bis zu 13,4% bezogen auf die angenommene Gesamtlast. Da die absoluten Abweichungen bezogen auf die Gesamtnetzlast jedoch gering sind, kann auch von geringen Auswirkungen der relativen Abweichung ausgegangen werden.

Die in der Simulation getroffenen Annahmen basieren für das betrachtete Niederspannungsnetz auf Abschätzungen der Last. Dies gilt sowohl für die Gesamtlast, welche über die Transformatoreinspeisung geleitet wird, wie auch für die Lasten die durch die Niederspannungsabgänge gespeist werden. Unter Berücksichtigung der gemessenen Werte, kann die Abschätzung der Lastwerte in Summe als ausreichend angenommen werden. Die Abweichungen im Spannungsbetrag lassen sich unter anderem durch unterschiedlichen Blindleistungsbedarf im Niederspannungsnetz erklären, welcher in der Simulation für alle Lasten konstant angenommen wurde (Leistungsfaktor 0,95 induktiv). Ausgehend von den Ergebnissen der Messungen ist anzunehmen, dass die Simulation als pessimistischer gegenüber den tatsächlichen Belastungen einzuschätzen ist. Weitere Auswirkungen auf die Ergebnisse der Simulation sind im D1.1 Bericht ersichtlich, diese sind entsprechend neu zu bewerten.

Zusammenfassend ergibt sich eine erfolgreiche Messung, welche genutzt werden kann, um die Simulationsannahmen zu verifizieren oder zu falsifizieren. Ein direkter Nachweis der Funktionsfähigkeit der ÖLM-Anwendung konnte aufgrund fehlender angeschlossener Elektrofahrzeuge nicht geführt werden.

Für den Probebetrieb war geplant, im Sinne von äquivalenten Testbedingungen die Use Cases von Vattenfall bzgl. der W2V-Funktionalität gegenüber MINI E Berlin 1.0 zu vergleichen. Beim Projekt MINI E Berlin 1.0 verlief die Ermittlung des Korrelationskoeffizienten (Windenergieverfügbarkeit zu Ladebereitschaft) ohne Einschränkung des Nutzerverhaltens, während im Gesteuerten Laden die Fahrten bzw. Ladezeiten u.a. nutzerbedingt vorgeplant werden können. Eine Effizienzsteigerung gegenüber MINI E Berlin 1.0 wird durch die Weitentwicklung von folgenden Funktionalitäten erreicht:

- Neue LLM-Algorithmen
- Erweiterter W2V-Algorithmus ergänzt um Netzlastanteile
- Verbesserte 24 Stunden Prognosen

- Integration des Ladeassistenten

Ein Vergleich des unGesteuerten Ladens mit den Applikationen W2V MINI E und W2V GL V2.0 konnten folgende Verbesserung der Effizienz zeigen:

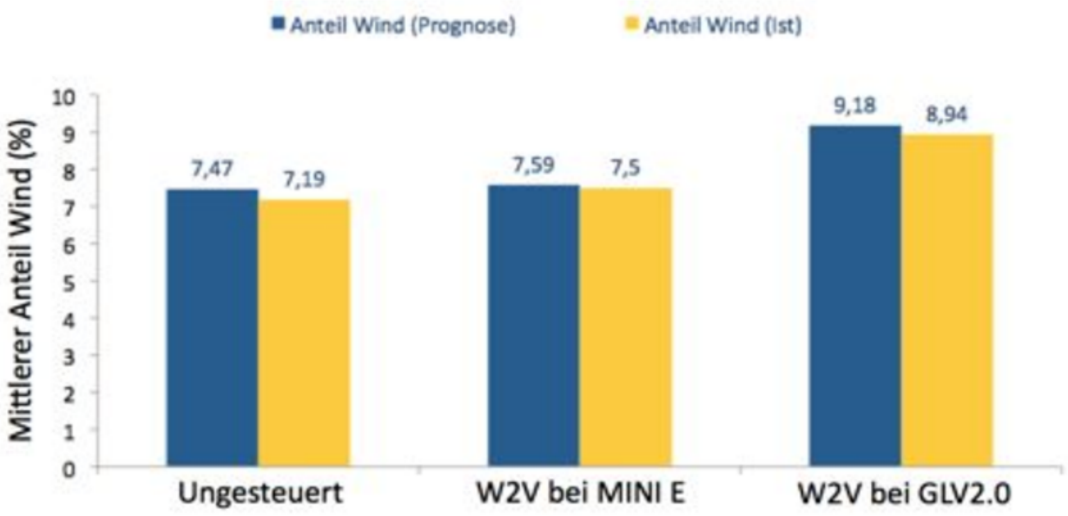


Abbildung 216: Vergleich des unGesteuerten Ladens mit den Applikationen W2V MINI E und W2V GL V2.0; Quelle: Dr. Michael Agsten (TU Ilmenau), Promotion

Im Projekt MINI E Berlin 1.0 konnte der Anteil Wind lediglich um 4,3% gegenüber dem Ausgangswert im ungesteuerten Laden gesteigert werden (7,5% statt 7,19%).

Es konnte in Simulationen nachgewiesen werden, dass die Methoden im Gesteuerten Laden zu einer Steigerung um 24% gegenüber dem Ausgangswert im ungesteuerten Laden führen (8,94% statt 7,19%). Bedingt durch die Algorithmen im Gesteuerten Laden konnte in der Simulation eine potentielle Verbesserung gegenüber MIN E um den Faktor 5,58 gezeigt werden.

Die endgültige Bestätigung des stabilen Betriebs der Integrationsplattform und der Robustheit der Applikationen durch den Probebetrieb konnte noch nicht stattfinden und wird von den Projektpartnern BMW und Vattenfall im Anschluss nach dem geförderten Projekt eigeninitiativ durchgeführt.

4.5.5 Deliverable 5.4: Evaluierung (Akzeptanz, Betrieb)

4.5.5.1 Management Summary

Die ursprünglich geplante Evaluierung des W2V-Probebetriebs konnte aufgrund von Verzögerungen im Projektverlauf nicht durchgeführt werden. Stattdessen wurde der V2G-Probebetrieb im Freilandlabor der TU Berlin evaluiert. Dabei absolvierten sechs Teilnehmer 13 Aufgabenszenarien, die in weiten Teilen als einfach bewertet wurden (beispielsweise der Authentifizierungsvorgang, das Einsehen des Ladezustands des Fahrzeugs). Etwas schwieriger und aufwändiger beurteilten einige Teilnehmer das Suchen einer Ladestation bzw. den Umgang mit dem Kalender des Ladeassistenten. Alle Teilnehmer gaben an, gut mit dem Ladekonzept zurechtgekommen zu sein. Anhand der ISOMetrics-Skala wurde die Aufgabenangemessenheit aufgrund von als überflüssig empfundenen Schritten im Ablauf eher negativ eingeschätzt, ebenso wie die Fehlertoleranz. Hier wurde neben Systemfehlern der Umstand bemängelt, dass in Fehlersituationen keine oder nur schwer verständliche Hinweise, Warnungen und Fehlermeldungen gegeben wurden. Die Erlernbarkeit erhielt im Vergleich mit den anderen Kriterien die höchste Zustimmung. Bedenken äußerten die Teilnehmer gegenüber dem Planungsaufwand und den damit verbundenen Problemen, das Gesteuerte Laden in den Alltag zu integrieren. Entsprechend fiel die Bewertung der Zufriedenheit mit dem Ladekonzept nur leicht positiv aus, während die Nützlichkeit von allen Teilnehmern positiv bewertet wurde. Für die Bereitschaft zur Nutzung des Gesteuerten Ladens standen für die Nutzer vor allem ein möglicher finanzieller Vorteil und der Zugriff auf eine private Autostrombox im Vordergrund. Als Anreiz, die Bereitschaft zur Nutzung des Gesteuerten Ladens zu erhöhen, wurde neben finanziellen Aspekten v.a. die Übertragung der Verantwortung für die Instandhaltung und Garantie der Batterie zum Stromanbieter als Wunsch genannt.

Die Möglichkeit, das Gesteuerte Laden über ein Smartphone zu steuern, wurde von allen Studienteilnehmern befürwortet und gegenüber der Steuerung im Fahrzeug oder an der Ladestation bevorzugt, wenn auch nur mit geringem Vorsprung. Anhand der van der Laan-Akzeptanzskala bewerteten die Teilnehmer die Zufriedenheit mit dem Ladeassistenten eher neutral, während die Nützlichkeit etwas höher eingeschätzt wurde. Die Bewertung von Effizienz und Effektivität lag im positiven Bereich, wobei die Effektivität etwas besser bewertet wurde.

Während des gesamten Nutzungszeitraumes wurden über alle Teilnehmer hinweg 31 Ladevorgänge aufgezeichnet (vorrangig an einer Ladestationen der Technischen Universität Berlin), 25 davon erfolgreich und sechs nicht. Als Gründe für den erfolglosen Ladevorgang nannten die Teilnehmer unter anderem, dass nach dem Anstecken des Fahrzeugs an der Ladestation keine UMTS-Verbindung zustande kam oder dass die Ladestation außer Betrieb war. Die wichtigste Motivation zum Laden bildete meist ein niedriger Ladestand. Insgesamt aktivierten die Studienteilnehmer zwölf Mal das Sofortladen, wobei fünf dieser Ladevorgänge von der gleichen Person ausgeführt wurden.

Insgesamt konnte der V2G-Probebetrieb erfolgreich evaluiert werden. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Komponenten Ladeassistent und Gesteuertes Laden. Die Nutzer waren in der Lage mit Hilfe des Ladeassistenten gesteuert zu laden. Die Ergebnisse der Evaluation wurden an das DAI-Labor der Technischen Universität Berlin weiter gegeben, um als wichtiger Input in die Entwicklung der nächsten Generation eines Ladeassistenten einzufließen. Vor allem die berichteten Probleme liefern dabei einen wichtigen Ansatz zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Systeme.

Für den nicht evaluierten W2V-Probebetrieb gilt, dass alle Instrumente voll einsatzfähig sind und jederzeit angewendet werden können.

4.5.5.2 *Ziele und Aufgaben*

Das Ziel dieses Deliverable bestand darin, die im Projekt neu entwickelten Komponenten anhand einer umfassenden Methodik zu evaluieren. Im Rahmen des Probebetriebes sollte die Akzeptanz des Gesamtsystems bzw. des Zusammenspiels der Teilkomponenten unter noch alltagsnäheren Bedingungen im Feld untersucht werden. Dabei wurden Daten zu Themen wie Benutzerfreundlichkeit, Nutzungsbarrieren, Systemgrenzen und Bedienprobleme generiert. Als Arbeitsergebnis des Deliverable steht ein Bericht, der das Potential der Systeme und deren Gebrauchstauglichkeit zusammenfasst und in dem dargestellt wird, welche Systemausprägungen den Anforderungen des Elektromobilitätssystems gerecht werden.

4.5.5.3 Vorgehen, Methodik

Im Probebetrieb sollte das Zusammenwirken von Fahrzeug und Ladestation evaluiert werden. Unter Einbezug von Fachliteratur, der Ergebnisse aus MINI V1.0, der Hypothesen aus den Arbeitspaketen 2.1.2, 2.1.3 unD2.1.4 sowie von Funktionsbeschreibungen der im Projekt entwickelten Komponenten wurden die relevanten Themenbereiche für die Szenariotests identifiziert. Ein Schwerpunkt lag dabei auf dem von der BWM AG entwickelten Ladeassistent, der die direkte Schnittstelle zwischen Nutzer und Gesteuertem Laden bildet.

4.5.5.3.1 Erste Konzeption der Evaluierung des Probebetriebs

a) Aufgabenszenarien

Die einzelnen Komponenten des Gesamtsystems „Gesteuertes Laden“ sollten im Probebetrieb hinsichtlich der Nutzerakzeptanz und -zufriedenheit überprüft werden. Zu diesem Zweck wurden konkrete Nutzungsszenarien definiert, die die Nutzer während ihrer zweiwöchigen Nutzungsphase mindestens einmal durchführen sollten (Beispiele sind in Tabelle 1 dargestellt).

Neben den Szenarien sollten weitere Fragestellungen zu fünf Themenkomplexen beantwortet werden:

1. Wie zufrieden sind die Nutzer mit dem Gesamtsystem „Gesteuertes Laden“, bestehend aus dem BMW ActiveE, einer W2V-fähigen Ladestation und dem Ladeassistenten in Form einer Applikation auf dem Apple iPhone?
2. Wie bewerten die Nutzer das Gesamtsystem, wenn der Ladeassistent auf dem Smartphone verfügbar ist, im Gegensatz zur Bereitstellung des Ladeassistenten über ein Webportal (entspricht der Lösung aus dem Projekt MINI E Berlin 1.0)? Werden die Kalenderfunktionen in der smartphonebasierten Variante stärker genutzt? Führt die Bereitstellung des Ladeassistenten über eine mobile Plattform, wie einem Smartphone, zu einem höheren Anteil an Windstrom pro Batterieladung?
3. Führt eine Rückmeldung über den Erfolg beim Gesteuerten Laden im Rahmen des Ladeassistenten zu einem höheren Anteil an Windstrom pro Batterieladung? Führt eine Rückmeldung über den Erfolg beim Gesteuerten Laden zu einer stärkeren Akzeptanz des Gesteuerten Ladens?

4. Führen ausführliche Informationen über öffentliche Ladestationen im Rahmen eines mobilen Ladeassistenten zu einem erhöhten Vertrauen gegenüber der Nutzbarkeit dieser Ladestationen? Führen diese Informationen zu einer verstärkten Nutzung dieser Ladestationen?
5. Führen Vorschläge zur Optimierung der Einstellungen im Ladeassistenten zu einem höheren Anteil an Windstrom pro Batterieladung? Wie werden derartige Vorschläge vom Nutzer angenommen?

Aufgaben an die Teilnehmer	
Teil A (bei Übergabe des Fahrzeugs und des Ladeassistenten)	
1.	Bitte machen Sie sich zunächst mit dem Ladeassistenten vertraut.
2.	Schließen Sie das Fahrzeug erstmalig an die Ladestation an und überprüfen Sie die Rückmeldung.
3.	Überprüfen Sie in welchem Modus sich das Fahrzeug aktuell befindet.
4.	Wechseln Sie zwischen Gesteuert Laden und Sofortladen hin und her.
5.	Stellen Sie Ihre Wohnortadresse ein und überprüfen sie, ob sie mit der derzeitigen Restreichweite dorthin gelangen können.
6.	Vergleichen Sie den Authentifizierungsvorgang an Ladestationen mit und ohne RFID-Karte.
7.	Stellen Sie Ihre Standardabfahrtszeiten ein.
8.	Bereiten Sie das Fahrzeug auf das Losfahren vor.
Teil B (während des Nutzungszeitraums von den Teilnehmern selbständig durchzuführen)	
9.	Lassen Sie sich zu einer öffentlichen Ladestation navigieren (z.B. indem Sie einen Termin nah an einer öffentlichen Station einplanen).
10.	Stellen Sie eine Abweichung von Ihrer Standardabfahrtszeit mit der für diesen Tag benötigter Mindestreichweite ein.
11.	Stecken Sie das Fahrzeug an eine Ladestation, obwohl im Kalender kein Laden vorgesehen ist. Aktivieren Sie mit Hilfe des Smartphone das Sofortladen (Sie können nach eigenem Ermessen und Bedarf beenden).
12.	Verkürzen Sie spontan einen bereits laufenden Ladevorgang um etwa 1 Stunde, indem Sie im geplanten Zeitraum einen neuen Termin in den Kalender der Applikation eintragen bzw. einen bestehenden Termin verschieben.
13.	Entfernen Sie einen geplanten Termin aus Ihrem Kalender (z.B. aufgrund eines Ausfalls).
14.	Stellen Sie ein, dass Ihr Fahrzeug an einem bestimmten Abfahrtstermin vortemperiert sein soll.
15.	Verändern Sie die Einstellungen für den nächsten Ladevorgang anhand der Windprognose.

Tabelle 56: Beispielszenarien für den W2V-Probebetrieb

b) Testdesign

Eine Zusammenfassung des geplanten Gesamtdesigns ist in Abbildung 218 zu finden. Sechs Nutzer sollten die Aufgabe erhalten, jeweils eine Woche mit dem stationären webbasierten Ladeassistenten und anschließend eine Woche mit dem mobilen smartphonebasierten Ladeassistenten den BMW ActiveE zu fahren. Diese Nutzergruppe sollte mit Nutzern verglichen werden, die in beiden Wochen den smartphonebasierten Ladeassistenten bereitgestellt bekommen hätten (Abbildung 217: Gruppe A vs. Gruppen B bis E). Erhoben werden sollte unter anderem, wie gut die Kalenderfunktionen genutzt wurden, wie gut Kalendereinstellungen und tatsächliche Ladezeiten übereinstimmten und welchen Anteil Windstrom in eine durchschnittlichen Tankladung eingespeist wurde. Die Vergleichsgruppe gliederten wir in zwei Untergruppen, um weitere Fragestellungen beantworten zu können. Sechs Nutzern sollte in der ersten Woche ein mobiler Ladeassistent ohne und in der zweiten Woche ein solcher mit Rückmeldungen über den Erfolg beim Gesteuerten Laden ausgehändigt werden (Gruppen B und C). Diese Gruppe sollte mit einer weiteren sechsköpfigen Gruppe verglichen werden, die erst in der zweiten Woche Informationen zu den Ladestationen im Ladeassistenten finden konnte (Gruppen D und E). Es wurde angenommen dass bei der erstgenannten Gruppe eine stärkere Verbesserung der Windstromeinspeisung zu beobachten sei, wohingegen bei der letztgenannten Gruppe ein größerer Zuwachs an Vertrauen zur öffentlichen Ladeinfrastruktur erwartet wurde. Jeweils drei Personen aus jeder dieser beiden Gruppen sollten in der zweiten Woche einen Vorschlag zur Optimierung ihrer Windbilanz bekommen (Gruppen C und E). Diese insgesamt sechs Personen sollten wiederum mit den anderen sechs Personen ohne Optimierungsvorschlag verglichen werden (Gruppen B und D). Als abhängige Variable sollte dabei der Anteil eingespeister Windstrom gelten.

Gruppe	Anzahl Teilnehmer	Erhebungszeitpunkt Vorbefragung	Woche 1	Erhebungszeitpunkt Mittelbefragung	Woche 2	Erhebungszeitpunkt Nachbefragung
A	6		Webportal		Ladeassistent	
B	3		Ladeassistent ohne Rückmeldung		Ladeassistent	
C	3		Ladeassistent ohne Rückmeldung		Ladeassistent + Optimierungsvorschlag	
D	3		Ladeassistent ohne Information über öffentliche Ladestationen		Ladeassistent	
E	3		Ladeassistent ohne Informa-		Ladeassistent	

			tion über öffentliche Ladestationen		+ Optimierungsvorschlag	

Abbildung 217: Design Evaluierung Probebetrieb BMW ActiveE.

Zusammenfassend wurden für den Probebetrieb 18 möglichst naive Nutzer eingeplant. Diese sollten über jeweils zwei Wochen mit dem BMW ActiveE fahren und an den W2V-fähigen Ladestationen laden. Es sollten drei Erhebungszeitpunkte stattfinden. Die erste Befragung der Nutzer sollte vor der zweiwöchigen Nutzungsphase erfolgen. Die nächste Befragung war nach genau einer Woche geplant, gleichzeitig war der Austausch der Ladeassistenten beabsichtigt. Nach den gesamten zwei Wochen Nutzung sollte eine Endbefragung stattfinden, während der zusätzlich zu den bereits oben erwähnten Parametern die generelle Gebrauchstauglichkeit vom und die Zufriedenheit mit dem Gesamtsystem, sowie dessen einzelnen Komponenten erhoben werden sollten. Außerdem war geplant, den subjektiven Nutzen der variierten Zusatzfunktionen abhängig von der jeweils befragten Nutzergruppe (Informationen über Ladestationen, Rückmeldung über Erfolg beim Gesteuerten Laden, sowie Optimierungsvorschläge für das Gesteuerte Laden) bewerten zu lassen.

4.5.5.3.2 Neue Konzeption der Evaluierung des Probebetriebs

Im Projektverlauf stellte sich heraus, dass die BMW ActiveE Fahrzeuge nicht rechtzeitig für das geplante Design der Evaluierung zur Verfügung stehen würden bzw. sich die finalen technischen Tests am W2V-System verspäten würden. Aus diesem Grund wurde von der Technischen Universität Chemnitz gemeinsam mit den Projektpartnern und in Absprache mit dem Fördergeber eine Erweiterung bzw. Änderung des Studiendesigns beschlossen. Neben der geplanten Evaluierung des W2V-Systems wurde für den Probebetrieb der V2G-fähigen Fahrzeuge eine Evaluierung konzipiert.

Das überarbeitete Konzept für die Evaluierung des Probebetriebs aus Nutzersicht bestand aus zwei Teilen.

4.5.5.3.2.1 Evaluierung der W2V-Systems anhand der BMW ActiveE Fahrzeuge und der im Projekt entwickelten Komponenten (Ladestation und Ladeassistent)

Das Untersuchungsdesign wurde zeitlich und inhaltlich angepasst. Je nach Zeitpunkt der Fertigstellung der Fahrzeuge und Abschluss der technischen Tests an den Komponen-

ten des W2V-Systems sollten den Nutzern alle oder nur einige Aufgabenszenarien vorgegeben werden. Die Datenerhebung wurde auf einen Erhebungszeitpunkt reduziert. Der Gruppenvergleich musste aufgrund der Restriktionen bei der Nutzerauswahl ebenfalls aus dem Design gestrichen werden. Aus rechtlichen bzw. organisatorischen Gründen (verspätete Straßenzulassung für die Fahrzeuge) durften im Projektzeitraum nur speziell geschulte Personen mit den BMW ActiveE Fahrzeugen fahren.

Für den Ablauf des Probebetriebs mit den BMW ActiveE Fahrzeugen, der im Projekt entwickelten Ladestation und dem W2V-Ladeassistenten waren somit je nach zeitlicher Verfügbarkeit der Fahrzeuge und der Fertigstellung der technischen Test am W2V-System zwei unterschiedliche Vorgangsweisen geplant, die in Tabelle 2 dargestellt sind:

Alternative 1	Alternative 2
Ausgangspunkt: zwei Fahrzeuge ab Mitte August verfügbar • Evaluierung mit zwei Fahrzeugen und zwei Nutzern • ausführliche Aufgabenszenarien • Vor- und Nachbefragung der Nutzer	Ausgangspunkt: zehn Fahrzeuge ab Anfang September verfügbar • Evaluierung mit zehn Fahrzeugen und zehn Nutzern • gekürzte Aufgabenszenarien • Nachbefragung der Nutzer

Tabelle 57: Alternativplanung für den W2V-Probebetrieb.

4.5.5.3.2.2 Evaluierung des V2G-Systems anhand der MINI E Fahrzeuge, der dafür ausgestatteten Ladestation und des Ladeassistenten im Freilandlabor der Technischen Universität Berlin:

Für das V2G-System entwickelte die Technische Universität Berlin ein dezentrales, intelligentes Energiemanagement, welches das Be- und Entladen von V2G-fähigen Elektrofahrzeugen über V2G-Ladestationen steuerte. Zum Gesamtsystem V2G gehörte auch eine Benutzerschnittstelle. Das V2G-System ist in D1.3 detailliert beschrieben.

Die Evaluierung des V2G-Systems war anhand von drei MINI E Fahrzeugen geplant, die durch einen Umbau V2G-fähig waren, d.h. Strom aus den Batterien des Elektrofahrzeugs konnte in das Stromnetz zurückgespeist werden. Die Fahrzeuge waren mit einem V2G-Car-Computer ausgerüstet.

Am Gelände der Technischen Universität Berlin wurden drei Ladestationen für das Projekt aufgebaut, welche ebenfalls auf das V2G-System umgerüstet wurden. Die Authentifizierung an diesen Ladestationen erfolgte über einen Barcode-Scanner mittels Smartphone-Applikation und einem USB-Token, welcher vom Teilnehmer im Fahrzeuginneren angesteckt wurde. Um an den öffentlichen Ladestationen in Berlin laden zu können, benutzten die Teilnehmer RFID-Karten für die Authentifizierung.

Als Schnittstelle zum Nutzer entwickelte die Technische Universität Berlin eine Smartphone-Applikation (Ladeassistent), über die der Nutzer das Laden des MINI E steuern konnte. Der Ladeassistent sah folgende Funktionen vor:

- das Einstellen von Standardzeiten (regelmäßige Beginn- und Endzeiten des Arbeitstages; im Probebetrieb befand sich eine Ladestation am Arbeitsplatz, sodass zwischen diesen Zeiten das Fahrzeug an die Ladestation angesteckt werden konnte),
- eine Kalenderfunktion, welche für eingetragene Termine Ladepläne vorschlägt (Vorausberechnung für 24 Stunden),
- eine regulierbare Mindestreichweite,
- Anzeigen zum Ladestand und Ladestrom,
- einer Sofortladenfunktion mit Ampere-Angabe,
- einer Anzeige der Energiebilanz (Übersicht der letzten Ladevorgänge),
- einer Kartenfunktion (suchen von öffentlichen Ladestationen und Weg dorthin anzeigen lassen).

Nachfolgend wird die Konzeption des Probebetriebs in Berlin detailliert beschrieben.

a) Testdesign

Das Design für die Evaluierung des V2G-Systems sah neun Nutzer vor, die jeweils fünf volle Tage mit dem MINI E fahren, an der V2G-fähigen Ladestation laden und den Ladeassistenten nutzen sollten. Es sollten zwei Erhebungszeitpunkte stattfinden. Die erste Befragung der Nutzer war vor der Übergabe des Fahrzeugs geplant, am Ende des Nutzungszeitraums sollte eine ausführliche Befragung in Form eines Interviews sowie Fragebogens erfolgen. Während des Nutzungszeitraums sollten die Nutzer Aufgabenszenarien durchführen, die sich auf die Komponenten des Systems und deren Zusammenspiel bezogen.

Hierzu sollten folgende Fragestellungen beantwortet werden:

1. Wie zufrieden sind die Nutzer mit dem Gesamtsystem „Gesteuertes Laden“?
2. Welche Systemausprägungen werden den Anforderungen des Elektromobilitäts-systems gerecht?
3. Welche Systemausprägungen stoßen auf generelle Akzeptanz?
4. Wie bewerten die Nutzer die Gebrauchstauglichkeit der einzelnen Systeme und deren Zusammenwirken?

Einen Überblick über den geplanten Ablauf der Evaluierung gibt die Abbildung 218.

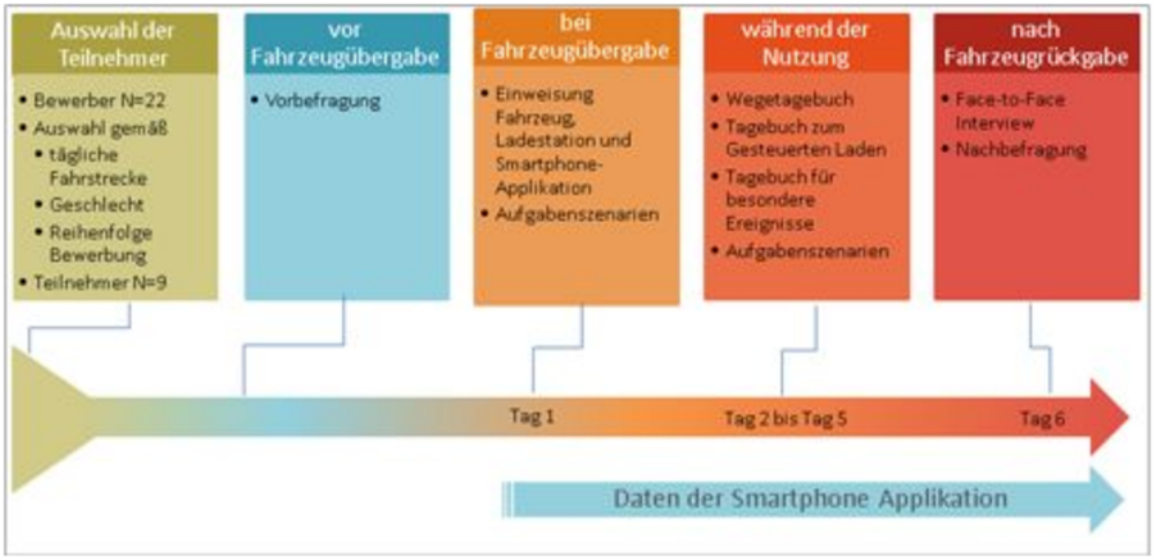


Abbildung 218: Ablauf Evaluierung Probebetrieb V2G-MINI E.

b) Erhebungsinstrumente

Die im Folgenden dargestellten Instrumente kamen in der Evaluierung des V2G-Systems zum Einsatz.

Aufgabenszenarien

Für die Evaluierung aus Nutzersicht wurden basierend auf den im Arbeitspaket AP 5.3.1 definierten Anwendungsfällen Aufgabenszenarien entwickelt, welche die Teilnehmer im Laufe des Probebetriebs erfüllen sollten. Die 13 Aufgabenszenarien deckten alle Funktionalitäten des Ladeassistenten sowie das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten des Gesteuerten Ladens (Fahrzeug, Ladestation und Ladeassistent) ab. In Tabelle 3 sind die konzipierten Aufgaben angeführt, die jeweils in ein Aufgabenbuch für den Zeitpunkt der Fahrzeugübergabe und für den Nutzungszeitraum geflossen sind. Ebenso Teil des Aufgabenbuches waren Fragen zur Einschätzung der Schwierigkeit und des Aufwandes der Aufgaben aus Teilnehmersicht.

Das Aufgabenbuch für den Zeitpunkt der Fahrzeugübergabe beinhaltete zudem Fragen zur Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz des Ladeassistenten. Zur Messung der Akzeptanz des Ladeassistenten kam die van der Laan Akzeptanzskala (vgl. van der Laan, 1997) zum Einsatz. Diese Skala erfasst anhand von neun Items die zwei Faktoren Nützlichkeit (Skala bestehend aus fünf Items) und Zufriedenheit (vier Items) mit einem System.

Aufgaben an die Teilnehmer
Teil A (bei Übergabe des Fahrzeugs und des Ladeassistenten)
1. Bitte machen Sie sich zunächst mit dem Ladeassistenten vertraut.
2. Stellen Sie Ihr persönliches Nutzerprofil ein.
3. Nehmen Sie Einsicht in den Ladestand des Fahrzeugs. Nutzen Sie dazu den Ladeassistenten.
4. Stecken Sie zunächst den USB-Token im Fahrzeug an. Authentifizieren Sie sich anschließend mit der Barcode-Lese-Applikation an der Ladestation.
5. Schließen Sie das Fahrzeug an die Ladestation an.
6. Vergewissern Sie sich, dass das Kabel richtig angeschlossen ist.
7. Überprüfen Sie in welchem Modus sich das Fahrzeug aktuell befindet.
8. Bereiten Sie das Fahrzeug auf das Losfahren vor.
Teil B (während des Nutzungszeitraums von den Teilnehmern selbständig durchzuführen)
9. Lassen Sie sich zu einer öffentlichen Ladestation navigieren (z.B. indem Sie einen Termin nah an einer öffentlichen Station einplanen).
10. Stecken Sie das Fahrzeug an eine Ladestation, obwohl im Kalender kein Laden vorgesehen ist. Aktivieren Sie mit Hilfe des Smartphone das Sofortladen (Sie können nach eigenem Ermessen und Bedarf beenden).
11. Verkürzen Sie spontan einen bereits laufenden Ladevorgang um etwa 1 Stunde, indem Sie im geplanten Zeitraum einen neuen Termin in den Kalender der Applikation eintragen bzw. einen bestehenden Termin verschieben.
12. Entfernen Sie einen geplanten Termin aus Ihrem Kalender (z.B. aufgrund eines Ausfalls).
13. Für diese Aufgabe benötigen Sie einen Termin, der örtlich mind. 20 km weg liegt. Tragen Sie statt des richtigen Termins zunächst einen „Dummy-Termin“ ein, der örtlich näher liegt. Korrigieren Sie diesen Termin dann kurzfristig. Achten Sie lediglich darauf, dass die Fahrzeit noch eingehalten werden kann.

Tabelle 58: Beschreibung der Aufgaben an die Teilnehmer der Evaluierung des Probebetriebs.

Interview

Zum Zeitpunkt der Fahrzeugrückgabe waren mit den Studienteilnehmern Face-to-Face Interviews geplant. Das Interview enthielt offene Fragen nach den Eindrücken und Erfahrungen im Verlauf des Nutzungszeitraums, sowie zu den einzelnen Komponenten des V2G-Systems (Erfahrungen mit dem Fahrzeug, der Applikation, dem Laden, dem V2G-Car-Computer, der Ladestation, der eingeschätzten Alltagstauglichkeit des Systems). Die Interviews dauerten etwa 45 bis 60 Minuten.

Fragebögen

Für die Befragung vor Fahrzeugübergabe und nach dem Nutzungszeitraum wurde jeweils ein Online-Fragebogen erstellt. Für die Erstellung der Fragen wurde auch auf Fragebögen aus dem Projekt MINI V1.0 (vgl. Krems et. al, 2011) zurückgegriffen. Zusätzlich wurden Fragen zum System des Gesteuerten Ladens entwickelt.

Der Fragebogen für die Vorbefragung beinhaltete Fragen zur Demographie, Vorerfahrung mit Smartphone und Elektro- oder Hybridfahrzeug, Einfluss des Gesteuerten Ladens auf den Umgang mit Elektrofahrzeugen und Anreize zum Gesteuerten Laden.

Um einen Vergleich zwischen Einstellungen vor und nach der Nutzung des Gesteuerten Ladens zu ermöglichen, umfasste die Nachbefragung wiederum die Themen Einfluss des Gesteuerten Ladens auf den Umgang mit Elektrofahrzeugen und Anreize zum Gesteuerten Laden. Die Bewertung des Ladekonzepts aus Nutzersicht sowie die Themen Akzeptanz, Barrieren und Bedienfreundlichkeit des Gesteuerten Ladens waren ebenfalls Teil der Nachbefragung.

Die Messung der Akzeptanz des Gesteuerten Ladens erfolgte anhand der van der Laan Akzeptanzskala (vgl. van der Laan, 1997). Für die Bewertung der Benutzerfreundlichkeit des Gesteuerten Ladens wurden Items des Messinstruments ISOMetrics (vgl. Willumeit, H., Gediga, G. &, Hamborg, K.-C., 1996) angewandt. Der ISOMetrics-Fragebogen umfasst 75 Items, aus denen sieben Skalen entsprechend den ISO Gestaltungsgrundsätzen berechnet werden. Davon kamen bei der Nachbefragung 53 Items zum Einsatz. Die Formulierung der Items wurde an das Ladekonzept angepasst, die Skala reichte von 1 = trifft überhaupt nicht zu bis 5 = trifft voll und ganz zu.

Tagebücher

Wegetagebuch

Die Studienteilnehmer füllten während des Nutzungszeitraums ein Wegetagebuch aus, welches auf dem im Projekt MINI V1.0 entwickelten Wegetagebuch basiert (vgl. Krems, 2011). Das Wegetagebuch erfasst die Variablen Zeitpunkt, Dauer und Entfernung sowie Zweck der zurückgelegten Wege im Laufe der Nutzung des V2G-fähigen MINI E.

Tagebuch zum Gesteuerten Laden

Ergänzend zu den objektiven Nutzungsdaten aus der Smartphone-Applikation (Ladeassistent) füllten die Teilnehmer ein Tagebuch zu ihrem Ladeverhalten aus. Dabei sollten sie alle getätigten Ladevorgänge eintragen (u.a. Zeitpunkt des An- und Abstecken des Fahrzeugs, Ort und Ranking der Gründe für das Anstecken des Fahrzeugs). Als Basis für dieses Tagebuch diente das Ladetagebuch aus dem Projekt MINI V1.0, welches an die Besonderheiten des Probebetriebs angepasst wurde.

Tagebuch für besondere Ereignisse

Besondere Ereignisse, die im Laufe des Nutzungszeitraums auftraten, konnten in einem Tagebuch erfasst werden, welches in Anlehnung an das von der Technischen Universität Chemnitz im Projekt MINI V2.0 (Krems et al., 2011) entwickelte Tagebuch für besondere Ereignisse konzipiert wurde. Neben der Beschreibung des Ereignisses beinhaltete dieses Tagebuch auch die Bewertung des Erlebten bzw. das Ausmaß der empfundenen Einschränkung durch das aufgetretene Ereignis im Umgang mit dem System des Gesteuerten Ladens.

Daten aus der Smartphone-Applikation

Objektive Nutzungsdaten konnten aus der Smartphone Applikation gewonnen werden. Hierfür wurde die Nutzungshäufigkeit der einzelnen Funktionen erfasst: Terminverwaltung (Termine hinzufügen, Termine löschen, Termindetails abrufen), Fahrzeugstatus und -details abrufen, Mindestreichweite einstellen, Sofortladen aktivieren und Ändern der Standardzeiten.

4.5.5.3.2.3 Evaluierung Probebetrieb V2G-System

Die Evaluierung des Probebetriebs mit den BMW ActiveE Fahrzeugen im Zusammenspiel mit den für das W2V-System entwickelten Komponenten (Ladestation und Ladeassistent auf iPhone-Basis von BMW) konnte letztendlich nicht stattfinden, da einerseits die Fahrzeuge nicht rechtzeitig zur Verfügung standen und andererseits die dem Probebetrieb vorangehenden technischen Tests an den Komponenten des W2V-Systems

nicht zeitgerecht abgeschlossen werden konnten. Somit war eine Datenerhebung für die Evaluierung des W2V-Systems innerhalb des Projektzeitraums nicht möglich.

Aufgrund von Verzögerungen in der technischen Umsetzung des V2G-Systems musste auch der ursprünglich geplante Ablauf des V2G-Probebetriebs angepasst werden. So wurde der geplante Probebetrieb mit ursprünglich neun Teilnehmern auf sechs Teilnehmer reduziert, da anstatt drei nur zwei MINI E zur Verfügung standen. Ein Teilnehmer musste die Nutzung nach drei Tagen abbrechen, da dem Teilnehmer beim Abstecken des Fahrzeugs von der öffentlichen Ladesäule ein Fehler unterlief und das Fahrzeug zur Reparatur in die KFZ-Werkstatt gebracht werden musste. Die Datenerhebung fand vom 17.08. bis 06.09.2011 statt (siehe Tabelle 59).

Zeitplan	KW 32			KW 33							KW 34							KW 35							KW 36	
	FR	SA	SO	MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO	MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO	MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO	MO	DI
Fahrzeuge	12.08.2011	13.08.2011	14.08.2011	15.08.2011	16.08.2011	17.08.2011	18.08.2011	19.08.2011	20.08.2011	21.08.2011	22.08.2011	23.08.2011	24.08.2011	25.08.2011	26.08.2011	27.08.2011	28.08.2011	29.08.2011	30.08.2011	31.08.2011	01.09.2011	02.09.2011	03.09.2011	04.09.2011	05.09.2011	06.09.2011
Fahrzeug 1	Vortestung Aufgaben-szenarien					TN 1								TN 3							TN 5					
Fahrzeug 2									TN 2					TN 4				FZ nicht verfüg-bar			TN 6					
Fahrzeug 3						Fahrzeug nicht verfügbar																				

Tabelle 59: Umgesetzter Zeitplan des Probebetriebs mit dem V2G-System.

a) Überprüfte Systeme im Probebetrieb und Einschränkungen

Für die Datenerhebung wurden auf Basis der von allen Projektbeteiligten gemeinsam erarbeiteten Liste der Anwendungsbereiche (AP 5.3.1) Aufgabenszenarien formuliert, die aufgrund verschiedener technischer Einschränkungen angepasst werden mussten. So war an den V2G-Ladestationen am Freilandlabor der Technischen Universität Berlin keine Autorisierung mit Hilfe der Vattenfall-RFID-Karte möglich. Die Ladestation wurde daher mit einem Barcode versehen, der mittels Smartphone-Applikation das Entriegeln

der Klappe und somit das Anstecken des Ladekabels ermöglichte. Zudem standen im Probebetrieb nur zwei von drei Ladestationen zur Verfügung.

Bei der Programmierung des Ladeassistenten musste ebenfalls aufgrund der zeitlichen Einschränkungen der Hauptschwerpunkt auf die technische Interaktion der V2G-Komponenten gelegt werden, eine Optimierung der Anwendung hinsichtlich Nutzerfreundlichkeit war nicht möglich. Einzelne Bedienschritte erforderten letztendlich sehr viele Interaktionen. Zudem konnte die Optimierungsfunktion, eine Funktion die aufgrund gespeicherter Daten des Nutzungsverhaltens während eines gewissen Zeitraums dem Nutzer Vorschläge zu optimalen Einstellungen der Mindestreichweite gibt, in der vorliegenden Zeit nicht realisiert und somit im Probebetrieb nicht getestet werden.

Der Umbau der MINI E Fahrzeuge verbunden mit der Ausrüstung der Fahrzeuge mit dem V2G-steuernden Car-Computer bedingte zusätzliche Bediennotwendigkeiten. Das Abstecken des Fahrzeuges musste via Ladeassistent korrekt vorbereitet werden, da ansonsten ein Fehler im Bordcomputer des Fahrzeugs entstand, der das weitere Laden verhinderte. Auf Aufgabenszenarien, die das unvermittelte Abstecken des Fahrzeuges thematisierten, wurde daher verzichtet.

b) Auswahl der Teilnehmer

Entsprechend der Konzeption der Evaluierung wurden Teilnehmer für die Tests ausgewählt. Tabelle 60 zeigt einen Überblick über die Merkmale der insgesamt sechs Teilnehmer an der Evaluierung des V2G-Probebetriebs.

Merkmal	Ausprägung
Geschlecht	1 weiblich 5 männlich
Alter	31 Jahre (Mittelwert), Min.: 26 Jahre, Max.: 36 Jahre
Höchster Abschluss	1 Bachelor 4 Diplom 1 Promotion
Durchschnittliche tägliche Fahrleistung vor der Studie	46 km (Mittelwert) Min.: 35 km, Max.: 70 km
Führerscheinbesitz seit	12 Jahre (Mittelwert) Min.: 4 Jahre, Max.: 18 Jahre

Tabelle 60: Merkmale der sechs Teilnehmer an der Evaluierung des V2G-Probebetriebs

Über Smartphone-Erfahrung verfügten sechs Personen. Vier Personen hatten keine Erfahrung mit reinen Elektrofahrzeugen, zwei Personen gaben an, dass sie einmal ein Elektrofahrzeug gefahren sind (z.B. Probefahrt). Ebenso vier Personen hatten keine Erfahrung mit Elektro-Hybrid Fahrzeugen, während zwei Personen gelegentlich ein Elektro-Hybrid Fahrzeug fuhren (z.B. als Mietwagen).

c) Vorbefragung

Im Vorfeld zum Termin für die Fahrzeugübergabe füllten die Studienteilnehmer einen Online-Fragebogen aus, der neben demografischen Angaben auch Fragen zur Vorerfahrung mit Smartphone und Elektro- oder Hybridfahrzeug, zum Einfluss des Gesteuerten Ladens auf den Umgang mit Elektrofahrzeugen und zu Anreizen zum Gesteuerten Laden beinhaltete.

d) Fahrzeugübergabe, Einweisung und Aufgabenszenarien

Die Übergabe des Fahrzeugs und des Ladeassistenten an die Teilnehmer fand in Einzelterminen im Freilandlabor der Technischen Universität Berlin statt. Zunächst erhielten die Teilnehmer eine technische Einweisung zum Elektrofahrzeug, zur Ladestation und zum Ladeassistenten. Im nächsten Schritt stellte der Versuchsleiter Aufgaben an die Teilnehmer, zu denen jeweils im Anschluss Fragen zur Durchführbarkeit beantwortet wurden. Zum einen konnten sich die Teilnehmer so mit dem System des Gesteuerten Ladens vertraut machen, zum anderen konnte dadurch der erste Eindruck der Teilnehmer bezüglich der Bedienbarkeit der Systemkomponenten erfasst werden. Abschließend übergab der Versuchsleiter das Aufgabenbuch mit jenen Aufgaben, welche im Laufe des Nutzungszeitraums von den Teilnehmern erfüllt werden sollten, sowie das Wegetagebuch, das Tagebuch zum Gesteuerten Laden, das Tagebuch für besondere Ereignisse sowie die Anleitungen zum Ausfüllen.

e) Fahrzeugrücknahme, Interview und Nachbefragung

Bei der Fahrzeugrücknahme nach dem Nutzungszeitraum wurden die Teilnehmer in Form eines kurzen Face-to-Face Interviews nach ihren Erfahrungen und den prägendsten Eindrücken im Laufe des Nutzungszeitraums befragt. Anschließend füllten die Teilnehmer den Online-Fragebogen für die Nachbefragung aus, welcher die Themen Akzeptanz, Alltagstauglichkeit und generelle Durchführung des Gesteuerten Ladens umfasste.

4.5.5.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die hier berichteten Ergebnisse beziehen sich auf die Evaluierung des V2G-Probebetriebs im Freilandlabor der Technischen Universität Berlin. Die Evaluierung des W2V-Probebetriebs konnte aufgrund von Verzögerungen im Projektverlauf nicht stattfinden.

4.5.5.4.1 Bewertung der Aufgabenszenarien

Die Teilnehmer absolvierten 13 Aufgaben, wobei „Teil A“ der Aufgaben bei der Übergabe des Fahrzeugs und des Smartphones in Anwesenheit des Versuchsleiters bearbeitet und „Teil B“ im Laufe des Nutzungszeitraums eigenständig von den Teilnehmern durchgeführt wurde (vgl. AP 5.3.2). Direkt nach der Bearbeitung der Aufgaben bewerteten die Teilnehmer Schwierigkeit und Aufwand der jeweiligen Aufgabe (siehe

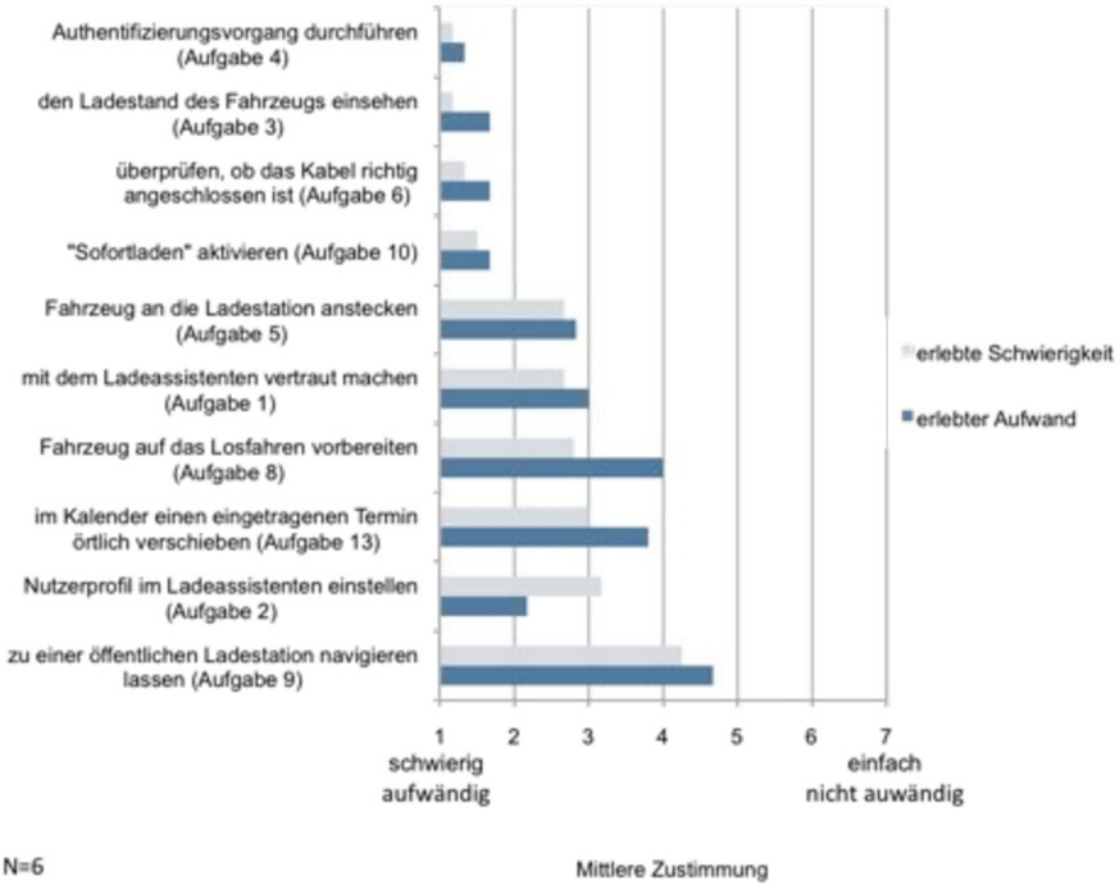


Abbildung 219).

Beinahe alle Teilnehmer empfanden den Authentifizierungsvorgang an der Ladesäule (Aufgabe 4), das Einsehen des Ladestands des Fahrzeugs (Aufgabe 3) und die Prüfung, ob das Kabel richtig angeschlossen ist (Aufgabe 6), als einfach und nicht aufwändig. Sich mit dem Ladeassistenten vertraut zu machen (Aufgabe 1) bereitete den Teilnehmern kaum Schwierigkeiten, die Bewertung des Aufwandes dieser Aufgabe fiel im Vergleich dazu etwa höher aus. Eine Person bewertete das Anstecken an die Ladestation (Aufgabe 5) und die Vorbereitung des Fahrzeugs auf das Losfahren (Aufgabe 8) als schwierig und aufwändig. Auch das Navigieren zu einer öffentlichen Ladestation (Aufgabe 9) wurde von einer Person als schwierig empfunden, die Hälfte der Teilnehmer beurteilte diese Aufgabe als eher aufwändig. Der Umgang mit dem Kalender des Ladeassistenten, also das örtliche Verschieben eines Termins (Aufgabe 13), fand eine Person schwierig, in Bezug auf den Aufwand schnitt diese Aufgabe durchschnittlich ab.

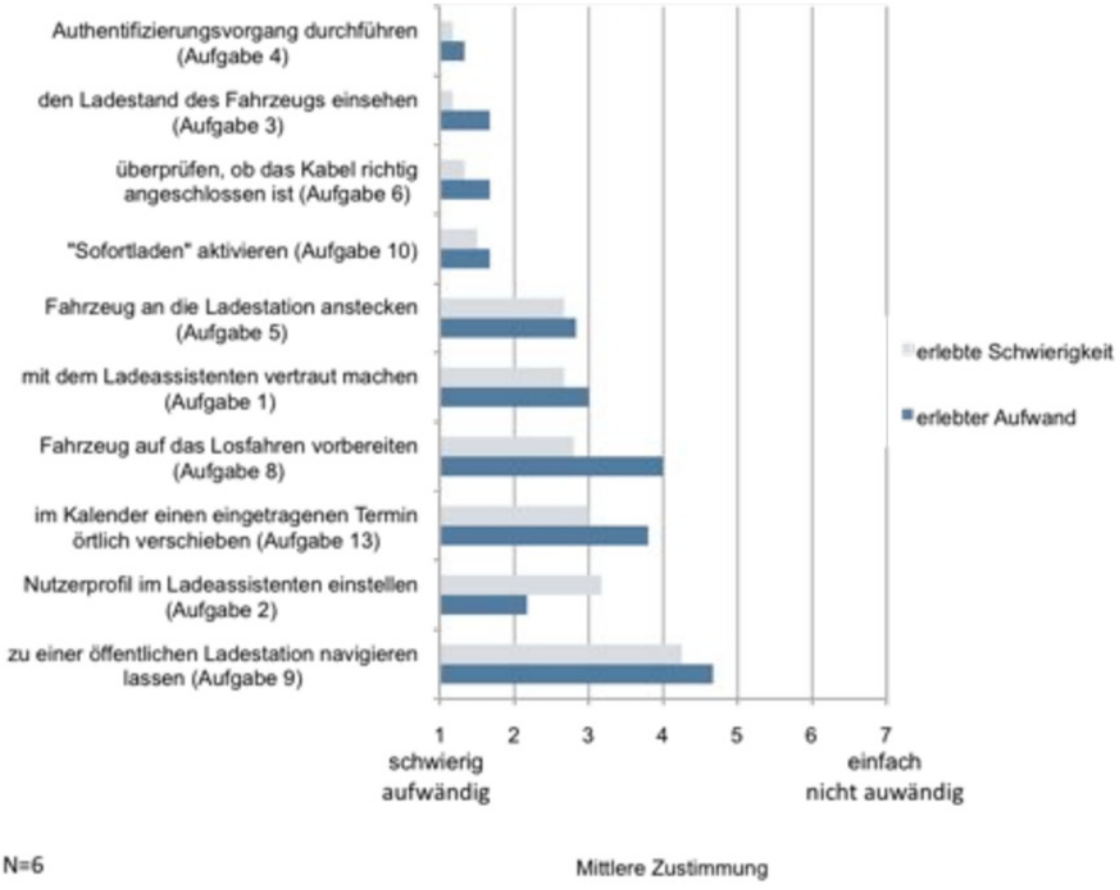


Abbildung 219: Erlebte Schwierigkeit und erlebter Aufwand der Aufgaben.

Welche Mindestreichweite wurde gewählt?

Beim Einstellen des Nutzerprofils im Ladeassistenten (Aufgabe 2) legten die Teilnehmer neben ihren Standardzeiten für das Gesteuerte Laden auch eine Mindestreichweite fest. Tabelle 6 zeigt die von den Teilnehmern gewählten Mindestreichweiten und die Begründungen ihrer Auswahlentscheidung. Zwei Teilnehmer begründeten ihre Auswahl mit den berechneten Wegen, die sie mindestens abdecken wollten (z.B. Weg von zu Hause bis zur Arbeit, plus Wege für Einkaufen), während die anderen Teilnehmer eher unspezifische Gründe anführten (z.B. „Bauchgefühl“, „erschien sinnvoll“).

Teilnehmer	gewählte Mindest-reichweite	Begründung
TN 1	40 km	30 erschien knapp, aufgrund möglicher Unsicherheiten der Berechnung
TN 2	45 km	Bauchgefühl
TN 3	60 km	Sollte alle Eventualitäten abdecken.
TN 4	60 km	Nach Hause plus Arbeit plus Notfall
TN 5	80 km	erschien sinnvoll
TN 6	80 km	Weg von zu Hause bis zur Arbeit und wieder zurück beträgt ca. 45-50 km, plus Wege für Einkaufen.

Tabelle 61: Gewählte Mindestreichweite der Teilnehmer an der Evaluierung des Probebetriebs.

4.5.5.4.2 Ergebnisse der Interviews

Bei der Rückgabe der Fahrzeuge und des Smartphones wurden die Teilnehmer in einem kurzen Interview nach ihren Erfahrungen und Eindrücken befragt, welche sie im Laufe der Nutzungsphase gesammelt hatten. Die Rückmeldungen der Teilnehmer bezogen sich einerseits auf den Ladeassistenten und der zugehörigen Kalenderfunktion und andererseits allgemein auf das Konzept des Gesteuerten Ladens. Einige Teilnehmer nannten auch Voraussetzungen für die Bereitschaft zur Teilnahme am Gesteuerten Laden.

Rückmeldungen zum Ladeassistenten

Zum Ladeassistenten merkte ein Teilnehmer an, dass dieser das Gefühl vermittelte, man habe eine gute Kontrolle über den Fahrzeugstatus. Ein weiterer Teilnehmer empfand den Zugriff auf die Ladevorgänge und Fahrzeugdaten über das Handy als sehr angenehm.

Ein Teilnehmer kritisierte, dass die Reaktion des Ladeassistenten sehr langsam sei und dass zu viele Schritte in der Bedienung notwendig seien, bis das Kabel von der Ladesta-

tion abgesteckt werden konnte. Einer der Teilnehmer erlebte einen Datenverlust durch Arbeiten am Server, ein weiterer Teilnehmer äußerte, dass sich die Gewöhnung an den Ladeassistenten nur langsam einstellte und dass für den Umgang mit den Ladeassistenten viel Hintergrundinformation nötig wäre.

Verbesserungsvorschläge von den Teilnehmern gab es in Bezug auf die Ladestationen-Suchfunktion: Die Position der Ladestationen sollte genauer angezeigt werden, außerdem sollte der Ladeassistent den Nutzer direkt zur Ladestation hinleiten und nicht nur den Weg dorthin auf der Karte anzeigen.

Rückmeldungen zur Kalenderfunktion des Ladeassistenten

Alle Termine, die mit dem Fahrzeug erreicht werden sollten, in den Kalender des Ladeassistenten einzutragen, ist einem der Teilnehmer leicht gefallen. Drei Teilnehmern meldeten hingegen zurück, dass sie es umständlich fanden, alle ihre Termine in den Kalender des Ladeassistenten einzutragen.

Die Verbesserungsvorschläge zur Kalenderfunktion bezogen sich auf zwei Teilbereiche. Einerseits auf bereits eingetragene Termine: Eingetragene Termine sollten einfacher zu verschieben sein, Details der Termine (Bezeichnung, Adresse) sollten veränderbar sein. Andererseits wünschten sich die Teilnehmer, dass einmal eingetragene Adressen als Favoritenliste auftauchen und dass Termine auch langfristig (d.h. mindestens 3 Tage im Voraus) eingetragen und vom System eingeplant werden können, da das System vorerst nur die Planung für einen Tag im Voraus zuließ.

Rückmeldungen der Teilnehmer zum Konzept des Gesteuerten Ladens

Drei der sechs Teilnehmer befanden, dass das Gesteuerte Laden noch nicht alltagstauglich sei, da hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit des Systems noch Verbesserungen notwendig seien. Zwei Teilnehmer empfanden die Rückspeisung von Energie als unangenehm, wenn das Fahrzeug bereits vollgeladen war, da die Reichweite des Fahrzeugs allgemein gering sei. Ein Teilnehmer fand, dass der Planungsaufwand des Nutzers für das Gesteuerte Laden bei der geringen Reichweite des Fahrzeugs zu groß sei. Ein weiterer Teilnehmer sagte, dass Gesteuertes Laden zu Beginn zwar aufwändig sei, aber er sich daran gewöhnen könne. Ein Teilnehmer merkte an, dass sich das Konzept des Gesteuerten Ladens besonders dann gut eigne, wenn man lange Standzeiten des Fahrzeugs habe.

Die Teilnehmer nannten Verbesserungsvorschläge, die aus ihrer Sicht das Gesteuerte Laden für zukünftige Nutzer alltagstauglicher machen würden. Denkbar wäre eine Aufteilung der Nutzung der Batterie des Fahrzeugs, sodass beispielsweise 80% der Batteriekapazität für den Nutzer zur Verfügung ständen und 20% für das Gesteuerte Laden frei verfügbar wären. Ein Teilnehmer konnte sich vorstellen, die Eingaben direkt an der Ladestation vorzunehmen, z.B. die geplante Abfahrtszeit. Zwei Teilnehmer würden das Gesteuerte Laden optimaler finden, wenn sie ihr Fahrzeug zu Hause laden könnten. Ein Teilnehmer wünschte sich, dass die Rückspeisung des Stroms direkt ins eigene Haus oder in das Stromnetz der Straße, in der man wohnt, möglich sei.

Ein Anreizsystem für die Teilnahme am Gesteuerten Laden wünschten sich mehrere Teilnehmer, z.B. in Form einer finanziellen Vergütung, wenn ein bestimmter Prozentsatz der Batterie für das Gesteuerte Laden zur Verfügung gestellt wird oder in Form eines Punktesammelsystems. Ebenso äußerten die Teilnehmer den Wunsch nach mehr Feedback zum Gesteuerten Laden, vor allem mehr Hintergrundinformationen zur Planung der Ladevorgänge (Be- und Entladen des Fahrzeugs).

Rückmeldungen zur Ladeinfrastruktur

Verbesserungsbedarf sahen die Teilnehmer bezüglich der Ladeinfrastruktur. Ein Teilnehmer merkte an, dass mehr aktuelle Informationen über die öffentlichen Ladestationen notwendig seien, z.B. wenn eine Ladestation momentan außer Betrieb ist. Ein Teilnehmer sah auch eine Schwierigkeit darin, dass ältere und neuere Modelle der Ladestationen nicht mit derselben RFID-Karte bedient werden könnten. Ein Teilnehmer fand die Dichte an Ladestationen zu gering, wiederum eine Person fühlte sich dadurch verunsichert und bevorzugte daher das Sofortladen, um unabhängig von den öffentlichen Ladestationen zu sein.

Voraussetzungen zur Teilnahme am Gesteuerten Laden

Als Voraussetzungen für die Bereitschaft zur Teilnahme am Gesteuerten Laden nannten die Teilnehmer, dass mehr öffentliche Ladestationen zur Verfügung stehen müssten, dass die Gebrauchstauglichkeit der Komponenten zunehmen sollte und dass das Laden allgemein mit weniger Aufwand verbunden sein müsste.

4.5.5.4.3 Ergebnisse der Befragungen

Bei der Interpretation der Ergebnisse aus den Befragungen ist zu beachten, dass aufgrund der kleinen Stichprobe die Ergebnisse nur eingeschränkte Aussagekraft haben, da bereits einzelne abweichende Werte Verzerrungen bewirken können.

Alltagstauglichkeit

Bei der Nachbefragung zeigte sich, dass die Studienteilnehmer gut mit dem Gesteuerten Laden zurechtkamen: Die Aussage „Ich bin mit dem Ladekonzept des Elektrofahrzeugs nicht zurechtgekommen“ wurde von allen sechs Teilnehmern abgelehnt (MW = 2,3; vgl. Abbildung 2). Zwei der sechs Teilnehmer äußerten in der Nachbefragung, dass sie das Gesteuerte Laden eher nicht problemlos in ihren Alltag integrieren konnten, während vier Teilnehmer dieser Aussage eher zustimmten.

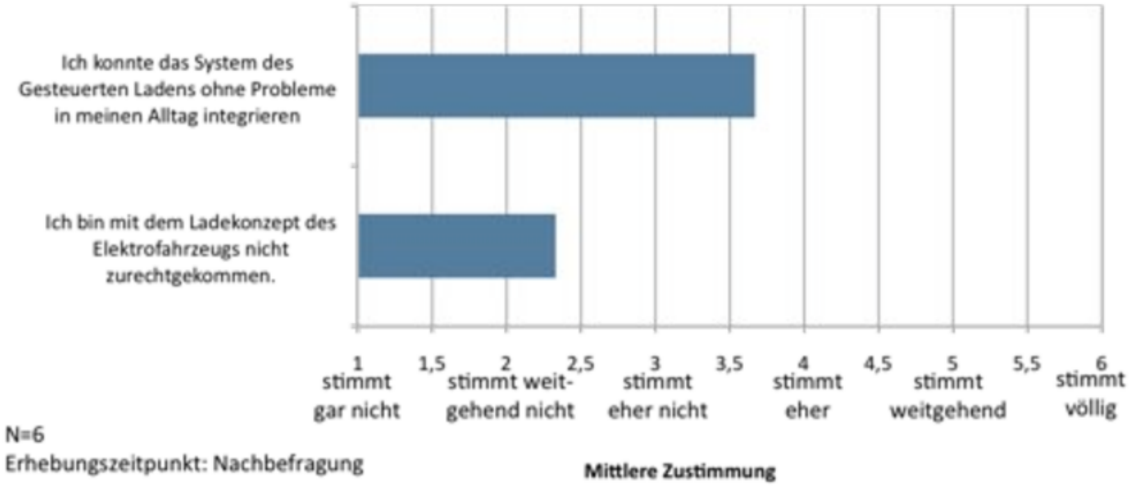


Abbildung 220: Integration des Gesteuerten Ladens in den Alltag.

Jeden Tag die Maßnahme zu nutzen, konnten sich bei der Nachbefragung vier Teilnehmer vorstellen, ein Teilnehmer war darüber unentschlossen und wählte die Mittelkategorie auf der 7stufigen Skala (1 = unmöglich bis 7 = möglich), während ein Teilnehmer es für sich beinahe unmöglich fand, täglich gesteuert zu laden.

Wann konkret das Gesteuerte Laden Probleme bereiten würde, zeigt Abbildung 221 (Ergebnisse der Nachbefragung). Insgesamt würde den Teilnehmern das System am häufigsten an terminreichen Tagen Probleme bereiten (MW = 4,5), während alle sechs

Teilnehmer angaben, dass es ihnen (eher) keine Probleme bereiten würde, an Werktagen gesteuert zu laden (MW = 1,8).

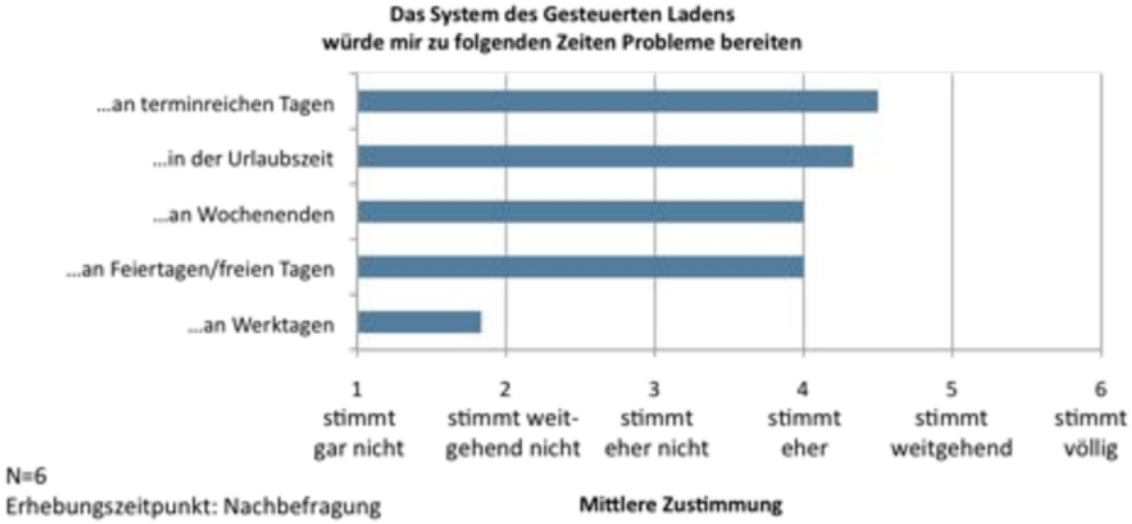


Abbildung 221: Zeiten, zu denen das Gesteuerte Laden Probleme bereiten könnte.

Planungsaufwand und regelmäßiges Anstecken des Fahrzeugs

Im Rückblick auf die Nutzungsphase war es für zwei Teilnehmer schwierig, ihre täglichen Fahrten im Voraus zu planen, während vier Teilnehmer eher positiv zum täglichen Planen eingestellt waren. Trotzdem empfanden die Teilnehmer den Planungsaufwand als Belastung: Alle sechs Teilnehmer lehnten die Aussage ab, dass es ihnen nichts ausmachte, alle ihre Fahrten im Voraus zu planen (MW = 2,2). Zwei Teilnehmer lehnten diese Aussage sogar stark ab.

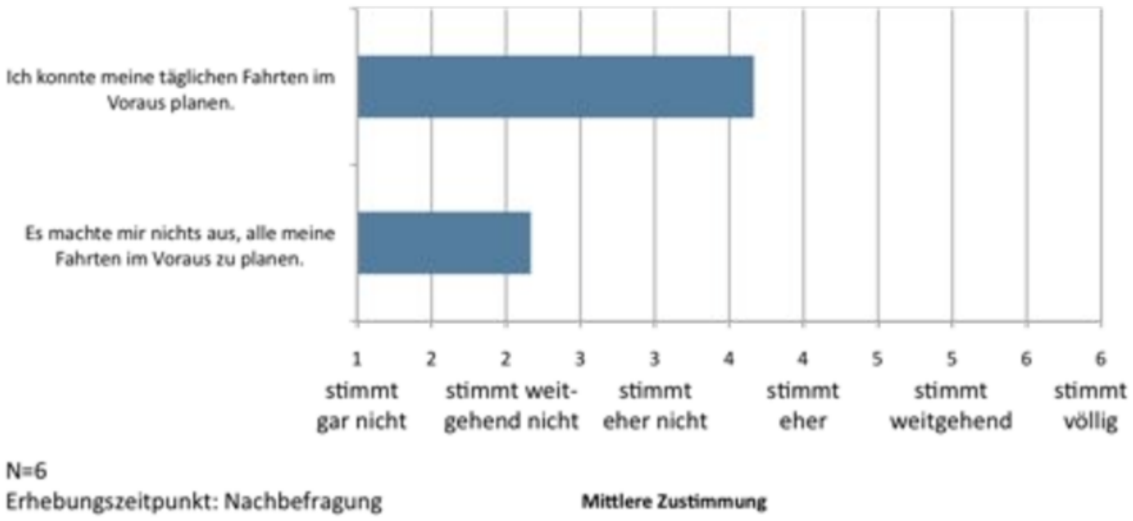


Abbildung 222: Einschätzung des Aufwands für die Planung der täglichen Fahrten.

Für das Anstecken des Fahrzeugs bei Nichtgebrauch war für die Teilnehmer die Sicherheit, dass die Batterie immer ausreichend geladen war, vorrangig (MW = 4,3); nur für einen Teilnehmer stimmt diese Aussage eher nicht. Bei der Unterstützung des Gesteuerten Ladens als Grund das Fahrzeug anzustecken, teilten sich die Meinungen: jeweils drei Personen stimmten zu bzw. lehnten die Aussage ab. Ein Signal im Fahrzeug, das an das Anstecken des Fahrzeugs an das Stromnetz erinnern sollte, stieß insgesamt auf Ablehnung. Die Teilnehmer erinnerten sich ohnehin immer daran, die Aussage „Ich dachte nicht immer daran, das Fahrzeug an die Ladestation anzuschließen“ wurde von allen Teilnehmern abgelehnt (MW = 1,2).

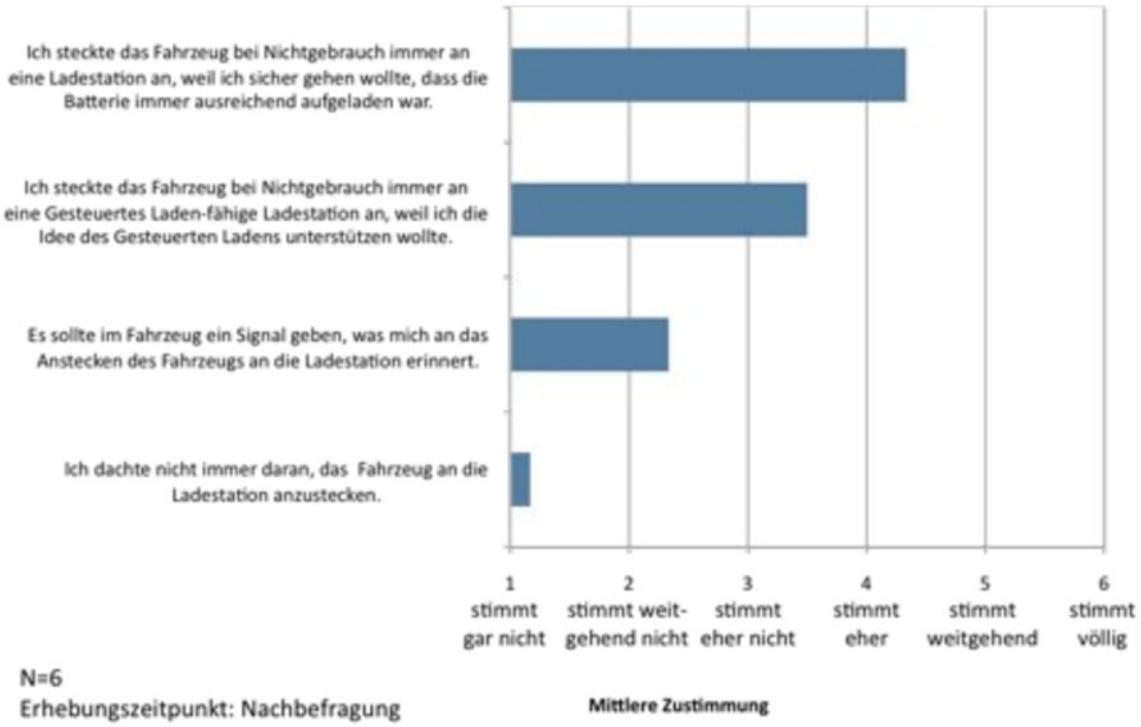


Abbildung 223: Anstecken des Fahrzeugs bei Nichtgebrauch an die Ladestation.

Bereitschaft zur Nutzung des Gesteuerten Ladens

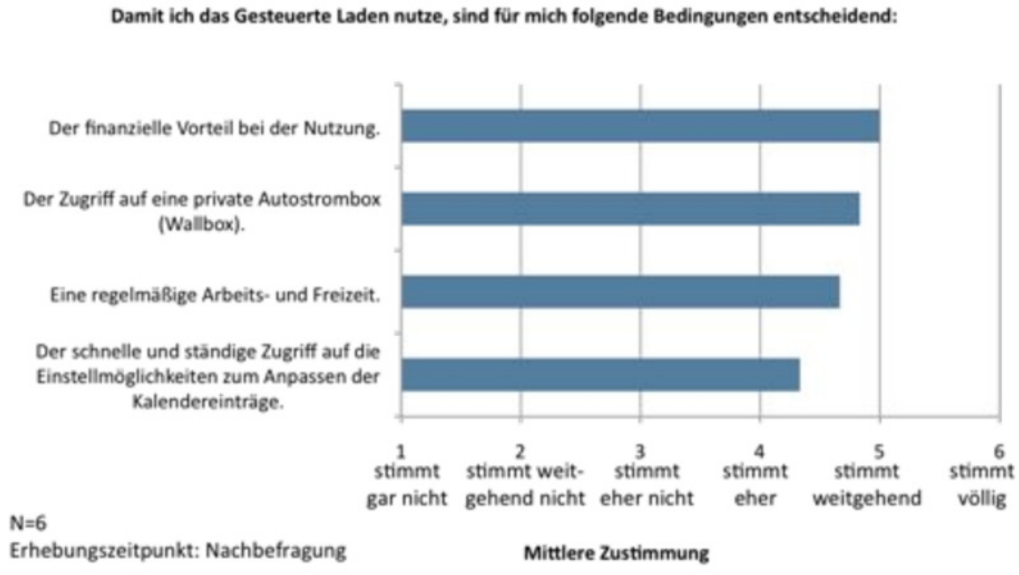


Abbildung 224: Bedingungen zur Nutzung des Gesteuerten Ladens.

Für die Bereitschaft zur Nutzung des Gesteuerten Ladens stand vor allem der finanzielle Vorteil (MW = 5,0) im Vordergrund sowie der Zugriff auf eine private Autostrombox (MW = 4,8; vgl. Abbildung 6). Der schnelle und ständige Zugriff auf Einstellmöglichkeiten zum Anpassen der Kalendereinträge spielte für eine Person gar keine Rolle, während eine regelmäßige Arbeits- und Freizeit für zwei Personen eher keine entscheidende Bedingung für die Nutzung darstellte.

Interesse am Gesteuerten Laden

Fast alle Studienteilnehmer zeigten Interesse an der Funktionsweise des Gesteuerten Ladens (MW = 5,2) und äußerten sich auch als Befürworter (MW = 5,2). Von der Zukunftsfähigkeit des Ladekonzepts waren die Teilnehmer überwiegend überzeugt (MW = 4,0). Die Freude an der Beschäftigung mit dem Ladekonzept des MINI E war weitgehend vorhanden (MW = 4,8), lediglich ein Teilnehmer stimmte dem eher nicht zu. Allerdings wünschten sich die die Teilnehmer, dass die Batterie des Elektrofahrzeugs zu Fahrtbeginn vollgeladen ist (MW = 5,0).

Skepsis herrschte bei einem Nutzer, der sich wenig an der Funktionsweise interessiert zeigte, sich eher nicht als Befürworter bezeichnete und gleichzeitig die Aussage „Ich bin überzeugt, dass sich das Gesteuerte Laden in der Zukunft durchsetzt“ weitgehend ablehnte.

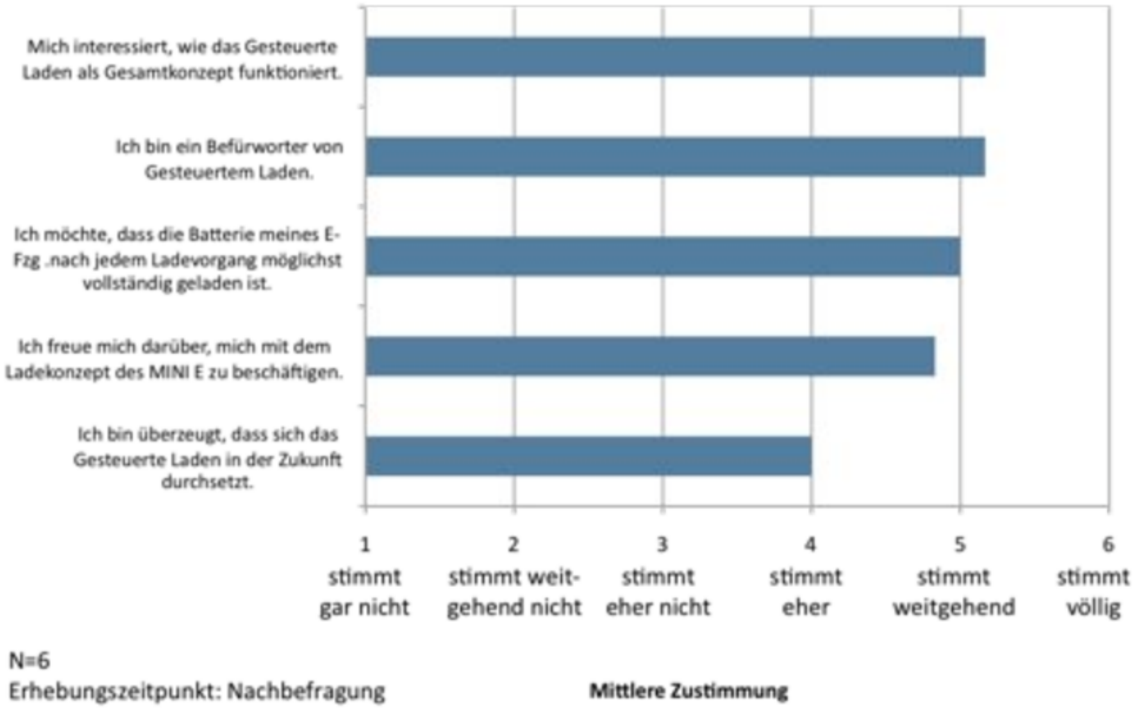


Abbildung 225: Einstellungen gegenüber dem Gesteuerten Laden.

Umgang mit dem Gesteuerten Laden

Sowohl vor als auch nach dem Nutzungszeitraum gaben die Nutzer an, sie würden bevorzugt in der Nacht gesteuert laden. Sofern sie die Möglichkeit hätten, konnten sich die Teilnehmer auch vorstellen tagsüber am Arbeitsplatz gesteuert zu laden. Generell würden die Teilnehmer gesteuert laden, sobald sie wüssten, dass sie ihr Fahrzeug in nächster Zeit nicht brauchten. Auch hier zeigten sich keine merkenswerten Unterschiede zwischen Vor- und Nachbefragung.

Im Vergleich zur Vorbefragung sank die Bereitschaft, jedes Mal Abweichungen von der Standardzeit anzugeben, etwas (MW = 3,7 vs. 2,2). Ein eventueller Verschleiß der Batterie würde das Verhalten der Teilnehmer wenig beeinflussen. Bei der Nachbefragung war diese Befürchtung sogar noch geringer (MW = 2,8 vs. 2,2). Aufgrund des Gesteuerten Ladens auf einen Verbrennungsmotor umzusteigen, wäre für die Teilnehmer zu beiden Erhebungszeitpunkten nicht in Frage gekommen.

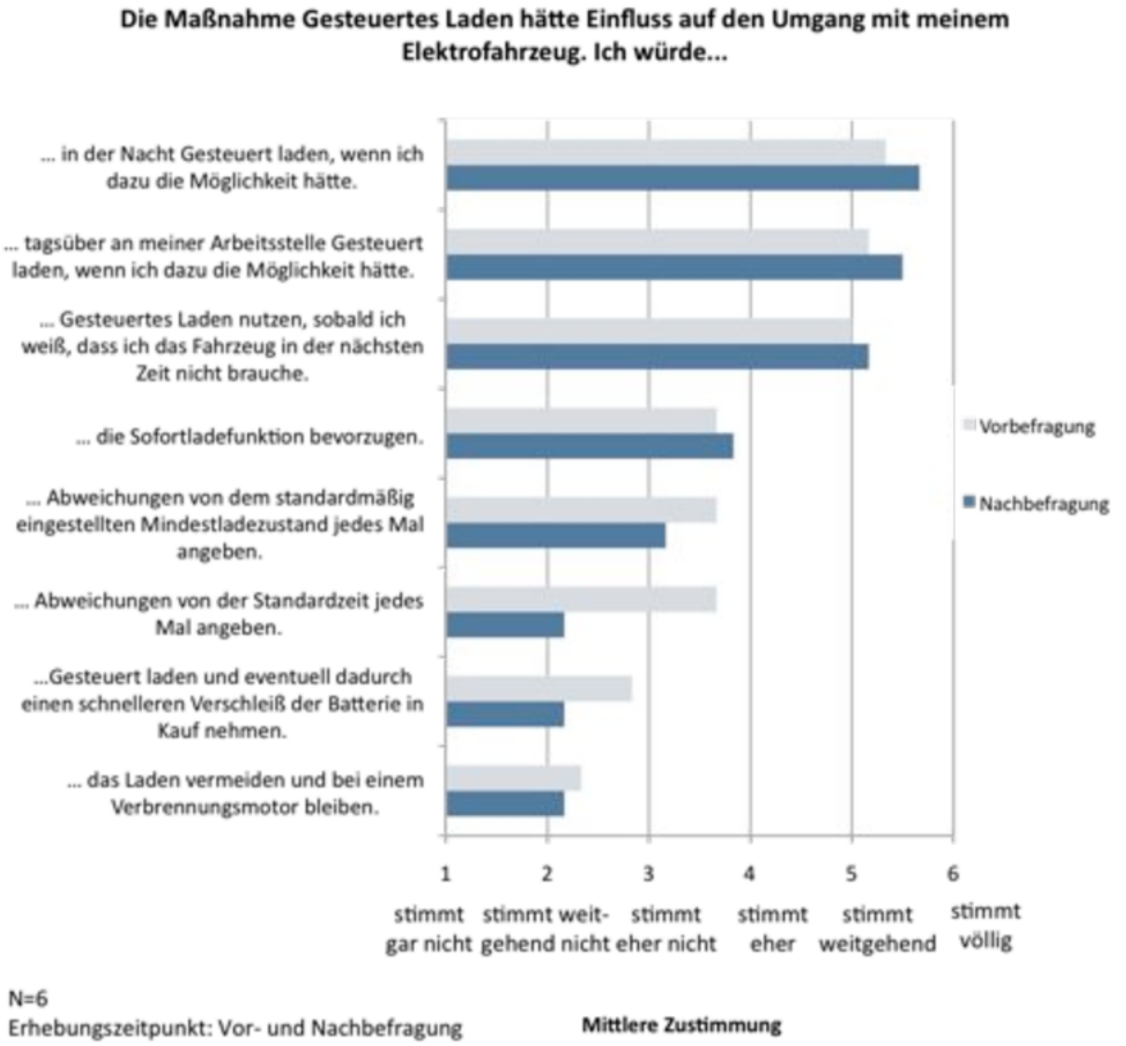


Abbildung 226: Einfluss des Gesteuerten Ladens auf den Umgang mit dem Elektrofahrzeug.

Akzeptanz des Gesteuerten Ladens

Die Akzeptanz des Gesteuerten Ladens wurde in der Nachbefragung anhand der van der Laan Akzeptanzskala (vgl. van der Laan, 1997) erhoben. Diese Skala erfasst die zwei Faktoren Nützlichkeit und Zufriedenheit mit einem System.

Die Zufriedenheit mit dem Ladekonzept wurde auf der 5stufigen Skala (-2 bis +2) insgesamt nur leicht positiv bewertet (MW = 0,6). Drei Nutzer äußerten sich durchwegs positiv, während zwei Nutzer eher eine neutrale Meinung im Hinblick auf die Zufriedenheit hatten. Ein Nutzer zeigte sich wenig zufrieden mit dem System des Gesteuerten Ladens.

Die Nützlichkeit des Gesteuerten Laden wurde von allen Teilnehmern positiv bewertet (MW = 1,0).

Zuverlässigkeit und Vertrauen

Der überwiegende Teil der Nutzer fühlte sich nach dem Nutzungszeitraum durch die Komplexität des Systems nicht verunsichert (MW = 2,8). Lediglich ein Nutzer fühlte sich eher verunsichert. Von der Zuverlässigkeit der Technik zum Gesteuerten Laden und der Verlässlichkeit der Daten und Angaben aus dem System waren nur zwei der sechs Teilnehmer überzeugt.

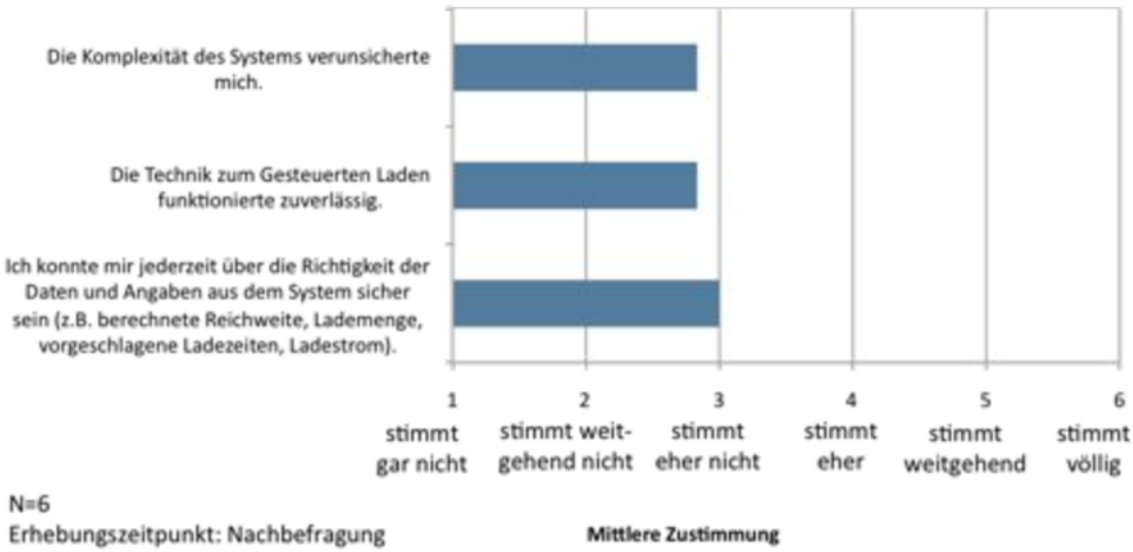


Abbildung 227: Zuverlässigkeit und Vertrauen in das Gesteuerte Laden.

Benutzerfreundlichkeit des Systems

Für die Bewertung der Benutzerfreundlichkeit des Gesteuerten Ladens wurden Items des Messinstruments ISOMetrics (vgl. Willumeit, H., Gediga, G. &, Hamborg, K.-C., 1996) angewandt. Abbildung 228 zeigt die sieben Skalen entsprechend den ISO Gestaltungsgrundsätzen. Die Aufgabenangemessenheit und die Fehlertoleranz des Ladekonzepts wurden auf der 5stufigen Skala insgesamt eher negativ bewertet (MW = 2,8 bzw. 2,5). Die Erlernbarkeit wurde von den Teilnehmer am höchsten eingeschätzt (MW = 3,3).

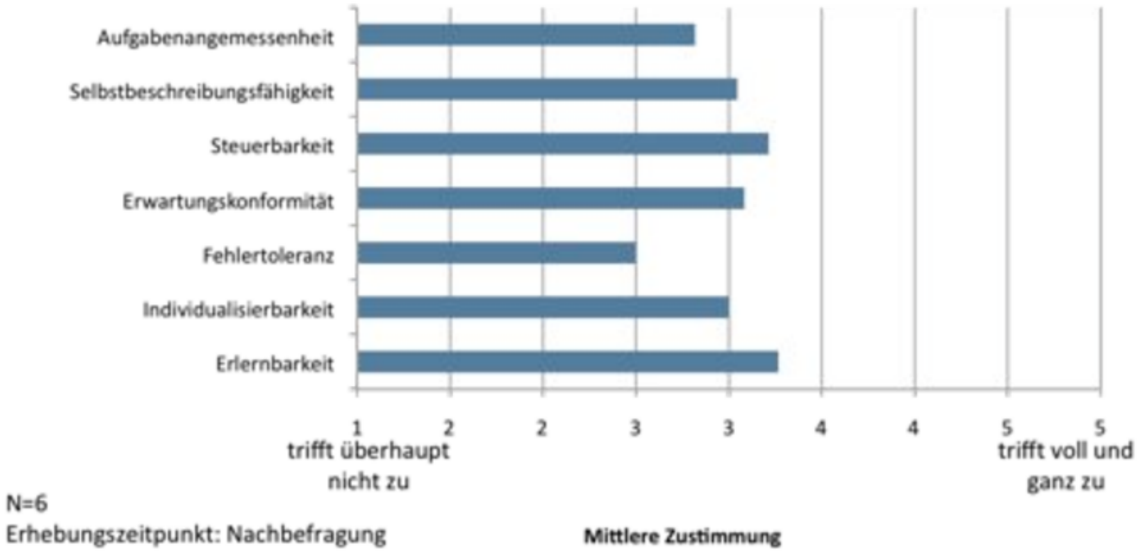


Abbildung 228: Benutzerfreundlichkeit des Gesteuerten Ladens anhand der ISO Gestaltungsgrundsätze.

Aufgabenangemessenheit:

Hinsichtlich der Aufgabenangemessenheit fühlten sich die Teilnehmer gezwungen, überflüssige Schritte im Ablauf (MW = 2,0), und zu viele Eingabeschritte (MW = 2,0) durchzuführen. Positiv bewertet wurde hingegen, dass das Gesteuerte Laden alle Möglichkeiten bot, die für die alltägliche Nutzung eines Elektrofahrzeugs benötigt wurden (MW = 3,8).

Fehlertoleranz:

Die Teilnehmer gaben an, dass während des Nutzungszeitraums Systemfehler beim Gesteuerten Laden auftraten (MW = 1,5). Ebenso bemängelten die Teilnehmer, dass es beim Gesteuerten Laden in Fehlersituationen keine konkreten Hinweise gab, wie der Fehler behoben werden konnte (MW = 1,7). Die Fehlermeldungen fanden nicht alle Teilnehmer gut verständlich und hilfreich (MW = 2,0), außerdem fehlten den Teilnehmern Warnungen, die vor der Ausführung möglicherweise problematischer Aktionen ausgegeben werden (MW = 2,2).

Erlernbarkeit:

Die Teilnehmer bewerteten positiv, dass sie sich alle beim Gesteuerten Laden notwendigen Schritte gut merken konnten (MW = 3,8).

Steuerungsmöglichkeiten über Smartphone, Fahrzeug und Ladestation

Die Möglichkeit, das Gesteuerte Laden über ein Smartphone zu steuern, wurde von allen Studienteilnehmern befürwortet (MW = 5,0). Die Teilnehmer würden es auch schätzen, Einstellungen im Fahrzeug oder an der Ladesäule vornehmen zu können (MW = 4,8 bzw. 4,7).

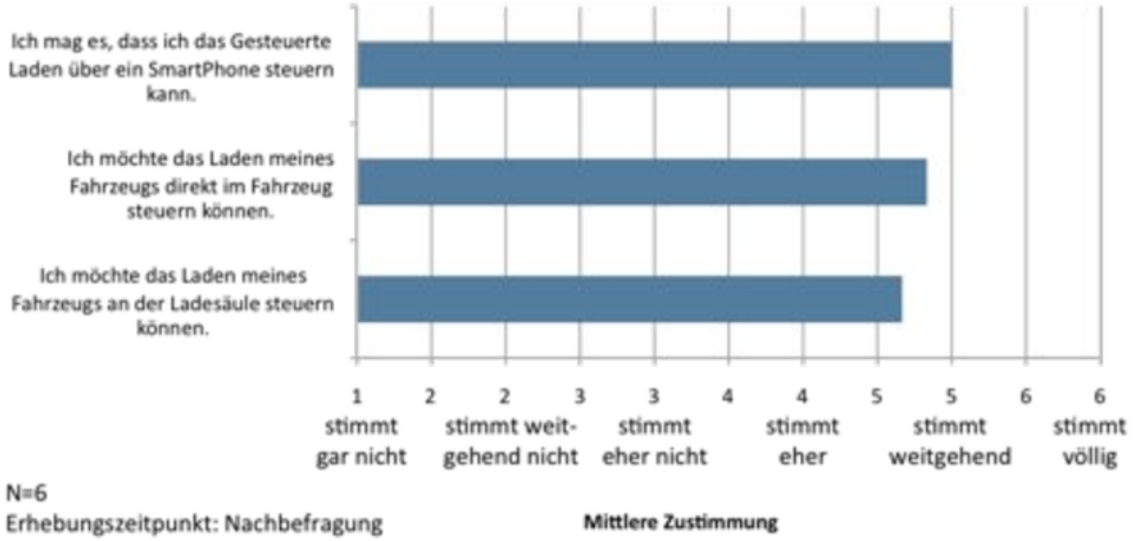


Abbildung 229: Bewertung unterschiedlicher Steuerungsmöglichkeiten für das Gesteuerte Laden.

Mögliche Barrieren

Fünf der sechs Teilnehmer fanden es nicht unangenehm, dass Energie aus der Batterie des Fahrzeugs abgeführt wurde, während ein Teilnehmer es weitgehend unangenehm fand. Drei der sechs Teilnehmer zeigten keine großen Bedenken darüber, dass der Netzbetreiber steuerte, wann ihr Elektrofahrzeug geladen wurde, während drei Teilnehmer dem eher kritisch gegenüber standen (MW = 3,0)

Einigkeit zeigte sich hingegen in Bezug auf den Kalender. Die Teilnehmer stimmten der Aussage zu, dass der Aufwand den Kalender zu pflegen, gegen das Gesteuerte Laden sprach (MW = 4,7). Vom angemessenen Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen des Gesteuerten Ladens war nur eine Person überzeugt, fünf Teilnehmer sprachen sich eher dagegen aus (MW = 3,2).

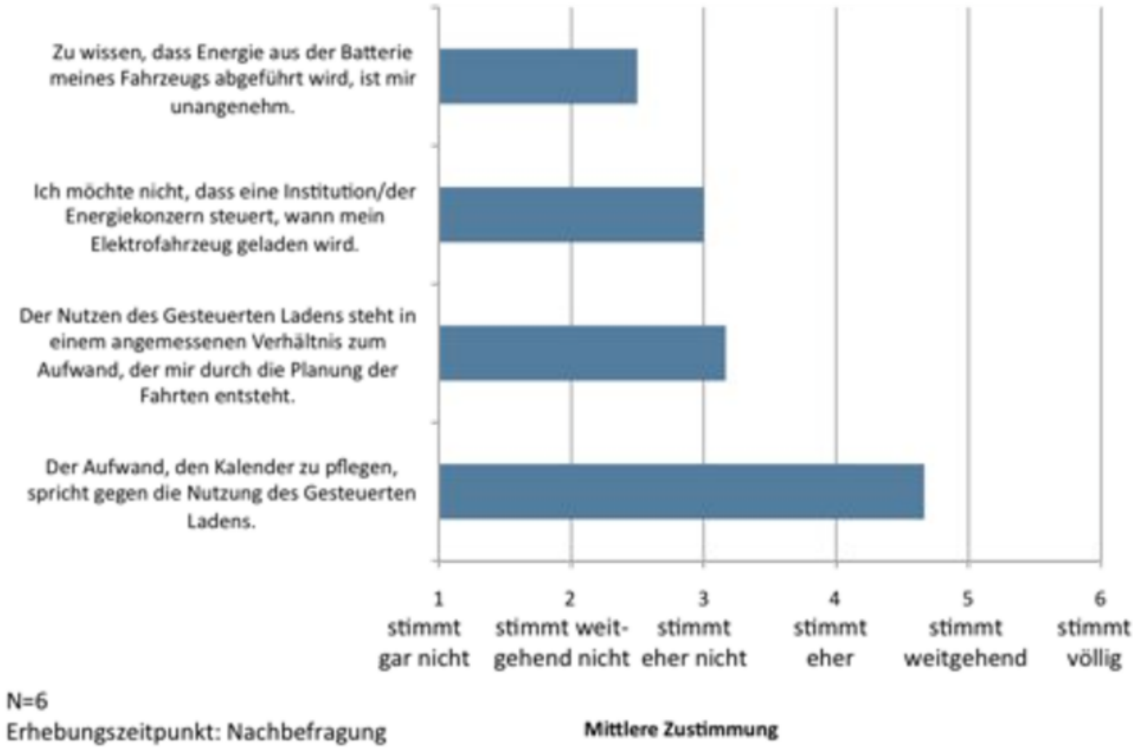


Abbildung 230: Mögliche Barrieren für die Nutzung des Gesteuerten Ladens.

Anreize zum Gesteuerten Laden

Sowohl in der Vorbefragung als auch in der Nachbefragung bewerteten die Teilnehmer verschiedene mögliche Anreize zum Gesteuerten Laden.

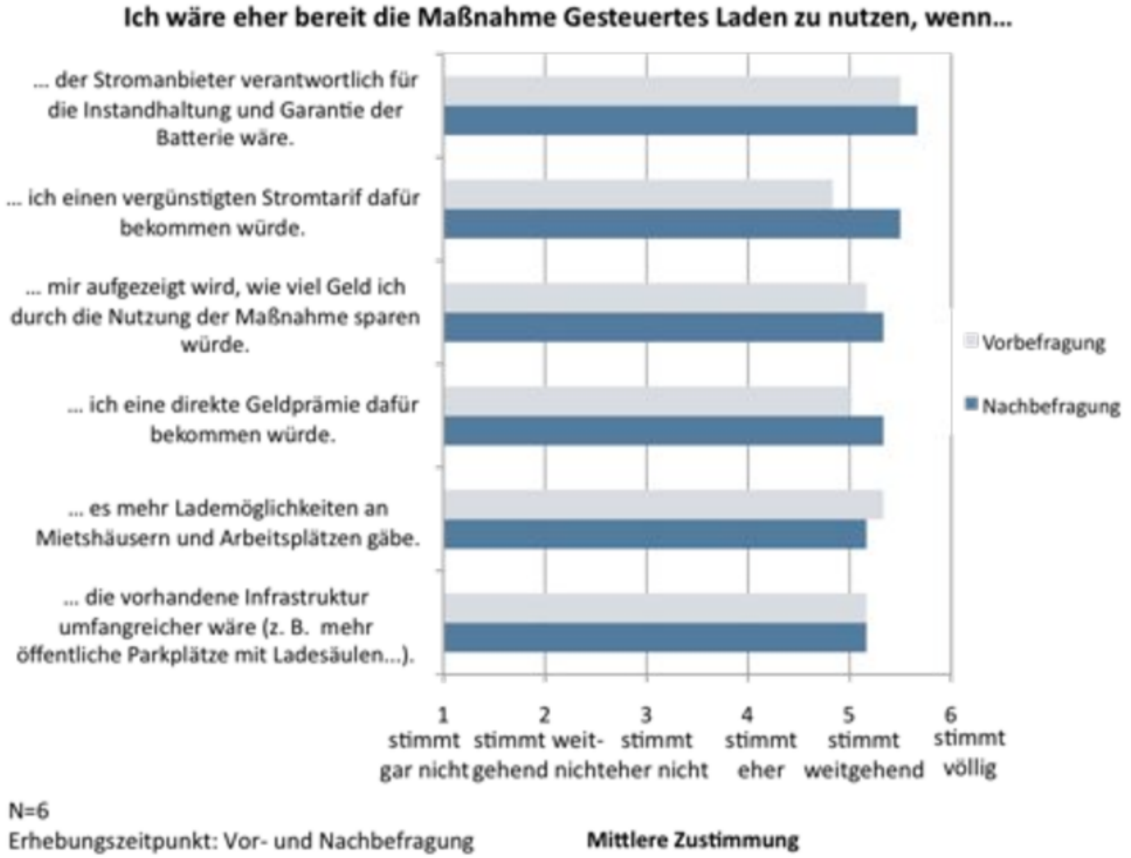


Abbildung 231 zeigt die Anreize mit der höchsten Zustimmung zu beiden Erhebungszeitpunkten. Besonders motivierend für die Teilnehmer wäre, wenn die Verantwortung für die Instandhaltung und Garantie der Batterie beim Stromanbieter liegen würde. Beinahe genauso motivierend fanden die Teilnehmer

- einen vergünstigten Stromtarif,
- zu wissen, wie viel Geld durch die Nutzung der Maßnahme gespart werden kann,
- eine direkte Geldprämie,
- mehr Lademöglichkeiten an Mietshäusern und Arbeitsplätzen,
- eine umfangreichere Ladeinfrastruktur (z.B. mehr Anschlüsse an einer Ladestation mehr Ladestationen an Tankstellen, mehr öffentliche Parkplätze mit Ladestationen).

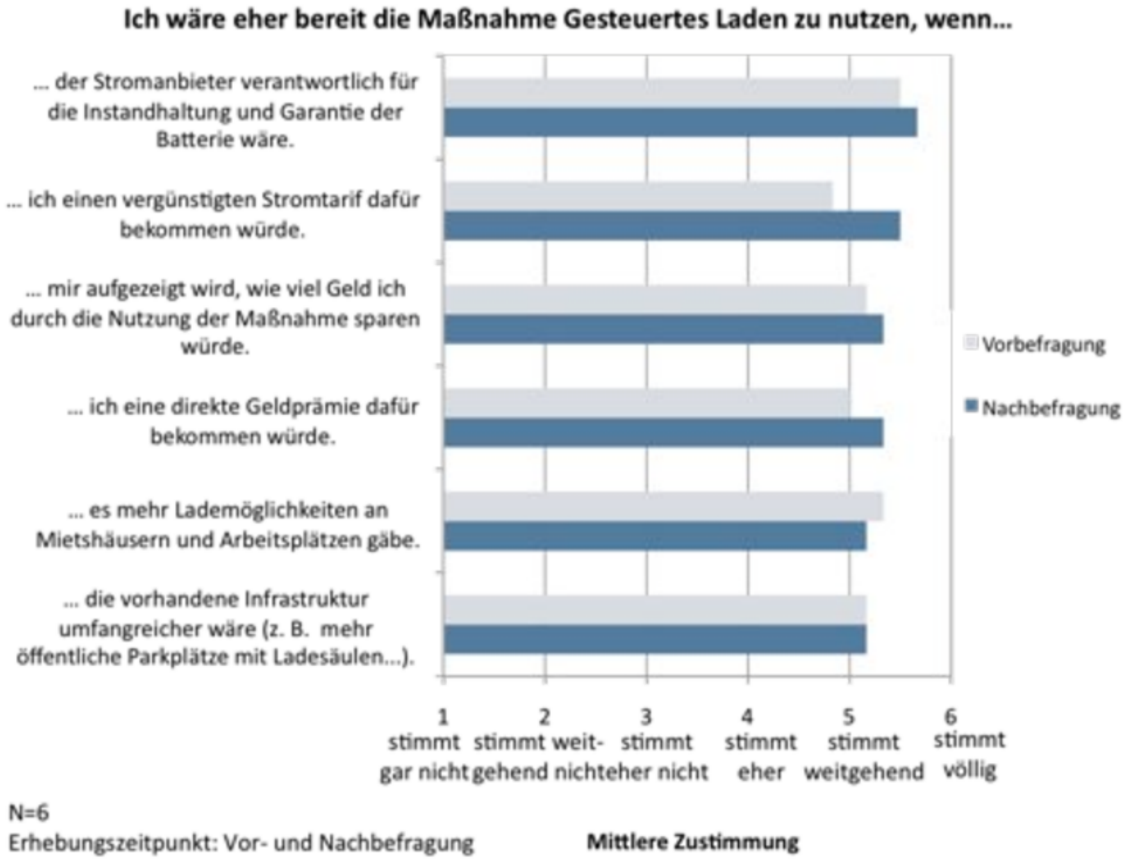


Abbildung 231: Anreize zum Gesteuerten Laden mit höchster Zustimmung.

Die Anreize zum Gesteuerten Laden, die am wenigsten Zustimmung zu beiden Erhebungszeitpunkten erhielten waren:

- eine 24-Stunden-Hotline, die zur Beratung und Problemlösung zur Verfügung steht,
- Informationsbroschüren über die Funktionsweise vom Gesteuerten Laden,
- ein Informationskampagne, die aufzeigt, wie Elektrofahrzeugfahrer durch diese Maßnahme die Umweltfreundlichkeit von ihrem Elektrofahrzeug optimieren können,
- eine Informationskampagne, die aufzeigt wie Elektrofahrzeugfahrer durch diese Maßnahme einen persönlichen Beitrag zum Abfangen von Stromspitzen leisten können,

- eine Informationskampagne, die aufzeigt, wie Elektrofahrzeugfahrer durch diese Maßnahme einen persönlichen Beitrag zum Ausgleichen von Stromschwankungen durch erneuerbare Energien leisten können,
- eine Informationskampagne, die aufzeigt, wie Elektrofahrzeugfahrer durch diese Maßnahme einen persönlichen Beitrag zur Förderung der Energieunabhängigkeit Deutschlands leisten können),

Insgesamt gab es zwischen den beiden Erhebungszeitpunkten nur marginale Veränderungen bezüglich der Anreize, im Folgenden werden jene Punkte beschrieben, bei denen sich Veränderungen zwischen der Vor- und der Nachbefragung zeigten (siehe auch Abbildung 232).

Nach der Nutzungsphase empfanden die Teilnehmer einen vergünstigten Stromtarif und eine geringere Verantwortung des Kunden beim Gesteuerten Laden als stärkeren Anreiz zur Teilnahme am Gesteuerten Laden. Etwas gesunken war die Akzeptanz der technischen Anreize „Lebensdauer der Batterie“ und „wenn das Anstecken des Ladekabels einfacher wäre“. Der ohnehin niedrige Anreiz von Informationsbroschüren oder -kampagnen erhielt in der Nachbefragung noch weniger Zustimmung.

Abbildung 232: Anreize zum Gesteuerten Laden – Vergleich zwischen Vor- und Nachbefragung.

Anschließend an die Bewertung der einzelnen Maßnahmen ordneten die Studienteilnehmer den verschiedenen Maßnahmengruppen einen Punktwert zu. In Summe konnten die Teilnehmer 100 Punkte vergeben. Die Bewertungen der finanziellen Anreize und der Verbesserung der Technologie blieben im Vergleich zwischen Vor- und Nachbefragung konstant. Den Ausbau der Infrastruktur stuften die Teilnehmer in der Nachbefragung als höheren Anreiz zur Teilnahme am Gesteuerten Laden ein, während Informationen noch weniger als vorher als Anreiz empfunden wurden.

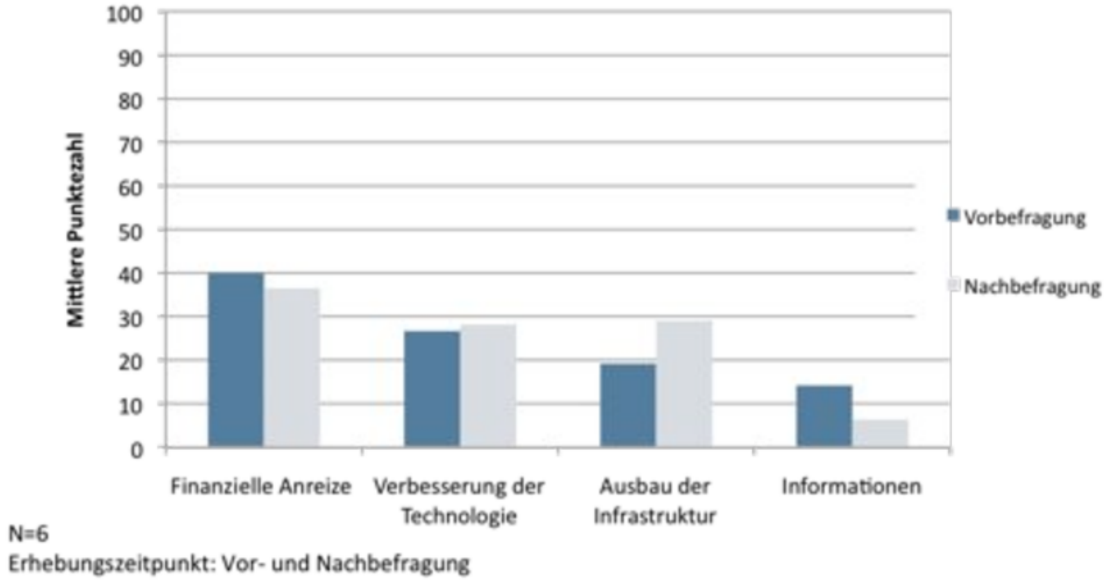


Abbildung 233: Bewertung der Anreize zum Gesteuerten Laden nach Maßnahmengruppen.

Verbesserungsvorschläge

In Bezug auf den Reifegrad des Systems meinten beinahe alle Teilnehmer, dass das System noch nicht ausgereift war (MW = 5,0), drei Teilnehmer stimmten dieser Aussage völlig zu. Lediglich ein Teilnehmer äußerte, dass das System schon ausgereift war. Auf die Nachfrage, welche Veränderungen noch vorgenommen werden müssten, reichten die Antworten von Vorschlägen zur Steuerung (mehr manuelle Eingriffsmöglichkeiten in die Planung; Pflegen des Kalenders am Computer), zur Bedienungen des Ladeassistenten (Bestätigen von Kommandos, z.B. „Wollen Sie die Sorfortladen-Funktion wirklich beenden?“) bis hin zur Ladeinfrastruktur (mehr Ladesäulen zum Gesteuerten Laden). Mehr Benutzerfreundlichkeit war ebenfalls eines der genannten Themen.

4.5.5.4.4 Ergebnisse zum Ladeassistenten

Die Akzeptanz des Ladeassistenten wurde im Anschluss an den ersten Aufgabenblock (Teil A: bei Übergabe des Fahrzeugs und des Ladeassistenten) anhand der van der Laan Akzeptanzskala (vgl. van der Laan, 1997) erfasst. Als Maße für die Akzeptanz wurden die Zufriedenheit und die Nützlichkeit mit dem System auf einer 5stufigen Skala (-2 bis +2) berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zufriedenheit der Teilnehmer mit dem Ladeassistenten eher im neutralen Bereich lag (MW = 0,4), die Nützlichkeit des Ladeassistenten wurde etwas höher eingeschätzt (MW = 0,7).

Ebenso bewerteten die Studienteilnehmer im Anschluss an den Aufgabenblock A die Effektivität (die erfolgreiche Nutzung beim Ausführen der Aufgaben), die Effizienz (den notwendige Aufwand) und ihre Zufriedenheit mit der Bedienbarkeit des Ladeassistenten. Die Zufriedenheit mit der Bedienbarkeit des Ladeassistenten war eher gering (MW = 3,2 auf der 7stufigen Skala). Die Bewertung der Effizienz und der Effektivität lag im positiven Bereich, wobei die Effektivität etwas besser bewertet wurde (MW = 4,6 vs. 5,4).

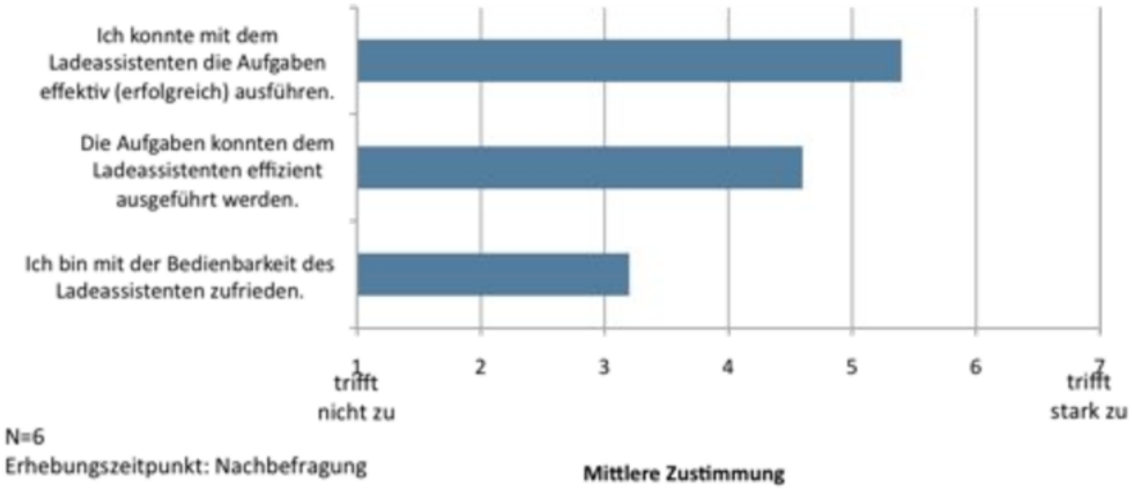


Abbildung 234: Ladeassistent: Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit.

Die Bewertung des Ladeassistenten nach der Nutzungsphase fiel insgesamt eher niedrig aus. Für drei Teilnehmer traf die Aussage „Insgesamt bin ich mit dem Ladeassistenten zufrieden“ überhaupt nicht zu, ein Teilnehmer wählte die Antwort „trifft eher nicht zu“. Eine Person zeigte sich unentschlossen und wählte die Mittelkategorie der 5stufigen Skala („weder noch“). Lediglich ein Teilnehmer war mit dem Ladeassistenten insgesamt eher zufrieden.

Nutzungshäufigkeit und Bewertung einzelner Funktionen

Bei der Nachbefragung wurde erhoben, wie häufig die Teilnehmer im Laufe der fünf Nutzungstage die einzelnen Funktionen des Ladeassistenten nutzten und wie sinnvoll sie die genutzten Funktionen als Unterstützung zum Gesteuerten Laden fanden.

Alle sechs Teilnehmer ließen sich mehrmals täglich den Ladestand und den Ladestrom anzeigen. Die Kalenderfunktion verwendeten drei Teilnehmer mehrmals am Tag. Das Einstellen der Standardzeiten wurde nach eigenen Angaben in der Nachbefragung von einem Teilnehmer mehrmals täglich genutzt. Bei der Auswertung der Applikationsdaten

stellte sich heraus, dass dies lediglich an einem Tag für zwei Änderungen der Fall war. Ein Teilnehmer verwendete laut eigener Auskunft häufiger als alle anderen die Sofortladenfunktion, wie sich auch in den objektiven Nutzungsdaten zeigte. Mit der Funktion „Mindestreichweite einstellen“ konnten sich ebenfalls alle Nutzer vertraut machen, drei Teilnehmer stellten nach eigenen Angaben mehrmals während der Nutzungsdauer die Mindestreichweite des Fahrzeugs mit Hilfe des Ladeassistenten ein, wobei die Applikationsdaten lediglich bei einer Person die mehrmalige Veränderung der Mindestreichweite bestätigten.

Die Funktion „Energiebilanz“ verwendeten die Teilnehmer unterschiedlich oft. Zwei Personen nutzten diese Funktion gar nicht, während vier Personen einmal oder mehrmals während der Nutzungsdauer die Energiebilanz abriefen.

Die verwendeten Funktionen wurden von den Teilnehmern einer Bewertung unterzogen, wie sinnvoll sie die einzelnen Funktionen für die Teilnahme am Gesteuerten Laden fanden. Bestnoten erreichten die Funktionen „Mindestreichweite einstellen“, die Anzeige des Ladestands sowie die Sofortladenfunktion, die von allen Teilnehmern als sehr sinnvoll eingeschätzt wurden. An letzter Stelle der Rangreihe, aber insgesamt dennoch im positiven Bereich, platzierte sich die Funktion „Standardzeiten einstellen“ (MW = 3,5 auf der 5stufigen Skala).

Welche zusätzliche Funktionen oder Informationen im Ladeassistenten wünschen sich die Nutzer?

Die Studienteilnehmer gaben Funktionen oder Informationen an, welche sie sich zusätzlich von einem Ladeassistenten wünschten. Tabelle 62 zeigt die kategorisierten Nennungen der Teilnehmer. Neben zusätzlichen Informationen, wie beispielsweise eine Statusanzeige für öffentliche Ladestationen, wurden an dieser Stelle Verbesserungsvorschläge zur Navigation oder allgemein zum Ladeassistenten geäußert. Eine Person berichtete, dass sie den Ladevorgang gern an der Ladestation steuern möchte und den Ladeassistenten zusätzlich zum Verlängern oder Verkürzen der eingestellten Zeiten nutzen möchte.

Vorschlag in Bezug auf…	Welche Informationen oder Funktionen sollte der Ladeassistent zusätzlich für Sie zur Verfügung stellen?
Kalender	• Anbindung an Outlook (Kalender) • Verknüpfung mit dem Kalender des Handys/Rechners etc.
Karte/Suche Ladestationen	• mehr Informationen zu den Ladesäulen (eventuell „gerade belegt“) • Navigation zur Ladesäule mit aktueller Position und dem Zielort, Anzeige des Weges und Ansage des Weges
Energiebilanz	• Geladene Kilowattstunden (evtl. auch gleich Kosten) • Verbrauch ermitteln
Gesteuertes Laden	• Gesteuertes Laden ohne Planung im Kalender aktivieren
Informationen	• mehr Informationen zum Gesteuerten Laden • Motivation zum Mitmachen
Navigation im Ladeassistenten	• Schnellzugriffe auf die wichtigsten Funktionen, wie z.B. Laden beenden, gleich auf der Startseite
Allgemein	• deutliche bessere Usability • kürzere Reaktions- und Wartezeiten • „Ich würde gern den Ladevorgang nur über Ladesäule bedienen können, bei der ich die Zeit eingeben kann, wie lange voraussichtlich der Wagen an die Ladestation angeschlossen stehen bleiben wird. Es wäre aber sehr nützlich, wenn ich über Ladeassistent diese Zeit verlängern bzw. verkürzen könnte, um nicht zur Ladesäule laufen zu müssen.“ (TN 6)

Tabelle 62: Gewünschte zusätzliche Funktionen oder Informationen im Ladeassistenten.

Wahrgenommene Potenziale und Defizite des Ladeassistenten

Ebenfalls in Form einer offenen Frage wurden Aspekte abgefragt, welche die Teilnehmer besonders gut bzw. besonders schlecht am Ladeassistenten fanden. Die Anzeigen des Ladeassistenten (z.B. die Ladeanzeige) wurden von mehreren Teilnehmern positiv

hervorgehoben. Als weniger ausgereift empfanden einige Teilnehmer den Kalender sowie die Gebrauchstauglichkeit des Ladeassistenten insgesamt. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Nennungen.

Was fanden Sie besonders gut? und Was fanden Sie besonders schlecht?
Besonders gut:
• Anzeige der Informationen zum Ladevorgang • Anzeige der Informationen zum Fahrzeug, Zustandsanzeige des Fahrzeugs • Option "Sofortladen" • Ladeanzeige
Besonders schlecht:
• Kalender und Eingabe der Termine, Kalendereingaben sind sehr mühsam • Verbindung zwischen Car-PC und Ladeassistent • zu viele Untermenüs • die sich nicht selbst aktualisierende Oberfläche • die Geschwindigkeit des Seitenaufbaus • keine Möglichkeit, Kommandos explizit zu bestätigen. • Kalenderfunktionalität zu schlicht • Usability, Reaktions- und Wartezeiten • gesuchte Adressen konnten oftmals nicht gefunden werden • Usability und Funktionsumfang Kalender

Tabelle 63: Genannte Vor- und Nachteile des Ladeassistenten.

4.5.5.4.5 Tagebücher

Ergebnisse Wegetagebuch

Im Wegetagebuch dokumentierten die Teilnehmer ihre während des Nutzungszeitraums zurückgelegten Wege. Erfasste Variablen waren neben Zeitpunkt, Dauer, Entfernung und Zweck von zurückgelegten Wegen vor allem auch Gründe für die Nichtnutzung des MINI E. Erwartungsgemäß wurde der MINI E von den Versuchspersonen intensiv ge-

nutzt, vor allem am Wochenende fanden viele Fahrten statt. Die Fahrten innerhalb der Nutzungsdauer wurden von der Hälfte der Nutzer als typisch für ihr Mobilitätsverhalten angegeben, für zwei Nutzer traf dies eher nicht zu. Die Nutzer erledigten durchschnittlich 24 Wege innerhalb des Nutzungszeitraums. Die zurückgelegte Entfernung der Wege betrug im Mittel 38,9 km pro Tag. Für 85% aller Wege wurde der MINI E eingesetzt. Ein deutlich geringerer Prozentsatz entfiel auf Wege zu Fuß (15%), andere PKW (5%) und ÖPNV (2%, Mehrfachnennungen waren möglich). Als Zweck des Weges wurde zu 24% „nach Hause“ angegeben, gefolgt von „Freizeit/Urlaub“ (20%) und „Arbeit/Ausbildung“ (16%), wie Abbildung 235 zeigt. Es kam lediglich in zwei von 143 Fällen vor, dass eine Fahrt nicht angetreten werden konnte, weil das Elektrofahrzeug geladen werden musste. Eine Testperson gab bei vier von 14 Wegen als Anmerkung „ungeplant“ an, allerdings ohne zusätzliche Informationen über eventuelle Einschränkungen.

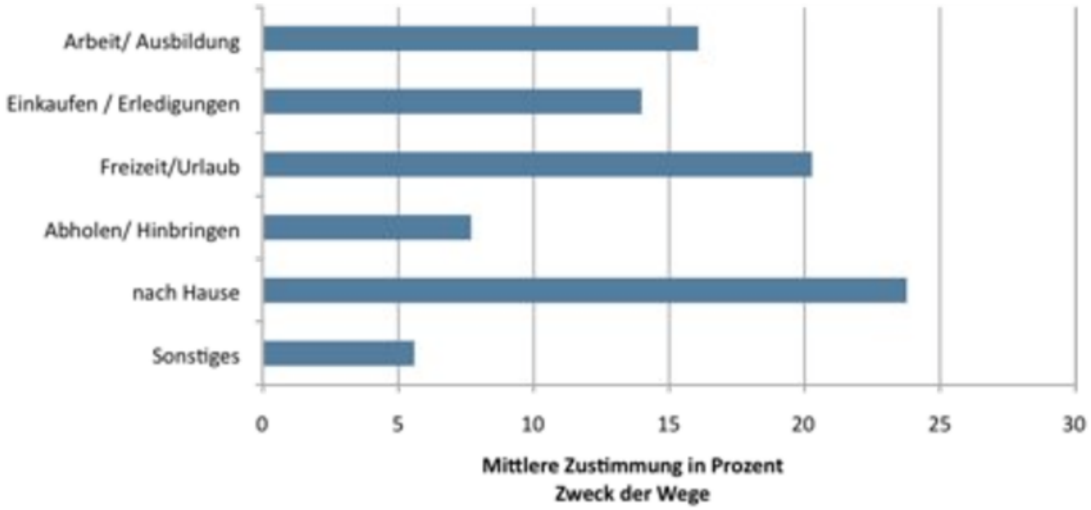


Abbildung 235: Wegzwecke für MINI E-Nutzung aus dem Wegetagebuch.

Ergebnisse Tagebuch zum Gesteuerten Laden

Im Tagebuch zum Gesteuerten Laden erfassten die Teilnehmer die einzelnen Ladevorgänge, die Ladeorte, den Ladezustand vor und nach dem Laden sowie die Gründe für den jeweiligen Ladevorgang.

Insgesamt zeichneten die Teilnehmer 31 Vorgänge auf, davon konnte in 25 Fällen erfolgreich geladen werden, während bei 6 Vorgängen kein Laden möglich war. Als Gründe für den erfolglosen Ladevorgang nannten die Teilnehmer beispielsweise, dass nach

dem Anstecken des Fahrzeugs an der Ladestation keine UMTS-Verbindung zustande kam oder dass die Ladestation außer Betrieb war.

21 der 31 Ladevorgänge fanden an einer der Ladestationen der Technischen Universität Berlin statt, während zehnmal an einer öffentlichen Ladestation geladen wurde. Tabelle 9 zeigt Anzahl und Ladeort der Vorgänge nach Teilnehmern aufgeschlüsselt.

Teilnehmer	Anzahl Ladevorgänge an der TU Berlin (V2G-fähige Ladestation)	Anzahl Ladevorgänge an öffentlichen Ladestationen	SUMME
TN 1	1	3	4
TN 2	3	0	3
TN 3	4	4	8
TN 4	2	1	3
TN 5	5	1	6
TN 6	6	1	7
SUMME	21	10	31

Tabelle 64: Anzahl der Ladevorgänge aus dem Protokoll zum Gesteuerten Laden.

Im Tagebuch zum Gesteuerten Laden wurde für jeden Ladevorgang nach den Gründen gefragt, warum die Teilnehmer das Fahrzeug an die Ladestation anschlossen. Die Teilnehmer konnten zu jeder Begründung jeweils Punkte vergeben, welchen Anteil diese an ihrer Entscheidung zum Anschließen hatte. Ein niedriger Ladestand war im Durchschnitt die wichtigste Motivation, das Fahrzeug anzuschließen (durchschnittlich 2,6 Punkte). Die Motivation, das Gesteuerte Laden zu unterstützen, sowie die Planung einer längeren Fahrt folgten an zweiter Stelle (2,0 Punkte im Durchschnitt).

Abbildung 236: Durchschnittliche Motivationsanteile der Teilnehmer für unterschiedliche Gründe das Fahrzeug anzustecken.

Das Tagebuch zum Gesteuerten Laden zeigte auch, wie häufig die Teilnehmer die Sofortladenfunktion nutzten. In Tabelle 10 sind die von den Teilnehmern protokollierten Sofortladevorgänge nach Teilnehmer angeführt sowie der Ladeort und die hauptsächliche Motivation zum Anschluss des Fahrzeugs an die Ladestation.

Insgesamt aktivierten die Studienteilnehmer zwölfmal das Sofortladen, wobei fünf dieser Ladevorgänge von der gleichen Person ausgeführt wurden. In vier Fällen wurde als Ladeort eine öffentliche Ladesäule angegeben, in acht Fällen war die Ladestation der Technischen Universität Berlin der angegebene Ladeort. Als hauptsächliche Motivation für den Ladevorgang wurde am häufigsten der niedrige Ladezustand genannt.

Teil-nehmer	Anzahl So-fortladen		Ladeort Sofortladen	Motivation, das Fahrzeug anzustecken, Hauptgrund
TN 1	2	1	Ladestation TU Berlin	Der Ladezustand ist zu niedrig
		1	öffentliche Ladesäule	Der Ladezustand ist zu niedrig
TN 2	1	1	Ladestation TU Berlin	Ich möchte das Gesteuerte Laden unterstützen.
TN 3	5	2	Ladestation TU Berlin	Der Ladezustand ist zu niedrig.
		1	Ladestation TU Berlin	Es bietet sich gerade an.
		1	öffentliche Ladesäule	Es bietet sich gerade an.
		1	öffentliche Ladesäule	Der Ladezustand ist zu niedrig und es bietet sich gerade an (gleichermaßen Grund).
TN 4	1	1	Ladestation TU Berlin	Der Ladezustand ist zu niedrig und ich möchte eine der Aufgaben aus dem Aufgabenbuch durch-führen.
TN 5	2	1	Ladestation TU Berlin	Ich möchte eine Aufgabe aus dem Aufgabenbuch durchführen.
		1	öffentliche Ladesäule	keinen bestimmten Grund genannt
TN 6	1	1	Ladestation TU Berlin	Ich plane für die nächste Fahrt eine lange Strecke.

Tabelle 65: Anzahl, Ladeort und Motivation Sofortladevorgänge nach Teilnehmern.

Tagebuch für besondere Ereignisse

In das Tagebuch für besondere Ereignisse konnten die Teilnehmer Situationen eintragen, die während des Nutzungszeitraums aufgetreten waren. In Summe protokollierten die Teilnehmer 21 Ereignisse. Die Ereignisse waren hauptsächlich technischer Natur (z.B. keine Kommunikation zwischen Ladeassistent und Ladestation an der Technischen Universität Berlin oder keine Reaktion des Ladeassistenten) bzw. hatten die Teilnehmer einige Male Schwierigkeiten, an öffentlichen Ladesäulen zu laden (z.B. Ladesäule außer Betrieb; Ladesäule erkannte RFID-Karte nicht). Die Ereignisprotokolle wurden an die Technische Universität Berlin weitergeleitet.

Daten aus der Smartphone-Applikation

Um die subjektiven Daten aus der Nachbefragung und dem Tagebuch zum Gesteuerten Laden zu ergänzen, wurden objektive Nutzungsdaten aus der Smartphone-Applikation erfasst. Da nur auf eine kleine Stichprobengröße zurückgegriffen werden konnte, werden im Folgenden die Ergebnisse in kumulierter Form sowie als Einzelfallbeschreibung wiedergegeben.

Kumulierte Ergebnisse der Applikations-Interaktionen

Die Applikation wurde von allen in die Berechnung eingeflossenen Versuchspersonen an Wochentagen durchgängig genutzt. Hierbei wurden im Mittel sechs Interaktionen pro Tag getätigt. Am Wochenende nahmen demgegenüber drei von vier Personen jeweils an einem Tag keine Interaktionen vor, sodass nur an 63% der Wochenendtage die Smartphone-Applikation genutzt wurde. Die Anzahl der Interaktionen pro Tag war dabei etwa halb so hoch, wie an Wochentagen (MW = 3,2).

Der Fahrzeugstatus die am häufigsten genutzte Funktion. Er wurde an insgesamt 92% aller Tage und an diesen Tagen im Mittel 7,8-mal aufgerufen. Eine Aktualisierung des Fahrzeugstatus fand an 88% aller Tage statt und dann im Mittel 2,4-mal pro Tag. Die Nutzer aktivierten das Sofortladen an 49% der Nutzungstage, jeweils durchschnittlich 1,4-mal pro Tag. An 44% der Tage wurden Termine hinzugefügt, wobei im Mittel 2,4 Termine an diesen Tagen hinzugefügt wurden. An 38% der Nutzungstage riefen die Nutzer Termindetails auf. Dies geschah an diesen Tagen pro Tag durchschnittlich 2,5-mal. Am Wochenende reduzierten sich die Interaktionen stark, sodass nur an 50% der Tage die Fahrzeugdetails abgerufen wurden. Am Wochenende aktualisierten die Nutzer an 33% der Tage den Fahrzeugstatus (für im Mittel 3,5-mal pro Tag) und an 25% der Tage fügten sie Termine hinzu. Wenn am Wochenende Termine hinzufügt wurden, waren dies im Mittel 2 Termine pro Tag. An 13% der Wochenendtage wurde das Sofortladen im Mittel einmal aktiviert.

Individuelle Besonderheiten der Teilnehmer

Von den insgesamt sechs Personen, die am Probebetrieb teilnahmen, fielen drei im Besonderen auf.

So berichtete ein Teilnehmer, erfolgreich am Gesteuerten Laden teilgenommen zu haben, jedoch ab dem ersten vollständigen Tag des Probebetriebs am Abend täglich die

Sofortladenfunktion aktiviert zu haben, da das Fahrzeug am Abend immer vollgeladen zur Verfügung stehen sollte. Dies spiegelte sich auch in seinen Interaktionsdaten wider (zweimalige Betätigung der Sofortladenfunktion an allen Wochentagen).

Eine weitere Person wollte nach drei Tagen der Nutzungsphase das Fahrzeug während des Ladens an einer öffentlichen Ladestation abstecken. Leider bestand durch einen systembedingten Fehler keine Verbindung zwischen Smartphone und V2G-Car-Computer, sodass das Abstecken nicht korrekt an den V2G-Car-Computer übermittelt wurde. Beim Abstecken des Fahrzeugs mit laufendem V2G-Car-Computer entstand so ein systembedingter Fehler im Bordcomputer des Fahrzeugs, der in der Werkstatt behoben werden musste und damit das Laden und Nutzen des MINI E für die restlichen zwei Tage des Probebetriebs dieses Teilnehmers verhinderte.

Eine dritte Person fiel dadurch auf, dass sie bedeutend mehr Interaktionen mit dem Smartphone aufwies als alle anderen Teilnehmer. Diese Person interagierte ausnahmslos täglich mit allen Systemen. Sie rief im Mittel 16,3-mal pro Tag die Fahrzeugdetails ab und aktualisierte 13,5-mal den Fahrzeugstatus. Von 31 eingetragenen Terminen löschte sie 20 wieder aus dem Kalender, wobei sie an einem Nutzungstag 77-mal die Termindetails abrief (im Mittel 19,3-mal pro Tag). Sie aktivierte jedoch die Sofortladenfunktion nicht häufiger als alle anderen Teilnehmer.

4.5.5.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Insgesamt konnte der V2G-Probebetrieb erfolgreich evaluiert werden. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Komponenten Ladeassistent und Gesteuertes Laden. Die Nutzer waren in der Lage mit Hilfe des Ladeassistenten gesteuert zu laden. Die Ergebnisse der Evaluation wurden an das DAI-Labor der TU Berlin weiter gegeben, um als wichtiger Input in die Entwicklung der nächsten Generation eines Ladeassistenten einzufließen. Vor allem die berichteten Probleme liefern dabei einen wichtigen Ansatz zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Systeme[52].

52 Für D5.4 Vgl. Krems, J.F. (2011), vgl. Krems, J.F., Bartholdt, L., Cocron, P., Dielmann, B., Franke, T., Henning, M.J., Ischebeck, M., Schleinitz, K., & Žilyte-Lennertz, M. (2011), vlg. Van der Laan, J.D., Heino, A., & De Waard, D. (1997), vgl. Willumeit, H., Gediga, G. &, Hamborg, K.-C. (1996)

5 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

5.1 Wissenschaftlich-technische Ausgangsbasis

Das Thema Elektromobilität genießt seit einigen Jahren große Aufmerksamkeit in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Gründe hierfür sind unter anderem der Wunsch nach einer Reduzierung der CO_2-Emissionen im Verkehr und einer stärkeren Nutzung regenerativer Energieträger. Die im Energiekonzept der Bundesregierung vom 28. September 2010 formulierten Erwartungshaltung an die Elektromobilität:

„Elektrofahrzeuge reduzieren die Abhängigkeit vom Öl und werden erst durch die Kopplung der Elektromobilität an erneuerbaren Strom praktisch zu Nullemissionsfahrzeugen. Sowohl für Flottenbetreiber (Marketing) als für auch private Erstkäufer liegt im Image als Nullemissionsfahrzeug (EE-Strom) ein wichtiger Kaufanreiz.“

weiter verdeutlicht im ersten Zwischenbericht der Nationalen Entwicklungsplattform Elektromobilität:

„…Verbunden mit dem Aufbau eines intelligenten Energiesystems (Smart Grid), wird durch sie die optimale Einbindung flexibler Lasten z. B. durch eine zeitlich flexible Ladung der Batterien des Elektroautos bevorzugt mit regenerativ erzeugten Strom ermöglicht… Dadurch kann die Integration erneuerbarer Energien bei gleichzeitiger Verbesserung der Netzstabilität gewährleistet werden.“

zielen auf eine direkte Kopplung von Elektrofahrzeugen mit erneuerbaren Strom bzw. die bevorzugte Ladung mit regenerativem Strom. Besonders zu Zeiten mit Überangebot elektrischer Energie, die durch regenerative Einspeisung zur Verfügung gestellt wird, sollen durch Elektrofahrzeuge aufgenommen werden, um Drosselungen regenerativer Anlagen bzw. Stromtransporte ins Ausland zu vermeiden.

Im Zuge der Wirtschaftskrise 2008 wurden in mehreren Ländern Anreizsysteme und Förderprogramme für Elektromobilität geschaffen. Doch obwohl das Thema Elektromobilität in zahlreichen privat und öffentlich geförderten Pilot- und Forschungsprojekten vorangetrieben wird, war der Erkenntnisstand in den Themenfeldern Infrastruktur und Nutzung Anfang 2010 vergleichsweise gering. Zwar lagen viele Konzeptvorschläge vor, je-

doch kaum praktisch verwertbare Erfahrungen zum Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastrukturen für moderne Elektrofahrzeuge im großstädtischen Umfeld. Dies betraf insbesondere folgende Aspekte:

- Anforderungen der Nutzer an den Gebrauch von Elektrofahrzeugen
- Zweckmäßige Dichte von Ladestationen pro Fahrzeug
- Verteilung von Ladestationen im öffentlichen Raum
- Elektrisches Verhalten von Elektrofahrzeugen und Rückwirkungen auf das Netz
- Verfahren zur Steuerung des Ladevorgangs
- Verfahren zur Steuerung von dezentralen Kleinverbrauchern anhand von Netzparametern
- Einzelabrechnung der Nutzenergie für wechselnde Fahrer
- Standortgenehmigungsprozesse (Ladestation, freizuhaltende Stellplätze, Markierungen und Beschilderung)
- Diskriminierungsfreier Zugang zu den Ladestationen
- Kommerzielle Ladeinfrastruktur für den öffentlichen und privaten Raum
- Technische Standards und Anwendungsregeln für Komponenten der Elektromobilität (Stecker, Kommunikationsschnittstellen zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur, etc.)

Andererseits konnten für den Versuchsaufbau auf eine Reihe von Konzepten und Erfahrungen aus ähnlichen Gebieten zurückgegriffen werden. Insbesondere bei der Elektro-, Informations- und Steuerungstechnik wurde eine Vielzahl von marktüblichen Techniken genutzt. Beispiele dafür sind die sichere Datenübertragung (VPN über GSM-Mobilfunk), Nutzung von XML-Datenformaten, Techniken für Internet-Portale oder der Einsatz von energiewirtschaftlichen Standardprozessen bei der Kundenabrechnung.

Im Projekt konnten diese Techniken und Verfahren – neu kombiniert bzw. an den Nutzungszweck angepasst – verwendet werden.

Außerdem konnten auf Erfahrungen in den bereits angelaufenen Elektromobilitätsprojekten mit Beteiligung von Vattenfall aufgesetzt werden.

Von 2008 bis 2010 führte Vattenfall gemeinsam mit BMW und den Universitäten TU Chemnitz, TU Ilmenau, TU Berlin das Projekt MINI E Berlin powered by Vattenfall 1.0 durch. Hier wurden 50 MINI E zweimal sechs Monate unter Alltagsbedingungen mehrheitlich bei privaten Nutzern getestet. Vattenfall lieferte zertifizierten Ökostrom und ent-

wickelte und betrieb 50 öffentlich zugängliche Autostrom-Stationen sowie 50 Autostrom-Boxen im privaten Umfeld der Nutzer. Des Weiteren entwickelten und erprobte, **BMW, TU Ilmenau und TU Chemnitz das** Gesteuerte Laden, mit dem Ziel eine künstliche Nachfrage nach regenerativ erzeugtem Strom aus Windkraftanlagen zu realisieren und damit eine bevorzugte Ladung mit regenerativem Strom aus physikalischer Sicht zu erreichen. Nach zwei aufeinanderfolgenden, sechsmonatigen Nutzungszeiträumen mit Gesteuertem Laden berichteten die Nutzer, dass das Laden des Elektrofahrzeugs weitestgehend problemlos ablief und die Ladezeiten keine Einschränkung darstellten. Gesteuertes Laden funktionierte grundsätzlich gut und fand Akzeptanz bei den Nutzern. Neben der Umsetzung des Gesteuerten Ladens für Privathaushalte wurde zudem ein vernetztes Ladeinfrastruktursystem installiert, um generelle Aussagen zur Integration von erneuerbaren Energien ins Stromnetz zu treffen und das Verhalten der Nutzer hinsichtlich der Steuerbarkeit dieses Systems zu erforschen. Die öffentliche Ladeinfrastruktur wurde von den Teilnehmern kaum genutzt, wurde aber als „unverzichtbar“ angegeben. Dies schien vor allem psychologische Gründe zu haben: falls das EV durch Gesteuertes Laden nicht ausreichend aufgeladen werden kann, zum Beispiel durch eine ungeplante Verkürzung des Ladezeitfensters, möchten die Nutzer die Gewissheit haben, eine öffentliche Ladestation aufsuchen zu können. Das Bewusstsein für umweltschonendes Verhalten war bei den Teilnehmern der Studie MINI E 1.0 recht ausgeprägt, die Nutzung erneuerbarer Energien galt vielen als wichtig. Während des Nutzungszeitraums berichteten die Teilnehmer sowohl gute als auch schlechte Erfahrungen mit dem Gesteuerten Laden. Probleme wurden teilweise durch technische Schwierigkeiten ausgelöst, woraufhin der Nutzer keine genaue Rückmeldung vom System erhielt, oder es kam zu Bedienfehlern durch den Nutzer. Generell wurde mehr Transparenz seitens des Stromversorgers gefordert. 11% der Befragten befürworteten eine Bedienung über ihr Smartphone. Ein schneller und ständiger Zugriff auf alle notwendigen Einstellungen wäre wünschenswert. Die Verantwortung für eine erfolgreiche Umsetzung des Potentials von Gesteuertem Laden liegt laut Meinung von 95% der Teilnehmer bei ihnen selbst/ dem Kunden. Dafür wurden finanzielle Anreize gefordert. Auch die Möglichkeit einer gesetzlichen Verpflichtung zur Anwendung Gesteuerten Ladens wurde von den Nutzern in Betracht gezogen. Denn trotz einer überwiegend positiven Einstellung zum Gesteuerten Laden setzten die meisten Nutzer das notwendige regelmäßige Anstecken des EVs, sobald es nicht genutzt wird – auch wenn die Batterie noch ausreichend Ladestatus anzeigt - in der Reali-

tät nicht um. Andere Ladegewohnheiten standen der erfolgreichen Ausführung des Gesteuerten Ladens im Weg. Zukünftig sollten mehr Informationen und Anreize geboten werden, um eine höhere Compliance zu erreichen.

Darüber hinaus engagiert sich Vattenfall seit 2009 in den Modellregionen Berlin (Projekt BeMobility) und Hamburg (Projekt HH=more). Kern beider Projekte ist der Einsatz von Elektrofahrzeugen in Car-Sharing-Anwendungen und somit die Integration in den öffentlichen Nah- und Fernverkehr. In beiden Projekten betreibt Vattenfall Ladestationen, liefert zertifizierten Strom aus erneuerbaren Energiequellen und wendet zum Teil die Wind-to-Vehicle-Applikation an.

Die BMW AG kann auf 40 Jahre Erfahrung im Bereich Elektromobilität zurückblicken. Bereits 1972 stellte die BMW AG zwei Elektroversuchsfahrzeuge auf Basis des BMW 1602 als Begleitwagen bei den Olympischen Spielen in München bereit. Während die damaligen Fahrzeuge herkömmliche Blei-Säure-Batterien als Energiespeicher enthielten, setzt die BMW AG heute, nach einigen Versuchen mit NaS und NaNiCl-Batterien, vollständig auf Li-Ionen Technologie für die Elektrifizierung ihrer Fahrzeuge.

Abbildung 237: Überblick über die Historie der Elektromobilität bei der BMW AG

Im Pilotprojekt MINI E wurde der Ansatz verfolgt, mit Consumer-Zellen, welche zwar nicht für den automobilen Einsatz optimiert dafür aber leicht verfügbar sind, die Fahreigenschaften eines E-Fahrzeugs konkret erlebbar zu machen. Mit diesem Ansatz konnten im großangelegten Feldversuch wertvolle Daten bzgl. Kundenzufriedenheit, Anforderungen, Reichweite, usw. gesammelt werden. Dies wird gleichermaßen für die geplanten Feldversuche des elektrifizierten BMW 1er (ActiveE) gelten. Hauptziele der MINI E und der ActiveE-Aktivitäten waren und sind einerseits das Erlernen von Industrialisierung und Produktion dieser Fahrzeuge, andererseits die Demonstration individueller Elektromobilität unter Alltagsbedingungen und den Aufbau des notwendigen praxisbasierten Know-how. Beide Fahrzeugkonzepte sind jedoch „Conversion“-Lösungen und nicht für einen nachhaltigen großserientauglichen Einsatz eines Elektrofahrzeuges geeignet.

Im Rahmen des Förderprojekts 03KP213 konnte schließlich ein maßgeschneiderter Li-Ionen Hochvoltspeicher entwickelt werden, der alle Anforderungen einer automobiltauglichen Serienkomponente erfüllt und in der Unternehmensstruktur verankert wurde.

Mit zwei neuen Fahrzeugen, die ab 2013 auf den Markt kommen werden, erschafft BMW i eine neue Welt visionärer Mobilität. Auf der einen Seite der BMW i3, der als erstes rein elektrisch angetriebenes und in Serie produziertes BMW Fahrzeug gezielt auf die zukünftigen Mobilitätsanforderungen im städtischen Bereich ausgerichtet ist und als erstes „Premium-Elektrofahrzeug" typische BMW Attribute zukunftsweisend interpretiert. Auf der anderen Seite der BMW i8, ein Sportwagen der neuesten Generation: Fortschrittlich, intelligent und innovativ. Durch sein einzigartiges eDrive Plug-in-Hybrid-Antriebskonzept vereint er einen Verbrennungsmotor und einen Elektroantrieb zu einem außergewöhnlichen Fahrerlebnis – und das bei äußerst niedrigem Verbrauch und geringen Emissionen.

Die in den Forschungsprojekten gewonnenen Erkenntnisse zu Ladeinfrastruktur, Gesteuertem Laden und Nutzerakzeptanz sind in die Projektarbeit eingeflossen. So stellt die sich Anfang 2010 im Betrieb befindliche Ladeinfrastruktur eine pragmatische Lösung dar, die auf die projektspezifischen Anforderungen zugeschnitten worden sind. Die Funktionstüchtigkeit ist gegeben, allerdings ist die Lösung noch zu teuer und wird zudem den spezifischen Anforderungen der Elektromobilität noch nicht gerecht (Nutzerkomfort, Kompatibilität mit verschiedenen Anwendungskontexten im öffentlichen und privaten

Umfeld). Eine Weiterentwicklung dieser ersten Generation war daher zwangsläufig notwendig.

Beim Gesteuerten Laden waren 2010 die Basisfunktionalitäten etabliert. Die Funktionsfähigkeit konnte gezeigt werden, jedoch war der Zielerreichungsgrad noch verbesserungswürdig und -fähig. Bisher konnten hauptsächlich Erkenntnisse gewonnen werden, die das Lastprofil der ungesteuerten Beladung für Privatkunden betreffen. Dazu gehört die statistische Häufigkeit an Ladevorgängen, deren zeitliche Einordnung und die benötigte Energiemenge. Auch ist abgeleitet, dass mangels a priori Informationen eine windorientierte Beladung nur schwer bisweilen nicht möglich ist. Ursächlich hierfür ist das Kundenverhalten.

Bei vielen Fragestellungen, die im Rahmen des Projektes angesprochen werden, kann damit auf schon existierende Lösungsansätze Bezug genommen werden.
Das Konzept des Gesteuerten Ladens beinhaltet neben der Anwendung W2V für das gesteuerte Beladen von Fahrzeugen unter anderem auch die Anwendung V2G für das gesteuerte Entladen der Fahrzeuge. Aus der Rückspeisefähigkeit von Fahrzeugen ins Stromnetz ergeben sich einige Vorteile sowohl in ökologischer als auch ökonomischer Hinsicht, wodurch die Dauer für die Amortisation der noch hohen Batteriekosten zusätzlich reduziert und somit eine höhere Akzeptanz der Nutzer erreicht werden könnte.

- zusätzliche Nutzung erneuerbarer Energien, da durch die Rückspeisung von Energie zu Zeiten geringer regenerativer Erzeugung entsprechend eine größere als die zur Mobilität notwendigen Energiemenge zu Zeiten verstärkter regenerativer Erzeugung aufgenommen und somit die Fahrzeugbatterie als Energiespeicher stärker genutzt werden kann.
- größeres Potential für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen insbesondere von positiver Regelenergie, da sich die Leistung nicht auf einen sogenannten Lastabwurf beschränkt.
- geringere Beanspruchung des Stromnetzes, da einerseits durch die höhere Aufnahmekapazität der Fahrzeuge weniger ungenutzter, regenerativ erzeugter Strom beispielsweise in andere Regelzonen transportiert werden muss und andererseits zu Spitzenlastzeiten bereits durch die Fahrzeuge ein Teil der benötigten Energie an den Orten des Verbrauchs zur Verfügung steht.

Allerdings ist bei all diesen Vorteilen auch ein möglicher zusätzlicher Verschleiß der Batterie durch V2G zu berücksichtigen.

Ein Einsatz großer stationärer Batteriesysteme ist in der Vergangenheit erfolgreich demonstriert worden[53]. Demgegenüber handelt es sich bei V2G um verteilte Batteriespeicher, die einer volatilen Verfügbarkeit und einem nicht planbaren Ladezustand unterliegen und sich dahingehend von stationären Batteriespeichern grundlegend unterscheiden. Aus stationären Anwendungen für Batteriespeicher existieren Verfahren, mit denen sich der optimale Bereich des Speicherfüllstandes ermitteln lässt. Im Zuge der Nutzung des Fahrzeuges und dem damit verbundenen reduzierten Speicherfüllstand sind solche Verfahren für V2G-Anwendungen zu adaptieren und gegebenenfalls zu erweitern. Die bestmögliche Ausnutzung der Batteriekapazität steigert dabei die Effektivität der V2G-Anwendung, wobei die Eigenschaften der Batterie entsprechend zu berücksichtigen sind.

Die existierenden Forschungsarbeiten im Bereich V2G beschränkten sich bisher auf die technische Umsetzung des Rückspeisens von Fahrzeugen und deren Integration in das Niederspannungsnetz[54]. Auch bei den kurz zuvor gestarteten Projekten im Rahmen des Förderprogramms IKT für Elektromobilität[55], die sich mit V2G beschäftigen (z.B. MeRegioMobil[56]), steht das dynamische Verhalten der Nutzer nicht im Fokus. Die größte Schwierigkeit bei V2G besteht allerdings in der Berücksichtigung des nicht zuverlässig vorhersehbaren Nutzerverhaltens, um die Mobilität des Nutzers bei gleichzeitiger Ausnutzung des V2G-Potentials zu gewährleisten. Im Projekt MINI E Berlin powered by Vattenfall wurden durch die TU Berlin bereits Vorarbeiten geleistet, den Terminkalender des Nutzers als Prognose des Nutzerverhaltens in die Planung der Auflade- und Rückspeisevorgänge einfließen zu lassen. Der positive Effekt dieses Ansatzes konnte im Labor anhand eines einfachen statischen Szenarios erfolgreich demonstriert werden.

Eine Weiterentwicklung im Hinblick auf die Anzahl der Nutzer und der Dynamik des Nutzerverhaltens, der Nutzerpräferenzen, der Wind- und Lastprognose sowie der Kommuni-

---

53 Chartouni, D.:, Bühler, T.; Linhofer, G. (2009): Wertvolle Energiespeicherung. In: Elektrotechnik 01/09, Seiten 46-50, AZ Medien, Baden, 2009.

54 Kempton, W.; Udo, V.; Huber, K.; Komara, K.; Letendre, S.; Baker, S.; Brunner, D.; Pearre, N. (2009): A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System. Mid-Atlantic Grid Interactive Cars Consortium 2009.

55 http://www.ikt-em.de/

56 http://www.meregio-mobil.de/

kationsmöglichkeiten war für den Einsatz im Rahmen eines Freilandlabors mit realen Nutzern zwangsläufig notwendig. Des Weiteren war für das Freilandlabor eine Integration der entsprechenden Komponenten in V2G-fähige Fahrzeuge und Ladestationen sowie eine mobile Schnittstelle für die Interaktion mit den Nutzern erforderlich. Nicht zuletzt war auch die Effektivität des Planungsalgorithmus noch verbesserungswürdig und -fähig.

5.2 Projekte zur Elektromobilität in Deutschland

Auf Ebene der Bundesrepublik Deutschland wurden mehrere Programme zur Erforschung der Elektromobilität gestartet.

Die Bundesregierung erstellte den ‚Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität' mit dem Ziel, Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu machen. Bis 2020 sollen eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen unterwegs sein.[57] Im Rahmen des Konjunkturpakets II stehen bis 2011 deshalb 500 Millionen Euro für Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Elektromobilität zur Verfügung.[58]

Zentrale Anlaufstelle für Elektromobilität ist seit Anfang 2010 eine Gemeinsame Geschäftsstelle der Bundesregierung (GGEMO). Die im Mai 2010 von Bundeskanzlerin Angela Merkel etablierte Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) mit Vertretern der beteiligten Wirtschaftsbranchen, Forschungsdisziplinen und Bundesministerien soll weitere konkrete Vorschläge für die Erreichung der Ziele des Nationalen Entwicklungsplans erarbeiten.[59]

Projekte zur Elektromobilität im Rahmen des Konjunkturpakets II werden vielfältige Erkenntnisse und Erfahrungen aufzeigen. Im Projekt „MeRegio Mobil" wird der Aufbau und Betrieb einer intelligenten Lade- und Rückspeiseinfrastruktur in einem Feldtest untersucht. Eine Elektro-Dienstwagen-Flotte soll im Rahmen von „Future Fleet" Daten zum gezielten und intelligenten Laden Daten liefern. „eMobility Berlin" testet ebenfalls das intelligente Lademanagement. Im weitesten Sinne werden auch in folgenden Projekten Fragestellungen zu Smart Grid analysiert: „Grid Surfer", „Harz.EE-Mobility", „Smart

57 Die Bundesregierung (Hrsg.) (2009).

58 Die Bundesregierung (Hrsg.) (2009).

59 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.) (2010).

Wheels“, „Conductix“, „IndiOn“ sowie „W-Charge“, „4S“, „EMKEP“, B-AGV“ und „JustPark“. Da die Laufzeiten dieser Studien noch nicht abgeschlossen sind, können hier keine Ergebnisse dargestellt werden.

5.3 Vergleich der Projektergebnisse zum Stand der Technik

Obwohl Elektrofahrzeuge bereits seit vielen Jahren eingesetzt werden, existieren die konkreten Produkte doch in sehr speziellen Nischen. Die Aussagekraft der Nischenprodukte für den angestrebten Massenmarkt ist allerdings eher gering.

Deshalb werden bekannt gewordene Projektergebnisse aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten für den Vergleich herangezogen.

Im Projekt wurden öffentliche und private Ladeinfrastrukturen bereitgestellt. Alle Ladeinfrastrukturen stellten Wechselstrom per Ladekabel zur Verfügung. Gleichstrom-Ladestationen sowie induktive Ladestationen wurden nicht getestet, sind aber marktgängig (Induktion: nur für Spezialanwendungen marktgängig).

Die Projektladeinfrastrukturen hatten die Besonderheit, dass sie höhere Ströme liefern konnten (bis zu 32A dreiphasig = 22 kW). Marktüblich und in den anderen Projekten eingesetzt sind eher Strukturen mit 16A einphasig (3,7kW). Für Nutzer bedeutet eine hohe Ladeleistung kürzere Ladezeiten. Dies macht insbesondere die Zwischenladung attraktiv. Im Projekt wurde die Ladeinfrastruktur auf 16A ausgelegt. In der VDE-Schlieflastverordnung ist definiert, dass eine unsymmetrischen Belastung des Netzes 20A nicht überschreiten darf.

Eine Besonderheit der Projektladeinfrastruktur im Vergleich zu kommerziellen Angeboten, aber auch im Vergleich zu vielen Projekten war die Nutzung von intelligenter Heim-Ladeinfrastruktur, die aus der Ferne anhand von Netzparametern gesteuert werden konnte. Eine solche Steuerung in der Ausprägung ist kommerziell in Deutschland nicht erhältlich. Diese Feststellung konnte nach einem umfangreichen Marktscreening im Rahmen eines angrenzenden Projektes getroffen werden. Zwar lässt sich die hierfür nötige Hardware aus Standardkomponenten zusammensetzen, die Software muss aber auf die Anforderungen der Elektromobilität angepasst werden und genau darin liegt der eigentliche Aufwand.

Interessant sind Ansätze zur Etablierung von Master-Satelliten-Systemen. Dabei wird der Strom- und Datennetzanschluss über die Mastereinheit realisiert. Satellitenladepunkte können aus dem Master bedient werden. Dadurch sinken die Kosten pro Ladepunkt teils erheblich. In diesem Projekt wurde die Ladeinfrastruktur in der Art modifiziert, dass die Master und Satelliten in der Lage waren, mit den Fahrzeugen über PLC-Technik zu kommunizieren. Dadurch wurde Gesteuertes Laden ermöglicht. In der Maximalausprägung könnten auch elektrische Sicherungs- und elektronische Steuerungselemente im Master untergebracht werden, so dass die Satelliten praktisch nur noch aus einer verriegelbaren Steckdose und einem Gehäuse bestehen. Zum Zeitpunkt des Marktscreenings Ende 2010 war dieses Konzept noch eher gering ausgeprägt.

5.4 Stand der Technik und Forschung

Die folgenden Projekte, Vorhaben und Studien wurden betrachtet:

5.4.1 Ladeinfrastruktur/Ladekonzepte

Projekt / Quelle	**Relevante Ergebnisse**

Analyse von Ladeinfrastrukturkonzepten für Elektromobilität
RWTH Aachen[60]
	Anhand von Mobilitätsdaten konnte gezeigt werden, dass das Laden mit einer Maximalleistung von 3,7 kW im Regelfall ausreichend ist. Die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur mit höheren Leistungen erhöht den Anteil elektrischen Fahrens nur unerheblich.
	• Schnellladekonzept: hohe Ladeleistung verändert Batteriesystemauslegung
	  ○ Einsatz von Zellen mit höherer Leistungsfähigkeit, geringerer Energiedichte und höheren Kosten nötig
	  ○ Erhöhung des Kühlungsaufwands der Batterie
	• Zunächst wird Laden zu Hause mit geringer Ladeleistung stattfinden
	• Bei höherer Marktdurchdringung: Ladeinfrastruktur auch im halb-öffentlichen und später im öffentlichen Raum

60 Lunz, De Donecker, Sauer (2010).

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
Die zukünftige Elektromobilitätsinfrastruktur gestalten *BDEW*[61]	• Die Gesamtanzahl benötigter Ladestationen zur Versorgung von einer Million Elektrofahrzeugen wird 2020 ohne Schnellladen zwischen ca. 1,1 Millionen und 1,25 Millionen liegen: o Größte Bedeutung werden 2020 private Nutzung auf Stellplätzen auf dem Wohn- oder Arbeitsgelände mit insgesamt ca. 0.97 bis 1,05 Millionen Ladestellen haben. o Halböffentliche Nutzung auf privatem Grund wird im Bereich von ca. 100 bis 120 Tausend Ladestellen liegen. o Öffentliches Laden am Wohnort bzw. an zentralen Stellen wird zwischen ca. 45 bis 80 Tausend Ladestellen erfordern. o Die benötigte Anzahl öffentlicher Ladestationen kann durch Schnellladen unter Voraussetzung technischer Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit reduziert werden. Aus Sicht der Energiewirtschaft ist dafür ein kontrollierter Netzausbau unabdingbare Voraussetzung. • Wirkungsvolle Netzintegration von erneuerbaren Energien mittels Elektromobilität nur mit aktiver Ladesteuerung und Systemintegration der Ladeinfrastruktur in Smart Grids möglich. Wichtig ist deshalb, frühzeitig fahrzeug- und systemseitige sowie regulatorische Voraussetzungen zu schaffen. • Drohende punktuelle Lastspitzen bei Ladestellen im privaten Bereich, können zu Handlungsbedarf hinsichtlich des Erhalts der Netzzuverlässigkeit führen. Voraussetzungen für Lademanagement sind sicher zu stellen. • Kosten für Laden an öffentlichen Strom-Ladestellen werden bis 2020 im Vergleich zu Preisen für Benzin-Tanken und Haushaltsstrom hoch sein. Wirtschaftlichkeit von öffentlichem Laden kann durch vielfältige Maßnahmen verbessert werden, das Erreichen der Wirtschaftlichkeitsschwelle scheint jedoch unrealistisch. Bei nachhaltiger Unwirtschaftlichkeit ist generell zu klären, durch wen öffentliche Ladeinfrastruktur errichtet und betrieben wird.
Intelligentes Laden von batterieelektrischen Fahrzeu-	Untersuchung mit Bezug zur Studie „Mobilität in Deutschland“ betrachtet den Energiebedarf eines Wohngebiets und die Fahrgewohnheiten seiner Bewohner, um einfache Szenarien bzgl. Tarif und Netzglättung zu entwickeln.

61 BDEW (Hrsg.) (2010).

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
gen im Kontext eines Stadtviertels[62]	• UnGesteuertes Laden führt zu einer Erhöhung der Spitzenlast • Preis- und Steuersignale sowie eine Unterteilung der verschiedenen Nutzergruppen ist für das Gesteuerte Laden wichtig.
Business strategy for ElectroMobility infrastructure. *Siemens*[63]	Markthochlauf Elektrofahrzeuge: • Die meisten Interviewten gehen von einem BEV/PHEV-Marktanteil zwischen 0,8 und 1,5 Prozent bis 2015 und 5 bis 15 Prozent im Jahr 2020 aus. • Frankreich wird voraussichtlich beim BEV- / PHEV-Marktanteil führend sein, gefolgt von Spanien, Italien, UK und Deutschland. Markthochlauf Infrastruktur: • Infrastruktur wird sich in zwei Schritten entwickeln: o Bis 2015 wird Laden zu Hause überwiegen o Ab 2015 kann es notwendig werden, öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur zur Verfügung zu stellen Funktionen der Fahrzeuge: • Die meisten BEVs werden eine Reichweite von 120 - 200 km, PHEV von 20 - 60 km haben. Heimladen: • Laden zu Hause wird in den meisten Fällen langsam sein (Wechselstrom < 10 kW), mit Fokus auf Bequemlichkeit und Sicherheit • Nur einige zusätzliche Funktionen werden gefordert (z.B. Timer oder Smart Meter) • Gesteuertes Laden nach 2015, V2G oder induktives Laden wird nach 2020 erwartet Öffentliches Laden: • Die meisten Interviewten glauben kurz- und mittelfristig nicht an Geldverdienen mit öffentlicher Ladeinfrastruktur • Attraktive Funktion öffentlicher Ladeinfrastruktur

62 Kaschub, Mültin, Schmeck, Fichtner, & Kessler (2010).

63 Siemens (Hrsg.). (2010).

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
	könnte eine Parkplatzreservierungsfunktion sein
Resonante Energieübertragung als kontaktlose Ladetechnik zukünftiger Elektrofahrzeuge[64]	Entwicklung, Aufbau und Vermessung eines induktiven Übertragungssystems für 10 kW. Die veröffentlichten Systemeigenschaften ließen sich im Rahmen von Fertigungs- und Simulationstoleranzen eindeutig identifizieren und reproduzieren • Dämpfungseigenschaft des Fahrzeugbodens unzureichend geklärt, elektromagnetische Sicherheit in der Fahrgastzelle nicht abschließend gewährleistet • Elektrische bzw. magnetische Einwirkung auf wichtige Fahrzeugkomponenten nach heutigem Wissenstand nicht abschätzbar • Abhängigkeit der Kundenakzeptanz von Einhaltung der Sicherheitsvorschriften und -empfehlungen
Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung *Fraunhofer ISI*[65]	Wissenschaftliche Analysen zum Stand der Technik und der ökonomischen Dimension von induktivem Laden • Aktuell in der Entwicklung befindliche Systeme erreichen Wirkungsgrade von 80 Prozent und können maximal 11 kW an elektrischer Energie übertragen. • Vorteile der induktiven Technik: Einfache Handhabung, geringer Verschleiß, hoher Schutz gegen Vandalismus • Entwicklungsbedarf: Erhöhung des Übertragungswirkungsgrades und der Toleranzen hinsichtlich Positionierung und Größe des Luftspaltes, Einhalten der Vorschriften zur elektro-magnetischen Verträglichkeit, Vorantreiben der Standardisierung, Ermöglichen der Einspeisung von Energie in das Netz • Aufgrund signifikanter Mehrkosten gegenüber der konduktiven Ladung ist aus wirtschaftlicher Sicht vorläufig keine weitverbreitete Durchsetzung der induktiven Technik zu erwarten. • Unter bestimmten Voraussetzungen, beispielsweise überdurchschnittlich hoher Fahrleistung einzelner Fahrzeuge, ergibt sich für bestimmte gewerbliche Einsatzfelder zur Ladung von Fahrzeugflotten ein Potential für das induktive Laden. • Potenzielle Skaleneffekte können die Kosten bis 2030

64 Bilgic, Winfried; Mathar, Sebastian & Achim Bahr (2010).

65 Schraven; Kley & Wietschel (2010).

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
	soweit reduzieren, dass ein regional gebundener Einsatz als Komfortladeoption in Nischen realistisch wird.
Ladestrategien für Elektrofahrzeuge *Fraunhofer IWES*[66]	Drei mögliche Ladestrategien werden vorgestellt. Auf Basis der Modellierung des Verhaltens von Referenzautos in einem beispielhaft ausgewählten Verteilnetzabschnittes werden Aussagen über die Konsequenzen der Anwendung dieser Ladestrategien auf Fahrzeugnutzer und den Betrieb des Verteilnetzes getroffen. • Dezentrales EMS mit Kenntnis über geplanten Abfahrtszeitpunkt und Preisprofil + Kostenreduktion – Steigerung des maximalen Bezugs von Ladeleistung und eventuelle Notwendigkeit von Ausbaumaßnahmen • Zentrale Steuereinheit mit Kenntnis über Anzahl der angeschlossenen Fahrzeuge und ihrer geplanten Abfahrtszeit + Ladeleistung über gesamte Standzeit der Fahrzeuge verteilen > geringste Auswirkungen auf Verteilnetz – Schwierigkeiten bei kommunikativer Einbindung der Ladestationen in ein zentrales EMS und die Bereitstellung der Nutzerdaten – Reduktion der Flexibilität des Abfahrzeitpunktes > Reduktion des Nutzer-Komforts • Hohe gesamtwirtschaftliche Effizienz durch Mischformen der zentralen und dezentralen Steuerung ○ Entscheidung über Zeitpunkt der Ladung und Ausnutzung der maximalen Anschlussleistung

66 Büdenbender; Stetz,; Emmerich; Bäz-Oberhäuser; Einfeld & Braun (2010).

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
	muss dezentral beim Fahrzeugnutzer liegen. ○ Signale von Energieversorger und Netzbetreiber an Fahrzeugnutzer zur Anpassung des Ladeverhaltens an Netzbelastung
Ladeinfrastrukturkonzepte für Elektromobilität. *RWTH Aachen*[67]	Bereits mit geringem Infrastrukturaufwand kann ein hoher Anteil elektrischer Mobilität erreicht werden. • Hohe Ladeleistungen bringen kaum Gewinn an elektrisch gefahrenen Kilometern. • Insbesondere für Laternenparker müssen kostengünstige Lösungen entwickelt werden. • Die Einbindung der Elektrofahrzeuge in das Stromnetz kann durch intelligente Ladegeräte bereits mit wenig Kommunikationsaufwand erleichtert werden. • Intelligente Ladeverfahren müssen genutzt werden, um anvisierte Batterielebensdauer zu erreichen.
Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030. *Modellregion Elektromobilität München*[68]	• Ladestationen zu Hause oder am Arbeitsplatz werden das Grundgerüst für den sukzessiven Aufbau einer Ladeinfrastruktur bilden. ○ Die meisten Fahrzeugnutzer werden zunächst über eigenen Stellplatz verfügen (Gesamtpotenzial an Elektrofahrzeugen reduziert sich zunächst um den Anteil, der Laternenparker) ○ Ergänzend ist die Schaffung einer Grundversorgung an „semi-öffentlichen“ Ladestationen sinnvoll, um Reichweitenangst zu begegnen ○ Schnell-Ladungen unter einer halben Stunde scheinen realistisch, jedoch ist die physikalische Grenze der Batterie zu beachten. Es ist davon auszugehen, dass Hochleistungsladesäulen eher für wenige Fälle, in denen schnell geladen werden muss, in Frage kommen.

5.4.2 Netzregulierung

Welche Netzdienstleistungen können Elektrofahrzeu-	Die Ladezeiten sollen durch Steuerung von Seiten der Netzbetreiber und von Seiten des Fahrzeugs verteilt wer-

67 Lunz; Sauer & De Doncker (2011)

68 Forschungsstelle für Energiewirtschaft (Hrsg.) (2010).

ge sinnvoll erbringen? *Forschungszentrum Jülich*[69]	den. Auch eine Reduzierung der Ladeleistung zur Entlastung des Netzes ist in Extremfällen ohne großen Aufwand möglich. Weitere Netzdienstleistungen erfordern Verzicht des Fahrzeugnutzers auf einen Teil der elektrischen Reichweite des Fahrzeugs. • Negative Minutenreserve oder Ausgleichsleistung anbieten. o Akkus dürfen nur bei Anforderung von Reserve- oder Ausgleichsleistung vollgeladen werden o BEV könnte über einen Block von vier Stunden eine Leistung von 2 kW zur Verfügung stellen oder für zwei Blöcke 1 kW. Dem damit erzielbaren Erlös stehen noch unbekannte Kosten für steuerungstechnische Infrastruktur gegenüber. • Abgabe von Leistung aus Elektrofahrzeugen ins Netz während Spitzenlastzeit und Nachladung nachts. o Akkus müssten stets möglichst vollgeladen werden; negative und positive Minutenreserve schließen sich demnach gegenseitig aus. o Rückspeisung ins Netz technisch aufwändig und kostet Fahrzeugakku-Lebensdauer. Für intelligente Netzdienstleistungen sind finanzielle Anreizsystem nötig.
Integriertes Verkehrs- und Energieflussmodell. *RWTH Aachen*[70]	Es wurde eine Methodik zur integrierten Modellierung und Analyse von Elektrizitätsnetzen entwickelt, um das Potenzial zur Beeinflussung von Lastflüssen auf elektrische Leitungen mit Hilfe der mobilen Speicher in Elektrofahrzeugen zu untersuchen. Mittels Simulationen wurden die maximal in ein Gebiet hinein transportierten Energiemengen ermittelt. • Untersuchungsgegenstand ist Energiemenge, die von Elektrofahrzeugen in elektrochemischen Energiespeichern transportiert werden kann, ohne dass dadurch Einschränkungen für Fahrzeugnutzer entstehen. • Größten Energieanteil liefern Fahrzeuge, die an ei-

69 Hennings, Wilfried & Jochen Linssen (2010)

70 Helmschrott; Perissinotto; Scheufen & Schnettler (2010).

	nem Tag nicht bewegt werden. • Von bewegten Fahrzeugen ist die gelieferte Energie in den Abendstunden am größten. • Signifikante Reduzierung des Lastflusses auf einzelne Leitungen zu Spitzenlastzeiten auch schon mit kleinen Durchdringungsraten möglich.
Swiss2G – Pilot- and Demonstration Project[71]	Untersuchung eines alternativen Ansatzes zur dezentralen Netzregelung aus den Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen. • Dabei soll lokal beim Elektrofahrzeug aufgrund von gemessenen Netzparametern entschieden werden, wann das Fahrzeug geladen und wann Energie ins Netz zurückgespeist werden soll.
Elektromobilität: Forschungsthemen und Auswirkungen auf die Infrastruktur. *RWTH Aachen*[72]	• Überwiegend ausreichende Netzkapazität bis ca. 22 Prozent Marktdurchdringung. Allerdings: Ländliche Strukturen bereits bei geringerer DG überlastet • Multi Agenten Systeme als Steuerungsmaßnahme für wesentlich höhere Penetrationsraten geeignet (Ladeleistung 6,9 kW ausreichend) • Auktionsmechanismen ebenfalls auf weitere dezentrale Quellen übertragbar • Lokales Optimum erzielbar (Nutzer und Netzsicht) • Optimale Managementstrategien zur Integration großer Windmengen derzeit unklar • Schnittstelle Fahrzeug-Netz: Verhalten im Fehlerfall und Präqualifizierung zur Teilnahme an Märkten anpassen

5.4.3 Energiekonzepte / Speichertechnolgien / Smart Grid

Energiekonzept 2050. *ForschungsVerbund Erneuerbare Energien*[73]	Begrenzung des Temperaturanstiegs auf max. 2 °C erfordert Reduktion der energiebedingten Kohlendioxidemissionen in der Europäischen Union um mindestens 90 Prozent und damit den vollständigen Umbau des gesamten Energiesystems.

71 Rudel & Bacher (2010).

72 Schnettler; Szczechowicz & Pollok (2010).

73 ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (Hrsg.) (2010).

	• Realisierung des Energiekonzepts 2050 erfordert Transformation des Energiesystems in eine dezentrale, intelligente, last- und angebotsorientierte Energieversorgungsstruktur. Ergänzt wird dezentrale Erzeugung durch Aufbau eines Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetzes in Europa und Nordafrika. • Strom als universell einsetzbarer und leicht transportierbarer Energieträger ein Hauptpfeiler der künftigen Energieversorgung. • Stromerzeugung erfolgt im Energiekonzept 2050 vor allem mit Wind und Photovoltaik, hinzu kommen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die mit Biogas betrieben werden, sowie mit Methan oder Wasserstoff, die mit erneuerbaren Energien erzeugt werden. • Mobilität ist im Jahr 2050 vor allem Elektromobilität. • Biokraftstoffe werden vor allem im Langstrecken- und Güterverkehr und in der Luftfahrt eingesetzt. • Aufbau und Integration großer Speicherkapazitäten in das Energieversorgungssystem ist Grundvoraussetzung für einen großen Anteil fluktuierender Energiequellen.
Auswirkungen von Elektroautos auf den Kraftwerkspark und die CO_2-Emissionen in Deutschland. *WWF*[74]	Ob und in welchem Ausmaß Elektrofahrzeuge einen Beitrag zu signifikanten Treibhausgasminderungen leisten können, hängt u.a. von folgenden Faktoren ab: • Akzeptanz in der Bevölkerung, die stark mit Fahrkomfort und Preis-Leistungsverhältnis korreliert. • Infrastruktur, die insbesondere in Ballungszentren mit hohem Anteil an Laternenparkern noch weiter ausgebaut werden muss. • Regulatorische Rahmenbedingungen, die in ihrer Umsetzung die Anreize verändern können. • Marktanteil an Elektromobilität und ihre Entwicklung über die Zeit, da sie sich auf die Zusammensetzung des Kraftwerksparks auswirkt. Zentrale Aussagen der Studie: • Der realistischerweise erwartbare Beitrag der Elektromobilität zur Erreichung der Klimaschutzziele bis 2020 ist gering. • Elektromobilität verdient politische Unterstützung, da sie eine von mehreren Optionen darstellt, den Verkehrsbereich klima- und umweltverträglicher, im Sin-

74 WWF Deutschland (Hrsg.). (2009).

	ne der lokalen Minderung von Lärm und Abgas, zu gestalten.
	• Nur wenn Elektroautos mit Strom aus erneuerbaren Energien geladen werden, weisen sie einen ausreichen ökologischen Vorteil gegenüber den heutigen Benzinfahrzeugen auf.
	• Eine ungesteuerte Aufladung der Akkus der Elektrofahrzeuge birgt das Risiko erheblicher zusätzlicher Lastspitzen.
	• Erwartungen an die Verwendung der Akkumulatoren in Elektrofahrzeugen als künftige Speicher für fluktuierende Stromerzeugung sind nicht realistisch:
	  • Notwendige Batterien sind weder in der erforderlichen Qualität noch zu tragfähigen Kosten heute oder in naher Zukunft verfügbar
	  • Aktuell kein Bedarf für Speicherung
	  • Möglichkeit zur gesteuerten Entladung der Speicher erscheint nur wenig kompatibel mit der vorherrschenden Spontaneität der Fahrzeugnutzer.

Dena-Netzstudie II.[75]	Studie behandelt Integration erneuerbarer Energien in deutsche Stromversorgung bis 2020 und gibt qualifizierten Ausblick bis 2025. • Trotz sinkender Nachfrage steigt die installierte Kapazität bis 2020 deutlich an. Der Grund hierfür ist der starke Ausbau erneuerbarer Energien, insbesondere der Windkraft. Diese muss durch konventionelle Erzeugungskapazitäten abgesichert werden, um die erwartete Jahreslastspitze sicher bedienen zu können. • Strom wird im Jahr 2020 zu 2/3 in Kern-, Gas- und Kohlekraftwerken erzeugt. Der Anteil der Windenergie an der Stromerzeugung steigt im Zeitraum 2008-2020 von 7 auf 27 Prozent. • Negative Regelleistung sollte im Jahr 2020 überwiegend durch Windenergieanlagen bereitgestellt werden. Um dies zu gewährleisten, müssen die Anlagen lastabhängig herunterregeln werden können. • Ein deutlicher Zubau an Pumpspeicherwerken im Süden Deutschlands würde einen Teil der Gaskraftwerke zur Deckung der Spitzenlast ersetzen. • Nicht-konventionelle Speicher wie z.B. Druckluftspeicher oder Wasserstoffspeicher erweisen sich im Rahmen der betrachteten Szenarien bis 2020 als nicht wirtschaftlich.

75 Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2010a).

	○ Die Deckungsbeiträge durch Stromeinspeicherung zu off-peak-Zeiten mit niedrigen Strompreisen und Ausspeicherung bzw. Stromverkauf zu peak-Zeiten mit hohen Strompreisen reichen im Rahmen der Szenariorechnung nicht aus, um die Festkosten der Speicher einzuspielen. ○ Auch bei zusätzlicher Berücksichtigung einer netzorientierten Fahrweise durch kostenfreie Einspeicherung der als nicht-integrierbar identifizierten Erzeugungsleistung erweisen sich die Speicher als nicht wirtschaftlich. Der Grund sind ihre vergleichsweise geringen Wirkungsgrade und die hohen Investitionskosten.
Energieziel 2050. *Umweltbundesamt*[76]	Studie betrachtet, wie Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2050 aussehen kann, die vollständig auf erneuerbaren Energien beruht. Die Ergebnisse zeigen: • Stromerzeugung, die vollständig auf erneuerbaren Energien beruht, ist im Jahr 2050 auf technisch und auf ökologisch verträgliche Weise machbar. Dies lässt sich mit der besten, bereits heute am Markt verfügbaren Technik sowohl erzeugungsseitig als auch verbrauchsseitig erreichen. • Erneuerbaren Energien können auch den erheblichen zusätzlichen Stromverbrauch für einen starken Ausbau der Elektromobilität, die komplette Bereitstellung von Heizungs- und Warmwasserbedarf mit Wärmepumpen decken. Voraussetzung dafür ist, dass zugleich die vorhandenen Einsparpotentiale in allen Sektoren beim Stromverbrauch sowie bei der Gebäudedämmung weitgehend erschlossen werden. • Eine vollständig auf erneuerbaren Energien beruhende Stromversorgung kann die Versorgungssicherheit jederzeit auf dem hohen heutigen Niveau gewährleisten. Im Szenario dienen Importe lediglich dazu, den Bedarf an Langzeitspeicherung von überschüssigem Strom zu verringern, der aus einer weiteren Potentialausnutzung der erneuerbaren Energien resultieren würde. • Pumpspeicherwerke, Gas- und Dampfturbinenkraftwerke auf Basis von eE-Wasserstoff und eE-Methan, mit Biogas betriebe-

76 Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010).

	ne Gasturbinen, Elektrolyseanlagen zur Wasserstofferzeugung und regelbare Lasten können jederzeit die Fluktuationen der erneuerbaren Energien und der Last ausgleichen sowie ausreichend Regelleistung bereitstellen. • Für eine vollständig auf erneuerbaren Energien beruhende Stromerzeugung ist ein erheblicher Ausbau der Reservekapazitäten notwendig. • Es ist notwendig, sowohl die Infrastruktur für Lastmanagement als auch für Stromtransport auszubauen. Der Transport des vorwiegend in Norddeutschland erzeugten Windstroms in die südlicheren Verbrauchszentren erfordert einen Ausbau des Übertragungsnetzes. Auch die Kapazität der Verteilungsnetze muss erhöht werden, wenn Elektromobilität und Photovoltaik in großem Maßstab eingeführt werden. • Ein Ausbau des europäischen Stromverbundes bietet ein beträchtliches Optimierungspotential gegenüber dem Regionenverbund-Szenario. Großräumiger europaweiter Ausgleich der fluktuierenden Einspeisung von Windenergie und Photovoltaik verringert die relativen Einspeisespitzen. Der Beitrag der Windenergie zur gesicherten Leistung steigt hingegen. Damit sinken der Bedarf an Speicher und Reservekraftwerksleistung erheblich und damit auch die Gesamtkosten der Stromerzeugung. Auch die Nutzung von Speicherwasserkraftwerken in den Alpen oder in Skandinavien würde den Bedarf an chemischen Langzeitspeichern und Reservekraftwerken verringern.
Energiespeicher – eine Voraussetzung für die Integration natürlicher Energiequellen in das elektrische Verbundnetz[77]	Eine CO_2-Hydrierung mit regenerativem Wasserstoff hätte Auswirkungen auf unsere gesamte Energie- und Umweltpolitik: • Schwankungen der Wind- und Solarleistung würden durch Energie- und Materiespeicher vom elektrischen Netz ferngehalten und könnten dessen Stabilität nicht mehr gefährden. • Umgekehrt würde der als notwendig angesehene massive Ausbau sich erneuernder Energiequellen nicht durch Rücksichten auf das Netz behindert, vielmehr durch die Speicher erst möglich gemacht. • Mit Wasserstoff in Untertagespeichern lassen sich auch längere Flauten überbrücken, und bei Mischung mit Erdgas könnten bereits vorhandene Speicher genutzt werden.

77 Leonhard (2008).

	• Der geplante Nord-Süd-Netzausbau zum Abtransport hoher Offshore-Windleistungen während einiger Tage im Jahr, womöglich mit Erdkabeln, wäre nicht mehr notwendig. • Mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff aufgearbeitete CO_2-Emissionen aus fossilen Kraftwerken würden in einem geschlossenen Kreislauf geführt und weder an die Umgebung abgegeben noch in wachsenden Endlagern deponiert. • Kohlekraftwerke erhielten für einige Jahrzehnte eine Zukunftsperspektive ohne unbegrenzt wachsende CO_2-Endlager. Bei ausreichender Produktion von Wasserstoff könnte eines Tages vielleicht sogar früher deponiertes CO_2 aufgearbeitet werden. • Beginnend mit anfangs geringen Mengen regenerativen Wasserstoffs würden steigende Anteile synthetischen Brennstoffs gewonnen.
Elektromobilität und Erneuerbare Energien. *BEE*[78]	Da Elektrofahrzeuge relativ wenig Strom verbrauchen und in der Praxis an jeder Steckdose nachladen können, wird es nicht wirtschaftlich sein, an jedem Ladepunkt eine aufwendige „Stromtankstelle“ mit Abrechnungseinrichtung vorzuhalten. Vorzuziehen ist daher der Einbau intelligenter Stromzähler in die Fahrzeuge. • Mobile Fahrstromzähler geben Klarheit über Energieverbrauch und ermöglichen neue Geschäftsmodelle im Bereich der Mobilitätsdienstleister. • Intelligente Zähler im Fahrzeug erleichtern die gesteuerte Ladung der Batterien • Genutzte Energiemengen sind unabhängig vom Netzanschlusspunkt bilanzierbar, dadurch wird der gezielte Einsatz im Rahmen eines Kombikraftwerks möglich • Wenn der Zähler am Ladepunkt installiert ist, kann die mit gesteuerten Lade- und Rückspeisevorgängen verbundene Netzdienstleistung nicht dem Fahrzeugnutzer zugeordnet werden. • Die Leistungselektronik der Fahrzeuge muss in der Lage sein, sich dynamisch den Rahmenbedingungen anzupassen. • Von Seiten des Bundes sollten dabei technische Standards und Qualitätsanforderungen vorgegeben werden, die den bi-direktionalen und gesteuerten

78 BEE (Hrsg.) (2010).

	Energieaustausch zwischen Fahrzeugen und Stromnetz von Beginn an ermöglichen. • Monopolisierung des Ladezugangs über spezielle Stecker ist unbedingt zu verhindern. Genormte Stecker sollten einen diskriminierungsfreien Zugang zur Ladeinfrastruktur ermöglichen. • Betriebswirtschaftlich rentiert sich die Investition in eine öffentliche Ladeinfrastruktur angesichts der geringen Einnahmen aus dem niedrigen Stromumsatz nicht. Da aber schon heute der Aufbau einer Ladeinfrastruktur beginnen muss, deren Lebensdauer 30 Jahre und mehr umfasst, ist es umso notwendiger staatlichregulierend einzugreifen. • Um ohne Quantensprünge in der Batterieforschung auch deutlich längere Reichweiten zu ermöglichen, ist alternativ die Einführung von Batteriewechselstationen denkbar. • Technische Standards für die Infrastruktur der E-Mobilität müssen an der optimalen Integrationsmöglichkeit erneuerbarer Energien ausgerichtet sein.
Analyse der Notwendigkeit des Ausbaus von Pumpspeicherwerken und anderen Stromspeichern zur Integration der erneuerbaren Energien. Abschlussbericht. *Dena*[79]	Untersuchung der energiewirtschaftlichen Bedeutung weiterer Pumpspeicherkapazitäten und Stromspeicher im Allgemeinen als wichtige Bestandteile eines flexiblen Kraftwerksparks. • Batterien sind vergleichsweise kostengünstige Technologieoption zur dezentralen Energiespeicherung. • Kosten liegen jedoch auch unter Berücksichtigung zukünftiger Kosteneinsparpotenziale deutlich über den Kosten von großtechnologischen Speicheroptionen wie Pump- oder Druckluftspeicherwerken. • In Zukunft wird Anstieg der Elektromobilität prognostiziert: es wird davon ausgegangen, dass die Batteriespeicher parkender Elektrofahrzeuge an die Verteilnetzebene angeschlossen werden und bei aktivem koordiniertem Speichermanagement einen Beitrag zum Ausgleich fluktuierender erneuerbarer Energien leisten könnten. • Derzeit fehlt dazu aber sowohl die nötige Infrastruktur, als auch eine größere Anzahl an Elektrofahrzeugen. Potenzial der Speicher von Elektrofahrzeugen zur dezen-

79 Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2010b).

	tralen Energiespeicherung: • 90 Prozent der Tagesfahrten sind kleiner als 100 km. • Der Durchschnittswert der an einem Tag zurückgelegten Strecken liegt bei 30 km. • Aktuelle Elektrofahrzeuge haben Reichweite zwischen 100 und 200 km. • Durchschnittliche Speicherleistung von etwa 3-10 GW und ein Speichervolumen von etwa 20-30 GWh. Die Spannbreite der Angaben hängt wesentlich von der Anschlussart (230 V oder 400 V) ab. • Aufbau der zur externen Steuerung der Batterien notwendigen Infrastruktur mit erheblichen Investitions- und auch Betriebskosten verbunden. Derzeit liegen noch keine Modelle für einen wirtschaftlichen Betrieb der nötigen Infrastruktur vor.
Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger. *VDE*[80]	Sicherstellung eines stabilen Betriebs der Stromnetze erfordert massive Investitionen in FuE sowie Demonstrationsanlagen von Speichersystemen. • Speicherkosten verschiedener Technologien divergieren zwischen 3ct/kWh (Stundenspeicherung) und 10 ct/kWh (Wochenspeicherung). • Für die Kurzfristspeicherung kämen primär elektrochemische Speicher in Betracht, da sie schnell und flexibel zu errichten sind sowie kurze Abschreibungsdauern aufweisen. • Langfristspeicherung mit weniger als einem Ladezyklus pro Woche ist nach heutigem Stand kaum wirtschaftlich darstellbar. • Zentrale Großspeicher wie Pumpspeicher- und Druckluftkraftwerke bedürfen auf Grund langer Abschreibungszeiträume und hohem Investitionsrisiko stabile politische Rahmenbedingungen.
Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. *Institut für Energie- und Umweltforschung*[81]	Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Potentialen verschiedener Speichertechnologien hinsichtlich Wirkungsgraden und CO_2-Vermeidung. • Von den Speichertechnologien sind momentan lediglich Pumpspeicher und Druckluftspeicher ausgereift. Politische und regulatorische Unterstützung für den derzeit stattfindenden Ausbau der Netzinfrastruktur

80 Kleinmaier (2009).

81 Institut für Energie- und Umweltforschung (Hrsg.) (2009).

	sind daher von besonderer Bedeutung. • Wasserstoff weist eine vergleichsweise sehr hohe Energiedichte auf.
Stand und Entwicklungspotenzial der Speichertechniken für Elektroenergie. *BMWi*[82]	Analyse der wachsenden Bedeutung von elektrischen, elektrochemischen sowie mechanischen Speichertechnologien für den mobilen und stationären Bereich. • Im mobilen Bereich werden vorwiegend elektrochemische Speicher zum Einsatz kommen. • Bis zum Jahr 2025 wird die Gesamtspeicherkapazität der Elektromobilität auf 37,5 bis 129 MWh abgeschätzt. • Im stationären Bereich wird auf mechanische Speicher zurückgegriffen. • Durch Ausbau erneuerbarer Energien entsteht Deckungslücke der Regelenergie, der Ausbau von Speichern erfordert.
Herausforderungen und Lösungen für Verteilungsnetze der Zukunft. *Technische Universität Braunschweig*[83]	• Dezentrale Erzeuger mit fluktuierender Charakteristik in der Einspeisung sind zunehmend zu integrieren. • Zeit- und kostenintensive technische Lösungen im Verteilungsnetz bekämpfen die Auswirkungen. • Aktive Verteilnetze mit beeinflussbaren dezentralen Erzeugern und Lasten gleichen die Fluktuationen aus.
Energiespeicher: Integration erneuerbarer Energien. *VDE*[84]	• Bei hoher Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen könnten mobile Speicher – integriert in ein intelligentes Last- und Speichermanagement – alle Aufgaben für das Netz im Zeitbereich von Sekunden bis zu einem Tag übernehmen. • Für mehrtägige Windflauten sowie saisonaler Schwankungen von erneuerbaren Energien sind die mobilen und die meisten Groß- und Batteriespeichertechnologien nicht ausreichend. • Hierzu sind große stationäre Speicher erforderlich. Mögliche Optionen: großen Speicherseen in alpinen Regionen (Umbau zu Pumpspeichern) und Wasserstoff in unterirdischen Salzkavernen. • Aus der stationären Wasserstoffspeicherung sind Synergien für die Versorgung zukünftiger Brennstoffzellen-Hybridfahrzeuge zu erwarten. • Neue Speichertechnologien werden ohne Anschub-

82 BMWi (Hrsg.) (2009).

83 Kurrat (2010).

84 Schröppel (2010).

	förderung den Sprung in den Markt nicht oder nicht schnell genug schaffen. • Speicher – sowohl als Teil der Last als auch als eigenständige Anlagen – sind unabdingbare Voraussetzung für die Erreichung der energiepolitischen Ziele für 2020 und darüber hinaus. • Elektrofahrzeuge können einen wesentlichen Beitrag zum Lastmanagement liefern und somit ein zusätzliches Ausbaupotenzial für erneuerbare Energien erschließen. • Forschung und Demonstration für Energiespeicher muss erheblich intensiviert werden, um Deutschland einen Platz in diesem Markt zu sichern. • Die wichtigsten Speichertechnologien bieten noch erhebliche Kostensenkungspotenziale.

Speicherbedarf in Systemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. *VDE*[85]	• Für die Aufnahme von Überschussenergie aus erneuerbaren Energien und zur Überbrückung mehrtägiger Windflauten sowie zum Ausgleich saisonaler oder überjährlicher Schwankungen wird ein Vielfaches der heute vorhandenen Speicher benötigt.
	• Batteriespeichertechnologien sind ebenso wie die meisten Großspeichersysteme („Stundenspeicher“) hierfür nicht ausreichend.
	• Mögliche Optionen für große „Wochenspeicher“ wären:
	  ○ Große Speicherseen in alpinen Regionen (Umbau zu Pumpspeichern, symmetrische Beckengröße)
	  ○ Wasserstoff (bzw. Methan) in unterirdischen Salzkavernen
	• Der Einsatz unterschiedlicher Speichersysteme ist für die verschiedenen Zeitbereiche zu optimieren.
	• Die Speicherung elektrischer Energie ist mit signifikanten Kosten verbunden.
	• Die dezentrale Speicherung in Batterien ist heute noch wesentlich teurer als eine zentrale Groß-Speicherung im Übertragungsnetz.
	• Eine direkte Nutzung von Überschussenergie (z.B. durch Wärme-/Kälte-erzeugung) kann den Speicherungsbedarf effizient reduzieren.
	• Leistungsfähige Netze zur Verknüpfung der verschiedenen Erzeugungs-, Last- und Speichermöglichkeiten sind unverzichtbar und stellen gleichzeitig die kostengünstigste Option zur Reduzierung des Speicherbe-

85 Kleinmaier (2011).

	darfs dar. • Bei hoher Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen könnten diese mobilen Speicher – integriert in ein intelligentes Last- und Speichermanagement - alle Aufgaben für das Netz im Zeitbereich von Sekunden bis zu Minuten übernehmen.
Smart Home in Deutschland. *Institut für Innovation und Technik*[86]	Folgende Erkenntnisse sind aus der Bestandsaufnahme der deutschen Initiativen im Themenfeld Smart Home zu gewinnen: • Die Landkarte der Smart Home-Initiativen in Deutschland weist eine auffällige Zahl von weißen Flecken ohne Smart Home-Initiativen auf. • Sowohl die Kommunikation und direkte Kooperation zwischen Smart Home-Initiativen sowie die unternehmens- und branchenübergreifende Zusammenarbeit sind nicht ausreichend entwickelt. • Die Erhöhung der Sichtbarkeit von marktverfügbaren Lösungen für Anbieter und Anwender ist dringend notwendig. • Technische Systemintegration ist unterentwickelt, es fehlt der Systemintegrator für das Smart Home. • Die Vielzahl von nebeneinander existierenden und konkurrierenden Standards macht den Handlungsbedarf deutlich, eine Verständigung über das weitere Vorgehen beim Smart Home herbeizuführen. • Dienstleistungsunternehmen werden die möglichen wirtschaftlichen Chancen durch neue Serviceangebote erst erkennen, wenn die Geschäfts- und Betreibermodelle transparent und überzeugend sind. • Potenzielle Kunden fürchten eine fehlende Verlässlichkeit: Wenn heute eine Wohnung mit einem System ausgestattet wird, muss dessen Zukunftsfähigkeit gewährleistet sein. • Fehlende Geschäftsmodelle für vernetzte Produkte und systemische Dienstleistungen und damit verbundene Intransparenz über die Wertschöpfungsanteile bei allen Beteiligten verhindern gegenwärtig Investitionen in die Infrastruktur. • Es fehlt der Branche geeignetes Fachpersonal zur Konzeption und Umsetzung von Smart Home-Lösungen. • Bei der Diskussion um das Smart Home wird das große Potenzial im Wohnungsbestand vernachlässigt.

86 Institut für Innovation und Technik (Hrsg.) (2010).

Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments.[87]	• Wachsende Komplexität des Energiesystems erfordert die Zusammenarbeit in multidisziplinären Konsortien • Es ist wichtig sicherzugehen, dass die Nutzer Vertrauen in und Verständnis für Smart Grid haben. • Nutzer müssen in Demonstrationsprojekten frühzeitig mit einbezogen werden, um eine Entwicklung am Nutzer vorbei zu verhindern. • Aufteilung der Kunden in verschiedene Segmente bietet sich an, um angepasste Leistungen anbieten zu können.
Energieinformationsnetze und -systeme. *VDE*[88]	Zunehmende Anzahl an Elektrofahrzeugen wird in Zukunft die Energieverteilungsnetze belasten, so dass ein netzseitiges Ladelastmanagement erforderlich werden wird. • Mit Hilfe von Smart Grids sollen zukünftig auch als Erzeuger auftretende Betreiber kleinerer Energiegewinnungsanlagen sowie Energienutzer die Möglichkeit erhalten, an der Koordination von angebotener und nachgefragter Leistung teilzunehmen. • Energieinformationsnetze und -systeme sollen für das heutige und zukünftige Energieversorgungssystem alle erforderlichen Daten für Messung und Steuerung des Energieeinsatzes bereitstellen. • Mit zunehmendem Einsatz dezentraler Energiegewinnungsanlagen und deren weitgehend unkontrollierten Einspeisung in das Verteilungsnetz wird ein aktives Management dieser Anlagen erforderlich. • Entwicklung neuer Methoden zur dezentralen und automatisierten Netzführung im Verteilungsnetz gewinnt an Bedeutung. • Energiegewinnungsanlagen können im Rahmen neuartiger Geschäftsmodelle Systemdienstleistungen anbieten und somit einen aktiven Beitrag zur Verbesserung der Qualität und Stabilität der Verteilungsnetze

87 Giordano; Fulli & Sánchez Jiménez (2011).

88 VDE (Hrsg.) (2010a).

	leisten. • Voraussetzung für die technisch und wirtschaftlich beherrschbare Steuerung der Verteilungsnetze ist die Verfügbarkeit und Anwendung von durchgängigen Standards.
Smart Distribution 2020. Virtuelle Kraftwerke in Verteilungsnetzen. *VDE*[89]	Die verteilte Erzeugung basierend auf regenerativen Primärenergieträgern und der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird in den kommenden Jahren aufgrund der Förderung nach EEG (Erneuerbare Energien Gesetz) und KWK-Gesetz signifikante Anteile an der Energieerzeugung erreichen, um Klimaziele und nachhaltige Versorgung zu sichern. • Die Einspeisung von Erzeugerleistung aus diesen Anlagen hat gesetzlich geregelten Vorrang. Die Höhe der Einspeisung hängt von den meteorologischen Bedingungen ab. Bei starkem Aufkommen von EEG- und KWK-Erzeugerleistung wird künftig vor allem in Schwachlastzeiten ein Leistungsüberschuss allein aus diesen Anlagen auftreten. Wenn es nicht gelingt, ausreichend Speicher oder Lasterhöhung durch Lastmanagement in diesen Zeiten zu erreichen, wird die Leistungsbegrenzung von EEG- und KWK-Anlagen zwingend erforderlich. Eine Lösung dieser Problematik kann durch „virtuelle Kraftwerke“ erreicht werden. Ein diesbezügliches Gesamtsystem im Rahmen virtueller Kraftwerke hat heute keine ausreichenden wirtschaftlichen Anreize. Mit der derzeitigen Auslegung des EEG- bzw. KWK-Gesetzes sind die Anlagen in zweierlei Hinsicht vom Energiemarkt ausgekoppelt: 1. Die marktpreisunabhängigen EEG-Fixpreise und Zuschläge für fossile KWK-Anlage fördern allein die Quantität der ins Netz gespeisten Energie und bieten

89 VDE (Hrsg.) (2010b).

	keinen Anreiz zur Teilnahme an den Systemdiensten wie z.B. Regelenergiebereitstellung. 2. Die EEG-Anlagen bilden einen eigenen Bilanzkreis innerhalb der Regelzonen und sind von den üblichen Aufwendungen der Bilanzkreise befreit. Um künftig die dargebotene regenerative Energie möglichst vollständig nutzen zu können, wird es erforderlich, zusätzliche Speichertechnik einzusetzen. Dazu bedarf es einer Anschubförderung für stationäre Speichertechnologien (zusätzlich zu den heute bereits profitablen Pumpspeicherwerken). Es wird gezeigt, dass verteilte und zentrale Erzeugung künftig nebeneinander bestehen müssen. Das Stromnetz muss weiter langfristig so ausgelegt werden, dass die Versorgung auch in Fällen mit geringem Aufkommen von EEG- und KWK-Leistung gesichert ist.

5.4.4 Zukunft der Elektromobilität

2. Bericht NPE[90]	Elektromobilität ist der Schlüssel zu einer klimafreundlichen Umgestaltung der Mobilität. Ziel von einer Million Fahrzeugen in einem Leitmarkt Deutschland bis 2020 zu erreichen wird in drei Phasen verfolgt: 1. Marktvorbereitung bis 2014 mit Schwerpunkt auf Forschung und Entwicklung sowie Schaufensterprojekten 2. Markthochlauf bis 2017 mit Fokus auf Marktaufbau bei Fahrzeugen und Infrastruktur 3. Beginnender Massenmarkt bis 2020 mit tragfähigen Geschäftsmodellen Um den Standort Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln, schlägt die NPE folgende

90 Nationale Plattform Elektromobilität (Hrsg.) (2011).

	Maßnahmen vor: • Förderung von Forschung und Entwicklung und Vernetzung in den Leuchttürmen Batterie, Antriebstechnologie, Leichtbau, Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) und Infrastruktur, Recycling und Fahrzeugintegration mit einem Schwerpunkt auf Produktionsforschung auch in Pilotanlagen • Ausschreibung eines auf den Leuchttürmen und ihren Themenclustern basierenden, ministerienübergreifenden Förderprogramms administriert durch einen Projektträger • Zügige Entwicklung der notwendigen Schlüsseltechnologien, der branchen- und technologieübergreifenden Integrationsaspekte sowie intermodaler Dienstleistungen • (Weiter-)Bildung und Qualifizierung der erforderlichen Fach- und Führungskräfte im akademischen und beruflichen Bereich • Strategische und globale Ausrichtung der Normung und Standardisierung Ein zentraler Bestandteil des angestrebten deutschen Leitmarkts für Elektromobilität ist ein intelligentes Energiesystem: • Die Integration von Strom aus regenerativen Energiequellen leistet einen Hauptbeitrag zum Klimaschutz. • Der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur wird bedarfsgerecht und mit Augenmaß verfolgt: Für die Marktvorbereitungsphase bis 2014 werden konkrete Aufbauziele vereinbart. • Eine innovative Ladeinfrastruktur und Geschäftsmodelle werden entwickelt, um die kostendeckende Bereitstellung einer öffentlichen Infrastruktur langfristig sicherzustellen. Gemeinsames Ziel der Nationalen Plattform Elektromobilität ist der Aufbau eines selbsttragenden Marktes für Elektrofahrzeuge. Ohne Anreizmaßnahmen wird das Vorhaben, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge zu verkaufen, jedoch nicht gelingen; Analysen ergeben für diesen Fall eine Anzahl von lediglich 450.000 verkauften Elektrofahrzeugen. Zur Kompensation der Kostenlücke und Belebung der Nachfrage nach elektrischen Fahrzeugen legt die NPE

	ein umfassendes Maßnahmenpaket vor: • Bevorzugung von Elektrofahrzeugen beim Parken, die Erlaubnis zur Nutzung von Busspuren im Rahmen der Schaufensterprogramme sowie die Förderung von neuen, intelligenten Carsharing-Konzepten • Kompensation der Benachteiligung bei der privaten Nutzung von elektrisch betriebenen Dienstfahrzeugen • Sonderabschreibungen beim gewerblichen Erwerb von Elektrofahrzeugen • Zinsgünstige Darlehen der Kreditanstalt für Wiederaufbau zum privaten Erwerb von Elektrofahrzeugen • Gewährung eines jährlichen Steuerincentives, orientiert an der Speicherkapazität eines Elektrofahrzeugs
Abschlussbericht e-connected[91]	Der künftige Forschungsbedarf liegt im Bereich effizienterer Energiespeicher und dem entsprechenden Batteriemanagement von Elektrofahrzeugen. • Europaweite Normung und Standardisierung der Steckverbindungen zum Aufladen der Elektrofahrzeuge in den Ladestationen und der Ausstattung der Ladestationen. • Etablierung eines einheitlichen Abrechnungssystems • Auswirkung und mögliche Maßnahmen auf das Netz bei hohen Penetrationen mit Elektrofahrzeugen sind im Detail noch zu erforschen. • Thema Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität wird das Thema aus Netzsicht wesentlich mitbestimmen.
Deutschland Leitanbieter für Elektromobilität. *Acatech*[92]	Entscheidende Kriterien der Elektromobilität im globalen Wettbewerb: • Befriedigende Ladeinfrastruktur • Kostengünstige Batterieherstellung • Zuverlässigkeit und Langlebigkeit des Batteriesystems • Kompetenzen und Fähigkeitsprofile in der Hochschulausbildung sowie Etablierung integrierter Forschungscluster
Klimafreundliche E-Mobilität.	Differenzkostenberechnung dieser Studie zeigt, dass Förderbedarf pro Elektrofahrzeug in den ersten Jahren

91 Klima- und Energiefonds (Hrsg.) (2009).

92 Acatech (Hrsg.) (2010).

Energie Impuls OWL e.V.[93]	sehr hoch ist.
	
	• Mehrkosten sind von den verschiedenen Fahrzeugklassen abhängig und schwanken zwischen wirtschaftlich, 8.500, 20.000 und bis zu 50.000 Euro Förderung pro Fahrzeug.
	• Durch sinkende Batteriekosten fällt der Förderbedarf pro Fahrzeug sehr stark bis 2020 ab.
	  • Bei starker Batteriekostenreduktion wächst der jährliche Förderbedarf maximal auf 160 Millionen Euro in 2016 und sinkt dann bis 2020 auf null ab.
	  • Bei höheren Batteriekosten gibt es dagegen keine rückläufige Tendenz des Fördervolumens, das auf über 500 Millionen Euro in 2020 steigt.

Elektromobilität – Perspektiven und Chancen für Unternehmen. *Opportunity*[94]	• Weltweit zahlreiche staatlich geförderte Pilotprojekte zur Elektromobilität. Deutschland investiert im internationalen Vergleich verhältnismäßig wenig. • Emissionseffizienz von Elektrofahrzeuge übersteigt die von Verbrennungsmotoren erst, wenn sie ihren Strom aus erneuerbaren Energien gewinnen • Elektrofahrzeuge, deren Antriebsbatterien auf der Lithium-Ionen-Technologie basieren, können Reichweiten von maximal 160 km erreichen. Nur durch einen Technologiewechsel ist eine Reichweitensteigerung möglich. • Mit der Etablierung der Elektromobilität wird sich die gesamte Wertschöpfungskette verändern. Für Automobil- und Batteriehersteller, aber auch Zulieferer, Energie- und Mineralölunternehmen ergeben sich neue Geschäftsmöglichkeiten. • Das Verhalten privater und gewerblicher Kunden ändert sich. Kauf- und Nutzungsverhalten werden durch gesetzliche Rahmenbedingungen und Angebote beeinflusst. • Die Zusammenführung von relevanten Mobilitäts- und Antriebs-Szenarien zeigt, dass die Elektromobilität als Antriebsart der Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird. • Für die Durchsetzung der Elektromobilität ist es wichtig, dass Ladegeschwindigkeit und -komfort den unterschiedlichen Nutzeranforderungen gerecht werden.
Elektromobilität: Kurzfristi-	Aufgrund der politischen Unterstützung in vielen Ländern

93 Energie Impuls OWL e.V. (Hrsg) (2010).

94 Opportunity (2010).

gen Aktionismus vermeiden, langfristige Chancen nutzen[95]	und erheblicher Aktivitäten der Privatwirtschaft ist nicht zu erwarten, dass das Thema Elektromobilität nur einen vorübergehenden Hype darstellt. Nennenswerte Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen jedoch erst langfristig realistisch. Elektrische Fahrzeuge werden in den nächsten Jahren lediglich in bestimmten Nischen eine gewisse Bedeutung erlangen. • Förderung von Forschung und Entwicklung aus technologiepolitischer Sicht unverzichtbar (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften hat gefordert, Deutschland solle keinen Leitmarkt, sondern vielmehr eine Position als Leitanbieter zukunftsfähiger Elektrofahrzeugkomponenten anstreben.) • Die Politik könnte die Markteinführung von Elektroautos indirekt begünstigen, indem sie den Aufbau der Ladeinfrastruktur unterstützt oder Elektrofahrzeuge für öffentliche Fahrzeugflotten beschafft. • Einstieg in die Elektromobilität sollte mit einem verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien einhergehen, damit ihre Verwendung im Verkehrsbereich nicht einfach ihre Nutzung für andere Anwendungen substituiert. • Elektromobilität sollte als Baustein eines umfassenderen, nachhaltigen Verkehrskonzepts verstanden werden, das über den motorisierten Individualverkehr hinausgeht.

Studie Horváth & Partner[96]	• Befragte Experten aus knapp 250 teilnehmenden Unternehmen rechnen mit annähernd zwei Millionen Elektrofahrzeugen im Jahr 2020. Doppelt so viel, wie von der Bundesregierung bis zu diesem Zeitpunkt angestrebt wird.
	  • Nach Ansicht der Industrieexperten werden Hybridantriebe 2020 ca. 8,5 Prozent des deutschen Fahrzeugbestandes ausmachen.
	  • Batteriegetriebene Fahrzeuge inkl. Range Extender und Plug-In Hybride folgen mit ca. 4,2 Prozent (Das entspricht bei geschätztem Fahrzeugbestand 2020 von 47,5 Millionen Pkw ca. zwei Millionen Fahrzeuge).
	  • Wasserstoffantriebe werden mit etwas über einem Prozent des Bestandes nur unterge-

95 Schill (2010).

96 Horváth & Partner (2010).

	ordnete Rolle spielen.
	• Die befragten Experten glauben, dass emotionale Aspekte wie Umweltbewusstsein und ein höheres gesellschaftliches Ansehen bei Deutschlands Autofahrern trotz geringerer Reichweite für eine rasch wachsende Akzeptanz von Elektrofahrzeugen sorgen werden.
	• Die Frage, ob sie ihr eigenes Unternehmen ausreichend für die neue Dynamik der Marktentwicklung gerüstet sehen, findet bei den Teilnehmern ein gespaltenes Echo.
	  • 51 Prozent sind überzeugt, dass ihr Unternehmen die Marktveränderungen mit einer klaren Strategie angeht.
	  • 40 Prozent bestätigen beim Umgang mit Fragen der Elektromobilität und neuer Mobilitätskonzepte eine hohe Geschwindigkeit.
	  • In Bezug auf die Weiterentwicklung notwendiger Geschäftsmodelle und deren Implementierung besteht offensichtlich Handlungsbedarf.
	• Größte strukturelle Herausforderung in Bezug auf alternative Antriebs- und neue Mobilitätskonzepte nach Meinung der Befragten fehlende personelle Ressourcen (49%). Dagegen sehen nur 21 Prozent fehlende finanzielle Ressourcen als Problem.
	• Befragten unterstützen Förderung von Forschung und Entwicklung (77%). Nur 25 Prozent wünschen sich staatliche Subventionen in der Absatzförderung.

Potenziale der Elektromobilität bis 2050. *Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln*[97]	• Fahrzeugbatterien werden nachts geladen (00:00 – 06:00 Uhr, Maximum 02:00 – 04:00). • Mittelfristig lohnt sich der Verkauf von Strom am Spotmarkt wegen hohen Batteriekosten und Notwendigkeit der nachfolgenden Wiederbeladung nicht. • Gesteuerte Ladung führt beim Fahrzeughalter zu Einsparungen. Je nach Jahr und Szenario lassen sich durch das gesteuerte Laden 9 bis 13 Prozent der Kosten gegenüber einer Ladung zum durchschnittlichen Endkundenstrompreis einsparen. • Um mit den Fahrzeugbatterien Sekundär- oder Minutenreserve bereitstellen zu können, ist der Zusammenschluss einer größeren Zahl von Fahrzeugen erforderlich. • Elektrofahrzeuge weisen bereits heute bessere Wheel-to-Wheel Bilanz (Emissionen, die beim eigentlichen Fahrvorgang anfallen + Emissionen, die zur Herstellung und zum Transport von Kraftstoffen oder

97 Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (Hrsg.) (2010).

	im Falle der Elektrofahrzeuge bei der Erzeugung von Strom anfallen) auf, als Benzin- und Dieselfahrzeuge und die Bilanz wird sich bis 2050 stetig verbessern. • Die größten CO_2-Einsparungen sind bei einer CO_2-neutralen Integration der Elektrofahrzeuge in das Energiesystem möglich. o Einsparung lokaler Emissionen und Vermeidung von Lärm o Keine lokalen Schadstoffemissionen. o Vergleichsweise geringe Geräuschentwicklung. • Im Referenzfall gibt es für das Elektroauto keine Kostenvorteile vor 2030. o Batterien und öffentliche und private Infrastruktur sind Hauptkostentreiber. o Erlöse aus Netzdienstleistungen sind vergleichsweise unerheblich. o Marktfähigkeit ist ohne Marktanreizprogramme gefährdet.
Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030. *Modellregion München*[98]	In vorliegender Studie wurde anhand eines Filtermodells das mögliche Potenzial für Elektromobilität in der Modellregion München bestimmt, das sich unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Hinderungsgründe ergibt. • Automobilhersteller bestimmen Fahrzeugangebot. • Ausschlaggebend für Alltagstauglichkeit von E-Fahrzeugen ist die Reichweite (abhängig von der Batteriekapazität). • Je nach Fahrzeugklasse und Szenario machen die Kapitalkosten für elektrische Privatfahrzeuge zwischen 50 und 70 Prozent – für gewerblich betriebene Elektrofahrzeuge sogar bis zu rund 90 Prozent – der Gesamtkosten aus und sind somit der wesentliche Faktor bei der Bestimmung der Wirtschaftlichkeit. • Batteriekosten entscheidend für die Wirtschaftlichkeit: Serienproduktion, neue Fertigungsverfahren, technische Weiterentwicklung bei Batterien reduzieren Batteriepreise. • Öl- und Kraftstoffpreise sind entscheidender Aspekt, da deren Anstieg indirekt einen Kostenvorteil für Elektrofahrzeuge bedeutet. • Eingeräumte Privilegien – wie etwa Sonderrechte

98 Stadtwerke München (Hrsg.) (2010).

	beim Parken oder beim Befahren von Umweltzonen – könnten für viele Nutzer einen zusätzlichen Kaufanreiz schaffen.
Erneuerbare Energien und Elektromobilität. Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020. *Agentur für Erneuerbare Energien e.V.*[99]	Die Batterieentwicklung ist der wesentliche Einflussfaktor auf die Entwicklung der Differenzkosten. Eine rasche Kostensenkung beim Speichermedium Batterie ist wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche und relativ kostengünstige Markteinführung von Elektrofahrzeugen bis 2020. Um die Markteintrittsbarrieren zu überwinden, müssen die Mehrkosten von Elektrofahrzeugen differenziert ausgeglichen werden. Statt pauschaler Prämien oder Kaufzuschüsse sollten Instrumente der Markteinführung folgende Kriterien beachten: • Fahrzeugtypen: Divergierende Fahrzeug- und Batteriegrößen führen zu sehr unterschiedlichen Mehrkosten pro Fahrzeug. • Jahr des Fahrzeugkaufs: Abnehmende Batteriekosten und steigende Ölpreise verringern die Mehrkosten. Aufgrund der unterschiedlichen Differenzkosten der Elektrofahrzeugklassen, der Bandbreite der Differenzkosten und der vielen Wechselwirkungen eignen sich nur Instrumente, die eine differenzierte Unterstützung nach Batteriegröße bzw. -effizienz ermöglichen. Diese Grundbedingung lässt sich am besten durch ein Marktanreizprogramm erfüllen. Neben einem solchen finanziellen Förderinstrument sind aber auch „weiche“ Instrumente notwendig, die die Nutzungsbedingungen von Elektrofahrzeugen verbessern und weitgehend kostenneutral umzusetzen sind. Dazu gehören z.B. die Mitbenutzung von Busspuren, kostenlose Parkplätze oder Nutzungsvorteile für E-Fahrzeuge in Umweltzonen.

99 Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (Hrsg.) (2010).

Elektrofahrzeuge – Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf. *VDE*[100]	Elektrofahrzeuge sind aus Sicht des VDE ein wichtiger Beitrag für die Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft. Elektrofahrzeuge machen die Mobilität zukunftssicher durch:
	
	• Reduzierung von lokalen wie globalen Emissionen im Verkehrssektor
	• Die mögliche Verwendung verschiedener Energiequellen. Dies vereinfacht die Umstellung auf erneuerbare Energien und vermindert die Abhängigkeit von einem Energieträger. Die Abhängigkeit von politisch instabilen Regionen sinkt.
	• Einen geringeren Verbrauch durch höhere Effizienz des Antriebsstrangs und rekuperatives Bremsen
	• In bestimmten Anwendungsgebieten erhöht sich der Nutzwert durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen. So ermöglichen Elektrofahrzeuge eine hohe und konstante Beschleunigung vom Stillstand an bis zum Punkt maximaler Leistung und können somit erheblichen Fahrspaß bieten. Außerdem reduziert sich die akustische Belastung der Umwelt.
	• Reine Elektrofahrzeuge sollten zunächst für kurze Strecken (< 100 km) konzipiert und eingesetzt werden, da
	  ○ Große Reichweiten auf Grund der hohen Kosten für die Batterien in der Regel wirtschaftlich nicht sinnvoll sind.
	  ○ Verkehrsstudien zeigen, dass die meisten Fahrzeuge und Fahrer am Tag nur kurze Strecken zurücklegen. Die Tagesfahrleistung von Pkw privater Halter liegt bei fast 70 Prozent der Fahrzeuge unter 50 km und bei fast 90 Prozent unter 100 km.
	• Mit Range Extendern kann der Einsatzbereich von Elektrofahrzeugen deutlich erweitert werden. Da die Kunden bei Einsatz von Range Extendern keine Einschränkung der Reichweite in Kauf nehmen müssen, kann die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen erhöht werden.
	
	Infrastrukturbedarf
	
	• Die Batterien können einphasig mit moderater Leistung geladen werden, da die Parkzeiten der Fahrzeuge ausreichend lang sind. Dadurch kann die be-

100 VDE (Hrsg.) (2010c).

	stehende Infrastruktur der Elektrizitätsnetze genutzt werden und es sind zunächst keine teuren Investitionen in die Infrastruktur notwendig. • Ladepunkte sollten primär im privaten und Firmenbereich sowie in Einrichtungen des öffentlichen Dienstes bereitgestellt werden. Im öffentlichen Bereich ist ein kostendeckender Betrieb öffentlicher Ladestationen auf Grund der geringen Energiemenge in naher Zukunft nicht zu erwarten. • Ein netzseitiges Lademanagement ist bei moderater Ladeleistung (bis ca. 3,7 kW) erst ab ca. einer Millionen Fahrzeugen notwendig. Das Lademanagement kann jedoch zur Anpassung von Stromerzeugung und Verbrauch von Anfang an sinnvoll sein, wenn Elektrofahrzeuge nahtlos in die Infrastruktur fernauslesbarer Zähler (Smart Meter) integriert werden. • Ein Netzausbau ist bis zu ca. eine Millionen Fahrzeugen nicht erforderlich. Die Anforderungen an die Stromnetze durch die Elektromobilität sind gering im Vergleich zu denen durch den Ausbau regenerativer Energien. Die Erbringung von Netzdienstleistungen sollte jedoch bis auf weiteres von Elektrofahrzeugen nicht erwartet werden, da der Aufwand gegenüber dem Nutzen sehr hoch ist. Bei richtiger Batterieauslegung kann diese prinzipiell auch für die Netzstabilisierung verwendet werden, ohne dass die Lebensdauer unzulässig weit reduziert wird.

Elektromobilität – Neue Chancen für ganzheitliche Mobilitätskonzepte[101]	Interdisziplinäre Forschungsarbeiten an der FH Aachen haben gezeigt, dass sich Carsharing als idealer Vermittler von Elektromobilität anbietet.
	
	• Nachteile eines Elektroautos könnten in einem Carsharing-Betrieb kompensiert werden:
	  ○ Carsharing-Fahrzeuge werden überwiegend im Stadtbetrieb genutzt.
	  ○ Kosten werden auf alle Nutzer umgerechnet.
	  ○ Kunden stehen weitere Fahrzeuge des Fahrzeug-Pools zur Verfügung.
	• Fokussierung auf Carsharing bringt im Gegensatz zum Individual-Pkw die Herausforderung mit sich, das Fahrzeug auf eine möglichst große Anwendergruppe abzustimmen.
	• Informationstechnik wird eingesetzt, um das eCarSharing-Konzept handhabbar und für „Jedermann“ benutzbar zu machen.

101 Röth (2011).

	• Präferenzprofile können verwendet werden, um das Fahrzeug für die einzelnen Kunden weitestgehend zu konfigurieren. • Solche Mobilitätskonzepte helfen die Akzeptanz von Elektroautos in der Gesellschaft zu stärken und leisten damit auch einen positiven Beitrag zum Umweltschutz.

5.4.5 Nutzereinstellung zur Elektromobilität

Plug-in electric vehicles. Changing perceptions, hedging bets. *Accenture*[102]	• Verbraucher stehen Elektroautos positiv gegenüber. • Kosten sind wichtiger begrenzender Faktor. • Verbraucher ziehen momentan PHEVs einem vollelektrischen Fahrzeug vor, weil dies weniger Umstellung und Gewohnheitsänderungen bedarf. • Mit zunehmender Verbreitung von vollelektrischen Fahrzeugen kann es zu Verhaltensänderungen kommen, weshalb es wichtig ist, vielen Menschen Testfahrten mit Elektroautos zu ermöglichen.
Elektromobilität 2010. Wahrnehmung, Kaufpräferenzen und Preisbereitschaft potenzieller E-Fahrzeug-Kunden. *Cama*[103]	• Alternative Antriebe sind allgemein sehr präsent: Mehr als 75 Prozent der befragten Personen haben von Brennstoffzellen-, Elektro- und Hybrid-Fahrzeugen bereits oft gehört bzw. gelesen. • Über tatsächlich zu erwartende Reichweite und Ladedauer reiner E-Fahrzeugen herrscht wenig Kenntnis: Mehr als 50 Prozent der befragten Personen glauben an eine Reichweite von E-Fahrzeugen größer als 200 km. • 65 Prozent der befragten Personen können sich den Kauf alternativ-betriebener Fahrzeuge vorstellen. Die befragten Personen tendieren dabei insbesondere zu Elektrisch- (66%), Erdgas- (51%) und Wasserstoff-betriebenen Fahrzeugen (48%). • Positive Einflussfaktoren auf den Kauf von E-Fahrzeugen üben geringere Betriebskosten (88%), mögliche staatliche (finanzielle bzw. steuerliche) Anreize (68%) und der Beitrag zum Umweltschutz (65%) aus. • Seltene Lademöglichkeiten (89%), geringe Reichweite (88%) und hoher Kaufpreis (85%) halten hingegen vom Kauf eines E-Fahrzeugs ab. • 90 Prozent der befragten Personen würden bei Besitz

102 Accenture (Hrsg.) (2011).

103 Cama (Hrsg.) (2010).

	eines E-Fahrzeugs die Lademöglichkeit direkt zu Hause favorisieren. 70 Prozent bzw. 68 Prozent können sich dies am Arbeitsplatz oder in traditioneller Weise an einer Tankstelle vorstellen. 50 Prozent tendieren zu öffentlichen Ladestationen. Knapp 24 Prozent lehnen letztere Möglichkeit jedoch ab. • Potenzielle Kunden sind gegenwärtig nicht bereit, einen finanziellen Aufschlag für E-Fahrzeuge zu zahlen. Der akzeptable Preisbereich für ein E-Fahrzeug (Ladedauer: 5 h; Reichweite: 150 km) bewegt sich zwischen 10.000 bis 25.000 Euro.
Zur Nutzerakzeptanz von Elektromobilität[104]	Ziel der vorliegenden Studie war, im Rahmen eines multimethodalen Ansatzes akzeptanzrelevante Faktoren aus Nutzersicht zu identifizieren. Hemmnisse für Elektromobilität: • Hohe Batteriekosten • Reichweitenangst • Ladeprozess mit umfangreichen Planungserfordernissen • Starke Gewohnheiten und Routinen bei Mobilitätsentscheidungen und -verhalten • Konventionelles Fahrzeug als starker Vergleichsanker • Begrenztes Wissen bei den Konsumenten über Elektromobilität Treiber von Elektromobilität: • Allgemein positive Wahrnehmung elektrischer Fahrzeuge in der Gesellschaft • Hohes Umweltbewusstsein • Fahrverhalten und Fahrkomfort von Elektrofahrzeugen Ausbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur ist für die Sichtbarkeit von Elektromobilität bedeutsam. Das Laden wird jedoch voraussichtlich hauptsächlich zu Hause oder am Arbeitsplatz stattfinden. Konzepte zur Umsetzung der Elektromobilität müssen letztlich durch Transparenz, einfache und zuverlässige Handhabung sowie Flexibilität überzeugen. Das Konzept

104 Peters & Dütschke (2010).

	der Lastverlagerung und Rückspeisung von Energie aus der Batterie ins Stromnetz kann nur dann erfolgreich zur Anwendung kommen, wenn die Nutzer möglichst wenig davon bemerken und keinerlei Einschränkungen in Kauf nehmen müssen.

Studie „Elektromobilität“ *BITKOM*[105]	• Elektrofahrzeugen gehört die Zukunft.
	  ○ 60 Prozent der Befragten glauben, dass Elektrofahrzeuge herkömmliche Autos mit Verbrennungsmotoren ablösen werden.
	• Elektromotoren genießen im Vergleich zu anderen alternativen Antrieben das höchste Ansehen: Wenn die fossilen Energiereserven erschöpft sind, favorisieren 40 Prozent der Befragten elektrische Antriebe als Ersatz.
	• Drastische staatliche Eingriffe, um den Energieverbrauch im Straßenverkehr zu verringern, werden von vielen befürwortet.
	  ○ Jeder Fünfte ist grundsätzlich für autofreie Sonntage.
	  ○ 23 Prozent sprechen sich für die Einführung einer allgemeinen Straßenmaut aus.
	  ○ 56 Prozent will Autos mit besonders hohem Benzinverbrauch ganz verbieten.
	• Zwei Drittel der Befragten befürworten Subventionen für Elektromobilität. 28 Prozent lehnen dies ab.
	  ○ 34 Prozent aller Befragten wünschen Zuschüsse beim Kauf von Elektroautos
	  ○ Jeweils knapp ein Fünftel befürwortet staatliche Forschungsprogramme und Subventionen durch die Industrie.
	• Vier von zehn der Befragten wollen, dass Strom für Elektroautos aus regenerativen Energiequellen kommt.
	• Ein knappes Drittel der Befragten präferiert einen Energiemix.
	• Atom- und Kohlekraftwerke sind mit jeweils rund acht Prozent weit abgeschlagen.

Flottenbetrieb mit Elektrofahrzeugen. *Modellregion Sachsen*[106]	Befragung von Unternehmern zum Thema Elektromobilität in der Modellregion Sachsen • Wesentliche Nachteile der Elektromobilität für die be-

105 BITKOM (Hrsg.) (2010).

106 Modellregion Elektromobilität Sachsen (Hrsg.) (2011).

	fragten Unternehmer: • Hohe Anschaffungskosten • Geringe Reichweite • Größte Vorteile: • Niedrigere Schadstoff- und Lärmbelastung • Großteil der Befragten glaubt an eine erste praktikable Lösung und Nutzerakzeptanz bis zum Jahr 2015 bzw. bis 2020. • Finanziellen Anreize für die Anschaffung eines Elektrofahrzeuges wurden am stärksten bewertet. • Weniger als 50 Prozent der Befragten würden einen höheren Anschaffungspreis, verglichen mit einem konventionellen Fahrzeug, akzeptieren. Eine 20%ige Erhöhung würde nur noch von 7 Prozent der Unternehmen akzeptiert werden. • Fahrzeuge der Flottenbetreiber werden in ihren Ruhezeiten überwiegend auf Flächen abgestellt, auf denen der Aufbau der Ladeinfrastruktur relativ einfach bewerkstelligt werden kann. • Ruhezeiten der Fahrzeuge betragen bis auf wenige Ausnahmen ca. zehn Stunden am Tag. In dieser Zeit kann auch mittels Normalladung ein Elektrofahrzeug vollständig aufgeladen werden. Die exakten Einsatzzeiten variieren dabei branchenspezifisch, was sich wiederum für ein Lastmanagement förderlich auswirken. • Fast 60 Prozent der Strecken werden im Stadtverkehr absolviert, wo zukünftig die Ladeinfrastruktur wesentlich dichter sein wird als im ländlichen Gebiet oder auf Autobahnen. Insgesamt schätzen die Teilnehmer der Befragung die Entwicklung der Elektromobilität in Sachsen als sehr gut ein. Von den Befragungsteilnehmern würden 48 Prozent Elektrofahrzeuge in ihrer Flotte aufnehmen, 34 Prozent eventuell, sobald die geeignete Infrastruktur bereitgestellt wird. Ein Viertel plant bereits die Anschaffung von Elektrofahrzeugen.

5.4.6 Pilotprojekte

CognE-mobil Projekts[107]	Gemeinsam mit dem Autobauer Ford, dem Energieunternehmen Rheinenergie und der Stadt Köln haben knapp 50 UDE-Wissenschaftler im Großprojekt CognE-mobil die Anwendungsbedingungen und Kundenakzeptanz von Elektroautos untersucht.
	• 30.000 Fahrzeuge könnten im 400 km² großen Kölner Stadtgebiet elektrisch fahren.
	  ○ Kaum höherer Stromverbrauch für die Leitungsnetze (3,2% des Haushaltsstroms)
	  ○ Reichweite der E-Autos im Sommer bei 180 km (mit heutigen Lithium-Ionen-Batterien (35 kWh) und die für Köln typischen Fahrtstrecken im Stadtzyklus.)
	  ○ Im Winter durch Heizungsbetrieb reduzierte Reichweite von 103 km.
	• Längere Ladezeiten sind unproblematisch, da Fahrzeuge überwiegend in den Wohngebieten von 20 Uhr bis 6 Uhr parken und dann bequem an einer normalen Haushaltssteckdose geladen werden können.
	• Zehn Prozent aller Fahrzeuge im Kölner Stadtraum könnten durch E-Autos ersetzt werden.
	• Kundenakzeptanztests zeigen, ob sich jemand ein Elektroauto kauft, ist abhängig vom Einkommen, Alter und Bildungsgrad. 25.500 Euro wäre der Kölner im Schnitt bereit, für das Elektroauto zu zahlen.
	• Elektroautos bedeuten für Fußgänger kein größeres Risiko als moderne Benzinfahrzeuge. Dies konnte beim Großprojekt in einer Testreihe mit 240 Passanten gezeigt werden. Die von den Gesetzgebern erwogenen künstlichen Geräusche für Elektrofahrzeuge sind nach den Ergebnissen des Projekts nicht notwendig.

Ergebnisse Feldversuch. *Modellregion Elektromobilität München*[108]	• Laufzeit 03/2010 - 09/2011
	• Installation öffentlicher und privater Infrastruktur.
	  ○ Derzeit 28 öffentliche Ladesäulen; Ausbau geplant
	  ○ 36 Heimladestationen
	• Gesamt Fahrleistung ca. 300.000 km
	• Betrieb der MINI E zwischen 09/2010 und 06/2011

107 Universität Duisburg Essen (Hrsg.) (2011).

108 Modellregion Elektromobilität München (Hrsg.) (2011).

	• 40 MINI E (davon 10 BRK) • Erprobung verschiedener Einsatzszenarien • 82 Prozent der täglichen Fahrten können mit dem MINI E erledigt werden. • Im Winter allerdings eingeschränkte Nutzung aufgrund der reduzierten Reichweite und höherer Ladefrequenz. • Keine Probleme beim Handling des Ladens. • In 75 Prozent der Fälle wurde direkt nach der Nutzung das Ladekabel eingesteckt. • Laden wird als vorteilhaft und zeitsparend im Gegensatz zum Tanken gesehen. • Ladezeiten werden als akzeptabel empfunden, das Handling des Kabels weist noch Verbesserungspotenzial auf. • Ladezeiten sind für den Alltag praktikabel und angemessen. • Fast alle Nutzer empfinden den Ladevorgang als leicht erlernbar (92%). • 88 Prozent empfinden das Laden zu Hause oder an der Arbeitsstelle sogar als angenehmer, als die Fahrt zur Tankstelle. • Verbesserungspotenzial gibt es beim Ladekabel, das recht schwer und unhandlich (76%) ist. • Die Nutzer wünschen sich, dass das Kabel an der Wallbox (96%) bzw. öffentlichen Ladestation (88%) fest installiert ist.
Die politischen Rahmenbedingungen der Genehmigung von Ladeinfrastruktur für Elektroverkehr im öffentlichen Raum[109]	Pilotprojekt in den Bezirken Mitte und Charlottenburg/Wilmersdorf • Um Elektromobilität als integrierte verkehrspolitische Gesamtstrategie mit dem Ziel einer nachhaltigen Stadt- und Verkehrsentwicklung zu integrieren, bedarf es einer übergeordneten politischen Instanz. Diese sollte allgemeingültige Standards setzen und jeweils spezifische Bedingungen vor Ort berücksichtigen • Entscheidung über Infrastruktureinrichtungen muss verkehrliche Erreichbarkeit und zunehmend auch Anbindungsmöglichkeiten an bedienungsfreundliche IKT als Grundlage aufweisen. • Die Entwicklung von verkehrsbezogener neuer Infrastruktur hängt eng mit der Entwicklung der Mobilitätsbedürfnisse zusammen. Nutzerverhalten entscheidet über Auslastung und Sinnhaftigkeit der geschaffenen Infrastruktur und stellt damit einen wesentlichen For-

109 Schwedes (2011).

	schungsgegenstand im Hinblick auf die Standortwahl zukünftiger Ladeinfrastruktur da. • Umfassende parallele Prozessevaluierung in mehreren Schleifen sowie aussagefähige Ergebnisse zu aktuellen und künftigen Nutzeranforderungen an die Ladeinfrastruktur sind künftig notwendig um nachhaltige Lösungen umzusetzen.
Smart Electric Mobility[110]	Während der Planung der Studie „Smart Electric Mobility“, einem Feldtest mimt N=33 Fahrzeugen für 3 Wochen, wurde Nutzerverhalten über Fahrdaten aus konventionellem Fahren modelliert. • Modell erlautb eine Variation der Fahrprofilie, der Ladeinfrastrukturverteilung und den Einstellungen der Ladeparameter. • Als Ergebnis wurden Nutzer in Tageslader, Zwischenlader und Schnelllader unterschieden, um die Erfordernisse an die Ladeinfrastruktur bestmöglich einzuordnen.
GridSurfer[111]	Simulationsbasierte Untersuchungen bzgl. der Integration von Elektrofahrzeugen • Positive Effekte des Gesteuerten Ladens konnten erreicht werden (allerdings nur, wenn die nächste Fahrt des Fahrzeugnutzers bekannt war und die Prognosen des Lastverlaufs korrekt berechnet wurden): ▪ Senkung der von EVs verursachten Spitzenlasten ▪ Verringerung der Lastgangspreizung
Elektroautos in einer von erneuerbaren Energien geprägten Energiewirtschaft[112]	Flottenversuch zur Erprobung des Gesteuerten Ladens (eigens entwickeltes mobiles Lademanagementsystem in die Fahrzeuge eingebaut, das sowohl eine intelligente

110 Leitinger & Litzlbauer (2011).

111 Scherfke; Schütte; Wissing; Nieße & Tröschel (2010).

112 Pehnt; Helms; Lambrecht; Dallinger; Wietschel; Heinrich; Kohrs; Link; Trommer; Pollok & Behrens (2011).

	Ladung, sowie auch eine 30 kW-Schnellladung auf Basis einer dezentralen Lade-/Entlade-Entscheidung erlaubt): • Wichtig für die Umsetzung der verstärkten Beladung in Zeiten hoher Windeinspeisung sind zeitvariable Tarife, die akute Überlastungssituationen verhindern können.
Early U.S. market for plug-in hybrid electric vehicles: Anticipating consumer recharge potential and design priorities.[113]	Internetbefragung zur Erhebung von Nutzungsgewohnheiten, um Zeitfenster zu bestimmen, in denen das Elektrofahrzeug dem Netz für Gesteuertes Laden zur Verfügung stehen könnte. • Die optimale Zeit ist laut Befragung während der Nacht von 24 bis 6 Uhr. • Ungünstigster Zeitraum zum Laden zwischen 10 und 16 Uhr, da Fahrten während dieser Zeit am schlechtesten planbar sind.
Driving plug-in hybrid electric vehicles: Reports from U.S. drivers of HEVs converted to PHEVs[114]	• V2G wurde von Neu-Besitzern eines PHEV bis auf eine begrenzte Zielgruppe, die beruflich im Energiesektor aktiv ist, als eher unpraktisch angesehen • Der durchschnittliche Nutzer macht sich wenig Gedanken um die Auswirkungen, welche das Laden seines Elektrofahrzeugs auf die Auslastung des Stromnetzes hat.
A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation.[115]	• Eine langfristige Kundenbindung ist für den Erfolg von gesteuertem Laden sehr wichtig. • Anreize wie Rabattaktionen für Laden und Parken oder spezielle Batterie-Wartungs-Services müssen geschaffen werden.
The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services.[116]	• Um eine gute Akzeptanz von V2G beim Nutzer zu erreichen, sollten die EV-Nutzer so wenig wie möglich zusätzlichen Aufwand haben.

113 Turrentine; Garas; Lentz & Woodjack (2011).

114 Kurani; Heffner & Turrentine (2008).

115 Guille & Gross (2009).

116 Quinn; Zimmerle & Bradley (2010).

6 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf

6.1 Forschungsergebnisse der ROADMAP 100%:

Zum Teilprojekt 3 „Ladestation V2.0“ gehörte das Arbeitspaket „3.1.8 Marktdialog mit potentiellen Entwicklungspartnern“. In diesem Rahmen führte Vattenfall die Recherche nach dem aktuellen Wissens- und Produktionsstand von relevanten Marktteilnehmern durch und trat mit ausgewählten potentiellen Lieferanten in Dialog über die Ziele und bis dahin skizzierten Anforderungen an die Gestaltung einer Ladeinfrastruktur für Gesteuertes Laden 2.0.

Der aktuelle Marktdialog-Status zeigte schon Ende des Jahres 2010, dass die Projektanforderungen hochkomplex sind und eine große Herausforderung für den derzeitigen Know-how-Stand der Marktteilnehmer darstellten. Daraus folgte eine hohe Erfordernis der Lieferanteninformation und -Begleitung durch die Vattenfall-Experten. Hier war abzusehen, dass sich daraus auch eine Verlängerung der Entwicklungsdauer ergeben wird. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde eine Anpassung der Planung vorgenommen:

- Die zu diesem Zeitpunkt identifizierten Anforderungen für V2.0 (und wenige entscheidende für eine voraussichtliche Demo-Version 2.x zum Projektende) wurden dezidiert priorisiert.
- Für eine zukünftige Ladeinfrastruktur, die auf der Grundlage der Erfahrungen aus V2.0 entworfen werden kann und soll, wurde der zusammenfassende Begriff „V3.0“ geprägt.
- Die Teilung zwischen V2.0 und V3.0 ermöglichte die Bearbeitung der V2.0-Themen und Anforderungen im Hinblick auf die praktische Umsetzung im Projekt sowie die parallele Weiterführung der Wissensansammlung, Diskussion und Konzeptskizzierung für V3.0.
- Für die Auflistung und Diskussion von Anforderungen für diese V3.0 wurden sieben Themenbereiche identifiziert. Pro Themenbereich wurde ein „Roadmap-Stream“ inkl. Stream-Verantwortlichem und weiteren Experten bestimmt.

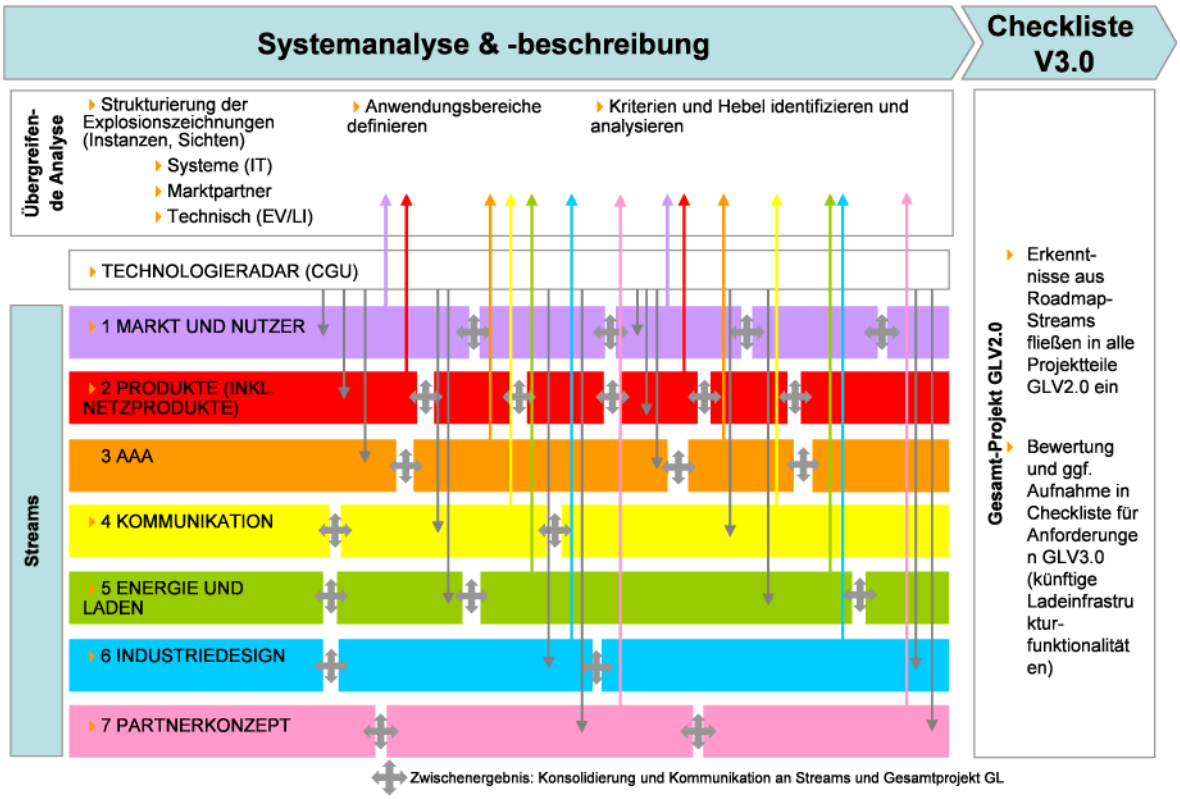


Abbildung 238: Strukturierung der „Roadmap 100%“ in Themen-Streams

Streams: Ziele, Inhalte, Aufgaben	
0 **Technologieradar**	**Themenbereiche und Scouts benennen, Frühwarnsystem installieren; Ziel: State of the Art Know How zusammentragen und Think Leader identifizieren**
1 **Markt und Nutzer**	**Marktrollen, Kundensegmentierung, Nutzerprofile und -bedarfe, Smart Systems / Smart Grid, Grünes Laden**
2 Produkte	Technische Realisierung und Preise – Produktbaukasten auf Basis beschriebener Kundensegmente (Bedarfe und Nutzenerwartung Green eMob) – Bearbeitung ab 03/11 im Business Development außerhalb Projekt
3 **AAA**	**Geschäftsmodellspezifische Alternativen für Identifikation, Autorisierung und Abrechnung (Micropayment, NFC/Handy, Frankfurter Modell,…)**
4 **Kommunikation**	**Alternative Verfahren / Techniken zu Kommunikation LI – BE und EV – LI benennen und bewerten**
5 **Energie und Laden**	**Konduktives und induktives Laden, Schnellladen Onboard / Offboard**
6 **Industriedesign**	**Höherer Integrationsgrad, Hardware-Optimierung (Größe, Montage und Handling, Schutz, Produktionseffizienz, Kosten)**
7 Partnerkonzept	Identifikation von und Bewertungskriterien für Lieferanten-, Betriebs- und Vertriebspartnern – Bearbeitung ab 03/11 im Business Development außerhalb Projekt

Abbildung 239: Ziele, Inhalte, Aufgaben der Streams

- In den Streams konnte der Projekt-Entwicklungsprozess begleitet werden sowie gesteuert und strukturiert der Markt beobachtet und aktuelle Entwicklungen außerhalb des Projekts – auch mit projektexternen Experten – diskutiert werden.
- Stream 0 ist ein rein organisatorischer Teil; Streams 2 und 7 wurden im Verlauf des Prozesses als projektübergreifende Themenbereiche identifiziert und wurden daher in die Business-Development-Aktivitäten des Unternehmens integriert. Zu diesen drei Streams wurde daher auf Zusammenfassungen verzichtet.
- Die Ergebnisse wurden von den Projektmitarbeitern in diesem Kapitel zusammengefasst; einzelne Anforderungen wurden im Rahmen des „Agilen Verfahrens“ der Anforderungserfassung im Projekt der Version 3.0 zugeordnet und flossen in eine „Checkliste Anforderungen V3.0“ im Anhang zum Lastenheft V2.0 ein.

Anfang März 2011 wurde aufgrund der hohen Ressourcenauslastung mit den Projektaufgaben die Konzentration der Roadmap-Arbeit auf zwei Schwerpunkte beschlossen:

- „Markt und Nutzer“ (mit Schwerpunkt Grünstromladen unter allen Aspekten) sowie
- „AAA“ (Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung)

Zu beiden Streams wurden Workshops mit Projektmitarbeitern aller Projektpartner durchgeführt und die Ergebnisse zwischen den beiden Streams ausgetauscht. Für die Streams „Produkte“ und „Partnerkonzept“ wurden Stream-Aufgaben auf das außerhalb des Projekts agierende Business-Development-Team übertragen. Im August wurde auf Basis der bis dahin im und außerhalb des Projekts erworbenen Erkenntnisse ein Workshops zum Stream „Energie und Laden“ (Alternative Ladetechniken) mit externen Experten durchgeführt. Für das 4. Quartal 2011 ist die Durchführung von Workshops zu zwei weiteren Streams geplant (unabhängig von Projektlaufzeit wird diesen Erkenntnissen eine hohe Priorität beigemessen):

- Kommunikation (Alternative Verfahren zur Kommunikation zwischen Ladeinfrastruktur, Backend und E-Fahrzeug) und
- Industriedesign (Integrationsgrad, Hardware-Optimierung)

Die Ergebnisse der Streams finden sich wie oben erwähnt im Folgenden:

6.1.1 Markt und Nutzer (Grünstromladen)

6.1.1.1 Gesteuertes Laden als Grünstromprodukt

Die Elektromobilität steht am Anfang ihrer marktreifen Entwicklung. E-Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur sind in zahlreichen Pilotprojekten aktuell in der Erprobung, parallel dazu wird eine großserientaugliche, weltweite Markteinführung vorbereitet.

Ladeinfrastruktur, die das einfache, ungesteuerte Laden ermöglicht, ist in unterschiedlichen Ausführungen, Leistungsklassen und Anschlussarten verfügbar, wenngleich Marktrollen und die Abwicklungs- und Abrechnungsprozesse außerhalb der einfachen Abrechnung über die Haushaltsanschluss noch nicht klar definiert sind.

Intelligentes Laden befindet sich in einer noch früheren Entwicklungsphase als das Laden ohne Informations- und Datenaustausch. Man kann die in Ladearten grob in sechs „Intelligenz-Gruppen“ mit zunehmender Intelligenz und damit Komplexität einteilen.

1. Einfaches Laden: Mode 1 an Schuko-Steckdose
2. Einfaches Laden: Mode 2 an Schuko-Steckdose
3. Einfaches Lade: Mode 3 an neuer Normsteckdose IEC Typ2, elektrische Kompatibilität zwischen Fahrzeug und Ladepunkt geprüft
4. Intelligentes Laden: Kommunikation des Nutzers mit der Ladeinfrastruktur, AAA[117]-Prozess vom Nutzer elektronisch angestoßen (z.B. RFID-Card) und
5. Intelligentes Laden: Kommunikation des Fahrzeugs mit der Ladeinfrastruktur AAA-Prozess vom Fahrzeug elektronisch angestoßen (Plug and Charge)
6. Gesteuertes Laden: Kommunikation zwischen Fahrzeug / Fahrzeug Backend und Ladeininfrastruktur / LI- Backend zur Abbildung der AAA-Prozesse und zusätzlich Steuerung des Ladevorgangs nach Zielfunktion mit Restriktionen

Das Projekt Gesteuertes Laden V2.0 widmet sich der Stufe 5 und schafft die konzeptionellen und technischen Voraussetzungen für ein nach definierten Kriterien optimiertes Laden. Der individuelle Ladevorgang im gesteuerten Laden wird so ausgesteuert, dass der Anteil des Windstroms im Ladestrommix maximal wird.

Die einzelne Ladekurve enthält bei Anwendung des Verfahrens „gesteuertes Laden V2.0“ einen höheren Windstromanteil und verursacht damit rechnerisch eine geringere

117 AAA: Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung

CO_2-Emission. Ein individueller CO_2-Footprint eines Ladevorgangs ist also rechnerisch darstellbar. Das gilt auch für die Summe der Ladevorgänge.

Im Gesamtenergiesystem (bestehend aus konventionellen Kraftwerken mit und ohne CO_2-Emission und den EE-Anlagen) jedoch, entfaltet, sofern alle verfügbaren Windstromerzeugungseinrichtungen in das Stromnetz einspeisen und nicht aus Überschussgründen abgeschaltet sind, gesteuertes Laden kurzfristig keinen direkten Klimaeffekt. Der zusätzlich durch die Fahrzeuge benötigte Strombedarf muss, in dieser Situation aus aus zusätzlichen regelbarenKraftwerken erbracht werden.Dies kann sogar eine CO_2-Mehremission bedeuten.

(Der im Projekt ebenfalls behandelte Fall eins gesteuerten Ladevorgangs in Überschusszeiten, also wenn durch den Ladevorgang eine sonst abgeregelte EE- Stromerzeugungs-einrichtung durch gesteuertes Laden zusätzlich betrieben werden kann, bliebt an dieser Stelle unberücksichtigt).

Mittel- bis langfristig kann das gesteuertes Laden allerding über den Marktmechanismus Direktvermarktung von Grünstrom eine Wirkung auf den Gesamtstrommix ausübt.

Eine genügend große Anzahl elektrifizierter Fahrzeuge könnte eine größere (gesteuerte) Nachfrage nach Produkten mit hohem EE-Anteil hervorrufen und so indirekt das EE-Angebot und damit auf den Zubau von EE-Anlagen anregen. Dieser Marktmechanismus, der grundsätzlich in Deutschland möglich ist, ist heute gegenüber dem gesetzlichen EEG- Einspeisevergütung für Investoren und EE-Anlagenbetreiber allerdings noch nicht attraktiv.

Stark vereinfacht wäre mit 1 Mio. windoptimiert gesteuert geladener E-Fahrzeuge in 2020 eine Nachfrage nach Grünstrom-Energie von ca. 1,43 TWh[118] darstellbar. Diese Energiemenge könnte beispielsweise aus 312 2-MW-Windenergieanlagen bereitgestellt werden (Annahme: 2000 Jahres-Vollast-Windstunden).

Da kurzfristig und mit dem heute gültigen Markt- und Regulierungssystem in der Energiewirtschaft ein Gesamtklimaeffekt durch gesteuertes Laden im Systemnormalbetrieb (ohne Überschussleistung in einer Regelzone) nicht darstellbar ist, muss ein Bedarf nach grünem Laden heute mit anderen Produkten gedeckt werden.

---

118 Projektprämissen aus „Studie Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung" ;„Der Strommix in Deutschland im Jahr 2010"; „Szenarienrahmen für den Netzentwicklungsplan 2012

Der Markt für Elektromobilität fragt heute bereits jetzt Energieprodukte nach, die einen gut kommunizierbaren Klimaeffekt bewirken und dem Nutzer die Gewissheit über das emissionsfreie Laden und Fahren mit Elektrofahrzeugen geben.

Aus diesem Grunde wurde im Rahmen dieses Projektes neben der technischen Entwicklung einer Ladeinfrastruktur ein kurzfristig realisierbares Grünstrom-Energieprodukt konzeptioniert.

Das Produkt soll alle Elemente enthalten und Anforderungen erfüllen, die ein Fahrzeughersteller heute für die Markteinführung seiner E-Fahrzeuge benötigt. Im Vordergrund steht dabei die gut kommunizierbare und prüfungssichere Nachweisbarkeit des EE-Anteils im Ladestrom der Fahrzeuge.

6.1.1.2 Vorgehen

In einem ersten Schritt erfolgt eine Segmentierung des Marktes für das Gesteuerte Laden. Als Ergebnis dieser Betrachtung von Stakeholdern und ihren unterschiedlichen Nutzenformen steht die Bedeutung des Gesteuerten Ladens für eine Reihe von Anwendungsbereichen (wie bspw. „Laden an Arbeitsplatz“ oder „Laden im öffentlichen Raum“). Die Bedeutung des gesteuerten Ladens für die Anwendungsbereiche wird anhand von ausgewählten Kriterien bewertet. Schließlich werden Anforderungen an Grünstromprodukte für Elektromobilität aufgezeigt.

6.1.1.3 Marktsegemente und Nutzen von gesteuertem Laden

Annahme ist, dass der Markt für Elektromobilität heute vor allem durch vier Stakeholder mit unterschiedlichen Interessenlagen und Nutzen am gesteuerten Laden gebildet wird.

- **Fahrzeughersteller** (OEM) liefern dem Fahrzeugnutzer Elektrofahrzeuge und weitergenden Dienstleistungen, die auf die individuellen Mobilitätsbedürfnisse der Nutzer zugeschnitten sind und sicher stellen. Die Fahrzeuge enthalten in der Regel auch die Fahrzeugbatterien, welche wiederum von Vorlieferanten bezogen werden.
- **Stromvertriebsunternehmen** liefern dem Fahrzeugnutzer den benötigten Strom. Die Stromprodukte weisen analog zu anderen Stromprodukten eine Struktur aus Grund- und Mengenpreis auf. Sogenannte „smarte“ Tarife mit variieren-

den Preisstufen sind derzeit noch nicht verfügbar, und die Stromprodukte werden größtenteils nur regional angeboten.

- **Betreiber von Ladeinfrastruktur** (LI-Betreiber) stellen dem Fahrzeugnutzer die notwendige Technik zur Verfügung, um ihr Fahrzeug mit Strom „zu betanken". Dazu gehören Installation, Betrieb und Wartung privater und semi- bzw. nichtöffentlicher Ladestationen (z.B. Wallboxen für Privathaushalte, Ladepunkte von Flottenbetreibern wie Autovermietern). Wobei dies auch im Einzelfall von 1, 2 oder 4 wahrgenommen werden kann).
- **Stromnetzsystembetreiber** sind für die Stromverteilung unabhängig von der Art des Endverbrauchers sowie die vollständige Integration der dezentralen erneuerbaren Energieanlagen verantwortlich. Sie bilden eine wesentliche Schnittstelle zu einem Betreiber der Ladeinfrastruktur. Der Stromnetzsystembetreiber ist einer der Stakeholder und Kunden, die neben dem Fahrzeughersteller ein besonderes Interesse an der Elektromobilität haben. Er kann zur Kompensation von Netzengpässen zukünftig E-Mobility-Produkte verwenden.

Gesteuertes Laden erzeugt wirtschaftlichen Nutzen und Klima-/Umweltnutzen bei allen vier Stakeholder-Gruppen auf jeweils unterschiedliche Weise. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht zu den Nutzenformen, auf die anschließend weiter eingegangen wird.

	Nutzen durch Gesteuertes Laden (GL)	
Stakeholder	Wirtschaftlich	Klima- und Umwelt
Fahrzeughersteller (OEM)	Komplementärprodukt zu E-Fahrzeugen Damit dem Endverbraucher gegenüber höheres Vetriebspotential Ggf. Teilhabe am wirtschaftlichen Nutzen	Übertragung der Umweltnutzen auf Fahrzeugbetrieb Kommunikationsstrategie gegenüber Endverbraucher Reduktion der Flottenemission
Stromvertriebsunternehmen	Neue Möglichkeiten bei der strukturierten Beschaffung durch Weitervermarktung der Speicheroptionalitäten Anbieten von (bekannten oder neuartigen) Produkten für Stromgroßhandelsmarkt und Märte für Systemdienstleistungen GL-Endkunden-Dienstleistungen denkbar	Kommunizierbarer Endkundennutzen hinsichtlich CO2-Einsparung Beitrag zur Integration Erneuerbarer Energien Vermeidung von Abschaltungen von EE-Anlagen
Betreiber von Ladeinfrastruktur (LI-Betreiber)	Teilhabe an positiver Marktentwicklung durch GL Gemeinsamer Nutzen mit Endverbraucher durch Reduktion von Netzanschlussinvestitionen Wachstum, neues Geschäftsfeld	Indirekter Beitrag zum Umweltnutzen Somit wiederum indirekt begünstigt

Stromnetzsystembetreiber	Mögliche Realisierung der Speicheroptionalitäten Kostenverminderung und Erhöhung von Betriebssicherheit Günstiger Preis für Regelenergie durch neuen Wettbewerber Netzanschluss beim Endkunden zu geringeren Kosten	Vermeidung von Abschaltungen von EE-Anlagen Inanspruchnahme von grüner Regelenergie Vermeidung von Leitungsbau

Für Fahrzeughersteller ist der Nutzen durch Gesteuertes Laden vornehmlich indirekt – er wird bei anderen Stakeholdern realisiert. Dennoch profitiert ein Fahrzeughersteller von Gesteuertem Laden durch die wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile, die diese Technologie den anderen Stakeholdern und dem Endverbraucher bietet. Ladestrom ist ein Komplementärprodukt für das Elektrofahrzeug, so dass ein Fahrzeughersteller grundsätzlich an der Attraktivität von Ladestromprodukten interessiert ist, weil sie für die Markteinführung der Fahrzeuge förderlich ist. Unter Umständen kann er über höhere Fahrzeugpreise am wirtschaftlichen Nutzen teilhaben, denn das wirtschaftliche Kalkül des Endverbrauchers umfasst beide Komplemente. Den vom Endverbraucher wahrgenommenen Klima- und Umweltnutzen kann der Fahrzeughersteller auf sein eigenes Produkt übertragen. Positiv wirkt auch, dass die durchschnittlichen Emissionen der Fahrzeugflotte sinken.

Stromvertriebsunternehmen können Gesteuertes Laden sowohl auf Absatz- wie auf Beschaffungsseite einsetzen. Durch Verfügung über die Speicher ihrer Endkunden können die Unternehmen Strom günstiger auf den Großhandelsmärkten beschaffen, da sie tendenziell glattere Profile einkaufen als ohne Gesteuertes Laden. Der Preis für im Voraus bestimmte, konstante Mengen ist grundsätzlich niedriger als der Preis für kurzfristig gekaufte, schwankende Mengen. Darüber hinaus kann ein Stromvertriebsunternehmen aktiv die ihm zur Verfügung gestellten Optionswerte bündeln und weitervermarkten. Dies kann über bestehende Produkte auf Stromgroßhandels-, Regelenergie- und Systemdienstleistungsmärkten erfolgen. Prinzipiell besteht Raum für Origination-Geschäft, das Auflegen neuer strukturierter Stromgroßhandelsprodukte, unter Einbezug der Speicheroptionalitäten, was weitergehende Kompetenzen aus dem Handel erfordert. Auf der Absatzseite können dem Endkunden Ladeprodukte mit GL-Zusatznutzen angeboten werden, der beispielsweise in der Vermeidung von Kosten für eine Erhöhung der Netzanschluss-Leistung besteht. Umweltnutzen kann ein Stromvertriebsunternehmen durch Gesteuertes Laden dadurch haben, dass der Einsatz von GL zu einem höheren Anteil erneuerbarer Energien im zugerechneten Strommix des angebotenen Endverbraucherproduktes führt und dies entsprechend kommuniziert werden kann.

Auch Betreiber von Ladeinfrastruktur profitieren von Gesteuertem Laden. Durch die unterschiedlichen Nutzenformen bei den übrigen Stakeholdern ist Gesteuertes Laden indirekt für die Entwicklung der LI-Märkte förderlich. Direkter Nutzen ist denkbar bei der Leistungsauslegung der LI-Infrastruktur, die beim Einsatz von GL geringer ausfallen kann und damit Investitionskosten vermeidet. Insgesamt eröffnet sich ein völlig neues Geschäftsfeld, in das neue oder bestehende Energiemarktakteure einsteigen können.

Netzsystembetreiber sind diejenige Stakeholder-Gruppe, die am meisten Nutzen aus Gesteuertem Laden selbst realisieren kann. Ein Netzsystembetreiber kann durch Einsatz von GL-Produkten Investitionen in Netzinfrastruktur vermeiden und beim Netzbetrieb Kosten einsparen, weil damit zu rechnen ist, dass ihm Systemdienstleistungen auf GL-Basis zu günstigen Preisen angeboten werden. Gesteuertes Laden vermeidet das Abschalten von EE-Anlagen, vereinfacht die Integration von erneuerbaren Energien und kann unter Umständen Leitungsbau ersetzen.

6.1.1.4 Bedeutung von gesteuertem Laden für die Anwendungsfälle

Im Rahmen des Projektes wurden unterschiedliche Anwendungsfälle von Elektromobilität und Ladeverhalten im Hinblick auf ihre Eignung für das Gesteuerte laden bewertet.

Insgesamt wurden sieben Anwendungsfälle betrachtet:

- Home Laden
- Laden an der Arbeitsstelle
- Laden im Semi-öffentlichen Raum
- Laden im öffentlichen Raum
- Laden einer Firmenflotte im Firmeneinsatz
- Laden von Mietfahrzeugen
- Laden an DC-Schnellladestationen

Jeder Anwendungsfall wurde im Hinblick auf die nachfolgenden technischen, ökonomischen und ökologischen Kriterien bewertet:

Technik:

- Technische Komplexität (Qualität der Kommunikationsverbindung, Komplexität des Netzanschlusses, HA-Installation, …)
- Organisatorische Komplexität (Notwendigkeit zur Einbindung weiterer Instanzen, z.B. Behörden, …)

Ökonomie:

- Wirtschaftl. Vorteil (Potenzial zur Realisierung eines wirtschaftlichen Vorteils
- Mobilitätsvorteil (Potenzial zur Realisierung eines Mobilitätsvorteils)
- Akzeptanz GL (Potenzial zur Erhöhung der Akzeptanz von gesteuertem Laden)
- Marktentwicklung (Nachfrage im Markt erkennbar, Bereich mit gutem Wachstumspotenzial)
- Skaleneffekte (Potenzial zur Realisierung von Kostendegression durch große Stückzahlen)

Ökologie:

- Effizienzte EE-Nutzung (Potenzial zur Realisierung einer effizienteren Ausnutzung regenerativer Energie)
- GL + Einbindung EE (Potenzial zur Nutzung des GL bei der Einbindung regenerativer EE in das Stromversorgungsnetz)
- GL + Systemdienstleistungen (Potenzial zur Nutzung des GL zur Systemstabilisierung, Speicherung und Rückspeisung elektrischer Energie)

Die Bewertung der einzelnen Anwendungsfälle nach den genannten Kriterien kann der Übersicht entnommen werden:

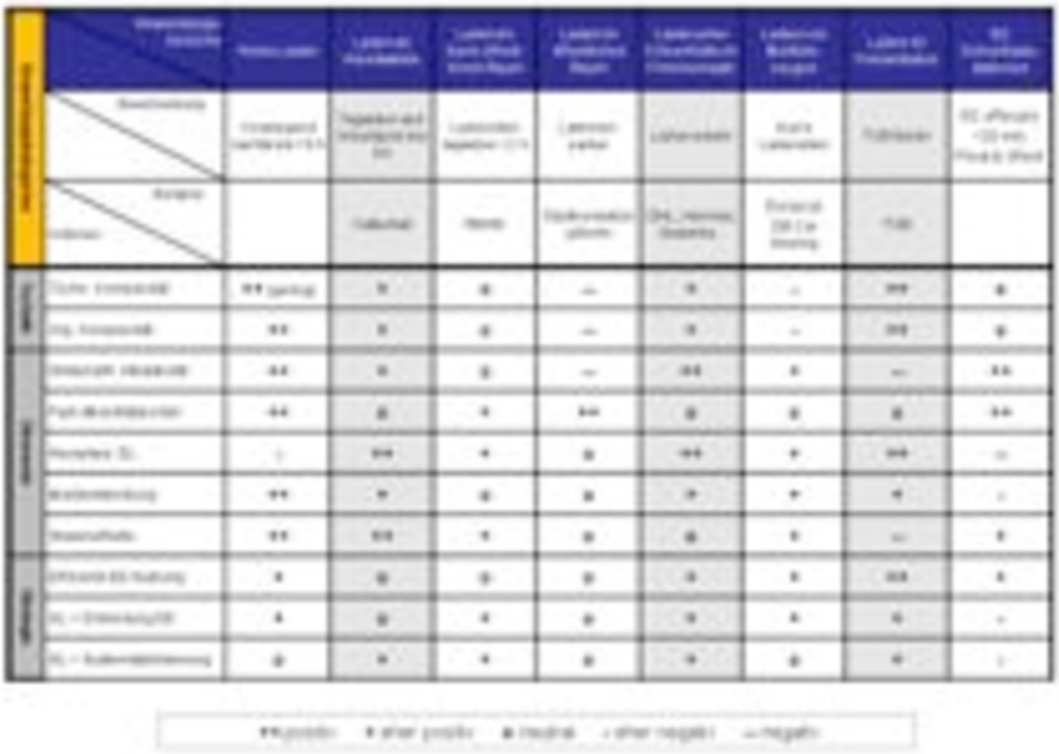


Abbildung 240: Übersicht der Anwendungsfälle

6.1.1.5 Anforderungen an Grünstromprodukte für Elektromobilität

Im Rahmen von zwei Workshops wurden die Anforderungen an Grünstromprodukte aus Sicht des Stromvertriebs der Vattenfall und des OEMs BMW definiert.

Der Definition der Anforderungen an Grünstromprodukte gingen folgende Überlegungen voraus:

- Aus Nutzersicht würde eine „Insellösung“ mit separaten Erzeugungs- und Netzstrukturen die einzige technisch saubere Lösung darstellen, um zu garantieren, dass ein solcher (welcher?) Strommix physisch das Fahrzeug versorgt. Aufgrund der enormen notwendigen Investitionen für eine solche parallele Versorgungsstruktur handelt es sich hierbei jedoch um eine rein theoretische Option.
- In einem Verbundsystem stammt der physisch bezogene Strom immer aus dem Kraftwerk, das der Lastinanspruchnahme am nächsten ist (Kirchhoffsche Regel), eine Unterscheidung zwischen „Graustrom“ und „Grünstrom“ ist physikalisch

nicht möglich. Um den ökologischen Mehrwert zu vergüten, bestehen derzeit drei Optionen: EEG-Vergütung, Stromprodukte auf Basis von Herkunftsnachweisen (HKN) und Stromprodukte auf Basis von Lieferverträgen mit spezifizierten Erzeugungsanlagen. Durch das gesonderte Vergütungssystem steht EEG-geförderter nicht für Grünstromprodukte zur Verfügung.

- Marktseitig spielen sogenannte Qualitätslabel eine Schlüsselrolle für die Akzeptanz durch die Verbraucher. Ein solches Label attestiert einem Stromprodukt die Erfüllung spezifizierter Kriterien. Die Merkmale und Kriterien sind „frei definierbar“ und variieren bei verschiedenen Labeln, wie z.B. dem „Grüner Strom Label“ oder dem „OK Power Label“. Die Qualitätslabel sind nicht zu verwechseln mit den Herkunftsnachweisen, welche wertfrei festgelegte Attribute einer bestimmten erzeugten Kilowattstunde Strom wiedergeben und in sich kein Qualitätsurteil darstellen.

Für die Produktgestaltung wurden 6 Kriterien gekoppelt, die untersunterschiedliche Themenfelder betrachtet:

- Standorte Erzeugungsanlagen: Ausland vs. Inland
- Ownership Erzeugungsanlagen: Zukauf vs. Eigenerzeugung
- Alter Erzeugungsanlagen: Altanlagen vs. Neuanlagen
- Energieeffizienz: Einbezug hocheffizienter KWK-Anlagen
- Standortspezifika: Alle EE-Anlagen vs. EEG-fähige Anlagen
- Bilanzierung: 1 Jahr (HKN) vs. 15 Min. (Liefervertrag)

Die nachstehende Grafik zeigt eine Zusammenfassung der einzelnen Themenfeldbewertungen durch OEM und Stromvertrieb. Eine ausführlichere Erläuterung dieser Bewertungen erfolgt in den Folgekapiteln.

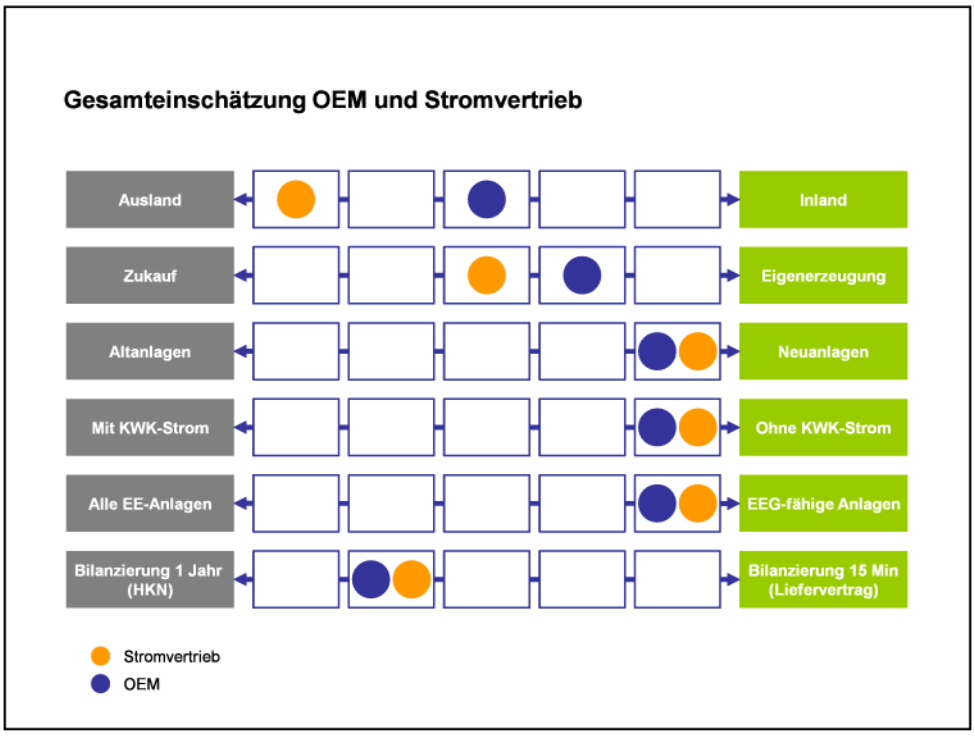


Abbildung 241: Zusammenfassung der einzelnen Themenfeldbewertungen durch OEM und Stromvertrieb

6.1.1.5.1 Standorte Erzeugungsanlagen: Inland vs. Ausland

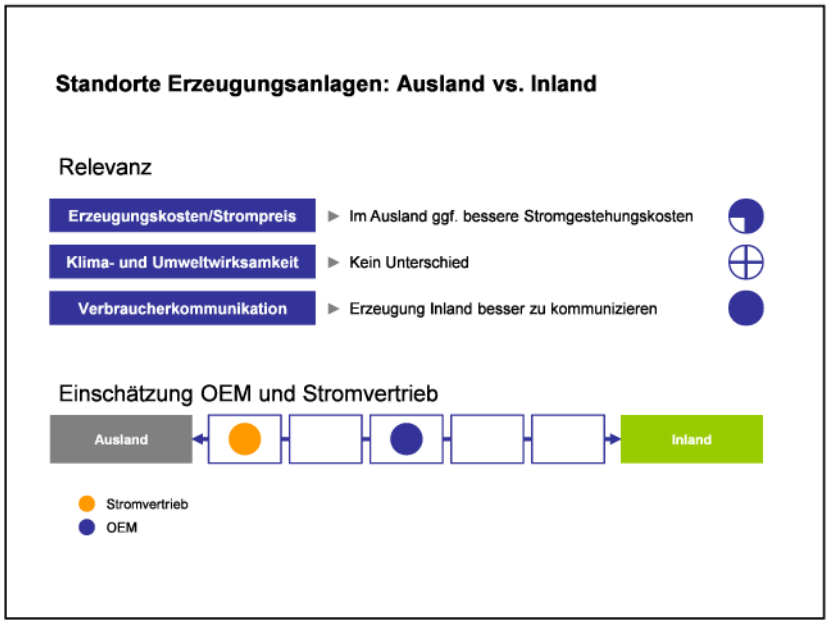


Abbildung 242: Standorte Erzeugungsanlagen: Inland vs. Ausland

Einschätzung Stromvertrieb:

- Für einen Kunden, der einen möglichst CO_2-armen Strommix anstrebt, ist der Standort der Erzeugungsanlagen von nachrangiger Bedeutung.
- Der Standort kann jedoch einen erheblichen Effekt auf den Endkundenpreis des Stromprodukts haben, da Standorte unterschiedliche Stromgestehungskosten aufweisen – Standorte mit den geringsten Stromgestehungskosten sind somit vorzuziehen.

Einschätzung OEM:

- Strombezug aus Anlagen im Inland lässt sich dem Endkunden gegenüber besser vermarkten, deshalb sollte zumindest ein Teil der Strommenge aus Anlagen im Inland bezogen werden.

6.1.1.5.2 Ownership Erzeugungsanlagen: Zukauf vs. Eigenerzeugung

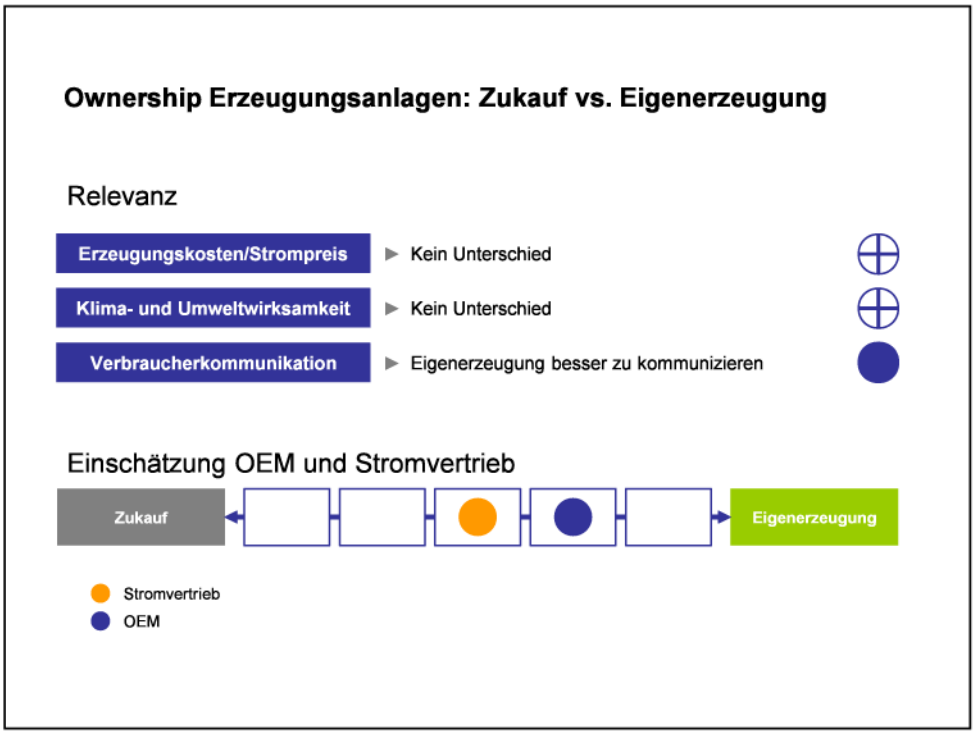


Abbildung 243: Ownership Erzeugungsanlagen: Zukauf vs. Eigenerzeugung

Einschätzung Stromvertrieb:

- Die Stromgestehungskosten werden im Wesentlichen durch Technologiekosten und Standortbedingungen geprägt, die Struktur der Anteilseigner spielt eine untergeordnete Rolle.
- Ob die Investitionen in eigene Erzeugungsanlagen für OEMs sinnvoll sind, hängt maßgeblich von den alternativen Verwendungsmöglichkeiten für die Investitionsmittel ab. Nach betriebswirtschaftlicher Logik erscheint jedoch eine Verwendung der Investitionsmittel für das Kerngeschäft des OEMs sinnvoll.

Einschätzung OEM:

- Strom aus Eigenerzeugung lässt sich dem Endkunden gegenüber besser vermarkten, deshalb sollte zumindest ein Teil der Strommenge aus eigenen Anlagen stammen.

6.1.1.5.3 Alte Erzeugungsanlagen: Altanlagen vs. Neuanlagen

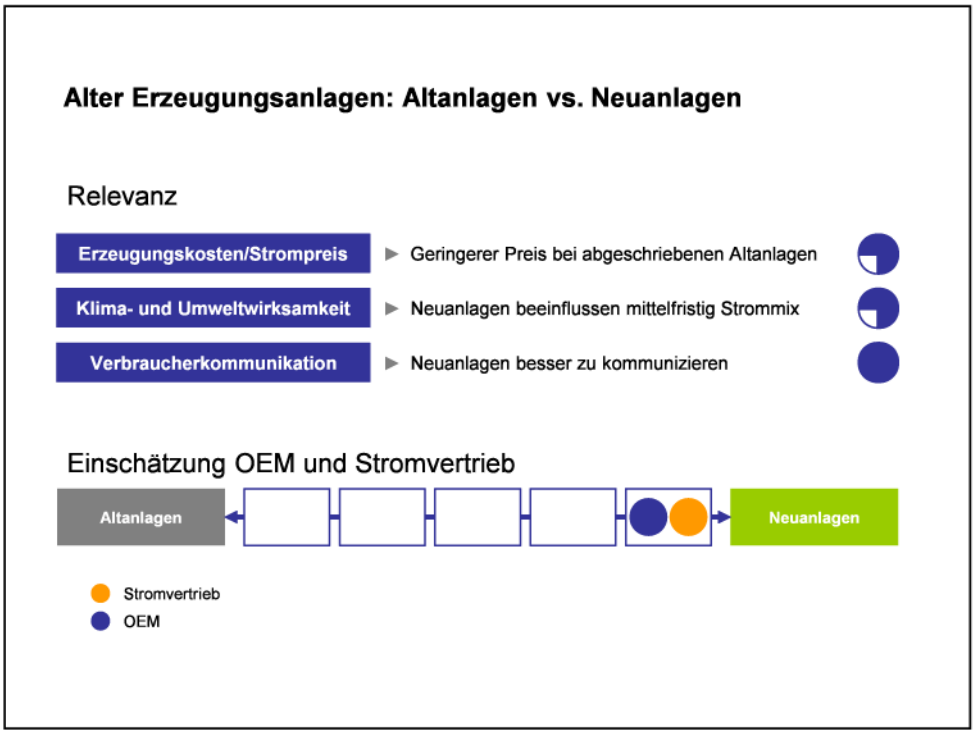


Abbildung 244: Alte Erzeugungsanlagen: Altanlagen vs. Neuanlagen

Einschätzung Stromvertrieb:

- HKN abgeschriebener Altanlagen sind deutlich billiger in der Beschaffung, da diese Anlagen aus der EEG-Vergütung fallen und keine andere Vermarktungsmöglichkeit des Grünstrommehrwerts besteht.
- Für die Zertifizierung eines Grünstromprodukts durch anerkannte Label stellt das Alter der Herkunftsanlagen ein wichtiges Kriterium dar.
- Stromprodukte rein auf Basis von HKN aus Altanlagen stellen ein Paradebeispiel für den Greenwashing-Vorwurf dar, Produkte rein auf Basis von HKN aus Altanlagen sind nicht glaubwürdig.

Einschätzung OEM:

- Strom aus Neuanlagen lässt sich dem Endkunden gegenüber besser vermarkten, deshalb sollte ein möglichst großer Teil der Strommenge aus Neuanlagen (Alter < 6 Jahre) sein.

6.1.1.5.4 Energieeffizienz: Einbezug hocheffizienter KWK-Erzeugung

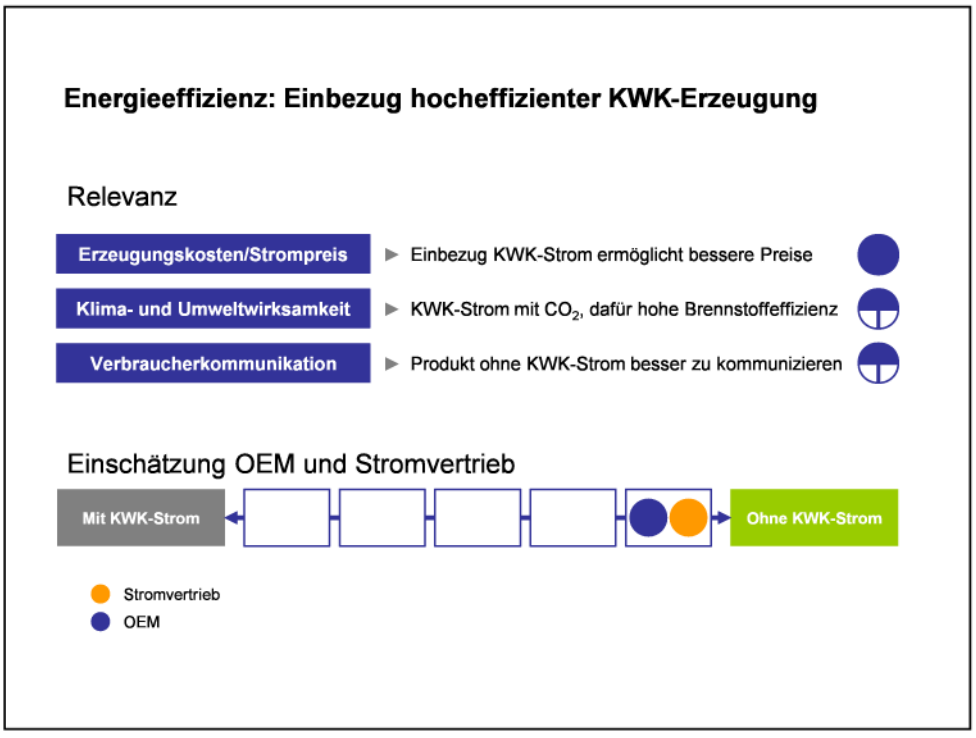


Abbildung 245: Energieeffizienz: Einbezug hocheffizienter KWK-Erzeugung

Einschätzung Stromvertrieb:

- Stromerzeugung mit Kraftwärmekopplung (KWK) zählt zwar zu den effizientesten Formen der Energieumwandlung, da durch die duale Erzeugung von Strom und Wärme ein besonders hoher Brennstoffwirkungsgrad erreicht wird. In der Regel handelt es sich jedoch nicht um eine CO2-neutrale Erzeugung, außer wenn Biomasse/-gasbrennstoffe verwendet werden. Bei neueren Erzeugungsanlagen handelt es sich meistens um hocheffiziente gasbefeuerte Anlagen.
- Auch wenn es sich um eine hocheffiziente neue Technologie handelt, ist fossil erzeugter Strom kundenseitig schwierig zu kommunizieren. Auch wenn KWK-Erzeugung im Vergleich mit anderen fossilen Erzeugungsarten oder Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor einen deutlich geringeren CO2-Ausstoß im Verhältnis zur genutzten Energie aufweist, steht dies dem Kundenwunsch nach einem CO2-minimierten Produkt entgegen (Kundenfokus liegt auf CO2-Effektivität – nicht auf Energieeffizienz im Hinblick auf die Primärenergienutzung).

Einschätzung OEM:

- Da (fossil erzeugter) KWK-Strom dem Kundenziel der CO2-Minimierung entgegensteht, sollte ein entsprechendes Stromprodukt für Elektromobilität keine KWK-Stromanteile enthalten.

6.1.1.5.5 Standortspezifika: Alle EE-Anlagen vs. EEG-fähige Anlagen

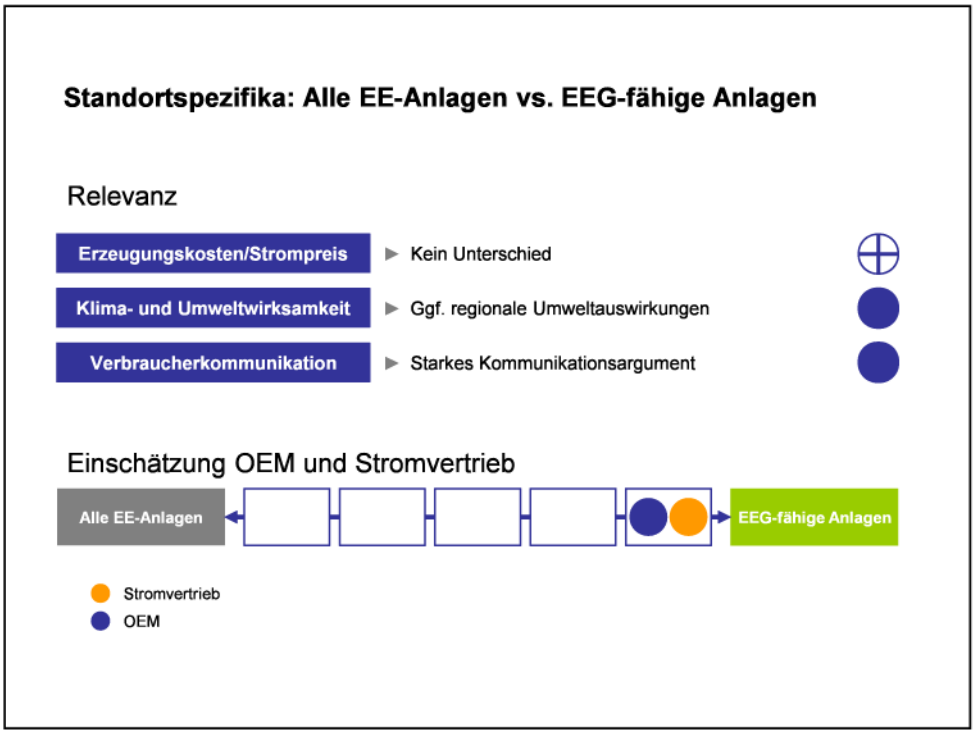


Abbildung 246: Standortspezifika: Alle EE-Anlagen vs. EEG-fähige Anlagen

Einschätzung Stromvertrieb:

- Bei HKN handelt es sich um ein standardisiertes, handelbares Produkt. Zertifikate geben Auskunft über bestimmte Attribute je erzeugter Kilowattstunde Strom, (z.B. Art der Erzeugungsanlage, Land der Erzeugung). Anlagenspezifische Details (z.B. über lokale Umweltauswirkungen, Bürgerakzeptanz) sind jedoch nicht mehr ersichtlich und haben keine Auswirkungen auf den Preis.
- Anlagen, welche für die EEG-Förderung qualifiziert sind oder waren, erfüllen bestimmte qualitative Vergütungsvoraussetzungen, welche zum Zeitpunkt ihrer Genehmigung vom Gesetzgeber als relevant erachtet wurden (z.B. Durchgängigkeit für Fischfauna bei Wasserkraftanlagen, Schall- und Schattenimmissionen von Windkraftanlagen).

Einschätzung OEM:

- Das Kriterium der Bürgerakzeptanz von Energieinfrastruktur gewinnt zunehmend an Bedeutung. Die EEG-Eignung von Anlagen stellt einen adäquaten Filter dar, um die die Einhaltung von Standards zur Vermeidung lokaler ökologischer Negativeffekte zu gewährleisten.

6.1.1.5.6 Bilanzierung: 1 Jahr (HKN) vs. 15 Minuten (Liefervertrag)

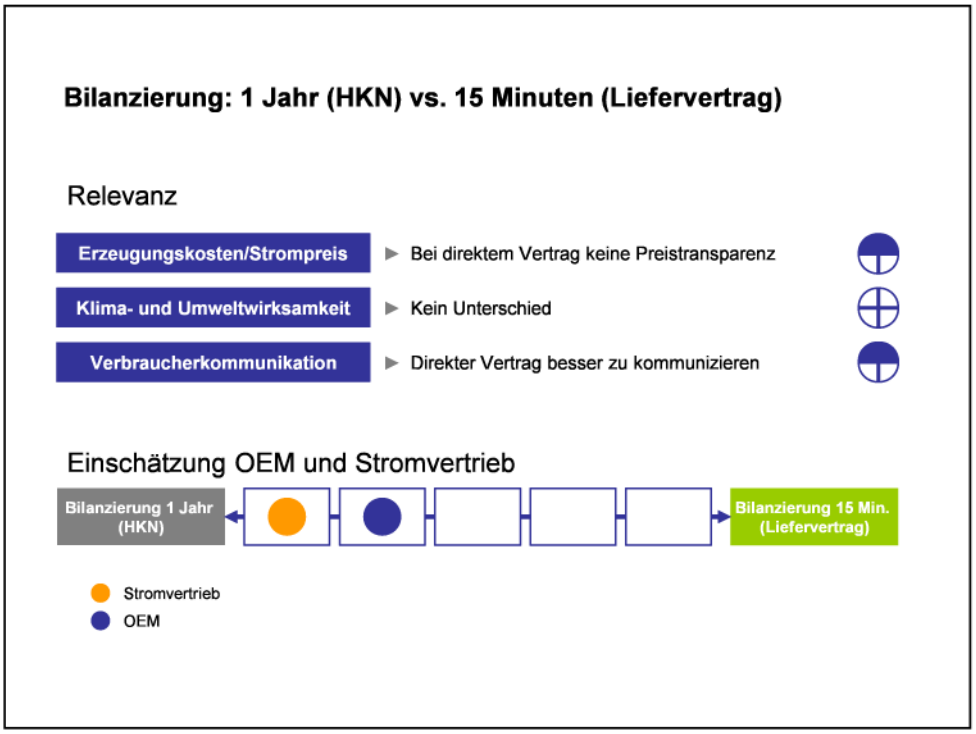


Abbildung 247: Bilanzierung: 1 Jahr (HKN) vs. 15 Minuten (Liefervertrag)

Einschätzung Stromvertrieb:

- Da eine Insellösung in Form eigener Erzeugungsanlagen und einer eigenen Netzinfrastruktur zwar eine theoretische, jedoch keine wirtschaftlich akzeptable Lösung darstellt, gilt es sicherzustellen, dass der ökologische Mehrwert einer regenerativ erzeugten Kilowattstunde Strom innerhalb des Systems nur einmal konsumiert werden kann. Derzeit bestehen zwei unterschiedliche Vorgehensweisen: zum einen das System der Herkunftsnachweise (HKN) zum anderen der Liefervertrag. Bei beiden Vorgehensweisen verkauft der Erzeuger seinen Strom am Markt. Im Falle eines physikalischen Liefervertrages lässt sich der Erzeuger den ökologischen Mehrwert seines Stroms direkt von seinem Abnehmer bezah-

len. Alternativ kann er seinen Ökostrom auch als „Graustrom“ am Markt verkaufen, sich durch die zuständige Institution (in Deutschland das Freiburger Ökoinstitut) einen sogenannten Herkunftsnachweis je erzeugter Kilowattstunde ausstellen lassen und diesen getrennt vermarkten.

- Da die Produktion von Wind, PV- und Laufwasserkraftwerken sich jedoch nicht nach der Nachfrage sondern nach den klimatischen Verhältnissen richtet, besteht kein Unterschied hinsichtlich der Klimawirksamkeit beider Verfahren, auch wenn dies in der öffentlichen Wahrnehmung oft missverstanden wird (Gängige Annahme: Windkraftanlage produziert zum Zeitpunkt X Strom, weil Verbraucher Y ihn nachfragt).
- Der Handel von Herkunftsnachweisen erfolgt in einem liquiden Markt mit Preistransparenz. Die Vergütung des ökologischen Zusatznutzens orientiert sich nach Angebot und Nachfrage. Bei einem physikalischen Liefervertrag ist die Vergütung des Zusatznutzens Verhandlungssache zwischen zwei Partnern. Da der Verweis auf den Liefervertrag für den Bezug aus einer bestimmten Erzeugungsanlage ein – wenn auch irreführendes – Kommunikationsargument darstellt, ist davon auszugehen, dass eine höhere Vergütung als am transparenten HKN-Markt gezahlt und letztendlich auf den Endkunden umgelegt wird.

Einschätzung OEM:

- Ein Stromprodukt auf HKN-Basis ist hinsichtlich der CO2-Wirkung zielführend und ermöglicht gleichzeitig die faire und transparente Bepreisung des Stromprodukts gegenüber dem Endkunden.

6.1.2 AAA (Alternative Verfahren zu Identifikation Authentisierung und Abrechnung)

6.1.2.1 Ausgangssituation

Aus dem Vorprojekt MINI E Berlin 1.0 standen eine geringe Anzahl Ladesäulen, ein Betreibermodell (Ladesäule im Eigentum und Betrieb des DSO, diskriminierungsfreier offener Zugang zur Säule für verschiedene Vertriebe), sowie rudimentäre Säulen- und Kundenverwaltungsprozesse zur Verfügung.

Verschiedene Modelle des diskriminierungsfreien Zugangs zur Ladeinfrastruktur wurde evaluiert. Der diskriminierungsfreie Zugang zur Ladeinfrastruktur ist eine Grundvoraus-

setzung zur Etablierung der Elektromobilität. Da es für Besitzer von Elektrofahrzeugen kaum möglich ist, ausschließlich an Ladestationen des eigenen Energieversorgers zu laden, müssen öffentliche und öffentlich zugängliche Ladestationen von allen Nutzern diskriminierungsfrei nutzbar sein. Das bedeutet, dass dem Nutzer ein Wechsel zwischen Ladesäulen verschiedener Anbieter zu gewährleisten ist. Eine Möglichkeit, dies zu gewährleisten, ist das sogenannte „Frankfurter Modell“. Hierbei werden bestehende Parkscheinautomaten an Parkbuchten und Kassenautomaten in Parkhäusern für die Abrechnung und Freischaltung von Ladesäulen genutzt. Nach diesem Ansatz können Fahrer von Elektrofahrzeugen an Parkscheinautomaten für Parken und Laden zahlen.

Eine weitere Möglichkeit, diskriminierungsfreien Zugang für Endkunden zu gewährleisten, ist das „Roaming-Modell“. Hiermit wird der Zugang zur Ladeinfrastruktur, die sich im Besitz eines Vertriebs befindet, für weitere Vertriebe ermöglicht. Der Säulenbetreiber verkauft seinen Strom und dieser wird anschließend zwischen den Vertrieben abgerechnet. Dadurch erhält der Kunde, auch wenn er an Säulen unterschiedlicher Betreiber geladen hat, nur eine einzige Rechnung von seinem Energieversorgungsunternehmen über alle Ladevorgänge.

Es lassen sich verschiedene Betreibermodelle für Ladeinfrastrukturen unterscheiden. Es kann zwischen exklusivem und offenem Betreibermodell unterschieden werden. Bei der exklusiven Lösung verkauft ein Anbieter exklusiv Strom an der Ladestation. Hier ist der Stromlieferant gleichzeitig Betreiber der Ladestation und Stromanbieter. Bei der offenen Lösung müssen Säulenbetreiber und Energielieferant nicht identisch sein. Die spezifischen Kosten der Betreibermodelle wurden verglichen und das bereits genutzte offene Betreibermodell (Säulen im Eigentum des DSO) wurde aufgrund der niedrigeren Kosten und des höheren Grades der Diskriminierungsfreiheit für das Projekt gewählt. In Workshops unter Beteiligung weiterer EVU aus anderen Modellprojekten bzw. deren IT-Tochtergesellschaften (RegioIT, Aachen) wurden die Ergebnisse validiert.

Die Prozesse der Kunden- und Lieferantenanlage und -verwaltung wurden unbundlingkonform für das Netz- und das Vertriebsabrechnungssystem modelliert und IT-technisch umgesetzt, ebenso die Prozesse zur Übermittlung der Ladedatensätze an die jeweiligen Energievertriebe.

Es gibt verschiedene Methoden zur Authentifizierung des Nutzers. Daimer und RWE haben in Ihrer kommerziellen Lösung „Plug&Charge“ eine Authentifizierung mittels PLC-

Kommunikation entwickelt. Dafür wurde das SCCP (Smart Charge Communication Protokoll) entwickelt, welches ähnlich wie der Standard OCPP (Open Charge Point Protocol) aufgebaut ist. Der Nutzer ist im Bordrechner des Fahrzeugs gespeichert und bei Verbindungsaufbau der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur (Beim Einstecken des Ladekabels „PLUG“) prüft die Ladeinfrastruktur, ob der Nutzer ein gelisteter Kunde ist. Im positiven Fall wird der Ladevorgang in der Ladeinfrastruktur freigegeben („CHARGE“).

Vorteil des Systems ist die hohe Nutzerfreundlichkeit, da der Nutzer lediglich das Kabel einstecken muss. Der Ladevorgang wird dann automatisch aufgenommen. Für diese Lösung ist fahrzeugseitig mehr Intelligenz und Funktionalität erforderlich ggf. dadurch evtl. ein höherer Produktaufwand.

Die meisten Hersteller von Ladeinfrastrukturen sehen derzeit eine RFID-Karte zur Authentifizierung vor. Dabei wird in einer Datenbank des Betreibers der Ladeinfrastruktur der Nutzer gespeichert und die Nummer der RFID-Karte zugeordnet. Wenn der Nutzer sich an der Ladeinfrastruktur mittels RFID-Karte anmeldet, wird die RFID-Kartennummer im Backend in der Datenbank geprüft. Ist der Nutzer registriert, wird der Ladevorgang freigegeben. Da im Gesteuerten Laden die vorhandenen Ladeinfrastrukturen mit RFID-Kartenlesern ausgestattet waren, bot sich die weitere Verwendung dieser Authentifizierungsmethode an. Darüber hinaus wurde jedoch auch die Authentisierungsmethode ohne RFID aber mittels PLC entwickelt, um die oben beschriebene hohe Nutzfreundlichkeit erreichen zu können.

Ein Vorteil der Authentifizierungsvarianten mittels RFID-Karte oder PLC ist, dass auch Nutzer von anderen Vertrieben sich dort anmelden können, vorausgesetzte das Backend ist in der Lage, eine übergeordnete Abrechnung durchzuführen. Vattenfall ist dazu in der Lage.

Auf Basis der Identifikation (Authentifizierung) des jeweiligen Kunden wurden die spezifischen Prozesse des Gesteuerten Ladens für lokales Lastmanagement und Vehicle-2-Grid modelliert und IT-technisch umgesetzt.

Die entwickelten Abrechnungsprozesse gewährleisten zum einen innerhalb des offenen Säulenbetreibermodells die Abrechnung von Kunden fremder Energievertriebe an Vattenfall-Ladesäulen und zum anderen die Abrechnung eigener Kunden, die an Ladesäulen Dritter laden.

6.1.2.2 Diskussion im Roadmap Gremium

Im Rahmen der Roadmap-Diskussion wurden Verfahren des direkten, vertragsfreien Bezahlens an der Ladesäulen diskutiert und hinsichtlich notwendiger Investitionen und variabler (Prozess-)Kosten evaluiert.

Parallel wurden verschiedene Abrechnungsmodelle, die auf unterschiedlichen Bemessungsgrundlagen basieren, dargestellt und bewertet (u.a. verbrauchsabhängige Abrechnung, zeitabhängige Abrechnung, Pauschalabrechnung je Ladevorgang). Hierzu wurden europaweit Beispiele recherchiert und verglichen. Verbrauchsabhängige Abrechnungen im öffentlichen Raum werden aufgrund des hohen Aufwandes für Messung und Abrechnung eher negativ beurteilt. Zeitabhängige Abrechnungen und Pauschalabrechnungen werden als Abrechnungsvarianten (im öffentlichen Raum) favorisiert und als die wahrscheinlichsten Zukunftsoptionen bewertet.
An der Diskussion waren intern das Technik-Team des E-Mobility-Projekts sowie Experten aus Netzservice, Sales und Information Services involviert.

6.1.2.3 Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Verbrauchsabhängige Abrechnungen in Kombination mit Gesteuertem Laden sind für Ladevorgänge im öffentlichen und halböffentlichen Raum als Option weiter zu analysieren. Die Vermarktung von Strom alleinig ist kommerziell nicht attraktiv, da hohe gesetzliche Anforderungen an die Technik gestellt und komplizierte energiewirtschaftliche Prozesse verlangt werden. Die Vetriebsmargen beim Stromverkauf sind niedrig. Die Transaktionskosten bei der vertragsgebundenen Abrechnung können vermutlich durch die Vertriebsmargen nicht kompensiert werden. Weiterhin ist die bei einem Ladevorgang abgegebene Strommenge gering (wenige kWh pro Ladevorgang). Die erweiterteten Funktionalitäten des Gesteuerten Ladens können für weitere kommerzielle Produkte verwendet werden.

Alternativ sollten zeitabhängige oder pauschale Bezahlverfahren mit Direktzahlung überprüft werden (siehe Frankfurter Modell), wobei vorhandene Zahlsysteme im öffentlichen Raum genutzt werden (Parkautomaten) oder Zahlsysteme ohne Hardware-Infrastruktur zum Zuge kommen (Handy-Payment).
Im privaten Raum kann auf eine separate Abrechnung verzichtet werden, wenn die Abrechnung über den Haushaltszähler erfolgt.

6.1.3 Kommunikation (Alternative Verfahren zur Kommunikation zwischen Ladeinfrastruktur, Backend und E-Fahrzeug)

6.1.3.1 Systemübersicht intelligentes Ladesystem

Das im Projekt realisierte Ladesystem für Elektrofahrzeuge kann im Vollausbau wie im Bild schematisiert dargestellt werden:

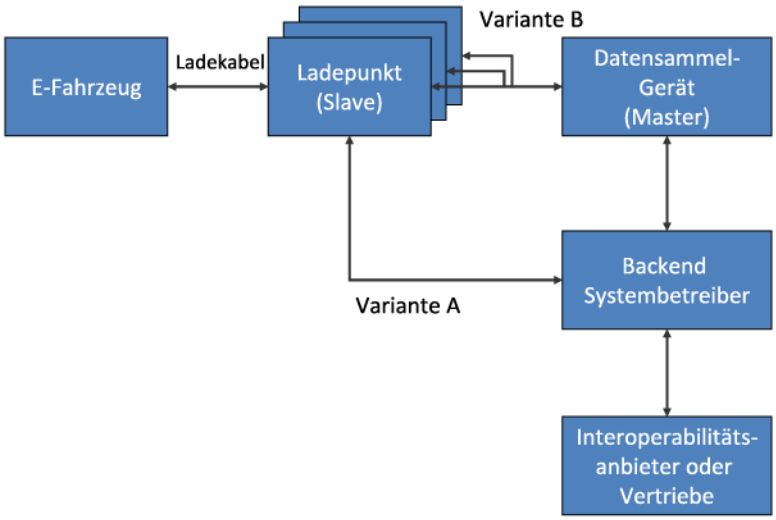


Abbildung 248: Schemtisierte Darstellung des Ladesystems im Vollausbau

Im Rahmen der Roadmap-Aktivität wurde insbesondere die Kommunikation zwischen

1. Fahrzeug und Ladepunkt,
1. Ladepunkt (bzw. Datensammelgerät) und Backend
2. Ladepunkt und Datensammelgerät

betrachtet.

In modernen IKT-Umgebungen findet Datenübertragung meist in Schichten statt. Jede Schicht erfüllt dabei eine spezielle Funktion und es werden spezifische Protokolle zur Übertragung der Daten genutzt. Grob kann nach transport- und anwendungsorientierten Schichten unterteilt werden und die dafür verwendeten Protokolle bzw. Techniken entsprechend zuordnen.

Dementsprechend ist das Dokument nach Kommunikationsbeziehungen und Übertragungsschichten aufgebaut.

6.1.3.2 Stand der Technik zu Projektbeginn

Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladepunkt

Der aktuelle Stand der Technik für die Kommunikation zwischen Ladepunkt und Fahrzeug ist die Nutzung von Mode3 (Siehe Norm IEC 61851) für mit Wechselstrom ladende Fahrzeuge bzw. CHAdeMO (Japanischer Standard) für mit Gleichstrom ladende Fahrzeuge. Fünf der deutschen OEMs sowie Ford und GM favorisieren das "Combined Charging" System für DC-Charging. Dieses basiert auf ISO/IEC15118 mit Homeplug-GreenPHY (PLC-Kommunikationsstandard).

Im analogen Mode3-Ladeverfahren kann die Ladeinfrastruktur den Anschluss eines Fahrzeugs über einen definierten Widerstand und einer Diode im Fahrzeug erkennen (durch Messung des Widerstands) und über die Erzeugung eines pulsweitenmodulierten Signals den maximal zulässigen Ladestrom an das Fahrzeug senden. Das Fahrzeug kann im Gegenzug durch Parallelschaltung eines Widerstands (parallel zu dem oben beschriebenen ersten Widerstand und der Diode) verschiedene Ladebereitschaftsmodus an die Ladeinfrastruktur melden.

Der CHAdeMO-Standard erlaubt eine wesentlich umfangreichere Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur. Im Standard sind analoge und digitale Datenübertragungsmechanismen festgelegt. Die analoge Technik wird aus Gründen der Betriebssicherheit eingesetzt. Teile dieser Technik sind mit Mode3 vergleichbar. Zusätzlich existiert ein digitaler Kanal zur Übertragung von Batterieparametern (Prüfung auf Kompatibilität) und zur Überwachung und Steuerung des Ladevorgangs.

Kommunikation zwischen Ladepunkt und Backend

Aus energiewirtschaftlicher Sicht kann Elektromobilität als eine Smart-Grid-Anwendung betrachtet werden. Unter dieser Perspektive ist der Austausch folgender Daten zwischen Ladepunkt und Backend interessant:

1. Informationen über den Status des Ladepunkts (z.B. In Betrieb, in Benutzung, Störung).
2. Triple-A-Daten zur Kontrolle/Steuerung des Zugangs- und Abrechnungsprozesses mit dem Nutzer.
3. Daten zur Steuerung des Ladevorgangs (z.B. Ladeleistung, Restladedauer/SoC, Anschlusszeiten, Nutzerpräferenzen, Netzrestriktionen).

Der Austausch von Daten für alle drei Kategorien ist etabliert. In den Ladesäulen des Herstellers Mennekes werden Informationen über die Kategorien 1 und 2 ausgetauscht, im Projekt MINI E Berlin 1.0 wurden Techniken gebaut und erfolgreich eingesetzt, um Informationen der Kategorien 1 und 3 auszutauschen.

Transportorientierte Datenkommunikation

Für die transportnahe (Schichten 1-4 des OSI-Schichtenmodells) Datenübertragung wird oft GSM-Kommunikation verwendet, da die Mobilfunknetze in der Regel gut ausgebaut und Installationen ohne Abstimmung mit Netzbetreibern sofort möglich sind. Die Datenübertragung findet typischerweise unter Nutzung von paketorientierten 2G- oder 2.5G-Techniken statt, also per GPRS oder EDGE. UMTS oder HSPA eignen sich aufgrund der ungünstigen Frequenzbandeigenschaften (kein 2GHz-Netzempfang im Keller) weniger gut, werden aber aufgrund der niedrigen Datenratenanforderungen auch nicht benötigt. Zur Sicherung der Kommunikation werden Verschlüsselungstechniken als weitere Schicht auf die GSM-Übertragungsschicht aufgesetzt (beispielsweise VPN).

Die GSM-Kommunikationsschicht könnte ohne Weiteres gegen andere Übertragungstechniken wie Festnetzverbindungen (V.92, ISDN, ADSL) oder Breitbandkabel getauscht werden. Einige dieser technischen Alternativen kommen bei Energieversorgern zur Netzsteuerung zum Einsatz oder sie werden in anderen Industrien wie z.B. bei EC-Karten-Zahlungsdienstleistern genutzt.

Anwendungsorientierte Datenkommunikation

Als anwendungsnahe Datenübertragungsprotokolle hatten sich zu Projektbeginn die Standards IEC 60870-5-104 (zur Steuerung von Fernwirksystemen) und kürzlich das Open Charge Point Protocol (OCPP, zur Steuerung von Ladepunkten) etabliert. Daneben existieren herstellerspezifische Protokolle, die meist keine Kompatibilität zwischen den Produkten gewährleisten. Bereits 2009 wurde die ISO/IEC15118 zur Standardisierung der Ladekommunikation gestartet. Heute liegen committee drafts für alle 3 Dokumente der ISO/IEC15118 vor. Die ursprünglichen Use-Cases "Billing" und "Load levelling" wurden um "DC charging control" erweitert.

Kommunikation zwischen Ladepunkt und Datensammelgerät

Master-Satelliten-Konfigurationen werden eingesetzt, um die Systemkosten der Datenübertragung zum Backend zu senken. Dabei aggregiert ein Datensammelgerät (Master) die Daten mehrerer Ladepunkte (Satelliten) und überträgt diese zum Backend.

Zu Projektbeginn war diese Idee in der technischen Umsetzung der analysierten Hersteller nur wenig ausgeprägt.

6.1.3.3 Diskussion im Roadmap-Gremium

6.1.3.3.1 Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur

Mode3-Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur

In modernen AC-Ladesystemen wird das Mode3-Ladeverfahren eingesetzt, um technische Informationen zwischen Ladeeinheit und Fahrzeug auszutauschen. Die Kommunikationsmöglichkeiten sind dabei begrenzt: Das Ladesystem kann lediglich den korrekten Anschluss eines Elektrofahrzeugs (und dessen verschiedene Anschlussstatus) erkennen, die maximale Belastbarkeit des Kabels dekodieren und den aktuell von der Ladeinfrastruktur zugelassenen Maximalladestrom übermitteln. Das Fahrzeug darf diesen Strom nicht überschreiten.

Dazu bringt das Ladesystem ein PWM-Signal (welches dem zulässigen Maximalladestrom entspricht) auf eine dedizierte Leitung im Ladekabel auf, welches mittels Pulldown-Widerständen auf der Fahrzeugseite in seiner Amplitude manipuliert werden kann (damit werden die Anschlussstatus an die Ladeinfrastruktur in der Art übermittelt, dass die Spannung des PWM-Signals auf definierte Werte über die Pulldown-Widerstände herabgesetzt wird). Außerdem wird ein Widerstand im Kabelstecker ausgelesen (Dekodierung der maximalen Strombelastbarkeit des Kabels über definierte Widerstandswerte). Darüber hinaus gehende Kommunikation ist im Mode3-Verfahren nicht vorgesehen. Insbesondere fehlen folgende Möglichkeiten:

- Übertragung von Daten zur Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung
- Übertragung von Ladestatus (z.B. SoC der Batterie)
- Anzahl der zu nutzenden Außenleiter
- Austausch von nutzergenerierten Ladeprioritätsregeln
- Verhandlung von Ladekurven

- Steuerung eines externen DC Laders

Einsatz von PLC-Kommunikation

Zur Übertragung der vorgenannten Daten wird PLC eingesetzt. In den Projekten EMKEP (mit Daimler) und Gesteuertes Laden 2.0 (mit BMW) werden die technischen PLC-Standards Homeplug Turbo 1.0 und Homeplug AV genutzt. Diese Techniken sind in der Heimvernetzung etabliert und lizenzfrei nutzbar. Beide Techniken stellen grundsätzlich ausreichende Datenraten zur Verfügung. Die im ISO/IEC15118 referenzierte PLC-Technologie ist Homeplug GreenPHY. Diese ist mit HomeplugAV interoperabel, bietet aber deutliche Kostenvorteile. Wie bei allen PLC-Techniken wird das Nutz-Signal auf ein stromführendes Kabel moduliert. Im Unterschied zu Techniken zur Stadtteilvernetzung erlauben die Frequenzbereiche die Datenübertragung nur auf Kabellängen von maximal 300m (im selten eintretenden Idealfall).

Eigenschaften von PLC-Kommunikation mit dem E-Fahrzeug

Das PLC-Signal breitet sich prinzipbedingt im gesamten zusammenhängenden lokalen Stromnetz aus. Zudem kann das Signal auch ohne explizite Koppler auf andere Leiter (L1, L2, L3, N, PE) desselben Kabels übertragen werden. Versuche zeigten, dass das PLC-Signal auch Luftspalte zwischen zwei nichtisolierten Leitern überspringen kann, wie sie beispielsweise in Relais oder Schützen vorkommen. Grund ist die bei Stromleitern nicht vorgesehene elektromagnetische Schirmung, die Kabeln Antenneneigenschaften verleiht.

Die genannten Eigenschaften können für technische Zwecke genutzt werden, können aber auch negative Einflüsse auf technische Systeme haben. Die folgenden Schwierigkeiten müssen überwunden werden:

1. Zuordnungsproblem

In Installationen mit mehr als einem Ladepunkt pro Standort (angeschlossen an das selbe lokale Stromnetz) entsteht ein Zuordnungsproblem. Werden mehrere Fahrzeuge gleichzeitig angeschlossen und bauen eine PLC-Verbindung auf, kann das Fahrzeug dem Ladepunkt ohne weitere Hilfmittel nicht eindeutig zugeordnet werden. Beide PLC-Modems der Ladegeräte „sehen“ die PLC-Signale beider Fahrzeuge und können den Ursprungsort der Signalquelle nicht lokalisieren, da beide PLC-Signale auf den selben Stromkabeln übertragen werden. Problematisch ist dies dann, wenn die Zuordnung rele-

vant ist. Das ist beispielsweise der Fall, wenn der Strom separat gezählt und abgerechnet wird oder wenn die Informationen der Ladegeräte für weitere betriebliche Zwecke mitgenutzt werden sollen. Man denke auch an Parkgaragen mit voneinander wirtschaftlich unabhängigen Parteien.

Im Regelbetrieb kann dieses Problem durch Führen einer Session-ID und einer zeitlich gestuften Anmeldung mit einem weiteren Identifikationsmittel gelöst werden. Dabei kann etwa ein Zentralelement (z.B. Masterladegerät) einen Token ausgeben, den das Lokalelement nach erfolgreich aufgebauter Session für weitere Nutzer an den Master zurückgibt.

Im Fehlerfall (länger anhaltender Stromausfall) ist die Lösung schwieriger, da die Fahrzeug-Ladegerät-Zuordnung sich geändert haben und die Session-Liste ungültig geworden sein könnte. Nutzer müssten sich dann neu anmelden, um Ladevorgänge fortzusetzen. Das kollidiert jedoch mit wesentlichen Nutzeranforderungen, wie dem unbeaufsichtigten, automatischen Ladevorgang.

Grundsätzliche Probleme entstehen in Mischaufbauten aus eigenständigen Mode3-Ladern und PLC-fähigen Ladern, da hier nicht alle Einheiten in der Session-Liste geführt werden.

Neben der Session-Liste können Lösungen sein:

- Zuordnung von Fahrzeug und Ladepunkt durch Messung der Signallaufzeit oder der Signalstärke zwischen den PLC-Modems. Die Messung der Signalstärke wird in der ISO/IEC15118 zur Lösung des Problems aufgeführt. Der zugehörige Mechanismus nennt sich SLAC.
- Einbau von EM-Filtern, durch die das PLC-Signal sich nicht über den Lader hinaus ausbreiten kann.

2. Störeinflüsse

PLC kann durch elektromagnetische Störeinflüsse eingeschränkt werden. Diese Einschränkung kann sich in unzuverlässigen Signalaufbauen, hohen Fehlerraten (=niedrigen Datenraten) oder Signalabbrüchen äußern. Die Störeinflüsse können aus dem Verteilnetz eingebracht werden, von anderen PLC-Modems im selben Lokalnetz stammen oder durch Steckerkorrosion (=Dämpfung) hervorgerufen werden. Störeinflüsse (außer der Dämpfung) können durch entsprechende Filter beseitigt werden.

Zu beachten ist auch, dass mit der Anzahl der PLC-Einheiten im System die Datenrate und ggf. die Signalqualität sinken kann. Dieser Effekt ist in WIFI-Installationen üblich, kann aber auch in Bluetooth-Netzen beobachtet werden. Für den Anwendungsfall E-Fahrzeug sind mindestens N+1 PLC-Geräte zu planen (N=Anzahl der Fahrzeuge), wobei die Fahrzeuge mit PLC-Modems ausgestattet sein müssen. Somit wäre in dieser Konfiguration lediglich ein PLC-Modem in der Ladeinfrastruktur für den jeweiligen Standort installiert und nicht an jedem Ladepunkt.

Typisch könnten jedoch auch N*2-Lösungen sein, in der in jedem Ladepunkt ein eigenes PLC-Modem installiert und in jedem Fahrzeug ein korrelierendes PLC-Modem vorhanden ist.

Der schlechteste zu planende Betriebsfall ist somit eine Großinstallation mit vielen intelligenten Fahrzeugen, unterschiedlichen PLC-Techniken (Homeplug Turbo 1.0, AV, Green PHY), teilweise Korrosion der Steckverbindungen und nur zeitweise auftretenden EM-Störungen aus dem Verteilnetz.

3. PLC führende Leitung ist stromlos

Einige PLC-Modem arbeiten nicht, wenn der Leiter im stromlosen Zustand (Schütz getrennt) ist, andere schon. Dieser Umstand muss bei der Auswahl der Geräte beachtet werden. Die im ISO/IEC15118 Standard referenzierte Technologie Homeplug GreenPHY arbeitet prinzipiell auf AC, DC oder stromlosen Leitungen. In ISO/IEC 15118 wird das PLC Signal über die Leitungen Control Pilot und PE übertragen.

Weitere Technologien

Weitere mögliche Technologien können drahtlos oder drahtgebunden sein. Drahtgebundene Kommunikation betrachtet CAN oder Eindrahtkommunikation. Drahtlose Kommunikation beschränkt sich in diesem Kontext auf Technologien der Datenübertragung für kurze Distanzen wie Wi-Fi, ZigBee und Bluetooth, da im Allgemeinen davon ausgegangen wird, dass das Fahrzeug nah an der Ladeinfrastruktur angeschlossen wird.

Eine drahtlose Kommunikation wurde in diesem Projekt nicht betrachtet, da in enger Abstimmung mit dem OEM für eine dedizierte Kommunikation nach ISO 15118 nur PLC betrachtet wurde. Ebenso wurde auf eine drahtlose Kommunikation wie etwa ZigBee zwischen einzelnen Ladepunkten auf Grund zusätzlicher Kosten und einem geringeren

Grad an Zuverlässlichkeit und Sicherheit nicht weiter betrachtet. Im Projekt wurde Ethernet für die Kommunikation zwischen Master und den Satelliten verwendet.

6.1.3.3.2 Kommunikation zwischen Ladepunkt und Backend

Transportorientierte Datenkommunikation

Zu unterscheiden sind Einzeltechniken und Kombinationen aus Techniken. Einzeltechniken haben den Vorteil, dass sie kostengünstig ohne Umsetzerelement genutzt werden können. Kombinationen aus Techniken können ihre Stärken kombinieren und spezifische Schwächen ausgleichen.

Die Techniken sollen nach folgenden Bewertungskriterien beurteilt werden:

- Leistungsfähigkeit (Datenrate, Fehlertoleranz, Latenz)
- Kosten (Hardwarekosten, Installationsleistung, Betriebsleistung)
- Verfügbarkeit (ist die Technik an einem speziellem Ort zuverlässig nutzbar)
- Installationsgeschwindigkeit (wie lange braucht der Technikanbieter, um die Technik am Installationsort in Betrieb zu nehmen)
- Ausfallsicherheit (wie verfügbar ist die Technik im Regelbetrieb, sind Ausfälle der Technik lokal begrenzt oder betreffen sie das Gesamtsystem)
- Datensicherheit (kann die Datenübertragung durch gezielte Fremdeinwirkung gestört werden)

Die Situation bei den singulären Techniken ist wie folgt:

Technik	Leistungsfähigkeit	Kosten	Verfügbarkeit	Installationsgeschwindigkeit
GPRS, EDGE	Typisch 50-200 kBit/s, ausreichende Antwortzeiten	Geräte: ab 50 EUR/Gerät + Antenne Installation: Keine Betrieb: ab 1EUR/Monat, typisch 5-8 EUR/Monat	Hoch in Städten und auf dem Land, aber nur mittel in Gebäuden und niedrig in Tiefgaragen. Aber: In Deutschland exisitieren 4 unabhängige Netze mit unterschiedlichen lokalen Schwerpunkten. Empfangsstärke kann sich aber durch Netzoptimierungen des Anbieters im Zeitverlauf ändern.	Sofort verfügbar
UMTS, HSPA	Typisch 370 - 8000 kBit/s, gute Antwortzeiten	Geräte: ab 50 EUR/Gerät + Antenne Installation: Keine Betrieb: ab 1EUR/Monat, typisch 5-8 EUR/Monat	Hoch in Städten und niedrig auf dem Land, eher niedrig in Gebäuden und in Tiefgaragen. Aber: In Deutschland exisitieren 4 unabhängige Netze mit unterschiedlichen lokalen Schwerpunkten. Empfangsstärke kann sich aber durch Netzoptimierungen des Anbieters im Zeitverlauf ändern. Meist automatischer Rückfall auf GPRS/EDGE möglich.	Sofort verfügbar
LTE	Noch wenig Erfahrungen, über 1000 Kbit/s	Geräte: Unbekannt / zu neu Installation: Keine Betrieb: unbekannt, eher höher	Aktuell niedrig, da in Aufbauphase. Durch verwendeten Frequenzbereich im Endausbau eher wie GPRS/EDGE zu erwarten.	Sofort verfügbar
ISDN	64 kBit/s, sehr gute Antwortzeiten	Geräte: ab 50 EUR/Gerät Installation: Je nach Anbieter Betrieb: ab 15 EUR/Monat	Sehr hohe deutschlandweite Verfügbarkeit, insbesondere in Wohngebäuden.	Je nach Anbieter 2-6 Wochen
ADSL/VDSL	1000 - 50000 kBit/s, sehr gute Antwortzeiten	Geräte: ab 50 EUR/Gerät Installation: Je nach Anbieter Betrieb: ab 15 EUR/Monat	Hohe deutschlandweite Verfügbarkeit, insbesondere in Wohngebäuden.	Je nach Anbieter 2-6 Wochen
TV-Breitbandkabel	1000 - 50000 kBit/s, sehr gute Antwortzeiten	Geräte: ab 50 EUR/Gerät Installation: unbekannt Betrieb: unbekannt	Keine Flächendeckung in Deutschland, begrenzte Flächendeckung in Städten, zersplitterter Anbietermarkt.	Je nach Anbieter 2-6 Wochen
Breitband PLC	10-200000 kBit/s, sehr gute Antwortzeiten	Geräte: Homeplug GreenPHY 20€, Av 50€ Installation: unbekannt Betrieb:unbekannt	PLC-Produkte sind von vielen Anbietern verfügbar, Ladesäulen mit PLC werden in 2012 ausgerollt	Je nach Anbieter 2-6 Wochen

Tabelle 66: Situation der singulären Techniken

Anwendungsorientierte Datenkommunikation

Es kommen Ladegeräte verschiedener Hersteller zum Einsatz, die über eine gemeinsame Anwendung überwacht und gesteuert werden sollen. Um den Aufwand für die Schnittstellenprogrammierung niedrig zu halten, ist die Vereinbarung eines einheitlichen anwendungsorientierten Schnittstellenprotokolls sinnvoll. Damit können dann alle künftigen Ladesäulentypen auf die gleiche Weise angesprochen werden, egal von welchem Hersteller und wo sie installiert sind.

Eine XML-RPC Schnittstelle als Realisierung des offenen Standards OCPP diente zur Anbindung des Master-Satelliten-Systems an das Backend. Dabei wurden die Daten über eine GSM-Verbindung in einem privaten APN von T-Mobile übertragen. Die Ladepunkte eines Master-Satelliten-Systems waren über Ethernet oder PLC miteinander verbunden. Ein Ladepunkt kommunizierte dabei normkonform (ISO15118) mit einem Elektrofahrzeug über PLC miteinander. Zusätzlich wurde die PLC-Kommunikation verwendet, um bidirektional Payload-Daten zwischen den Fahrzeugen über das zentrale Backend mit dem BMW-Backend auszutauschen. Alternativ, wurden diese Daten ohne PLC über eine GSM-Verbindung direkt mit dem BMW-Backend ausgetauscht,. Das Vattenfall-

Backend hat mit dem BMW-Backend über eine VPN-Verbindung kommuniziert. Die Applikationen zu W2V und V2G waren ebenfalls über eine VPN-Verbindung angebunden.

Insgesamt wurden drei Arten von Schnittstellen zur Abbildung der Systemlandschaft verwendet:

- ISO15118 basierte Schnittstelle (PLC)
- XML-RPC-Schnittstelle via GSM
- Webservice-Schnittstelle

Die Kommunikation zu externen Applikationen wurde durch einen VPN-Tunnel realisiert.

Regulatorische Erwägungen

Gegen Ende des Projekts wurden Bestrebungen des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik bekannt, die Datenkommunikation zwischen Backend und intelligenten Zählern bzw. intelligenten Anwendungen zu regeln. Dies geschieht im Rahmen der Ausgestaltung des SmartMeter-Schutzprofils. Ziel ist, nicht nur die Datenintegrität zu gewährleisten, sondern auch ein hohes Schutzniveau vor Hackerangriffen auf die Energieinfrastruktur sicherzustellen.

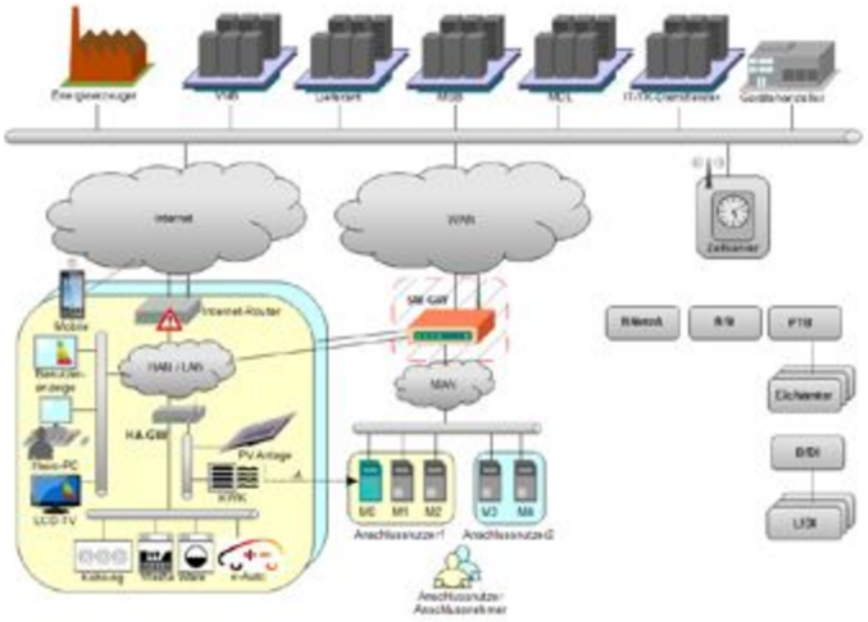


Abbildung 249 Systemarchitektur im Rahmen des BSI-SmartMeter-Schutzprofils119

119 Quelle: BDEW, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik

Leider konnten diese Einflüsse nicht mehr detailliert analysiert und bewertet werden. Eine erste Analyse zeigt aber, dass die Datenkommunikation mit dem Backend über die zu schaffende Infrastruktur erfolgen muss. Dadurch findet eine de-facto-Standardisierung des Datenkanals statt, der durchaus positiv bewertet werden kann.

Kritisch zu sehen ist jedoch der Umstand, dass die Kosten der Implementierung auf die schon hohen Kosten der Ladeinfrastruktur aufgeschlagen werden müssen. Dies könnte sich als kommerzielle Barriere für die Umsetzung intelligenter Ladeinfrastruktur erweisen.

Außerdem werden lt. Schaubild andere Wege der Datenübertragung (Steuerung des Ladevorgangs durch ein mit dem Fahrzeug kommunizierenden internetfähigen Endgerät) nicht erfasst. Dies würde auf eine Bevorzugung der Automobil- und Zubehörbrache - zulasten der Energieversorger - hinauslaufen und den Schutzzweck durchbrechen.

6.1.3.3.3 Kommunikation zwischen Ladepunkt und Datensammelgerät

In Master-Satelliten-Konfigurationen übernimmt der Master die Funktion des Datensammelgeräts und vermittelt den Informationsaustausch zwischen Ladepunkten und Backend. Bei bestimmten baulichen Gegebenheiten kann das Datensammelgerät auch separiert werden und Daten zwischen Backend und Master bzw. zwischen Backend und Stand-alone-Geräten vermitteln. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn am Installationsort des Masters bzw. am Installationsort des Stand-alone-Geräts kein Mobilfunkempfang oder kein anderer singulärer Datenkanal zur Verfügung steht.

In diesem Fall würden Fernübertragungstechniken wie z.B. GSM mit einer Nahübertragungstechnik kombiniert werden, um die Schwächen von Fernübertragungstechniken in Gebäuden auszugleichen. Diese Technik ist seit langem im Einsatz, beispielsweise in DSL- oder GSM-Routern. Bei kommerziellen Produkten wird als Nahübertragungstechnik Ethernet, WLAN oder Homeplug (PLC) eingesetzt. Möglich ist auch die Nutzung anderer Nahübertragungstechniken, die in den lizenzfreien Bändern ISM (Industrial Scientific Medical) oder SRD (Short Range Devices) arbeiten.

Im Rahmen der MINI-E-Projekte wurde eine Technik entwickelt, die GSM-Daten per SRD-Band 868MHz an eine weitere Station weiterleitet, die sie wiederum ins GSM-Netz einspeist. Das 868-Band hat sich nach ersten Tests als geeignet erwiesen.

Als wenig geeignet hat sich die PLC-Technik erwiesen. Hierbei wurde ein Netzwerk bestehend aus Fahrzeugmodems, Ladepunkt-Modems (Satellit) und einem ggf. abgesetzten Ladepunktmaster gebildet. In einem gemeinsamen Netz nimmt vor allem das Fahrzeuglokalisierungsproblem zu. Ein Fahrzeug lässt sich nicht mehr zweifelsfrei einer Ladeinfrastruktur zuordnen. Die Ethernet-Technik weist all diese Problematiken nicht auf. Daher ist eine Ethernet-Verbindung zwischen Elektrofahrzeug und Ladepunkt bei Abschottung der PLC-Netze zwischen den Ladepunkten zu empfehlen.

6.1.3.4 Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladepunkt

Nach dem uns bekannten Stand der Technik ist nicht im ausreichenden Maße nachgewiesen worden, dass die Kombination aus heutigem Mode3-Ladeverfahren und PLC-Technik betrieblich hinreichend stabil arbeitet (um z.B. eine sichere Zuordnung von Fahrzeugen zu Ladepunkten in allen Betriebszuständen zu gewährleisten). Hinzukommen muss entweder eine Abschottung der Ladepunkte durch EM-Filter, die eine Ausbreitung des PLC-Signals im lokalen Netz verhindern oder die jederzeitige Zurverfügungstellung von dritten Authentifikationsmitteln, wie z.B. RFID-Karten.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Variante mit den EM-Filtern wenig attraktiv. Bei ersten Tests konnte das PLC-Signal selbst dann nicht zuverlässig ausgefiltert werden, wenn zwei Filter pro Ladepunkt (=vier Filter pro Quelle-Ziel-Verbindung) eingebaut wurden. Hinzu kommt, dass die Filter mit steigender Leistungsklasse (3 Netzphasen, höhere Ströme) teurer werden.

Zusammenfassung

In den Projekten wurden erste Erfahrungen mit PLC-Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladepunkt gesammelt. Es konnte gezeigt werden, dass diese Schnittstellentechnik grundsätzlich funktioniert. Allerdings gibt es mit privaten Mehrfachinstallationen und Flotten zwei Anwendungsfälle, in denen die Technik an ihre Grenzen stößt. Technisch und prozessual kann es durchaus Möglichkeiten geben, diese Grenzen so zu verschieben, dass die Anwendungsfälle umsetzbar sind. Dadurch, dass die Technik noch am Anfang der Entwicklung steht und noch kein großer Roll-out stattgefunden hat, sollten die möglichen Techniken aber nebeneinandergestellt und unvoreingenommen auch nach Kosten-Performance- und Betriebssicherheitskriterien bewertet und getestet werden. In der

ISO/IEC15118 wurde die PLC-Technologie Homeplug GreenPHY als mögliche Lösung aufgeführt.

Es ist naheliegend, die bestehende Eindrahtverbindung zwischen Fahrzeug und Infrastruktur zu erweitern. Das kann realisiert werden, indem über das Ladekabel neben dem PWM-Signal ein weiterer Datenkanal eröffnet wird. Diese Kommunikation kann auf den Leiter begrenzt und Übersprechen kann durch geschickte Wahl des Frequenzbereichs oder durch technische Maßnahmen im Kabel verhindert werden.

Kommunikation zwischen Ladepunkt und Backend

Wird die Elektromobilität als energiewirtschaftliche Smart-Grid-Anwendung betrachtet, sind Daten über den Ladepunkt-Status, Informationen über den Zugangs- und Abrechnungsprozess (Triple-A) sowie Daten zur Steuerung des Ladevorgangs relevant. Ladesäulen des Herstellers Mennekes übermitteln bereits den Status des Ladepunktes sowie Triple-A-Daten. Die Kombination aus Ladepunkt-Status und Daten zur Steuerung des Ladevorgangs kamen im Projekt MINI E Berlin 1.0 erfolgreich zum Einsatz.

Für die transportorientierte Datenkommunikation stehen unterschiedliche Techniken zur Verfügung. Diese können aus Kostengründen singulär sowie gebündelt eingesetzt werden, um ggf. Stärken zu kombinieren bzw. Schwächen einzelner Techniken auszugleichen. Als Techniken stehen grundsätzlich folgende Optionen zur Auswahl: GPRS/EDGE, UMTS/HSPA, LTE, ISDN, ADSL/VDSL, TV-Breitbandkabel, Breitband-PLC. Diese Techniken wurden anhand verschiedener Beurteilungskriterien bewertet. Dabei wurde die Leistungsfähigkeit der Technik, deren Kosten, die aktuelle Verfügbarkeit, die Installationsgeschwindigkeit sowie die Ausfall- und Datensicherheit betrachtet.

Neben der Wahl der Übermittlungstechnik, ist zudem ist eine Verschlüsselungstechnik für die Datensicherheit zu wählen. In dem Zusammenhang wurden während des Projektes Bestrebungen des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik bekannt, die Datenkommunikation zwischen Backend und intelligenten Zählern im Rahmen des SmartMeter-Schutzprofils regeln. Ziel ist neben der Datenintegrität der Schutz vor Hackerangriffen auf die Energieinfrastruktur. Auch wenn grundsätzlich eine Standardisierung des Datenkanals zu begrüßen ist, sind die zusätzlichen Kosten für die Ladeinfrastruktur als Entwicklungshemmnis zu sehen.

Die Ladepunkte waren schließlich im Rahmen eines Master-Satelliten-Systems über Ethernet oder PLC miteinander verbunden. Die PLC-Kommunikation wurde außerdem verwendet, um bidirektional Payload-Daten zwischen den Fahrzeugen über das zentrale Backend mit dem BMW-Backend auszutauschen. Als Alternative wurde eine GSM-Verbindung zur direkten Kommunikation mit dem BMW-Backend eingesetzt. Für die Datensicherheit wurde eine VPN-Verbindung eingesetzt, über die auch die Applikationen W2V und V2G angebunden waren.

Besondere Aufmerksamkeit erhielt unterschiedliche Hersteller im Rahmen der anwendungsorientierten Datenkommunikation der Anbindung von Ladeinfrastruktur. Um mit bestehenden und zukünftigen Ladestationstypen auf gleiche Weise kommunizieren zu können, wurde das Open Charge Point Protocol mit einer XML-RPC-Schnittstelle verwendet und wird zukünftig den ISO/IEC15118 Standard berücksichtigen.

Kommunikation zwischen Ladepunkt und Datensammelgerät

Um die Systemkosten zu senken, kam ein Master-Satelliten-Konzept zum Einsatz. Der Master fungiert als Datensammelgerät und aggregiert die Daten verschiedener Ladepunkte (Satelliten). Eine Übertragung der aggregierten Daten erfolgt ebenfalls durch den Master. Bei bestimmten baulichen Gegebenheiten kann allerdings auch eine Trennung des Datensammelgeräts vom Master sinnvoll sein. Steht am Installationsort des Masters beispielsweise kein Mobilfunkempfang oder kein anderer Datenkanal zur Verfügung, kann das Datensammelgerät getrennt aufgestellt werden. Das Datensammelgerät kann wiederum mit dem Master über eine Nahübertragungstechnik die aggregierten Daten austauschen.

Im Rahmen des MINI-E-Projektes wurde eine Technik entwickelt, die die GSM-Daten über ein SRD-Band an eine weitere Station weiterleitet, die die Daten wiederum in das GSM-Netz zur Fernübermittlung einspeist. Diese Technik hat sich im Projekt als geeignet erwiesen.

Als weniger geeignet stellte sich dagegen die PLC-Technik heraus. Hier würde ein Netzwerk aus Fahrzeug-PLC-Modems, Ladepunkt-PLC-Modems (Satelliten) und ggf. getrenntem LadepunktMaster gebildet. In einem gemeinsamen Netz besteht bei der PLC-Technik das Problem der Fahrzeuglokalisation. So können einzelne Fahrzeuge nicht zweifelsfrei einem Ladepunkt zugeordnet werden. Da eine Ethernet-Technik diese

Schwächen nicht aufweist, ist eine solche Verbindung zwischen Fahrzeug und Ladepunkt zu empfehlen.

6.1.4 Energie und Laden (Alternative Ladetechniken)

6.1.4.1 Ausgangssituation

Es existieren verschiedene Übertragungswege der elektrischen Energie vom Stromanschluss zum Fahrzeug. Es kann zwischen konduktiver und induktiver Ladung, sowie zwischen AC- und DC-Charging unterschieden werden. Konduktives Laden bezeichnet das kabelgebundene Laden. Induktives Laden ist hingegen eine Form der kabellosen Energieübertragung. Die Ladung erfolgt durch Stromübertragung in einem elektromagnetischen Feld auf Wechselstrombasis. Das Laden auf Wechselstrombasis wird als AC-Charging bezeichnet und das Laden auf Gleichstrombasis als DC-Charging. Mit Hilfe von DC-Charging können Ladeleistungen von bis zu 50 kW erreicht und somit die Ladezeit stark reduziert werden.

Zu Projektstart wurden die verschiedenen Lademöglichkeiten miteinander verglichen und das weitere Vorgehen beschlossen.

Induktives Laden wäre eine für den Nutzer attraktive Lösung gewesen (anwenderfreundlich aufgrund wegfallender Kabelverbindungen), leider waren zu Projektbeginn keine Systeme verfügbar, die im EV und in der LI nutzbar gewesen wären. Daher wurde für das Projekt auf verfügbare und quasi standardisierte Kabelverbindungen gesetzt.

DC-Charging wurde ebenfalls bewertet. Es ist davon auszugehen, dass Nutzer des DC-Chargings möglichst sofort bei Ankunft mit dem schnellen Laden starten wollen, um ihre Fahrt fortsetzen zu können. Demzufolge ist DC-Charging eine Methode, die eher nicht mit den zeitlichen Anforderungen des Gesteuerten Ladens von Elektrofahrzeugen vereinbar ist. Ggf. vorgeschaltete Batteriepuffer könnten jedoch gesteuert geladen werden. Im Zusammenhang mit dem lokalen Lastmanagement ist es jedoch sehr interessant, DC-Charging näher zu betrachten. DC-Charging-Stationen verlangen eine hohe Netzanschlussleistung, benötigen diese Kapazität jedoch nur für ca. 15-20 Min pro Ladevorgang. Deshalb könnten DC-Charging-Stationen mit Batteriepuffern ausgerüstet und an in Ihrer Leistung begrenzten Netzanschlüssen betrieben werden. Die Batteriepuffer könnten während der Ladepausen relativ langsam aufgeladen und beim Ladevorgang

schnell - zusätzlich zur Entnahme von Energie aus dem Netz - entladen werden. Somit steht in der Summe hinreichend Energie für den Schnellladevorgang zur Verfügung.

Weder induktives Laden noch DC-Charging wurden im Projekt umgesetzt. Jedoch wäre es technisch möglich beide Systeme in Teilen der Projektlösungen zu integrieren:

Induktives Laden (IL) könnte mit den Infrastrukturlösungen gekoppelt werden, sofern die EV mit entsprechenden Empfangseinheiten ausgerüstet wären. Die Technik des IL ermöglicht ein kabelloses Laden und steigert dadurch die Nutzerfreundlichkeit erheblich. Darüber hinaus könnte eine Lösung in Analogie zu Plug & Charge (Authentifizierung erfolgt über das Ladekabel, wodurch keine RFID-Karte mehr nötig ist.) entwickelt werden, da über das Magnetfeld auch Daten transportiert werden können. Der Vorteil bei der induktiven Datenübertragung gegenüber PLC-Technik ist, dass es kein Verortungsproblem und wenig bis keine Fremdübertragungsprobleme gibt (ungewolltes Übersprechverhalten auf andere Ladepunkte).

DC-Charging wäre ebenfalls sehr gut mit dem Gesteuerten Laden kombinierbar. Es gibt viele Fuhrparkbetreiber, die ihre Flotte nicht im Einschichtbetrieb betreiben, sondern entweder alle oder Teile Ihrer EVs im Mehrschichtbetrieb im Einsatz haben. Wenn die Ladezeiten zwischen den Schichteinsätzen zu lang sind, können die EVs nicht ökonomisch zum Einsatz kommen. Daher könnten die EVs, die permanent im Einsatz sein müssen, so schnell wie möglich (mittels DC-Charging) geladen werden. Alle anderen EVs könnten nach der Schicht mit herkömmlicher (und im Projekt bereits im Einsatz befindlicher) Ladeinfrastruktur geladen werden. Typische Flotten im Mehrschichtbetrieb sind z.B. Taxiunternehmen, Service-Dienstleister in der Industrie, Vermietfuhrparks usw. DC-Charging-Stationen müssten dann mit herkömmlichen Ladeinfrastrukturen in ein gemeinsames LLM-System integriert werden.

6.1.4.2 Diskussion im Roadmap-Gremium

Folgende Fragen sind während des Projektverlaufs bzgl. induktivem Laden (IL) aufgekommen:

Ist eine automatische Authentifizierung beim IL über die Spulensysteme möglich?

Antwort: Es ist möglich, dazu haben verschiedene Firmen bereits Lösungen erarbeitet. Diese müssen aber noch standardisiert werden.

Wie sicher ist das Laden mit IL-Systemen?

Antwort: Laut der Hersteller sind die Systeme sehr sicher, z.B. unempfindlich gegen Feuchtigkeit oder Wasser (bei Überschwemmung der Straße). Metallische Fremdkörper im Übertragungsbereich können im idealfall als Störkörper erkannt werden und sollten zu einer automatischen Deaktivierung der Systeme führen.

Gibt es bereits Standards für IL, so dass verschiedene Hersteller, EVs und Geräte untereinander kompatibel sind?

Antwort: Es gibt noch keinen Standard für IL; ein Standard ist in Erarbeitung.

Folgende Fragen sind während des Projektverlaufs bzgl. DC-Charging aufgekommen:

Ist eine automatische Authentifizierung beim DC-Charging möglich?

Antwort: Technisch wäre das möglich, ist aber im CHAdeMO-Standard explizit nicht vorgesehen. Der CHAdeMO-Standard ist japanischen Ursprungs und wird von europäischen Herstellern nicht unterstützt. Hier muss also noch auf einen europäischen Standard gewartet werden.

Gibt es bereits Standards für DC-Charging, so dass verschiedene Hersteller, EVs und Geräte untereinander kompatibel sind?

Antwort: Es gibt für DC-Charging den japanischen CHAdeMO-Standard, er wird aber von Europäischen Herstellern nicht unterstützt. Hier muss also noch auf einen Europäischen Standard gewartet werden.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde ein Workshop mit durchgeführt, folgende Personen intern und extern beteiligt waren:

- Beteiligte im Projekt GL V2.0 zzgl.
- Dr. Rainer Nikula: ZeroCarbon2020 / Wireless Energy Transfer
- Josef Schmidt: SEW Eurodrive / Inductive Charging
- Crijn Bouman: ABB / DC-Charging

6.1.4.3 Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Folgende Vorteile bestehen beim IL im Vergleich zum KL:

- Es können keine Kabelfehler (defekte Kabel, defekte Stecker usw.) auftreten.
- Der Nutzer muss kein Andocken der Systeme vollziehen und es kann dabei kein Anschlussfehler auftreten.
- Das kabellose Laden führt zu einem erheblichen Komfortgewinn für den Nutzer.

Bei nachträglicher Integration in EVs ist das System teurer als bei KL. Bei Integration schon bei der Entwicklung des EV muss IL nicht teurer als KL sein. Eine Standardisierung ist hierbei relevant für den Erfolg des Systems (es muss an jeder Infrastruktur und mit jedem EV funktionieren).

IL-Systeme auf Infrastrukturseite können nicht nur auf Parkplätzen, sondern auch an Ampelanlagen, Haltestellen, in Straßen usw. integriert werden, somit können sich ganz neue Anwendungsfälle ergeben. Es wird angenommen, dass IL am Anfang besonders attraktiv für Flotten, ÖPNV und Premium-EV-Hersteller sein wird. Erst danach besteht vermutlich die Chance, dass sich das System im Massen-OEM-Markt durchsetzen könnte.

DC-Charging bietet die Möglichkeit, EVs innerhalb kurzer Zeit (z.B. in ca. 15 Min.) auf einen hinreichenden Batterieladezustand SOC zu laden. Derzeit gibt es einen Standard aus Japan (CHAdeMO), der ein Laden mit bis zu 50kW-Leistung erlaubt. Einige am Markt verfügbare Fahrzeuge aus Japan haben diesen Standard angenommen. Wichtig für eine Verbreitung und Akzeptanz des DC-Charging ist eine für alle nutzbare Infrastruktur.

Wird das Ladekonzept mit typischen Verhaltensmustern von Kunden gekoppelt, kann DC-Charging ohne einschränkende Wirkung für Nutzer bereitgestellt werden (z.B. könnten DC-Charging an Stellen zur Verfügung gestellt werden, an denen Nutzer ohnehin für die Verweildauer eine anderweitige Beschäftigung nachgehen (einkaufen, Schnellrestaurant etc.).

IL und DC-Charging sind alternative Systeme, die nicht unbedingt in Konkurrenz stehen müssen (ergänzen sich bezüglich Ladezeit / -komfort). Sie können sich sowohl ergänzen als auch gekoppelt werden. IL ist eine alternative Übertragungsart zum KL, DC-Charging bietet die Möglichkeit, Energie in hoher Geschwindigkeit zu übertragen. Wird viel Ener-

gie aus einem DC-Charging mittels IL übertragen, könnten die Systeme im Zusammenspiel genutzt werden.

6.1.5 Industriedesign (Integrationsgrad, Hardware-Optimierung)

6.1.5.1 Ausgangssituation

In MINI E Berlin 1.0 wurde Ladeinfrastruktur vorwiegend für Individualnutzer in zwei Bauformen (Säule und Wandbox) und für zwei Einsatzfelder (öffentlich und privat) entwickelt. Nur auf der Grundlage einer 1:1:1 Beziehung zwischen Nutzer, Fahrzeug und Ladepunkt im persönlichen und privaten Umfeld war das gesteuerte Laden von Windstrom möglich. Die im privaten Umfeld eingesetzten Wallboxen wurden ausschließlich nach der technischen Funktionalität ausgewählt. Es handelte sich um „Schaltschränke“ mit einem Ausmaß von 1x1x0,2m mit ausgeführten Antennenanlagen, die an der Wand montiert wurden. Jegliche Art der Anlagensteuerung – bzw. Prüfung zu Servicezwecken gab es nicht, wodurch hohe Betriebskosten anfielen.

Was wurde im Projekt Gesteuertes Laden umgesetzt?

Im Projekt wurde eine Ladeinfrastruktur entwickelt und umgesetzt, die im Unterschied zur Ladeinfrastruktur in MINI E Berlin 1.0 folgende Punkte berücksichtigt:

- Universelle Einsetzbarkeit bei unterschiedlichen Nutzergruppen und Anwendungsfeldern (Individual-, Wirtschafts-, CarSharing-, und Flottenanwendung)
- Universelle Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Räumen: öffentlich (städtische und kommunale Flächen), öffentlich zugänglich (Einkaufszentren, Parkhäuser etc.), nicht öffentlich (Firmengelände, Privathaushalte)
- Mehrfunktionalität für den Nutzer (Information, Interaktion)
- Aufwandsminimierte Betriebsführung
- Minimierter Flächenverbrauch

Minimierte Montage und Betriebsaufwände bei maximierter Effektivität (doppelte Anzahl Ladepunkte pro Standort)

6.1.5.2 Diskussion im Roadmap Gremium

Folgende Alternativen wurden diskutierten Alternativen und die pro und contra Punkte bewertet:

- Sichtbarkeit (Höhe, Beleuchtung, Farbgebung) vs. unauffällig

- Bedienerfreundlichkeit (integriertes Ladekabel) vs. eingeschränkter Nutzung
- Bedienerfreundlichkeit (integriertes Ladekabel) vs. Betreiberhaftung
- Abrechnungsarten Bargeld / EC vs. EnWG (öffentliche LI)
- Beschilderung / Parkraummarkierung vs. StVO
- Bauformen (Anz. Ladepunkte) vs. Parkraumbewirtschaftung
- Bauformen (Größe) vs. Denkmalschutz / Stadtentwicklung
- Bauformen vs. Montagekosten
- Bauformen vs. Betriebskosten
- Baugrößen vs. technisch / rechtliche (eichrechtliche) Erfordernisse

An der Diskussion waren folgende Parteien (intern und extern) beteiligt

Intern:

- VE Verteilnetzbetreiber
- VE Netzservice
- VE Business Development
- TU Chemnitz
- TU Berlin
- Fahrzeughersteller BMW

Extern:

Behördliche Vertreter von

- Baubehörden
- Denkmalschutz
- Stadtentwicklung
- Parkraumbewirtschaftung
- Verkehrsjuristerei

6.1.5.3 Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Sichtbarkeit (Höhe, Beleuchtung, Farbgebung) vs. unauffällig

Um die Anforderungen nach einer guten Sichtbarkeit für den suchenden Nutzer mit der gleichzeitigen optischen Nichtbelastung des Stadtbildes – speziell in denkmalgeschützten Bereichen – in Einklang zu bringen, wurde für den öffentlichen Raum die Säulenbauform grundsätzlich beibehalten. Jedoch wurde diese grundsätzlich in Höhe und Breite

reduziert. Die ehemals flächige Beleuchtung wurde auf den Bereich der unmittelbaren Ladeanschlüsse reduziert.

Für Folgeprojekte bleibt die Prüfung ob die optische Sichtbarkeit, im Zuge einer „digitalen Sichtbarkeit“ z. B. über Smartphone Applikationen noch kleinere und unauffälligere Bauformen zulässt.

Bedienfreundlichkeit (integriertes Ladekabel) vs. eingeschränkte Nutzung

Die Forderung der Nutzer und Fahrzeughersteller nach einem integrierten Ladekabel in der Ladeinfrastruktur wurde nicht umgesetzt, da diese derzeit noch die universelle Nutzbarkeit der Infrastruktur für verschiedenartige Fahrzeuge einschränkt. Es sind Fahrzeuge mit IEC Typ1 und IEC Typ 2 Buche unterwegs.

Bedienerfreundlichkeit (integriertes Ladekabel) vs. Betreiberhaftung

Die Forderung nach einem integrierten Ladekabels seitens der Nutzer und Fahrzeughersteller wurde speziell bei der öffentlichen Infrastruktur nicht umgesetzt, da für dessen technisch einwandfreien Zustand (z. B. mechanische Beschädigungen) der Infrastrukturbetreiber haftet. Das Haftungsrisiko und der Prüfaufwand generieren unverhältnismäßig hohe Betriebskosten

Für Folgeprojekte bleibt die Prüfung, ob durch die Nutzung des induktiven (kabellosen) Ladens, dem Nutzerwunsch, nach einer aufwandsreduzierten Nutzung entsprochen werden kann, und ob und wie hoch ein daraus resultierender Mehraufwand bei den Betriebskosten ausfällt .

Abrechnungsarten Bargeld / EC vs. EnWG (öffentliche LI)

Die Forderung nach einer Bezahlung des Ladestromes vor Ort wurde speziell bei der öffentlichen Infrastruktur nicht umgesetzt, da dies neben dem sicherheits- und betriebstechnischen Aufwand sowohl als „offene Strom-Verkaufsstelle“ im allgemeinen Versorgungsnetz gegen das EnWG verstößt, als auch eichrechtlich nicht zulässig ist.

Für privatwirtschaftliche Anwendungen (s. Stream-Bericht „AAA“) wäre dies grundsätzlich möglich.

Denkbar wäre die Umsetzung des „Frankfurter Modells“, in dem ein Parkautomat mit einer Ladeinfrastruktur verbunden und gemeinsam betrieben wird. Dabei wird neben der Parkgebühr eine zu definierende Pauschale für die Dauer des Ladevorgangs berechnet.

Es wird aber explizit nicht Strom verkauft, was wieder Implikationen mit dem EnWG verursachen würde.

Beschilderung / Parkraummarkierung vs. StVO

Um den Parkraum an den Ladepunkten freizuhalten, wurde von den Nutzern eine eindeutige Markierung und Beschilderung gefordert. Die farbliche Kennzeichnung ließ sich in Absprache mit den Behörden und im Rahmen von Sondernutzungsverträgen für den Parkraum ansatzweise verwirklichen. Eine Beschilderung für eine exklusive Parkraumnutzung für E-Fahrzeuge ist in der StVO nicht vorgesehen. Zur Abhilfe wurden bereits Bundesratsinitiativen gestartet. Bis zur abschließenden Klärung wurden kurzfristig durch die lokalen Behörden eigeninitiativ entwickelte Beschilderungen zugelassen und aufgestellt.

Bauformen (Anz. Ladepunkte) vs. Parkraumbewirtschaftung

Während aus wirtschaftlichen und stadtplanerischen Gesichtspunkten die Bauform möglichst kompakt bei maximalem Nutzen gewählt werden soll (zwei Ladepunkte - anstatt wie bei MINI E Berlin 1.0 einem Ladepunkt - pro Säule), entgehen der öffentlichen Parkraumbewirtschaftung die Einnahmen für einen weiteren Parkplatz pro Ladesäule.

In Folgeprojekten bleibt die Prüfung, ob die Ladeinfrastruktur mit vorhandenen elektronischen Einrichtungen (Bezahlsystemen) kombiniert werden kann, um den Ausfall bei der Parkraumbewirtschaftung zu kompensieren.

Bauformen vs Montagekosten

Die Bauform der Ladeinfrastruktur hat unmittelbaren Einfluss auf die Montagekosten. Grundsätzlich sollten Bauformen gewählt werden, die in sich funktional und standardisiert sind und keine Zusatzaufwände generieren wie Hilfskonstruktionen oder aufwändige Gründungen.

Bauformen vs. Betriebskosten

Die Bauform der Ladeinfrastruktur hat unmittelbaren Einfluss auf die Betriebskosten. Grundsätzlich sollte die Bauform so gewählt werden, dass eine leichte und schnelle Zugänglichkeit für Wartungs- und Reparaturarbeiten gegeben ist. Die Oberflächen sollten so beschaffen sein, dass die Verschmutzung bzw. Reinigungsaufwände gering sind.

Die Bauform unterliegt jedoch auch den örtlichen Gegebenheiten und Anwendungsfeldern. Im privaten Umfeld werden möglichst kleine Bauformen gewünscht, was auch von den einfachen funktionalen Erfordernissen her umgesetzt werden kann. Hier kann auch auf vorhandene allgemeine Elektroinfrastrukturen aufgebaut und diese genutzt werden.

Im öffentlichen Raum muss die Infrastruktur wesentlich komplexere Funktionalitäten bedienen und auch für die Erfordernisse eines öffentlichen Netzanschlusses ausgerüstet sein. Hierfür bedarf es entsprechender baulicher Volumina und Ausprägungen, die eher eine Säulenbauform erforderlich machen.

Baugrößen vs. technisch / rechtliche (Eichrechtliche) Erfordernisse

Die Bauform und Größe der Infrastruktur sollte so ausreichend dimensioniert sein, dass bei einer Verwendung im öffentlichen Raum auch der TAB-konforme Netzanschluss sowie die Installation von eichrechtlich zulässiger Mess- und Abrechnungstechnik möglich sind.

Folgende Themen sollten in der Zukunft näher betrachtet werden:

- Anwohnerparken
- Öffentliche / kommunale Parkraumbewirtschaftung
- Privatwirtschaftliche Infrastruktur (Parkhäuser)
- Fortführung der baulichen Standardisierung
- Mehrwertgenerierung durch Remoteaktivierung einer standardmäßig integrierten Vollfunktionalität (kommerzielle Anwendung). Die Infrastrukturkomponenten wären dann serienmäßig vollfunktional ausgestattet, und könnten anwendungsspezifisch einzelfunktional freigeschaltet werden, ggf. auch aus der Ferne.
- Mehrwertgenerierung durch neue Ladeverfahren (DC-Charging mit festinstalliertem Kabel)
- Mehrwertgenerierung durch neue Ladeverfahren (induktiv ohne Kabel)
- Mehrwertgenerierung durch Identifikation der Parkplatzbelegung, Identifikation von parkenden Nichtladern, parkenden Ladern (in Kombi mit eingestecktem Kabel) oder nicht parkenden Ladern (z. B. Pedelec auf Bürgersteig mit eingestecktem Kabel).
- Kombination der entwickelten Ladeinfrastrukturen mit vorhandenen kommerziellen Systemen der Parkraumbewirtschaftung

6.2 Fazit weiterer F&E Bedarf und Ausblick auf Folgeprojekte

6.2.1 Wo können die Entwicklungen eingesetzt werden?

Die entwickelten Lösungen zum Gesteuerten Laden V2.0 lassen sich – bei erreichter Stabilität – bei Kunden einsetzen, welche an einem Standort mehrere Fahrzeuge gleichzeitig betreiben, bei denen die Leitungskapazität vor Ort allerdings engere Restriktionen setzt. Die LLM-Applikation hilft hier Kosten zu vermeiden, welche sich anderweitig bei einem Ausbau der Netzkapazität schnell auf mehrere zehntausend Euro summieren können. Alternativ müsste der betreffende Betrieb den Einsatz von E-Fahrzeugen entsprechend reduzieren. Das Lokale Lastmanagement nützt unmittelbar insbesondere den Flottenbetreibern und mittelbar auch der Bundesregierung beim Erreichen der eigenen Elektromobilitätsziele. Denn Flottenbetreiber sind speziell für den Markthochlauf die wichtigste Zielgruppe.

Wenn die Stabilitätsprobleme in naher Zukunft behoben sein werden, kann auch die W2V-Applikation in Verbindung mit dem Ladeassistenten unmittelbar zum Einsatz kommen. Zunächst dient sie dazu, dass Nutzer in ihrer individuellen Bilanz einen physikalischen Zusammenhang zwischen Grünstromproduktion und Ladevorgang und damit dem individuellen – rechnerischen – CO_2-Wert herstellen können. In Verbindung mit lastvariablen Tarifen lässt sich dieser intrinsische Nutzen monetär aufwerten. Je stärker der Ausbau erneuerbarer Energien voranschreitet, desto stärker wird sich die Spannweite aus Tageshöchst- und niedrigstpreis vergrößern. Mit Hilfe von Lastverschiebungen kann man dann einen monetären Nutzen erzeugen und diesen mit den beteiligten Akteuren teilen. Des weiteren ist absehbar, dass mit zunehmender Größe der E-Fahrzeugflotte deren Batterien so zu einem virtuellen Kraftwerk zusammengeschaltet werden können, dass sich die kritischen Massen zur Teilnahme am Regelenergiemarkt erreichen lassen.

Das Öffentliche Lastmanagement im Verteilnetz kann technisch im Prinzip ebenfalls zum Einsatz kommen. Hier sind allerdings die regulativen Bestimmungen zu beachten. Eine unmittelbare Anwendungsnotwendigkeit wird erst perspektivisch herausbilden, je mehr Fahrzeuge als so genannte Laternenparker in den Markt kommen. Die Analysen im Teilprojekt 1 haben allerdings am Beispiel Berlins gezeigt, dass in manchen Quartieren eine lastkritische Situation schon bei relativ wenigen gleichzeitig ladenden Laternenparkern erreicht sein kann.

Die einzige Applikation des Gesteuerten Ladens, welche auf ihren breiten Einsatz wohl noch bis zum Ende der laufenden Dekade wird warten müssen, ist die V2G-Applikation. Das liegt allem voran daran, dass ihr Einfluss auf die Batteriealterung zum gegenwärtigen Stand der Batterietechnik noch zu groß. Bei dem teuersten Modul im E-Fahrzeug würde das die Kosten um weitere steigern. Gleichzeitig sind die zu erwartenden Umsätze nicht hoch genug, um die mit V2G verbundenen Zusatzkosten zu rechtfertigen.

6.2.2 Wo und wie können die Entwicklungen weiterentwickelt werden?

Weiterentwicklungen beziehen sich zum einen auf weitere Kostensenkungen, zum anderen aber auch auf die Steigerung der Wirkung. Insbesondere mit Blick auf die Windintegration sollte das Zusammenschalten mit anderen lastvariablen Verbrauchern zu einem virtuellen Kraftwerk angestrebt werden. Auf diese Weise lassen sich schneller kritische Massen erzeugen, welche zur Teilnahme am Regelenergiemarkt qualifizieren. In diesem Kontext sollte auch die Reaktionszeit des Systems gesteigert werden, um sich auch für den Primärenergiemarkt zu qualifizieren. Zudem muss es darum gehen, den Einfluss lastvariabler Tarife als Steuerungsinstrument zu evaluieren und dabei Prozesskette bis zur Vermarktung der Leistung am Regelenergiemarkt vollständig abzubilden.

6.2.3 Fazit und Ausblick auf Folgeprojekte

Noch während der Projektlaufzeit haben die beiden industriellen Partner BMW und Vattenfall entschieden, das Projekt ohne Förderung bis Ende 2011 zu verlängern und zusätzliche Mittel zu investieren. Am Ende der Verlängerung sollen allen voran folgende Ziele erreicht sein:

- Die lieferantenbedingten Qualitätsmängel sind behoben.
- Die Optionen zur Lösung der systematischen PLC-Probleme sind evaluiert.
- Ein mehrwöchiger Probebetrieb hat empirische Daten zum Gesteuerten Laden erzeugt. Damit sollen anschließend die Simulationsergebnisse aus TP1 (D1.1) verglichen werden.

Ein Prototyp zur kostensenkenden Variante der Master-Satelliten-Architektur ist beauftragt, bei welchem kostentreibende Module nur einmal im Master vorgehalten werden, so dass die Satelliten technologisch einfach und somit kostengünstig sind

W2V in Kombination mit kabellosem Laden: Induktives Laden wird derzeit primär unter Komfort- und Sicherheitsgesichtspunkten diskutiert. Wie im Vorläuferprojekt MINI E Berlin powered by Vattenfall 1.0 dokumentiert, spielt die Verfügbarkeit der E-Fahrzeuge am Netz eine große Rolle, um Effektivität und Effizienz des Gesteuerten Ladens im Sinne der Windintegration (W2V) zu steigern. Neben der Auswahl von Zielgruppen mit entsprechend günstigen Nutzungsprofilen spielt das kabellose Laden eine wichtige Rolle. Denn das Hantieren mit dem Kabel wird von Testpersonen immer wieder als Nutzungshemmnis angesehen. Insofern würde diese Technologie die Verfügbarkeit E-Fahrzeugen auf individueller Ebene auch dann sicherstellen, wenn der Batterieladestand den Anschluss des Fahrzeuges an der Ladestation noch nicht nahelegt. Fraglich allerdings ist noch, ob sich auf aggregierter Eben signifikante Einflüsse nachweisen lassen. Denn entscheidend für die Fahrzeugverfügbarkeit ist der Erwartungswert der Batteriekapazität und für diesen ist es unerheblich, ob sich viele Fahrzeuge dauernd mit geringem Ladehub zur Verfügung stellen oder weniger Fahrzeuge mit größeren Lademengen. Diese pauschale Aussage muss aber vor dem Hintergrund konkreter Windeinspeisungsdaten analysiert werden. Weil überschüssige Windeinspeisungen nicht gleichmäßig erfolgen, sondern nur zu unregelmäßig zu unbestimmten Zeiten, könnte das für einen signifikanten Einfluss kabelloser Ladetechnologien sprechen.

Lokales Lastmanagement (LLM): Im Zuge der Ausbreitung von Elektro-Mobilität werden Betreiber von Elektro-Fahrzeugen, insbesondere Flottenbetreiber zunehmend mit Restriktionen innerhalb ihres Gebäudenetzes konfrontiert werden. In Ländern mit schwächer ausgelegten Stromnetzen als in Deutschland (z.B. weisen in Frankreich 80% aller Gebäudeanschlüsse nur ein einphasige Ausführung mit 7kW Leistungsgrenze auf) werden auch Privatkunden mit Elektro-Fahrzeugen einen klar erkennbaren Bedarf für lokale Lastmanagement-Systeme haben als Alternative zu kostenintensiven Anschluss-Verstärkungsmaßnahmen. Die hier im Förderprojekt entwickelten Konzepte für LLM sind als erster Schritt in Richtung marktfähiger Lösungen zu verstehen. Es besteht jedoch erheblicher F&E-Bedarf auf dem Weg bis zu serienreifen Lösungen mit wirtschaftlicher Erfolgsperspektive. Aufgrund der stark interdisziplinären Charakters (Installationstechnik, Kommunikationsstandards, Vernetzung zum Fahrzeug, Eingriff in proprietäre Fahrzeugfunktionen, Normungs- und Standardisierungsbedarf) erscheint die Bildung spezieller Entwicklungskonsortien als der zielführende Weg. Auf Basis zu erarbeitender Standards können hier zügig gut realisierbare Geschäftsmodelle abgeleitet werden.

Öffentliches Last-Management (ÖLM): Analog zum Bedarf für LLM-Lösungen ist die Situation in den Verteilnetzen einzuschätzen. Die Ergebnisse aus dem TP1 weisen auf eine große zu erwartende Bandbreite in der Belastbarkeit von Verteilnetzen hin. Drei Schwerpunktthemen sind hier zu adressieren:

- Entwicklung von standardisierten Analyse- und Bewertungsverfahren zur Prüfung der Tauglichkeit von Verteilnetzen für Elektro-Mobilität. Prüfung bzw. ggf. Anpassung bestehender Normen und Standards.
- Entwicklung standardisierbarer Last-Managementverfahren zur Anwendung in Verteilnetzen.
- Entwicklung von Richtlinien als Orientierung bei der Entscheidung, ab welcher Auslastungsschwelle ein Netzbetreiber Verstärkungsmaßnahmen durchzuführen hat.

Eine wirtschaftliche Nutzung wird hier eher erst mittel- langfristig abgeschätzt, jedoch ist hier von einer längeren Entwicklungs- und Einführungszeit auszugehen.

Geregeltes Laden und System-Dienstleistungen (SDL): Die im Förderprojekt entwickelten Anwendungen W2V und W2V2G zeigen ein funktionsfähiges Konzept auf, wie auch sehr große Populationen von Elektro-Fahrzeugen gleichzeitig gesteuert geladen werden können. Kommerziell nutzbare Lösungen zur Bewirtschaftung von großen Elektro-Fahrzeug-Populationen könnten darauf aufgebaut werden. Die dazu erforderlichen F&E-Herausforderungen erfordern ebenfalls eine stark interdisziplinäre Aufstellung (Energiewirtschaft – IKT – OEM – Forschungseinrichtungen - BNetzA). Neben der Entwicklung der technischen Lösungen wird dabei die Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle einschließlich einer monetären Würdigung des durch die Nutzer von Elektro-Fahrzeugen geleisteten Beitrages im Rahmen von Förder-/Vergütungsszenarien in den Fokus zu stellen sein.

Eine wirtschaftliche Nutzung wird im deutschen/europäischen Markt für den Zeitraum nach 2020 abgeschätzt (erst bis dorthin sind die dazu notwendigen Mengen von Elektro-Fahrzeugen voraussichtlich im Markt verfügbar. Hier ist ebenfalls von einer längeren Entwicklungs- und Einführungszeit einschließlich Absicherung, Präqualifikation und Zulassung auszugehen. Aus der Sicht des Fahrzeug-Herstellers sind Lösungen zu erarbeiten, welche nicht nur im europäischen Markt, sondern auch weltweit einsetzbar sind.

Integrated Approach: Im Zusammenhang mit der beschlossenen Energiewende der Bundesregierung in Deutschland besteht deutlicher Klärungsbedarf, in wie weit die in verschiedensten Studien ausgewiesenen komplementären Maßnahmen Netzausbau, Speicherzubau und deren Kosten ggf. durch einen integrierten Ansatz von Maßnahmenkombinationen (u.a. Nutzung der energietechnischen Potenziale der Elektro-Mobilität) deutlich schneller und kostengünstiger als mit den bekannten proprietären Lösungsvorschlägen realisiert werden können.

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

Zur Erreichung der klimapolitischen Ziele werden von Politik und Wirtschaft in Deutschland erhebliche Anstrengungen unternommen. Die größten Herausforderungen sind die Reduzierung der Emissionen von Treibhausgas im Verkehr und eine schnelle und weitgehende Umstellung der Antriebe auf Energie aus Erneuerbaren Energien.
Der Windenergie in Deutschland kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu. Das Potenzial der Offshore-Windenergie wird von der Bundesregierung bis zum Jahre 2030 auf 25.000MW installierte Leistung in der Nord- und Ostsee geschätzt[120]. Der Windstromanteil in Deutschland würde dann bis zu 20% des Stromaufkommens ausmachen. Diese Energie würde vor allem die norddeutschen Stromnetze belasten und stellt das Netzmanagement vor zunehmende Herausforderungen. Es ist absehbar, dass zukünftig nicht mehr die gesamte installierte Leistung abgenommen werden kann, wenn nicht Maßnahmen zur Speicherung elektrischer Energie im größeren Umfang eingesetzt werden. Hier kann das Gesteuerte Laden zum Tragen kommen. Dabei werden Fahrzeuge primär dann geladen, wenn beispielsweise eine hohe Windeinspeisung bei gleichzeitig geringer Stromnachfrage vorliegt.

Im Projekt „Gesteuertes Laden V2.0“ wurden die Ladeprozesse – aufbauend auf den Erkenntnissen vorangegangener Projekte – optimiert. Diese ermöglichen die Einspeisung und Speicherung fluktuierender Windenergie, um somit dem Ziel der Umstellung auf Erneuerbare Energien näherzukommen. Durch die Nutzung der Fahrzeugbatterien als zusätzliche Energiespeicher kann die Windenergie bei geringer Stromnachfrage gespeichert und bei hoher Nachfrage über Rückspeisung ins Netz zur Verfügung gestellt werden. Durch die dezentrale Rückeinspeisung aus den Batterien kann auch die Netzbelastung verringert und damit der Ausbau der Netze wesentlich effizienter gestaltet werden.

120 vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2011). (Hrsg)

Bis zum Jahr 2020 sollen deutschlandweit die CO_2-Emissionen um 40% reduziert werden. Vor dem Hintergrund, dass 14% aller CO_2-Emissionen im Verkehrssektor verursacht werden, ist es notwendig, nach emissionsfreien Alternativen in diesem Sektor Ausschau zu halten. Da Elektromotoren deutlich effizienter als konventionelle Verbrennungsmotoren sind und keine direkten Emissionen verursachen, hat die Bundesregierung die Weiterentwicklung als eine wesentliche Aufgabe für die Zukunft identifiziert und daher als strategisches Thema auf die politische Agenda gesetzt.

Mit dem Konjunkturpaket II verfolgte die Bundesregierung das Ziel, kurzfristige konjunkturelle Effekte mit Fokus auf den Jahren 2009 bis 2011 mit der langfristigen Stärkung der Zukunftsfähigkeit Deutschlands zu verbinden. Daher wurden in den Ressorts mehrerer Bundesministerien zentrale Projekte und Programme im Bereich Elektromobilität über die gesamte Wertschöpfungskette gefördert und initiiert.
Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Gesteuertes Laden V2.0“ erfüllt die förderpolitischen Ziele des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in mehrfacher Hinsicht:

- **Systemintegration der Erneuerbaren Energien in nachhaltige Verkehrssysteme:** Im Projekt „Gesteuertes Laden V2.0“ wurde ausschließlich Strom aus Erneuerbaren Energien verwendet, dessen Herkunft durch Zertifikate nachgewiesen wurde. Die regenerative Energie wurde entsprechend dem Erzeugungsaufkommen zeitgleich (über Gesteuertes Laden) genutzt. Dies führt netzseitig zu einer Entlastung des Regelbedarfs. Somit wird sowohl eine nachhaltige Mobilität als auch ein Beitrag zur Entwicklung nachhaltiger Versorgungsstrukturen hergestellt.
- **Klimaschutz durch CO_2-Senkung:** Die lokal emissionsfreien Elektrofahrzeuge bieten in Verbindung mit Strom aus Erneuerbaren Energien das Potenzial, die CO_2-Emissionen entlang der Gesamtkette (Wheel-to-Wheel) drastisch auf einstellige Werte abzusenken.
- **Ausbau des Leitmarktes Elektromobilität Deutschland und Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit:** Nachdem durch das Projekt „MINI E Berlin powered by Vattenfall V1.0“ die Grundfunktionalitäten der Elektromobilität entwickelt und getestet wurden, ging es im Projekt „Gesteuertes Laden V2.0“ darum, durch Weiterentwicklung der Technik das System Elektromobilität wettbewerbsfähig zu ge-

stalten. Durch eine Reihe von Maßnahmen sollte einerseits das ökologische Potenzial besser genutzt und andererseits der Regelbetrieb langfristig ermöglicht werden:

- Das Gesteuerte Laden wurde optimiert. Dadurch wird die Windenergie besser nutzbar und speicherbar (z.B. durch Prioritätsregeln und die Applikation LLM)
- Die Ladeinfrastruktur wurde optimiert (Lastenheft und Blaupause wurden ausgearbeitet. Aus Zeitgründen wurde nur eine komplexe Master-Satelliten-Lösung gebaut. In der Zukunft soll dieses Konzept vereinfacht und zum Einsatz kommen).
- Die Applikationen Wind-to-Vehicle und Vehicle-to-Grid wurden weiterentwickelt.
- Neue technologische Inhalte kamen in den Experimentalfahrzeugen und Ladeinfrastrukturen zum Einsatz (Powerline-Kommunikation, V2G-Funktionalitäten) und kundenseitiger Mehrwertdienste (Ladeassistent) wurden entwickelt.

Die komplette Prozesskette wurde analysiert - die Stromerzeugung mit Wind, das Laden der Batterien und ihren Einsatz zur Reservestellung, die Netzoptimierung bis hin zur Auswirkung auf die Netzstrukturen und das Rückspeisen der Energie in das Netz - und verbessert. Damit soll es Deutschland ermöglicht werden, Vorreiter in der Herstellung und Nutzung der Elektromobilität zu sein.

- **Etappenziel - 1 Million Elektrofahrzeuge 2020:** Durch das Projekt „Gesteuertes Laden V2.0“ ist man dem Ziel der Integration von Elektrofahrzeugen in die Netze einen Schritt näher gerückt. Unter der Prämisse der Steigerung von Effizienz und Effektivität wurden Applikationen entwickelt, die es dem Nutzer leichter machen sollen, Elektromobilität anzunehmen und Barrieren abzubauen. Eine effektive Netzregelung und die optimale Nutzung Erneuerbaren Energiequellen beim Laden der Elektrofahrzeuge ist nur mit einer abgestimmten Kommunikation zwischen Nutzer, Fahrzeug und Ladeinfrastruktur realisierbar. So können beispielsweise die individuellen Bedingungen für das Gesteuerte Laden von jedem Nutzer ganz einfach über sein Smartphone eingestellt werden – ein sichtbarer Schritt in Richtung Nutzerfreundlichkeit. Die Integration der

Elektrofahrzeuge in den Verkehrsalltag wird durch die Nutzerakzeptanz deutlich realistischer.

- **Vernetzung der zentralen Akteure:** Durch intensive Zusammenarbeit der Partner auf allen Ebenen des Vorhabens wurde ein hoher Grad des Informationstransfers sowie die Vernetzung der Einrichtungen gewährleistet. Es wurde ein Beitrag zu der **„Nationalen Plattform Elektromobilität“** geschaffen.

8 Glossar

AAA / Triple-A (Authentication, Authorization, Accounting)	Netzwerkdienst zum Erkennen von Benutzern, Vergabe von Rechten und Abrechnung von Leistungen.
Autostrom-Box (ASB)	Ladestationen für Elektrofahrzeuge, die im nicht-öffentlichen Raum installiert sind. Eine Autostrom-Box kann einen oder mehrere Ladepunkte beinhalten.
Autostrom-Station (ASS)	Ladestationen für Elektrofahrzeuge, die im öffentlich zugänglichen Raum installiert sind. Eine Autostrom-Station kann mehrere Ladepunkte beinhalten.
BEV (Battery Electric Vehicle)	Das BEV ist ein rein elektrisch angetriebenes Fahrzeug. D.h. es gibt im Fahrzeug eine Batterie, die den oder die Motoren mit Energie versorgt.
Demand Side Management (DSM)	Funktion, die den Energieversorger befähigt, in einer Notsituation oder im geplanten Betrieb, die Leistungsanforderungskurve von Kundengeräten zu beeinflussen bzw. die Kunden-Lastkurve zu bestimmen, wobei die Funktionen Laststeuerung und Lastbehebung beinhaltet sind.
Diskriminierungsfreier Zugang zur Ladestation	Es ist zwischen einer technischen und vertrieblichen Freiheit zu unterscheiden: (i) Vertrieblich: alle Vertriebe können über die Ladesäule Strom anbieten und verkaufen (ii) Technisch: die verschiedenen Fahrzeugtypen können an einer Ladesäule mit Standardausrüstung (Kabel) tanken
FI-Schalter (Fehlerstromschalter)	Der Fehlerstromschalter ist ein Sicherheitsschalter, der bei einem gewissen Fehlerstrom (z.B. durch den Kör-

	per eines Menschen bei Berührung/Kontakt) die überwachte stromführende Leitung abschaltet. Üblich sind ca. 30mA Fehlerstrom, ab dem der Fehlerstromschalter auslöst und die betroffene Leitung stromlos schaltet.
Fluktuierende Erzeugung	Schwankende Erzeugung von elektrischer Energie, z.B. von Wind, Photovoltaik und Wasserkraft.
Gesteuertes Laden (GL)	Gesteuertes Laden ist der Oberbegriff für mehrere Techniken, um den Ladevorgang eines Elektrofahrzeugs über die Bedarfe des Fahrzeugs hinaus zu steuern. Zu diesen Techniken gehörten Wind-to-Vehicle, lokales Lastmanagement, örtliches Lastmanagement und Vehicle-to-Grid.
Ladeinfrastruktur (LI)	Sammelbegriff für alle Geräte, die das Laden von Elektrofahrzeugen aus dem öffentlichen Stromnetz ermöglichen und dafür Ladepunkte nutzen.
Ladepunkt (LP)	Separat bedienbares Steckpanel mit einem oder mehreren Typen Steckdosen, die untereinander elektrisch oder mechanisch verriegelt sind. Das bedeutet, dass gleichzeitig nur eine Steckdose des Ladepunkts nutzbar ist. Eine Autostrom-Station (ASS) oder eine Autostrom-Box (ASB) kann einen oder mehrere Ladepunkte beinhalten.
Ladesäule (LS)	Eine Untergruppe der Ladeinfrastruktur (LI) und ist im Allgemeinen ein öffentlich zugänglicher Ladepunkt (LP).
Lokales Lastmanagement (LLM)	Mit lokalem Lastmanagement (LLM) wird der Netzanschluss eines Kunden vor Überlastung geschützt. Unter einer Überlastung wird dabei das Überschreiten einer Leistungsgrenze verstanden. Die festgelegte ma-

	ximale Leistung des Netzanschlusses kann dabei technisch oder vertraglich begründet sein.
Mode 3-Verfahren	Beschreibt ein in der Normengruppe IEC 61851 niedergelegtes Verfahren, um einen Ladevorgang zwischen Elektrofahrzeug und Ladeinfrastruktur zu initialisieren und zu steuern.
Multi Utility Controller (MUC)	Controller, der die Nutzung eines Smart Meters in IT-Systemen ermöglicht. Der MUC übernimmt die Kommunikation zwischen Smart Meter und MUC, sowie zwischen MUC und DSO-Infrastruktur, sei es über Datenkonzentrator oder direkt.
Nutzerkarte	Mithilfe der Nutzerkarte identifizieren sich Nutzer gegenüber der Autostrom-Station. Die Ladestation kann dabei feststellen, ob der Nutzer zum Laden an der Ladestation autorisiert ist. Die Identifikationsdaten auf der Nutzerkarte können zur Erstellung eines Abrechnungsdatensatzes genutzt werden. Die technische Basis der Nutzerkarte hängt vom konkreten Einsatzzweck ab. RFID-Karten haben sich für den öffentlichen Raum als geeignet erwiesen.
PLC (Power Line Communication)	Techniken, die Daten moduliert über Stromnetze übertragen können. Zu unterscheiden sind Techniken mit denen ein LAN (lokales Datennetz) aufgebaut wird und Techniken, bei denen Daten über die Hausanschlussgrenze hinweg übertragen werden sollen („Breitband Powerline“). Für die Elektromobilität sind insbesondere die LAN-Techniken nach den Standards Homeplug, Homeplug Turbo und Homeplug AV interessant. Dabei werden Daten zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur ausgetauscht.

Range Extender	Aggregate, die dazu geeignet sind die Reichweite von Elektrofahrzeugen über die Reichweite der eingebauten Batterie zu erhöhen (Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellen).
RFID / RFID-Card (Radio Frequency Identification)	Karte, in der ein Chip – ausgestattet mit der Radio Frequency Identification Technologie – integriert ist. Der Chip benötigt keine eigene Energiequelle (Batterie) in der Karte für den Betrieb, da der Transponder, an dem die RFID-Card gehalten wird, die Betriebsenergie per magnetischer Wechselfelder oder hochfrequenter Radiowellen überträgt.
Regelenergie	Energie zum Ausgleich von Leistungsungleichgewichten in einer Regelzone
Rekuperation	Rückgewinnung von Bremsenergie
Reserveleistung	Differenz zwischen der total verfügbaren Kapazität und der Leistungsanforderung im System
Roadmap	Vorbereitender Projektplan, in dem notwendige Schritte zur Zielerreichung definiert werden
Roaming	Technische Möglichkeit die Abrechnung beim Bezug von Strom an einer öffentlichen Ladesäule unabhängig vom Verteilnetzbetreiber durch einen EVU abrechnen zu können.
Schuko-Stecker	Deutsche Schukostecker sind nach CEE 7/4 normiert. Die Stecker erlauben Stromstärken bis 16A und dadurch im deutschen Stromnetz Ladeleistungen von bis zu 3,68 kW.
Smart Grid (Intelligentes Stromversorgungsnetz)	Intelligentes Energienetz und Regelsystem aus intelligenten Erzeugern, Speichereinrichtungen, Verbrauchern und Energietransporteinrichtungen mit der Unterstützung von Informations- und Kommunikations-

	technologie als auch Automatisierungstechnologien
Smart Meter	Intelligenter Zähler mit Zusatzfunktionen ausgestatteten
Standardlastprofil (SLP, H0)	Repräsentatives Lastprofil, mit dessen Hilfe der Lastgang eines Energieverbrauchers ohne registrierende Leistungsmessung prognostiziert wird (Strom bzw. Gas).
V2G (Vehicle-to-Grid)	Technik, um im Fahrzeug gespeicherte Energie in ein Stromnetz zurückzuspeisen.
Wallbox	Stromladepunkt
W2V2G (Wind-to-Vehicle-to-Grid)	Technik, die eine Leistungssteuerung des Ladevorgangs eines Elektrofahrzeugs anhand eines vorgegebenen Fahrplans ermöglicht. Mit dieser Technik sollen die ungewünschten Auswirkungen von Schwankungen bei der Stromproduktion aus Erneuerbaren Energien gemindert werden. Der Fahrplan orientiert sich dabei an einem abstrakten überzähligen oder fehlenden Angebot an Strom aus Erneuerbaren Energien. Überzählig bedeutet in diesem Zusammenhang, dass mehr Strom produziert werden könnte, als abgenommen wird. Fehlend bedeutet, dass weniger Strom als geplant zur Verfügung steht und dieser über Spitzenlastanlagen produziert werden müsste. Im Fahrplan werden die Wünsche der Nutzer bezüglich der nächsten Nutzung des Fahrzeugs berücksichtigt.
Wirkungsgrad	Effektivität der Umwandlung einer Energieform in eine andere
XML	Auszeichnungssprache zur Darstellung hierarchisch

strukturierter Daten in Form von Textdaten

9 Literaturverzeichnis

Acatech (Hrsg.) (2010). *Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann.* In: acatech bezieht Position Nr. 6.

Accenture (Hrsg.) (2011). *Plug-in electric vehicles. Changing perceptions, hedging bets.*

Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (Hrsg.) (2010). *Erneuerbare Energien und Elektromobilität. Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020.*

Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik und Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: „Der Strommix in Deutschland im Jahr 2010“, 08.2011

M. Agsten (2011). Dissertation (elektronische Publikation); *"Einfluss gesteuerten Ladens von Elektrofahrzeugen auf die Netzbetriebsführung bei volatiler Windeinspeisung", http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=19121*

M. Agsten, S. Schlegel, D. Westermann (2011). 18th IFAC World Congress 2011: *"On the Optimization of the Load of Electric Vehicles"*

M.AGSTEN (2011)"Einfluss Gesteuerten Ladens von Elektrofahrzeugen auf die Netzbetriebsführung bei volatiler Windeinspeisung", http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=19121

Axsen, J. & Kurani, K. S. (2009). *Early U.S. market for plug-in hybrid electric vehicles: Anticipating consumer recharge potential and design priorities.* In: Transportation Research Record (pp. 64-72).

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (Hrsg.) (2010). *Die zukünftige Elektromobilitätsinfrastruktur gestalten.*

BDEW, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik

BEE (Hrsg.) (2010). *Elektromobilität und Erneuerbare Energien. BEE-Position.*

Bilgic, W.; Mathar, S. & A. Bahr (2010). *Resonante Energieübertragung als kontaktlose Ladetechnik zukünftiger Elektrofahrzeuge.* Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.

Bine Informationsdienst (Jahr unbekannt). Projektinfo 05/07http://www.greenpeace-ener-

gy.de/fileadmin/docs/sonstiges/Greenpeace_Energy_Gutachten_Windgas_Fraunhofer_Sterner.pdf

BITKOM (Hrsg.) (2010). *Studie „Elektromobilität“.*

BMWi (Hrsg.) (2009). *Stand und Entwicklungspotenzial der Speichertechniken für Elektroenergie – Ableitung von Anforderungen an und Auswirkungen auf die Investitionsgüterindustrie*

Brooks, A. (2002). *Vehicle-to-grid demonstration project: grid regulation ancillary service with a battery electric vehicle.* San Dimas, AC Propulsion, Inc.

Büdenbender, K.; Stetz, T.; Emmerich, R.; Bäz-Oberhäuser, F.; Einfeld, H. & M. Braun (2010). *Ladestrategien für Elektrofahrzeuge*. Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.

Bundesnetzagentur (18.07.2011). „Szenarienrahmen für den Netzentwicklungsplan 2012“

Bundesregierung: „Nationale Strategiekonferenz Elektromobilität. Berlin : Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2008.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2011). (Hrsg.) Nationaler Masterplan Maritime Technologie. Deutschland, Hochtechnologie-Standort für maritime Technologien zur nachhaltigen Nutzung der Meere.

Die Bundesregierung (Hrsg.) (2009).

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.) (2010). *Elektromobilität: Umweltfreundlich und zukunftsfähig!* (Internet). Verfügbar unter: http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/industrie,did=329150.html. (08.03.2011).

Cama (Hrsg.) (2010). *Elektromobilität 2010. Wahrnehmung, Kaufpräferenzen und Preisbereitschaft potenzieller E-Fahrzeug-Kunden.*

Chéron, E., & Zins, M. (1997). Electric vehicle purchasing intentions: The concern over battery charge duration. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 31*(3), 235-243.

Chartouni, D.;, Bühler, T.; Linhofer, G. (2009): Wertvolle Energiespeicherung. In: Elektrotechnik 01/09, Seiten 46-50, AZ Medien, Baden, 2009.

David Dallinger, Daniel Krampe, Martin Wietschel (2010). Frauenhofer ISI, *Working Paper Sustainability and Innovation No S 4/2010, Vehicle –to Grid regulation based on a dynamic simulation of mobility behavoiur.*

David Dallinger, Daniel Krampe, Martin WietschelGärling, A. (2001). *Paving the way for the electric vehicle*. Präsentiert auf der Vinnova, Stockholm.

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2010). *Analyse der Notwendigkeit des Ausbaus von Pumpspeicherwerken und anderen Stromspeichern zur Integration der erneuerbaren Energien.* Abschlussbericht.

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2010a). *Dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015-2020 mit Ausblick 2015.*

Die Bundesregierung (Hrsg.) (2009). *Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung.* (Internet). Verfügbar unter: http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf (08.03.2011).

Energie Impuls OWL e.V. (Hrsg) (2010). *Klimafreundliche Elektromobilität: Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020.*

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (Hrsg.) (2010). *Potenziale der Elektromobilität bis 2050 - Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration.*

Forschungsstelle für Energiewirtschaft (Hrsg.) (2010). *Modellregion Elektromobilität München. Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeuge im Münchner Individualverkehr bis 2030.*

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (Hrsg.) (2010). *Energiekonzept 2050. Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien.*

Fuchs (2010). 8 Tipps für bessere iPhone Usability. Abgerufen von http://www.drweb.de/magazin/8-tipps-fuer-bessere-iphone-usability/, 03.11.2011

Frauenhofer ISI, Working Paper Sustainability and Innovation No S 4/2010, Vehicle –to Grid regulation based on a dynamic simulation of mobility behavoiur.

Gärling, A., & A. Johansson (1999). *An EV in the family*. Göteborg: Department of Road and Traffic Planning. Chalmers University of Technology: Göteborg.

Giordano, V.; Fulli, G. & M. Sánchez Jiménez (2011). Smart Grid projects in Europe : lessons learned and current developments. In: JRC Reference Reports.

T. Gobmaier, V.Schröpel (September 2010): „ Analyse des Zusammenhangs zwischen Strompreis und CO2-Emissionen“

Guille, C. & G. Gross (2009). *A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation.* In: Energy Policy, 37 (11), 4379–4390.

R.Haas (Februar 2011). „Strommärkte, Wettbewerb und die Rolle erneuerbarer Energieträger“

Helmschrott, T.; Perissinotto, D.; Scheufen, M. & Prof. Dr. A. Schnettler (2010). *Integriertes Verkehrs- und Energieflussmodell.* Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.

Hennings, W. & J. Linssen (2010). *Welche Netzdienstleistungen können Elektrofahrzeuge sinnvoll erbringen?* Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.

Institut für Energie- und Umweltforschung (Hrsg.) (2009). *Wasserstoff und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbaren Energien: Analyse der kurz und mittelfristigen Perspektive.*

Institut für Innovation und Technik (Hrsg.) (2010). *Smart Home in Deutschland.* Untersuchung im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung zum Programm Next Generation Media (NGM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie.

International Organization for Standardization (2006). Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO EN 9241-10). Berlin: Beuth Verlag.

Kaschub, T.; Mültin, M.; Schmeck, H.; Fichtner, W. & A. Kessler (2010). *Intelligentes Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen im Kontext eines Stadtviertels.* Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.

Kempton, W. & Letendre, S. (1997). *Electric Vehicles as a new power source for electric utilities.* Transportation Research Part D, 2, 157-175

Kleinmaier, M. (2009). *Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger.*

Kleinmaier, M. (2011). *Speicherbedarf in Systemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien.* Beitrag auf der Life Needs Power am 07.04.2011 in Hannover.

Klima- und Energiefonds (Hrsg.) (2009). *e-connected Abschlussbericht.*

Kraftfahrt-Bundesamt (Januar 2011). „Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern, FZ3“

Kurani, K., Heffner, R., & Turrentine, T. (2008). *Driving plug-in hybrid electric vehicles: Reports from U.S. drivers of HEVs converted to PHEVs*. In: UC Davis: Institute of Transportation Studies.

Kurani, K., Turrentine, T., & Sperling, D. (1996). Testing electric vehicle demand in 'hybrid households' using a reflexive survey. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 1*(2), 131-150.

Kurrat, M. (2010). *Herausforderungen und Lösungen für Verteilungsnetze der Zukunft.*

Krems, J.F. (2011). MINIEVatt Berlin – Freude am umweltgerechten Fahren, Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen – MINI E 1.0 Berlin (Abschlussbericht, Förderkennzeichen 16EM0003). Chemnitz: Technische Universität Chemnitz.

Krems, J.F., Bartholdt, L., Cocron, P., Dielmann, B., Franke, T., Henning, M.J., Ischebeck, M., Schleinitz, K., & Žilyte-Lennertz, M. (2011). MINI E powered by Vattenfall V2.0. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben Verbundprojekt: MINI E powered by Vattenfall V2.0 (Abschlussbericht, Förderkennzeichen 16EM0070). Chemnitz: Technische Universität Chemnitz.

Kempton, W.; Udo, V.; Huber, K.; Komara, K.; Letendre, S.; Baker, S.; Brunner, D.; Pearre, N. (2009): A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System. Mid-Atlantic Grid Interactive Cars Consortium 2009.

Van der Laan, J.D., Heino, A., & De Waard, D. (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. Transportation Research - Part C: Emerging Technologies, 5, 1-10.

Leitinger, C. & Litzlbauer, M. (2011*). Netzintegration und Ladestrategien der Elektromobilität.* In: Elektrotechnik und Informationstechnik:E & I, 128 (1-2), S 10-15

Leonhard, W. (2008). *Energiespeicher – eine Voraussetzung für die Integration natürlicher Energiequellen in das elektrische Verbundnetz.*

Lunz, B.; Sauer D. U. & R. W. De Doncker (2010). *Analyse von Ladeinfrastrukturkonzepten für Elektromobilität.* Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.

Lunz, B.; Sauer D. U. & R. W. De Doncker (2011). *Ladeinfrastrukturkonzepte für Elektromobilität.* Vortrag auf der Life Needs Power, 05.04.2011, Hannover

Modellregion Elektromobilität München (Hrsg.) (2011). *Ergebnisse Feldversuch. Modellregion Elektromobilität München.*

Modellregion Elektromobilität Sachsen (Hrsg.) (2011). *Flottenbetrieb mit Elektrofahrzeugen und Flottenmanagement unter dem Aspekt der Elektromobilität in der Modellregion Sachsen.* Zusammenfassung der Ergebnisse der zweiten Befragung sächsischer Flottenbetreiber.

Nationale Plattform Elektromobilität (Hrsg.) (2011). *Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität*

Nielson (2010). iPhone Apps need low starting hurdles. Abgerufen von http://www.useit.com/alertbox/mobile-apps-initial-use.html, 03.11.2011.

Norman, D. A. (1990). The design of everyday things. New York: Doubleday.

Opportunity (2010). *Elektromobilität – Perspektiven und Chancen für Unternehmen.*

Overlander (2008). Usability and the design of mobile interfaces. Abgerufen von http://www.smartphonemag.com/cms/node/1346, 03.11.2011.

Pehnt, M., Helms, H., Lambrecht, U., Dallinger, D., Wietschel, M., Heinrich, H., Kohrs, R., Link, J., Trommer, S., Pollok, T. & Behrens, P. (2011). *Elektroautos in einer von erneuerbaren Energien geprägten Energiewirtschaft.* Zeitschrift für Energiewirtschaft, 35, 221-234.

Pehnt, M., Höpfner, U., & Merten, F. (2007*). Elektromobilität und erneuerbare Energien (Electric driving and renewable energy).* Wuppertal: Institut für Klima, Umwelt, Energie.

Peters, Anja & Elisabeth Dütschke (2010). *Zur Nutzerakzeptanz von Elektromobilität. Analyse aus Expertensicht.*

Quinn, C.; Zimmerle, D. & T.H. Bradley (2010). *The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services*. In: Journal of Power Sources, 195(5), S. 1500-1509.

Röth, T. (2011). *Ec2Go – Weltweit erstes ganzheitliches E-Car-Sharing- Mobilitätskonzept.* Beitrag auf dem dritten deutschen Elektro-Mobil Kongress am 08. Juni 2011 in Bonn.

S.Roon, M. Huck (Juni 2008): „Merit Order des Kraftwerksparks“

Sebastian Müller, Christian Nacken und Daniel Prümper (Jahr unbekannt). Vortrag im Rahmen des Seminars Zukunftsenergien an der FH Aachen

Tobias Steinle (Jahr unbekannt). Energiespeicher und Elektromobilität

Rudel, R. & R. Bacher (2010). *Swiss2G – Pilot- and Demonstration Project. Jahresbericht 2010.*

Scherfke, S.; Schütte, S.; Wissing, C.; Nieße, A. & M. Tröschel (2010). *Simulationsbasierte Untersuchungen zur Integration von Elektrofahrzeugen in das Stromnetz.* Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.

Schill, W.-P. (2010). *Elektromobilität: Kurzfristigen Aktionismus vermeiden, langfristige Chancen nutzen.*

M. Schlesinger, D. Lindenberger, C.Lutz (27.08.2010). „Studie Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“,Anhang A1-20

Schnettler, A.; Szczechowicz, E. & T. Pollok (2010). *Elektromobilität: Forschungsthemen und Auswirkungen auf die Infrastruktur.* Beitrag auf der e-world 2010.

Schraven, S.; Kley, F. & M. Wietschel (2010). *Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung.* In: Working Paper Sustainability and Innovation. No. S 8 / 2010.

Schröppel, W. (2010). *Energiespeicher: Integration erneuerbarer Energien.*

Schwedes, O. (2011). *Die politischen Rahmenbedingungen der Genehmigung von Ladeinfrastruktur für Elektroverkehr im öffentlichen Raum.*

R. Schwerdfeger, M. Agsten, M. Ifland, S. Schlegel; A-K. Marten, D. Westermann (2011). *CIGRE - The Electric Power System of the Future Integrating super grids and microgrids; R. Schwerdfeger; "PHEV and BEV charge management strategies in Microgrids"*

Siemens (Hrsg.). (2010). *Business Strategy for ElectroMobility infrastructure.* Interview summary.

Sovacoola, B. K., Hirshb, R. F. (2009). Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition. *Energy Policy,* 37(3), pp. 1095-1103.

Stadtwerke München (Hrsg.) (2010). *Modellregion München – Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030.*

Studie Horváth & Partner

Turrentine, T.; Garas, D. ; Lentz, A. & J. Woodjack (2011). *The UC Davis MINI E Consumer Study.* In: UC Davis Institute of Transportation Studies.

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010). *Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen.*

Umweltbundesamt FG 1 2.5 (März 2011). „Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2009 und erste Schätzung 2010 im Vergleich zum Stromverbrauch“

Universität Duisburg Essen (Hrsg.) (2011). *Ergebnisse des CologneE-mobil Projekts.*

VDE (Hrsg.) (2010a). *Energieinformationsnetze und -systeme Bestandsaufnahme und Entwicklungstendenzen.*

VDE (Hrsg.) (2010b). *Smart Distribution 2020. Virtuelle Kraftwerke in Verteilungsnetzen. Technische, regulatorische und kommerzielle Rahmenbedingungen.*

VDE (Hrsg.) (2010c). *Elektrofahrzeuge – Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf.*

VDI (Jahr unbekannt). Abgleich des Elektrizitätsangebots aus erneuerbaren Energien und der Nachfrage

D.Westermann (Januar 2011). „Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen – MINI E 1.0 -- Schlussbericht – Teilprojekt 1.5 Gesteuertes Laden-Subtask 1.5.1.Einspeisung von Windenergie“

Dirk Westermann, Michael Agsten, Steffen Schlegel (2010). VDE Kongress 2010: "Verfahren zur optimierten Beladung einer großen Anzahl von Elektrofahrzeugen in elektrischen Verteilnetzen"

Dirk Westermann, Michael Kratz, Mike Ifland, Steffen Schlegel (2010). Modern Electric Power Systems (MEPS): "Integrated Modules for Optimized Operation of Distribution Grids"

Dirk Westermann, Michael Agsten, Steffen Schlegel, Mike Ifland (2011). IEEE General Meeting 2011: "Utilizing Battery Electric Vehicles and Plug-In Hybrids for Smart Grid Operation Techniques"

Dirk Westermann, Michael Agsten, Steffen Schlegel, Mike Ifland (2011). Beitrag in der Automatisierungstechnik (at): "Load Management Potential of Electric Vehicles"

Williams, B. (2007). *Commercializing light-duty plug-in/plug-out hydrogen-fuel-cell vehicles: 'Mobile electricity' technologies, early California household markets, and innovation management.*

Willumeit, H., Gediga, G. &, Hamborg, K.-C. (1996). IsoMetrics(L): Ein Verfahren zur formativen Evaluation von Software nach ISO 9241/10. Ergonomie und Informatik, 27, 5-12.

WWF Deutschland (Hrsg.). (2009). *Auswirkungen von Elektroautos auf den Kraftwerkspark und die CO_2-Emissionen in Deutschland.*

50Hertz Transmission GmbH (2011): „Zeitlicher Verlauf der EEG-Stromeinspeisung“ (Online) 2011, http://www.50hertz-transmission.net/cps/rde/xchg/trm_de/hs.xsl/167.htm?rdeLocaleAttr=de&rdeCOQ=SID-150D9FE5-27CF23DB

http://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherwerk_Goldisthal

http://de.wikipedia.org/wiki/Druckluftspeicherkraftwerk

H:https://www.enertrag.com/download/prospekt/hybridkraftwerk_kurzinfo_090417.pdf

https://www.kwh-Preis.de

https:// www.Energielandschaft.de

OpenStreetMap: http://www.openstreetmap.org/

Java Intelligent Agent Componentware V (JIAC V): www.jiac.de

Smart Personal Assistant: http://smartassistantsolutions.de

www.scrum-master.de

Balzer 2000, S. 97ff

Balzer 2000, S375ff

Business Process Model Notation

Open Charge Point Protocol (http://www.e-laad.nl/uploads/files/010-3_030_007%20-%201_0%20-%20Logica_CiMS_EID_OCPP.pdf)

http://www.ikt-em.de/

http://www.meregio-mobil.de/

Verbundpartner

VATTENFALL	Vattenfall Europe Innovation GmbH Überseering 12 22297 Hamburg	Dr. Oliver Weinmann
	Bayerische Motorenwerke AG Petuelring 130 80788 München	Ulrich Kranz
DAI-Labor TU Berlin	Technische Universität Berlin, DAI-Labor Ernst-Reuter-Platz 7 10587 Berlin	Prof. Dr.-Ing. Sahin Albayrak
TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ	Technische Universität Chemnitz Straße der Nationen 62 09111 Chemnitz	Prof. Dr. Josef F. Krems
TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU	Technische Universität Ilmenau Max-Planck-Ring 14 98693 Ilmenau	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Westermann