

Gemeinsamer Schlussbericht des Verbundvorhaben
IMEI
(Integrierte Mobilitäts- und Energieinfrastrukturen)



Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung
und Forschung (BMBF)

Zuwendungsempfänger: Ametras rentconcept GmbH BridgingIT GmbH (Koordinator) CarMedialab GmbH ENERGY4U GmbH Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation FZI Forschungszentrum Informatik	Förderkennzeichen: 16EMO0051 16EMO0050K 16EMO0052 16EMO0053 16EMO0055 16EMO0054
Vorhabenbezeichnung: IMEI – Integrierte Mobilitäts- und Energieinfrastrukturen Im Spitzencluster: Elektromobilität Süd-West „road to global market“	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2014 – 28.02.2017	
Berichtszeitraum: 01.09.2014 – 28.02.2017	

Inhalt

1.	Einführung	1
1.1.	Aufgabenstellung	1
1.2.	Rahmenbedingungen des Projektes	2
1.3.	Planung und Ablauf des Projektes	2
1.4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	3
1.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	3
2.	AP 100 – Schwarmbasiertes Lastmanagement	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2.1.	Definition eines gemeinsamen Projektsopes	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2.2.	AP 110 – Anforderungsanalyse/Konzept	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2.3.	AP 130 – Kommunikations- und Applikationsprotokoll	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2.4.	AP 135 – Dienste-Entwicklung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2.5.	AP 140 – Systemdienste und Ausnahmebehandlung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2.6.	AP 150 – Aufbau Funktionsdemonstrator.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3.	AP 200 – Flottenlastmanagement.....	4
3.1.	Management Summary.....	1
3.2.	AP 200 – Übersicht und Scope	2
3.3.	AP 210 – Flottenlastmanagement.....	3
3.4.	AP 220 – Integration von E-Fahrzeugen und Energienetzen in Lademanagementstrategien.....	30
3.5.	AP 230 – Umfeldanalyse IT.....	46
4.	AP 300 – Potentiale zur Netzunterstützung durch Microgrids	56
3.1.	Management Summary.....	56
4.1.	AP 300 – Übersicht und Scope	56
4.2.	AP 310 – Vergleich zentral und schwarmbasiertes Lastmanagement.....	57
4.3.	AP 320 – Potentiale benachbarter Microgrids.....	69
4.4.	AP 330 – Technische und ökonomische Bewertung	77
5.	AP 400 – IKT Dienste für integrierte Systeme	87
5.1.	AP 410 – Konzeption von IT-Diensten für Nutzer von eFlotten.....	87
5.2.	AP 420 – Entwicklungskonzept einer IT-Diensteplattform	108
5.3.	AP 430 – Prototypische Implementierung der IT-Dienste in einem Abrechnungssystem	114
5.4.	AP 440 – Prototypische Entwicklung einer IT-Diensteplattform auf Basis eines „Registry-Ansatzes“	125

6.	AP 500 – Sozio-ökonomische Rahmenbedingungen.....	140
6.1.	Management Summary.....	140
6.2.	AP 510 – Metastudie und GAP Analyse	140
6.3.	AP 520 – Entwicklung Cyber-Physical Layer.....	171
6.4.	AP 530 – Bereitstellung und Abrechnung von Flexibilität in einem zellularen Netz.....	200
6.5.	AP 540 - Entwicklung zukünftiger Marktdesigns.....	232
7.	AP 600 – Projektkoordination	266
8.	Literaturverzeichnis.....	268
9.	Anhang	274
	Akteure und Rollen.....	274

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektzeitplan inkl. Veränderungen ggü. Projektantrag.....	2
Abbildung 2: Aufbau des Architekturdiagramms SBLaden.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 3: Kommunikationsstandards / Architekturdiagramm.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4: Beispiel MQTT-Kommunikationsinfrastruktur	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5: Beispiel MQTT-Funktionsweise mit Broker	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6: Ablaufbeispiel.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 7: Aufbau Funktionsdemonstrator.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 8: Systemübersicht AP200.....	2
Abbildung 9: Zentrale Navigation	4
Abbildung 10: Rollen/Rechte.....	5
Abbildung 11: Übersicht Rollen/Rechte	5
Abbildung 12: Kundendaten	6
Abbildung 13: Kundendaten – Personalausweis	6
Abbildung 14: Erfassung der Kundendaten und Fortschrittsanzeige	7
Abbildung 15: Buchungen.....	7
Abbildung 16: Stationen	8
Abbildung 17: Gegenüberstellung der beiden Algorithmen mit den Daten des Fraunhofer IAO ...	9
Abbildung 18: Überblick Datenfluss	11
Abbildung 19: Routenausgabe Simulation	12
Abbildung 20: Basis der Routenplanung	14
Abbildung 21: Routenplanung mit festen Zwischenzielen (UC1)	16
Abbildung 22: Routenplanung bei variablen Zwischenzielen.....	17
Abbildung 23: Routenplanung bei Energieunterdeckung	18
Abbildung 24: Vorgehen Prognoseplanung.....	20
Abbildung 25: Überblick Prognosemethoden	21
Abbildung 26: Prozessablauf	26
Abbildung 27: Prognosegüte der Wochenmodelle	28
Abbildung 28: Prognosegüte der Tagesmodelle.....	28
Abbildung 29: Elektrifizierungsgrad nach Modell.....	29
Abbildung 30: Komponentenübersicht	30
Abbildung 31: Beispiel-Tabelle mit generierten Buchungen und Energieprognose	31

Abbildung 32: Virtuelle Fahrt mit Geschwindigkeit und Energieverbrauch.....	32
Abbildung 33: Disposition und Ladereservierung	33
Abbildung 34: Standard-Ansicht des Simulationstools.....	33
Abbildung 35: Szenario bearbeiten	34
Abbildung 36: Task bearbeiten und das Definieren der Simulationsskripte.....	34
Abbildung 37: Task bzw. den dahinterliegenden Simulationsvorgang ausführen	35
Abbildung 38: Vorschau der Simulationsergebnisse	35
Abbildung 39: Übersicht der Simulationskomponenten	36
Abbildung 40: Neue Komponenten zur Energiebereitstellung.....	37
Abbildung 41: Simulation mit mehreren Standorten	37
Abbildung 42: Ablauf eines bzw. mehrerer Simulationsdurchgänge	38
Abbildung 43: Kabel- und Steckerproblematik beim Lade- und Lastmanagement.....	40
Abbildung 44: Ergebnisse zweier Algorithmen (2 Tage; links: bevorzugt Solarenergie, rechts: ohne Algorithmus)	42
Abbildung 45: Anzahl der möglichen Buchungen in Abhängigkeit der Ladeleistung.....	43
Abbildung 46: Deckungsanteile mit Solarenergie der Algorithmen.....	44
Abbildung 47: Ergebnisse der Lastspitzenvermeidung.....	44
Abbildung 48: Vision von AtoMat. Quelle: http://www.automat-project.eu/content/objectives	51
Abbildung 49: OGEMA-Framework Project BEAMS. Quelle: Abschlussbericht Project BEAMS. ...	53
Abbildung 50: Übersicht und Scope	56
Abbildung 51: Abhängigkeit der BD_{EE} von Koordination und von Variation der EE-Parameter....	66
Abbildung 52: Abhängigkeit der BD_{EE} von Koordination und von Variation der Fahrzeug Parameter	66
Abbildung 53: Maximale Netzbezüge in Abhängigkeit der Ladeleistung als Boxplot	67
Abbildung 54: Niedriger Anteil an Solarenergie.....	67
Abbildung 55: Mittlerer Anteil an Solarenergie	68
Abbildung 56: Hoher Anteil an Solarenergie	68
Abbildung 57: Regelarchitektur bei der Vernetzung mehrerer Microgrids	70
Abbildung 58: Ablaufdiagramm des Smart Grid Controller Algorithmus	71
Abbildung 59: Veranschaulichung des Gesamtmodells	72
Abbildung 60: Auszug aus der Simulation: Zusammenspiel des Smart Grid Controllers mit den Micro Grid Controllern	74
Abbildung 61: Architekturen für schwarmbasiertes Lastmanagement in topologisch benachbarten Microgrids	75

Abbildung 62: Beispielhaftes NeRo-Schaubild (Brand, 2015)77

Abbildung 63: Netzrollenmodell für den Fall „keine Vernetzung“78

Abbildung 64: Netzrollenmodell für die Vernetzung mehrerer Microgrids („ungeregelter Fall“) 79

Abbildung 65: Netzrollenmodell für die Vernetzung mehrerer Microgrids („geregelter Fall“) ...80

Abbildung 66: Leistungs-Histogramm zum Vergleich der Leistungen für den Modus geregelt und unregelt. $P_{SG} > 0$: Netzbezug, $P_{SG} < 0$: Netzeinspeisung.....80

Abbildung 67: Vergleich der Anteile Energiebezüge und -abgaben der einzelnen MGs.....81

Abbildung 68: Vergleich der Zyklenzahlen der Batteriespeicher für den geregelten und unregelten Fall82

Abbildung 69: Differenz im Energiefluss über den Transformator zwischen unkoordiniertem und koordiniertem Szenario auf Tagesbasis.....83

Abbildung 70: Verteilung der Trafolasten ohne Ladesteuerung (links) und mit schwarmbasierter Koordination (rechts).....83

Abbildung 71: Kosten für den Strombezug und Vergütung für Einspeisung für eine Beispielwoche84

Abbildung 72: Verteilung der Erlöse durch Netzeinspeisung der Erneuerbaren Energien sowie der Kosten durch den Bezug von Strom ohne Ladesteuerung (links) und mit schwarmbasierter Koordination (rechts).....85

Abbildung 73: Wertschöpfungsarchitektur (eigene Abbildung)89

Abbildung 74- Spektrum mobiler Dienstleistungen91

Abbildung 75: Verbindung mittels einer Plattformlösung wie Hsubject.....92

Abbildung 76 -Netzwerkeffekte innerhalb Zweiseitiger Märkte96

Abbildung 77 -Beispiel für einen zweiseitigen Markt in der Elektromobilität (angelehnt97

Abbildung 78 -Sequenzdiagramm zur Buchung (eigene Abbildung)103

Abbildung 79 -Prozess eCarSharing (eigene Abbildung)105

Abbildung 80 -Beispielhafter Buchungs- und Ladevorgang (angelehnt an Anthrakidis S. 116) .105

Abbildung 81 -Beispielhafter Buchungs- und Ladevorgang mit Problemen106

Abbildung 82: Klassisch vernetzte Architektur109

Abbildung 83: Cyber-Physical System.....111

Abbildung 84: Cyber Physical System mit MSP113

Abbildung 85 - Zusammenhang zwischen Mobilitäts-Nutzer, Anbieter und IMP (eigene Darstellung)115

Abbildung 86 - Abrechnungsszenario (eigene Darstellung)116

Abbildung 87: Prototypenschema117

Abbildung 88 - Datenmodell zur Abrechnung von Mobilitäts-Services im Rahmen vom Prototyp117

Abbildung 89: SAP Mobilitäts-anbieter und Mobilitätsnutzer anlegen118

Abbildung 90: Vertragskonto anlegen.....119

Abbildung 91: Vertrag anlegen.....120

Abbildung 92 -Hinzufügen einer Abrechnungsregel für einen Mobility-Service.....121

Abbildung 93: Tabelle E17 im SAP121

Abbildung 94 -Eingehender Event Data Record122

Abbildung 95: SAP Eingabefenster eMobility123

Abbildung 96:SAP Convergent Invoicing124

Abbildung 97:Struktur des arc42-Templates.....125

Abbildung 98 Schematische Darstellung einer Datenintegration (Pasupuleti & Salome, 2015)128

Abbildung 99 Einzelschritte im Prozess der Datenintegration (Pasupuleti & Salome, 2015)128

Abbildung 100 Datenprofilierung (Pasupuleti & Salome, 2015)130

Abbildung 101 Wichtige Elemente der Datenbereinigung (Pasupuleti & Salome, 2015)130

Abbildung 102 Wichtige Bestandteile der Datentransformation (Pasupuleti & Salome, 2015) 132

Abbildung 103 Übersicht der Datenanreicherung (Pasupuleti & Salome, 2015).....134

Abbildung 104 Beziehung des DAM-Konzepts zur Marktkommunikation (Strücker, Stadler, Mayer, & Terzidis, 2016).....137

Abbildung 105 Beziehung des DAM-Konzepts zum Marktstammdatenregister (Strücker, Stadler, Mayer, & Terzidis, 2016).....138

Abbildung 106: Altersaufbau der Bevölkerung142

Abbildung 107: Car ownership rates projections145

Abbildung 108: Changing consumer spendings oft he middle class146

Abbildung 109Wohnen in Ballungsräumen.....148

Abbildung 110: Modal split.....151

Abbildung 111Total number of fatalities in road accidents154

Abbildung 112kritische Faktoren der elektromobilität158

Abbildung 113: Marktanteile bei Elektroautos160

Abbildung 114: förderplan162

Abbildung 115: Cyber-Physisches-System am Beispiel der 4G Kommunikation.....176

Abbildung 116:Architektur Cyber Physical System.....178

Abbildung 117: Funktionen eines DAM.....180

Abbildung 118:Mischform eines DAM Umsetzungskonzeptes182

Abbildung 119: Verteilung von Fahrzeugen in einem Netzgebiet184

Abbildung 120: Systembild Herausforderungen für ein CPS.....194

Abbildung 121 Systemarchitektur	201
Abbildung 122 HTTP Get Request	201
Abbildung 123 Ausschnitt einer Datenbanktabelle.....	201
Abbildung 124 Beispielhafter Kommunikation mit dem Backend	202
Abbildung 125 Funktionen der Anwendung „Private Car Management“	203
Abbildung 126 Loginmaske und Dashboard.....	204
Abbildung 127: Hauptmenü und Lademanagement	205
Abbildung 128 Ladevorgang starten.....	206
Abbildung 129: Ladesteuerung.....	207
Abbildung 130: Profile	207
Abbildung 131: Ladestationssuche, Fahrzeugverwaltung, Dashboard	208
Abbildung 132 Auszug aus dem Code der HANA Datenbankprozedur	208
Abbildung 133 Auswahl der Anwendung	209
Abbildung 134 Hauptmenü der Anwendung Corporate Carsharing	210
Abbildung 135 Screen Kilometerbuchung	211
Abbildung 136 Datum- Uhrzeit-Auswahl.....	212
Abbildung 137 Start- Endezeit Fehlermeldung.....	212
Abbildung 138 Erfolgs- bzw. Fehlermeldung einer Buchung	213
Abbildung 139 Buchung durch Zieleingabe	214
Abbildung 140 Erfolgs- bzw. Fehlermeldungen der Zielorteingabe	214
Abbildung 141 Buchungstabelle in der Ansicht für Mobile und Desktop	215
Abbildung 142 Buchung bearbeiten.....	216
Abbildung 143 Profil anlegen	217
Abbildung 144 Bestätigung Profil anlegen	217
Abbildung 145 Profile anzeigen.....	218
Abbildung 146 Ladeplan der Anwendung	219
Abbildung 147 Statistik Screen.....	220
Abbildung 148 - Clusteranalyse zu den historischen Ladedaten des Fraunhofer IAO	221
Abbildung 149 - Anwendungsfälle der BI-Applikation „FlexiForecast“	224
Abbildung 150: Prozess zur Ermittlung des Flexibilitätspotentials	225
Abbildung 151 - Systemarchitektur der BI-Anwendung.....	226
Abbildung 152 - Datenmodell der mobilen und der BI-Anwendung.....	227
Abbildung 153 - Benutzeroberfläche der BI-Anwendung (Start-Screen).....	228

Abbildung 154- Flexibilitätsanfragen und Erfüllungsgrad anzeigen229

Abbildung 155: Menge verschiebbarer Ladevorgänge zu einer Flexibilitätsanfrage229

Abbildung 156 - Modellierung der Calculation Views zur Berechnung des Flexibilitätspotentials230

Abbildung 157: Simulation230

Abbildung 158 - Vergleich von 2 Methoden zur Berechnung von Flexibilitätspotential.....231

Abbildung 159: Einsatzreihenfolge von Flexibilitätsmaßnahmen (Krzikalla, et al., 2013)234

Abbildung 160:Veränderungen der Lastrampen und Lastwechsel bis 2050 (Frohne, 2012)235

Abbildung 161: Leistungsgradienten von thermischen Kraftwerken (VDE Frankfurt, 2012)237

Abbildung 162: Abregelungsmaßnahmen der Netzbetreiber (Zerres, 2013).....238

Abbildung 163: Europäische Transportnetzausbau Projekte 2017-2022 (ENTSO-E, 2012)243

Abbildung 164:Speichertechnologien im Vergleich (DVGW, 2011)244

Abbildung 165: Modell für einen Lageenergiespeicher (Heindl, 2014).....245

Abbildung 166: Ragone-Diagramm (Kalhammer, et al., 2007).....246

Abbildung 167: Schematischer Ablauf des P2G und G2P Prozess (Waldstein, 2015)247

Abbildung 168:Power-to-Gas Transformation in der P2G Anlage von Audi (Waldstein, 2015).248

Abbildung 169:Leistungspreisentwicklung 2008-2013 (Consentec GmbH, 2014)251

Abbildung 170: Grünstromvermarktungsmodell 2014 (Clean Energy Sourcing, EWS, Greenpeace Energy, naturstrom, 2014).....255

Abbildung 171:Merit Order – Terminmarktpreise vom 4.9.2012 (Kranner & Sharma, 2013) ...257

Abbildung 172:Vergleich statischer mit dynamischer EEG-Umlage (Nabe & Bons, 2014).....262

Abbildung 173: Auswirkung der Flexibilitätsoptionen auf Angebot und Nachfrage (BMW, 2014)265

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Laufzeitvergleich des bestehenden Tetris-Algorithmus und dem ISC Gebhardt Algorithmus	9
Tabelle 2: Prognosemodelle	27
Tabelle 3: Übersicht der Algorithmen	41
Tabelle 4: Eigenschaften der Algorithmen	42
Tabelle 5: Konfiguration des Basisszenarios der Simulation	64
Tabelle 6: Ergebnisse der Simulation des Basisszenarios inkl. Optimaler Lösung.....	65
Tabelle 7: Übersicht der Szenarien für die Sensitivitätsanalyse.....	65
Tabelle 8: Übersicht der Anlagendaten (Erzeugung und Speicher) der Microgrids	73
Tabelle 9: Eigenschaften der Visualisierung (Quelle: Brand, 2015; eigene Darstellung)	78
Tabelle 10: Vergleich der Energiemengen für den Modus geregelt und ungeregelt.....	81
Tabelle 11 -Beispieldaten Routenanfrage (eigene Tabelle).....	100
Tabelle 12-Beispieldaten Routenausgabe (eigene Tabelle)	101
Tabelle 13 - Beispieldaten Ladeprofil (eigene Tabelle)	102
Tabelle 14 -Gegenüberstellung der Anforderungen mit der Umsetzung aus dem Konzept (eigene Tabelle)	107
Tabelle 15: Epics nach Stakeholder-Perspektive	185
Tabelle 16: Anwendungsfälle	223
Tabelle 17: Das Potential der heutigen thermischen Kraftwerke (Magnin, 2012).....	236
Tabelle 18: Potenziale flexibler Stromnachfrage (Klobasa, 2014).....	240
Tabelle 19: Anforderungen an Regelfähigkeit (Verband der Netzbetreiber, 2007).....	250
Tabelle 20: Kapazitätsmechanismen zur Erweiterung des EOM (Winkler, et al., 2013).....	258

1. Einführung

1.1. Aufgabenstellung

Basierend auf den Erfahrungen und dem Fachwissen, sowie den Vorarbeiten aus dem Spitzenclusterprojekt Smart Grid Integration und der engen Zusammenarbeit im Spitzencluster Elektromobilität Baden-Württemberg, wurden die Inhalte und Ziele des Projektes Integrierte Mobilitäts- und Energieinfrastrukturen (IMEI) gesetzt und zwei typische lokale Szenarien für verfügbare Erzeugungs-, Verbrauchs- und Speicherkomponenten wurden abgebildet und die Potentiale von gesteuerten Ladevorgängen bei Elektrofahrzeugen untersucht.

Im ersten Szenario wurden die Integration von Elektrofahrzeugen in ein Gebiet mit Privathaushalten und kleinen Gewerbeunternehmen analysiert. Die Steuerung der Ladevorgänge erfolgt hier dezentral über einen schwarmbasierten Ansatz, bei dem die Fahrzeuge lokal Informationen austauschen. Im zweiten Szenario wurden optimierte Betriebsstrategien für die Integration einer Flotte von Elektrofahrzeugen bei Industriekunden erforscht.

Beide Szenarien erforderten in der Umsetzung eine IKT Dienstplattform für Nutzer. Es wurde daher eine Dienste-Plattform entworfen.

Die maßgeblichen Treiber für die Konzepte in diesem Projekt basieren auf den Annahmen zu zukünftigen Mobilitätsverhalten von Endnutzern. Daher wurden mögliche Mobilitätsszenarien insbesondere unter den Aspekten des demographischen Wandels und von Bevölkerungsbewegungen zwischen Metropolregionen und ländlichem Raum analysiert, um somit die gesellschaftliche Entwicklung frühzeitig einzubinden.

Im Einzelnen verfolgten die Projektpartner die folgenden Ziele:

- Entwicklung und Bewertung eines schwarmbasierten Lastmanagements.
- Entwicklung eines Flottenlastmanagements für dezentral und zentral gesteuerte Flotten.
- Analyse bisher bestehender IT Infrastrukturen und Plattformen.
- Konzeption und Entwicklung einer IT Plattform die den Anforderungen aus dem Projekt entspricht.
- Entwicklung eines Cyber-Physical Layers. Dieser bildet die physikalischen Komponenten eines zellularen, smarten Microgrids in einer IT Umgebung ab.
- Technische und ökonomische Bewertung von Netzunterstützung durch E-Fahrzeuge, sowie die Vernetzung mit mehreren Microgrids
- Durchführung einer Meta-Studie zur Analyse aktueller Mobilitätsszenarien unter den Aspekten des demographischen Wandels, Nutzerzentrierung und Akzeptanzevaluation
- GAP-Analyse zwischen aktuellen Geschäftsmodellen und zukünftigen Anforderungen
- Aus demographischem Wandel und der Urbanisierung abgeleitete Anforderungen an zukünftig tragfähige Geschäftsmodelle

- Erstellung von konkreten Handlungsempfehlungen auf Basis der vorangegangenen Analysen und Evaluationen

1.2. Rahmenbedingungen des Projektes

Die Umstellung des Verkehrssektors auf Elektromobilität wird als ein wesentlicher Baustein einer nachhaltigen Mobilität betrachtet. Um parallel zur Transformation des Energiesystems die damit verbundenen weitreichenden Veränderungen im Verkehrssystem umzusetzen, bedarf es einer vorausschauenden Planung und Entwicklung der zukünftigen Rahmenbedingungen für Verkehrs- und Energiesystem gleichermaßen.

1.3. Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt IMEI wurde in dem geplanten zeitlichen Rahmen von 36 Monaten abgeschlossen. Es gab keine Veränderung der Arbeits- und Kostenplanung gegenüber der Teilvorhabensbeschreibung (TVB). Bei der Zeitplanung gab es durch den späteren Projektstart im September (statt Juli) lediglich kleine Veränderung gegenüber des ursprünglichen Plans.

Die Projektpartner gliederten das Projekt in sechs Arbeitspakete, die je einem Partner eindeutig als AP-Leiter zugeordnet waren. Eine Übersicht über die inhaltlichen Schwerpunkte und den detaillierten Zeitplan zeigt Abbildung 1.



Abbildung 1: Projektzeitplan inkl. Veränderungen ggü. Projektantrag

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die im Vorhaben verwendeten Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, sowie die Fachliteratur werden in den folgenden Zusammenfassungen der Arbeitspaketberichte aufgeführt.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Mit den im Folgenden aufgeführten Projekten und Institutionen arbeitete das Projekt IMEI zusammen:

- Spitzencluster Elektromobilität Süd-West (ESW)
- BMBF-Spitzenclusterprojekt „BiE – Bewertung integrierter Elektromobilität“: das Projekt BiE hat zwei wesentliche Ziele: Nahtlose Integration der Elektromobilität in den Alltag und Neuartige Planungs- und Kooperationsmöglichkeiten für Dienstleister und Unternehmen.
- BMBF-Spitzenclusterprojekt „SGI“: Das Projekt Smart Grid Integration (SGI) hat es sich zur Aufgabe gemacht, wesentliche Fragestellungen, die für eine flächendeckende Integration der Ladeinfrastruktur und die Einbindung einer großen Anzahl von E-Fahrzeugen in das intelligente Energiesystem auf lokaler Ebene relevant sind, zu beantworten.

2.1. AP 110 – Anforderungsanalyse/Konzept

Diese Arbeit setzt sich zum Ziel, im Kontext eines Niederspannungsnetzes, ein Verfahren zum schwarmbasierten Lademanagement für Elektroautos zu entwickeln. In diesem Verfahren sollen Haushalte, Elektroautos, Anlagen zur Erzeugung Erneuerbarer Energie (EE-Erzeuger) und stationäre Energiespeicher mit dem Ziel dezentral koordiniert werden, einen möglichst hohen Anteil des Energiebedarfs eines Wohnviertels durch EE zu decken. Die Erreichung dieses Ziels muss unter den Nebenbedingungen gelingen, dass alle Fahrzeuge weiterhin ihre geplanten Fahrdienste zuverlässig erfüllen können, die maximal zulässige Trafobelastung des Niederspannungstransformators nicht überschritten wird, Informationen zu zukünftigen Leistungsbedarfen und -bereitstellungen nur kurzfristig vorhergesagt werden können und sensible, private Fahrdaten nicht geteilt werden müssen.

Dieses Kapitel legt die theoretischen Grundlagen für die weitere Bearbeitung der Fragestellung. Zuerst wird das Thema Schwarmintelligenz mit zugehörigen Methoden und Architekturen vorgestellt. Anschließend wird eine Einführung in Energieversorgung und Elektromobilität gegeben und deren Entwicklung in den letzten Jahren betrachtet, bevor Verfahren zur Koordination von Elektrofahrzeugladungen vorgestellt werden.

Schwarmintelligenz

Im Tierreich begegnen uns täglich außerordentliche Leistungen von Lebewesen, die alleine über deren individuelle kognitive Kapazitäten nicht zu erklären sind: Die Koordination von Vogelschwärmen, die gemeinsame viele tausend Kilometer zurücklegen; Fischeschwärme, die plötzlich Räubern und Hindernissen ausweichen und gemeinsam ihre Richtung ändern; Ameisenvölker, die über Kilometer den kürzesten Weg zu einer Futterquelle finden. In all diesen Beispielen ist das Auftreten als Schwarm der Erfolgsfaktor, obwohl jedes Tier ein autonomes Individuum ist (Jennings & Wooldridge, 1998). Dabei handelt jedes Tier (auch Agent genannt) nur nach einfachen Regeln, die genetisch verankert sind (Wilson, 1975), kommuniziert aber, direkt oder indirekt, mit den Nachbarn. Daraus entsteht ein beobachtbares Verhalten, das über die Koordinationsfähigkeiten des einzelnen Schwarmteilnehmers hinausgeht. Das Herausbilden eines solchen Schwarmverhaltens wird als Emergenz bezeichnet (Krohn & Küppers, 1992).

Immer wieder finden Beobachtungen von schlaun und gleichzeitig einfachen Problemlösungen in der Natur Einzug in die Entwicklung von technischen Lösungen für die Gesellschaft. So ist z.B. die Flugfähigkeit von Vögeln der Anstoß zur Entwicklung des Flugzeugs gewesen (Lukasch, 2014) und besonders im Bereich der Oberflächenstruktur von Gegenständen ist die Pflanzenwelt vielfach Anstoß gewesen (Barthlott & Neinhuis, 1998). So hat auch das beobachtete Schwarmverhalten von Populationen dazu geführt, dass sich, insbesondere im Zusammenhang mit Informationssystemen, der Begriff Schwarmintelligenz in Industrie und Forschung etabliert hat (Xu, et al., 2013). Dabei haben sich zwei Forschungsschwerpunkte gebildet: Der eine betrachtet die Kommunikation und Verschaltung der Agenten, also deren Organisation und der andere betrachtet die Art der Koordination zwischen den Agenten zur Herausbildung eines emergenten Verhaltens. Der erste Schwerpunkt firmiert in Deutschland unter dem Schlagwort „Organic Computing“ und war von 2005 bis 2011 besonders geförderter Forschungsfokus der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Müller-Schloer, Schmeck, & Ungerer, Organic Computing - A Paradigm Shift for Complex Systems, 2011) (Müller-Schloer, von der Malsburg, & Würt, 2004). Der zweite Schwerpunkt befasst sich mit naturalogenen Heuristiken (auch

Naturinspirierte Optimierungsverfahren), die zur zentralen und verteilten Lösung von Optimierungsproblemen angewendet werden können (Bogon, 2013). Die Akteure in einem Schwarmsystem werden Agenten genannt. Ein Agent ist eine eigenständige Entität, die ein Ziel verfolgt (Zambonelli, Franco und Jennings, Nicholas R und Wooldridge, Michael (2003)). Dabei gibt es drei Eigenschaften, die jeder Agent haben muss: (1) Autonomy, (2) Situatedness und (3) Proactivity. (1) bedeutet, dass ein Agent nicht ausschließlich fremdgesteuertes Element eines größeren Übersystems ist, sondern seinen eigenen Handlungsstrang verfolgt. (2) bedeutet, dass ein Agent sich in einer Umgebung befindet, die er wahrnehmen kann, die Einfluss auf ihn haben und die er beeinflussen kann. (3) legt fest, dass ein Agent proaktiv seine Ziele verfolgt und auch unter Unsicherheit Entscheidungen trifft (Wooldridge & Jennings, 1995). Im Tierreich begegnen uns täglich außerordentliche Leistungen von Lebewesen, die alleine über deren individuelle kognitive Kapazitäten nicht zu erklären sind: Die Koordination von Vogelschwärmen, die gemeinsam viele tausend Kilometer zurücklegen; Fischschwärme, die plötzlich Räubern und Hindernissen ausweichen und gemeinsam ihre Richtung ändern; Ameisenvölker, die über Kilometer den kürzesten Weg zu einer Futterquelle finden. In all diesen Beispielen ist das Auftreten als Schwarm der Erfolgsfaktor, obwohl jedes Tier ein autonomes Individuum ist (Jennings & Wooldridge, 1998). Dabei handelt jedes Tier (auch Agent genannt) nur nach einfachen Regeln, die genetisch verankert sind (Wilson, 1975), kommuniziert aber, direkt oder indirekt, mit den Nachbarn. Daraus entsteht ein beobachtbares Verhalten, das über die Koordinationsfähigkeiten des einzelnen Schwarmteilnehmers hinausgeht. Das Herausbilden eines solchen Schwarmverhaltens wird als Emergenz bezeichnet (Krohn & Küppers, 1992).

Intra- und Interagentenarchitektur

Im ersten Schwerpunkt der Betrachtung von Schwarmsystemen, dem Organic Computing, wird die Intra- und Interagentenarchitektur von Schwärmen untersucht und versucht auf Anwendungen in der Informatik und Industrie zu münzen. So sind in den letzten Jahren einige Architekturen entwickelt worden, die für den Aufbau von Schwärmen genutzt werden können. Im Folgenden werden 3 Architekturen kurz vorgestellt, die Observer/Controller Architektur, das Operator/Controller Modul und die MAPE Architektur, die aus dem Autonomic Computing Vorstoß von IBM entstanden ist (Kephart & Chess, 2003).

Die Observer/Controller Architektur wurde Mitte der 2000er an der Universität Karlsruhe und Hannover entwickelt und ist in Richter et al. (2006) beschrieben. Kern der Architektur ist ein zu kontrollierendes System, das „System under observation und control“ (SuOC), welches von einem Controller gesteuert wird, der wiederum Beobachtungen über das System und die Umwelt vom Observer erhält und diese, zusammen mit Anweisungen von außen, in die Bestimmung von folgenden Handlungen umsetzt. Schematisch ist das in Abbildung 2 zu sehen. Das Verhalten des Observers wird von einem Observer-Modell bestimmt, das festlegt, welche Daten beobachtet werden sollen, wie die beobachteten Daten analysiert und wie aus den Analysen Vorhersagen generiert werden.

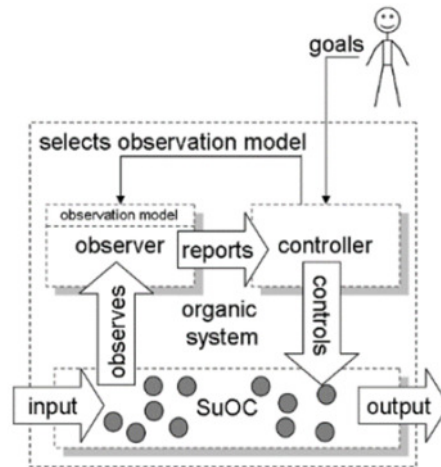


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Observer-Modells

Der Observer-Prozess beginnt dann mit der Sammlung von Rohdaten aus dem SuOC durch den Monitor. Nach der Vorverarbeitung durch den Pre-Processor werden die Daten im Data Analyzer analysiert und anschließend Vorhersagen im Predictor erstellt. Der Aggregator stellt dann die Parameter zusammen, die an den Controller übergeben werden. Der Controller wiederum weißt, durch eine Projektion vom Parameterraum in den Aktionsraum, den übergebenen Parametern eine Aktion zu, die er dann mit dem SuOC ausführt. Dieser Projektion kann noch eine Simulation und Evaluation des Simulationsergebnisses nach einer festgelegten Zielfunktion vorangestellt sein, die wiederum Einfluss auf die Aktionen des Controllers haben kann (Richter, Mnif, Branke, Müller-Schloer, & Schmeck, 2006). Die Architekturen von Observer und Controller sind in Abbildung 3 zu sehen.

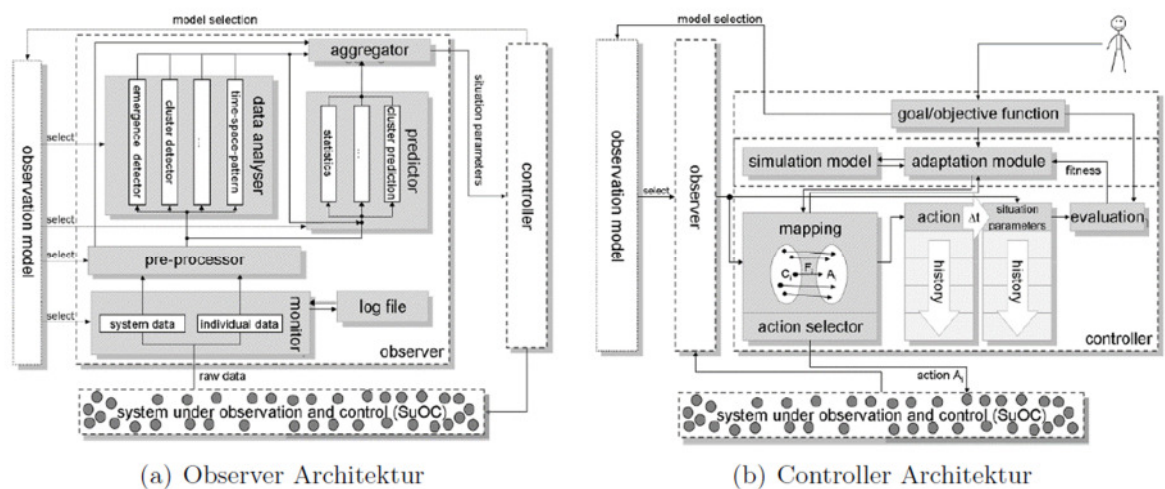


Abbildung 3: Architektur von Observer und Controller Controller aus Richter et al. (2006)

Ein SuOC kann sowohl aus mehreren Agenten, als auch nur aus einem einzelnen bestehen. Dies ist abhängig von der gewählten Realisierung der Observer/Controller-Architektur. Schmeck beschreibt drei dieser Architekturen in Schmeck et al. (2010). In einer zentralen Realisierung sind alle Agenten in einem SuOC zusammengefasst. Dieses wird nun zentral von

außen gesteuert. In einer dezentralen Realisierung ist jeder Agent ein eigenes SuOC. Diese SuOC können nun z.B. durch einen Kommunikationsmechanismus zusammengeschaltet werden, wie es Kamper in seiner Dissertation darstellt (Kamper, 2010). Eine Multi-Level Realisierung fasst eine Menge von mehreren SuOC wiederum als SuOC auf, das von einem übergeordneten Controller gesteuert wird. Die Realisierungen sind schematisch in Abbildung 4 zu sehen.

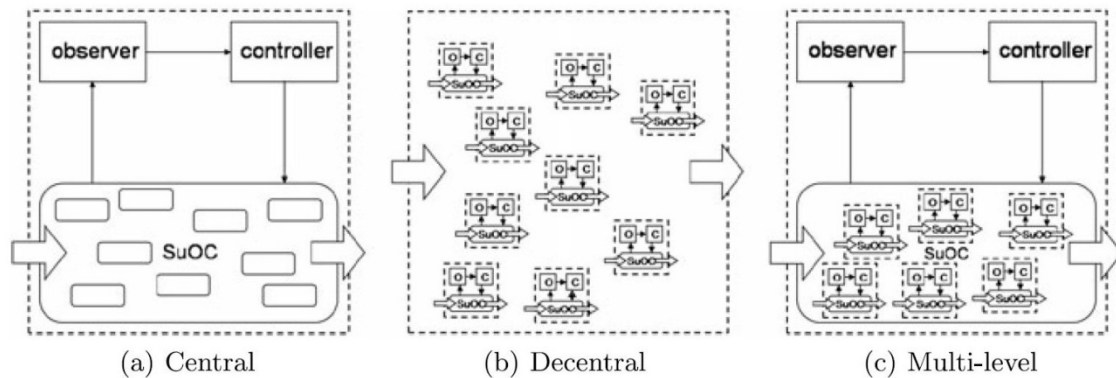


Abbildung 4: Drei Realisierungen der Observer/Controller Architektur aus Schmeck et al. (2010)

Der Ansatz zur Architektur durch Operator/Controller Module ist Anfang der 2000er an der Universität Paderborn entwickelt und in der Dissertation von Oberschelp (2008) ausführlich vorgestellt worden. Der Ansatz verfolgt das Ziel ein selbstoptimierendes mechatronisches System zu konstruieren. Dieses mechatronische System (z.B. die Wanksteuerung eines Autos) besteht wiederum aus mehreren Operator/Controller Modulen. Der Controller im Operator/Controller Ansatz hat allerdings die Rolle, die das SuOC im Observer/Controller Ansatz hat. Der Operator übernimmt dabei die Funktion des Observers und des Controllers aus dem oben vorgestellten Ansatz (Oberschelp, Hestermeyer, Kleinjohann, & Kleinjohann, 2002). Der Operator ist wiederum zweigeteilt: Der Reflective Operator kümmert sich direkt um den Controller (also das SuOC aus dem Observer/Controller Ansatz) und der übergeordnete Cognitive Operator sammelt, verwaltet und analysiert Wissen über das Gesamtsystem. Die Optimierung findet also im Cognitive Operator statt. Hier können auch Zielvorgaben eingebracht werden. Auch Kommunikation mit anderen Operator/Controller Modulen findet hierüber statt. Abbildung 5 zeigt das Schema eines Operator/Controller Moduls. Die MAPE Architektur wurde Anfang der 2000er von IBM im Rahmen des Vorhabens Autonomic Computing entwickelt (Murch, 2004).

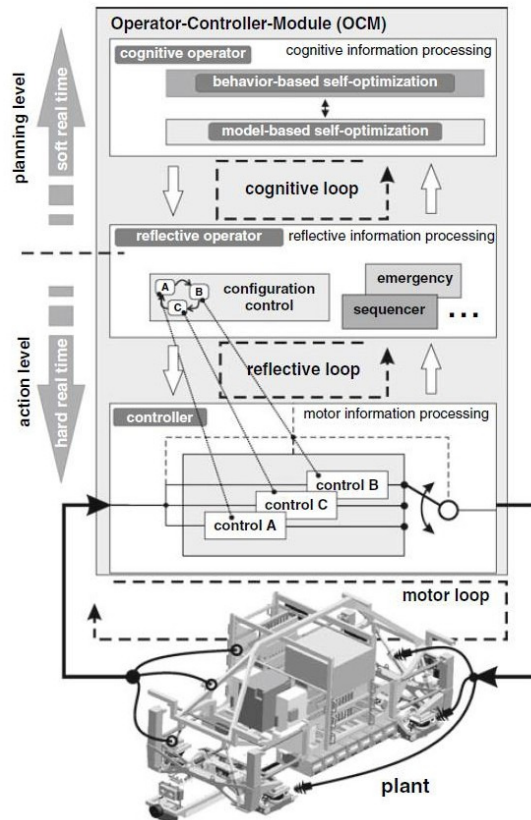


Abbildung 5: Architektur eines Operator/Controller Moduls aus Burmester et al. (2008)

Sie geht ebenfalls von autonomen Agenten aus (Managed Elements), die durch den Autonomic Manager über vier Schritte (Monitor, Analyze, Plan und Execute) gesteuert werden. Das Monitoring kümmert sich um das Sammeln, Aufbereiten und Filtern von Daten des beobachteten Elements. Sobald ein analysierenswertes Symptom auftritt, werden die Informationen an den Analyzer gegeben. Dieser analysiert die Auffälligkeit und entscheidet, ob in das Verhalten des Elements eingegriffen werden muss. Wenn dem so ist, wird der Planner aktiv, der ein Verfahren zur Intervention entwirft oder auswählt. Dieses wird anschließend vom Executor angewendet. Die Definition dieses strikten Ablaufs ist ein Unterscheidungsmerkmal zu den zwei oben beschriebenen Verfahren. Eine Verknüpfung und Kommunikation der Elemente wird über die Autonomic Manager vorgenommen (Kephart & Chess, 2003). In Abbildung 6 ist die schematische MAPE Architektur zu sehen.

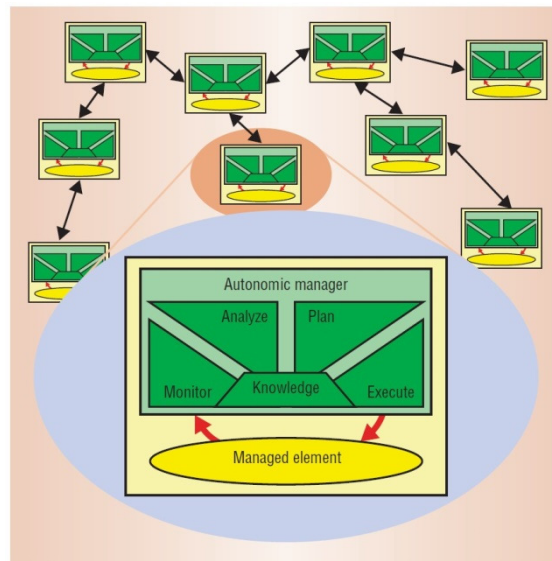


Abbildung 6: MAPE Architektur nach Kephart & Chess (2003)

Naturanaloge Heuristiken

Im zweiten Forschungsschwerpunkt werden Ableitungen aus der Natur zur Funktionsweise der Koordination und Optimierung in Schwärmen untersucht. Bogon (2013) spricht Naturanalogen Metaheuristiken in Abgrenzung zu Nicht-Naturalogen Verfahren, wie z.B. Tabu-Search, die mathematisch-logisch hergeleitet sind. Eine Metaheuristik stellt ein Lösungsverfahren für verschiedene Problemarten dar. Im Weiteren wird vereinfachend nur noch der Begriff Heuristik verwendet, in der Literatur findet sich auch Naturinspirierte Optimierungsverfahren als Synonym. Zu den naturanalogen Heuristiken zählen die Evolutionären Algorithmen und die Naturalogenen Algorithmen (Bogon, 2013). Evolutionäre Algorithmen bilden die Funktionsweise genetischer Vererbung in der Natur nach. So soll eine initialisierte Menge an Startlösungen über mehrere Generationen hinweg in die Richtung einer optimalen Lösung konvergieren. Dies läuft über die aus der Natur bekannten Schritte Selektion, Rekombination und Mutation. Im Schritt Selektion werden Lösungen aus der aktuellen Generation ausgewählt, die als Eltern für die durch Rekombination und Mutation entstehende, nächste Generation dienen soll. Die Rekombination lässt neue Lösungen durch Kombination von Lösungsaspekten der Elterngeneration entstehen. In der Phase Mutation werden einzelne Lösungsaspekte mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit verändert (Droste, 2000). Einen Überblick über die Funktionsweise Evolutionärer Algorithmen liefert Weicker (2007). Naturalogene Algorithmen bilden das optimierende Verhalten von Tieren in einer Population nach. Nachdem Reynolds (1987) die grundsätzliche Adaption von Schwarmverhalten in der Natur für Informationssysteme beschrieben hat, sind als konkrete Ausprägungen insbesondere zwei Algorithmen entstanden: die Teilenschwarmoptimierung „Particle Swarm Optimization“ (PSO) und die Ameisenkolonieoptimierung (Ant Colony Particle Swarm Optimization (ACO)) wurde von Kennedy & Eberhart beschrieben (1995). Der Ansatz beschreibt z.B. das Verhalten eines Fischschwarms auf Futtersuche und läuft iterativ ab. Nachdem eine Menge an Startlösungen, z.B. die Positionen der einzelnen Fische, im folgenden „te“ genannt, initialisiert ist, bewegen sich die Lösungen in jeder Iteration nach bestimmten Update-Regeln Schrittweise in Richtung der optimalen Lösung. In jeder Iteration besitzt jede Lösung eine Position und einen

Geschwindigkeitsvektor, der den nächsten Schritt bestimmt. Zudem gibt es ein lokales und ein globales Gedächtnis. Das lokale Gedächtnis jedes Elements speichert den bereits durch das Element betretenen Ort, an dem der Zielfunktionswert bisher am besten war. Das globale Gedächtnis speichert den Ort des bisher global besten gefunden Zielfunktionswerts. Die Position stellt einen Vektor von Optimierungsvariablen dar. Der Geschwindigkeitsvektor ist die gewichtete Summe aus dem Geschwindigkeitsvektor der letzten Iteration und den Differenzen aus lokalem Optimum sowie globalem Optimum und momentanem Ort (Poli, Kennedy, & Blackwell, 2007). Die iterative Ortsveränderung jedes Elements führt somit zur Konvergenz des Algorithmus in Richtung der optimalen Lösung (Trelea, 2003). Nebenbedingungen, die den Lösungsraum beschränken, werden, bildlich gesprochen, als Grenzen betrachtet, an denen die Elemente reflektiert werden (Helwig, 2010). Ein Vorteil der Optimierung mit dem PSO ist, dass keine differenzierbare Zielfunktion benötigt wird. Gegenstand der aktuellen Forschung ist insbesondere die Wahl der Gewichte in der Geschwindigkeitsfunktion und die Erweiterung des Algorithmus (Nickabadi, Ebadzadeh, & Safabakhsh, 2011). „Ant Colony Optimization“ ist erstmalig von Dorigo et al. (1996) beschrieben worden. Der hier betrachtete Ansatz ist von der Kurzwegsuche der Ameisen zur Futtersuche und -transport abgeleitet. Das zentrale Element der ACO ist ein Duftstoff (Pheromon), der periodisch von den Elementen, bzw. Ameisen, abgegeben wird. Dadurch wird auf dem Hin- und Rückweg der Pfad mit Duftstoffen markiert. Welcher Weg vom Ameisenhügel zum Quelle und zurück genommen wird, entscheidet das einzelne Element zufällig mit Wahrscheinlichkeiten, die von dem Pheromonenverhältnis der Weganfänge abhängen. Durch die Markierung der Wege auf Hin- und Rückweg in gleichbleibenden zeitlichen Abständen, folgt intuitiv, dass kürzere Wege eine höhere Pheromonenkonzentration auf beliebigen Teilabschnitten des Weges haben und dadurch häufiger gewählt werden. Dies führt wiederum zu einem selbstverstärkenden Effekt. Die Effizienz dieses Verfahrens in der Natur ist bereits 1989 durch das Doppelbrückenexperiment nachgewiesen worden, bei dem innerhalb von wenigen Minuten alle Ameisen nur noch den kürzeren von zwei Wegen wählten. In dem Experiment ist allerdings auch ein entscheidender Nachteil des Verfahrens festgestellt worden: Sobald sich ein Weg klar etabliert hat, reagiert das System nicht mehr auf das Hinzufügen eines neuen, deutlich kürzeren Wegs. Eine Online-Optimierung ist mit einmaliger Initialisierung des Algorithmus also nicht möglich (Goss, Aron, Deneubourg, & Pasteels, 1989). Das ACO ist ein Verfahren mit indirekter Kommunikation, da der Pfad selbst zum Kommunikationsmedium wird. Die Abstraktion des Verfahrens für Anwendungen in Industrie und Forschung führt zu einem konstruktiven Verfahren. Die Lösung wird aus einer Menge aus Teillösungen konstruiert, die in einem Konstruktionsgraphen zufällig hintereinander geschaltet werden. Die Wahl der nächsten Teillösung erfolgt jeweils mit Wahrscheinlichkeiten, die durch das Verhältnis von Markierungen auf dem nächsten Pfadabschnitt bestimmt werden. Als Erweiterung ist das gleichmäßige Verdunsten von Duftstoffen vorgesehen, um den Einfluss von alten Informationen auf das System zu reduzieren (Dorigo, Birattari, & Stutzle, Ant colony optimization, 2006).

Online Scheduling

Online Scheduling ein passender Ansatz für die Bearbeitung des dieser Arbeit zugrundeliegenden Optimierungsproblems, da es mit wenigen Informationen über den Systemzustand umgehen kann. Im Folgenden wird dieses nicht aus der Natur entlehnte

Verfahren vorgestellt. Das Online Scheduling ist ein Verfahren in Echtzeitsystemen, das für die Zeitslotzuweisung von Jobs auf einen oder mehrere Prozessoren entwickelt wurde (Mok, 1983). Dabei hat jeder Job eine Bearbeitungsdauer und eine Deadline, Erweiterungen des Problems beinhalten noch Wichtigkeiten von Jobs (Schulz, 2000). Die Jobs kommen zeitlich unvorhersehbar in das System und müssen dann online auf die verfügbaren Ressourcen verteilt werden. Das Ziel der Zeitslotzuweisung ist, für jeden Job das korrekte Ergebnis zum richtigen Zeitpunkt (Deadline) zu erhalten. Dabei ist zu unterscheiden, ob das Überschreiten einer Deadline mit einem falschen Ergebnis (harte Deadline) oder nur mit schlechter Qualität (weiche Deadline) gleichgesetzt wird (Martarita, 2011). Für das Online Scheduling existieren verschiedene intuitive Ansätze, von denen zwei besonders gut erforscht sind: Earliest-Deadline-First (EDF) und Least-Laxity-First (LLF). EDF weist immer dem Job die nächste freie Ressource zu, dessen Deadline am zeitlich nächsten ist (Stankovic, Spuri, Ramamritham, & Buttazzo, 2012). LLF weist dem Job, der am wenigsten flexibel ist, die nächste freie Ressource zu. Diese Flexibilität wird über die Differenz zwischen verbleibender Zeit bis zur Deadline und benötigter Ausführungszeit bestimmt (Herrtwich, 1990). Weitere Verfahren sind z.B. Proportional Share Ansätze, die Ressourcenleistung anteilig nach bestimmten Kriterien, wie Wichtigkeit oder Zufall, vergeben (Kay, J. und Lauder, P. (1988); Waldspurger, Carl A und Wehl, William E (1994, 1995)). Für periodische Jobs wird häufig das Rate Monotonic Scheduling verwendet (Liu, Chung Laung und Laylund, James W (1973)). Außerdem existieren Mischformen der vorgestellten Verfahren, wie z.B. Earliest-Deadline-Zero-Laxity (EDZL) (Lee, Suk Kyoon (1994)). Die Forschung im Bereich Online Scheduling hat gezeigt, dass EDF und LLF optimal sind, um die maximale Verspätung bei der Zeitslotzuordnung in einem System zu minimieren (Patchrawat Patch Uthaisombut (2005)). Dennoch haben die beiden Verfahren auch Schwächen: LLF birgt die Gefahr, dass neu eintreffende Jobs, auch bei gleicher oder späterer Deadline, bereits bekannte Jobs ausstechen und somit zu Verspätungen führen (Herrtwich, 1990). Allerdings ist LLF dem EDF Ansatz auf Mehrkernsystemen in Ergebnis und Performance überlegen (Herrtwich, 1990).

Schwarmsysteme

Um nun ein Schwarmsystem zu bilden, sind zwei Komponenten notwendig: Die Intra- und Interagentenarchitektur und ein Koordinierungs- bzw. Optimierungsmechanismus (Bogon, 2013). Die Architektur kann aus den vorgestellten Schwarmarchitekturen im ersten Forschungsschwerpunkt entnommen werden. Als Koordinierungsmechanismus kommt entweder eine oben beschriebene naturalogische Heuristik in Frage, es kann aber auch ein klassisches Optimierungsverfahren, wie z.B. ein Derivat des Gradientenabstiegsverfahrens oder Tabu-Search, verwendet werden. Je nach Ziel der Koordination ist auch ein Online Scheduling denkbar, wie es bei der Verteilung von Tasks auf Prozessoren innerhalb eines Rechensystems zum Einsatz kommt. Die Zusammensetzung eines Schwarmsystems ist schematisch in Abbildung 7 zu sehen. In dem Fall, dass Naturalogische Algorithmen als Optimierungsverfahren zum Einsatz kommen, ist es möglich, dass auf eine zusätzliche Inter- und Intraagentenarchitektur verzichtet werden kann. Dies ist dann der Fall, wenn alle Agenten des Schwarmsystems ebenfalls Lösungskandidaten der Lösungsmenge sind, also hauptsächlich durch Eigenschaften beschrieben sind, die als Optimierungsvariablen im Optimierungsproblem variiert werden (wie z.B. den Aufenthaltsort in einem zweidimensionalen Raum). In diesem Fall muss ausschließlich der Kommunikationsmechanismus definiert werden.

Praxisbeispiele für Schwarmssysteme

Nun werden kurz einige Beispiele aus Industrie und Forschung vorgestellt, in denen Schwarmssysteme mit oben beschriebenen Komponenten eine Rolle spielen. Dabei werden vorerst nur Systeme vorgestellt, die nicht im Energiekontext angesiedelt sind. Schwarmansätze in Energiesystemen werden im Zuge der Einführung in das Thema Elektrofahrzeuge in Kapitel 4.1 vorgestellt.

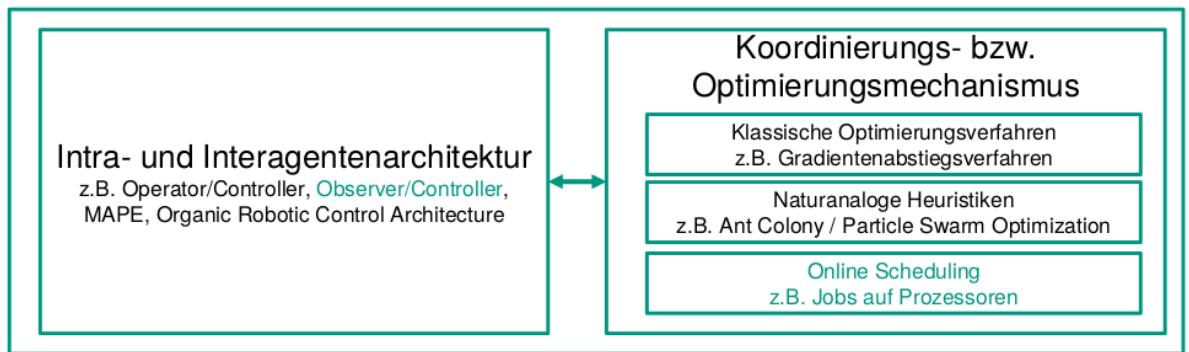


Abbildung 7: Zusammensetzung eines Schwarmsystems

Naturanaloge Algorithmen werden Großteils in zentralisierten Optimierungen als Heuristik eingesetzt. Diese stellen aufgrund der zentralisierten Natur zwar strenggenommen keine Schwarmssysteme dar, bieten aber interessante Anwendungsfälle, weswegen einige Vertreter im Folgenden kurz genannt werden. So schlagen Haldenbilen et al. (2013) eine Anwendung des ACO auf eine lokale Verkehrsflussoptimierung vor und Kurihara (2013) nutzt den Algorithmus zur Stauvorhersage. Einen völlig anderen Anwendungsfall für ACO stellt Blum et al. (2008) mit der Sequenzierung von DNA vor. Auch PSO bietet viele Einsatzgebiete, wie z.B. die stimmenbasierte Steuerung von Roboterschwärmen (Chatterjee, Pulasinghe, Watanabe, & Izumi, 2005) oder den Entwurf von strahlungsabsorbierenden Oberflächen (Cui & Weile, 2005). Die Anwendung von MAPE aus dem Themengebiet *Autonomic Computing* fokussiert sich bisher auf den Entwurf und die Steuerung von IT Systemen, die selbstkonfigurierend und selbstheilend sind (Harish & Chandra Sekaran, 2011). Die Operator/Controller Architektur ist ja bereits im Kontext von selbstoptimierenden mechatronischen Systemen entstanden und beschränkt sich bisher auch auf Anwendungen in diesem (Oberschelp, Strukturierter Entwurf selbstoptimierender mechatronischer Systeme, 2008). Neben der vorgestellten Energieanwendung des Observer/Controller Modells, gibt es auch Anwendungsansätze im Bereich mobiler, selbstorganisierter Arbeitsmaschinen (Mostaghim, Schmeck, Wünsche, Geimer, & Kautzmann, 2011).

Lademanagement für Elektrofahrzeuge

Elektrofahrzeuge stellen, insbesondere für Privathaushalte, meist den größten Einzelverbrauch aller vorhandenen Geräte an Strom dar. Bereits bei einer Jahresfahrleistung von 10.000 km und einem angenommenen Durchschnittsverbrauch von 15 kWh / 100 km entsteht ein zusätzlicher Verbrauch von 1500 kWh / Jahr, selbst wenn Verluste beim Laden außer Acht gelassen werden. Dies entspricht bei einem Musterhaushalt einer Verbrauchssteigerung um fast 43% (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft,

2013). Im Falle von Vollzeit berufstätigen Nutzern, fällt die Last von bis zu 22 kW immer in den frühen Abendstunden, wenn das Fahrzeug nach Hause zurückkehrt, an. Im Extremfall, mit 400 gleichzeitigen Ladungen in einem Stadtgebiet, kumuliert sich das auf 8800 kW, was die Kapazität des Ortsnetztransformators deutlich übersteigen würde. Elektrofahrzeuge gehören zu der Klasse der verschiebbaren Lasten. Aufgrund des großen Potentials, das wegen des hohen Leistungsbezugs von Elektrofahrzeugen im Gegensatz zu anderen Elektrogeräten im Haushalt (wie z.B. dem Kühlschrank mit bis zu 200 kWh Jahresverbrauch) für die Stabilisierung des Stromnetzes in der Koordination von Ladevorgängen von Elektrofahrzeugen liegt, muss der Fokus bei der Koordinierung verschiebbaren Lasten auf den Elektrofahrzeugen liegen. Das Ziel des Ladevorgangs eines Elektrofahrzeugs ist, die kommende Fahrt durchführen zu können. Dieses Ziel ist erfüllbar, wenn das Fahrzeug bei Abfahrt einen ausreichend hohen SOC hat. Die zeitliche Flexibilität eines Ladevorgangs ist somit hauptsächlich von vier Faktoren abhängig: Der Zeit bis zur nächsten Abfahrt des Fahrzeugs, der Ladestromstärke, der Fahrtweite der nächsten Fahrt und dem Energieverbrauch pro zurückgelegter Strecke. Dazu kommen noch weitere Faktoren wie z.B. der Ladewirkungsgrad, Möglichkeiten der Zwischenladung unterwegs, Ladestromunterschiede bei wachsendem SOC und der Energiebedarf von Nebenaggregaten. Die entstehende Flexibilität kann, genauso wie die Flexibilität von anderen Haushaltslasten, für die Optimierung verschiedener Zielgrößen verwendet werden. In der Literatur werden besonders drei Größen über eine Koordination der Ladevorgänge adressiert:

Ein Teil der Arbeiten definiert eine Kostenoptimierung als Zielfunktion, die über das Ausnutzen von flexiblen Bezugspreisen des Stroms vom Markt den Verbrauch koordiniert (z.B. Flath, Christoph M und Ilg, Jens P und Gottwalt, Sebastian und Schmeck, Hartmut und Weinhardt, Christof (2013); Liang Zhang und Zheng Yan und Donghan Feng und Gang Wang und Shaolun Xu und Naihu Li und Lei Jing (2014); Yijia Cao und Shengwei Tang und Canbing Li und Peng Zhang und Yi Tan und Zhikun Zhang und Junxiong Li (2012)). Dieser Ansatz wird durch die bezugszeitabhängige Bepreisung von Strom, oder Time-of-Use (TOU) Tarifen ermöglicht. Eine zentrale, preissetzende Stelle setzt hierbei, anhand von Prognosen über Strombedarf und -produktion, für das nächste Intervall einen Preis fest und übermittelt diesen an die Verbraucher. Faruqui & Palmer (2012) weisen nach, dass dies beim Strombezug zu einer Verhaltensänderung der Verbraucher führt und Grünewald et al. (2015) zeigen, dass diese Verhaltensänderung nicht nur für den einzelnen sondern im gesamten Betrachtungsraum zu einer Kostenreduktion führt. Die Koordination von Netzlasten über Preissignale birgt allerdings die Gefahr des Lawineneffekts (Avalanche Effect). Dieser Effekt tritt auf, wenn in einem Zeitintervall, für das ein besonders niedriger Preis pro kWh vonseiten der preissetzenden Stelle festgelegt wird, eine große Anzahl an Verbrauchern die kostenoptimierende Entscheidung trifft, ihre Last in dieses Zeitintervall zu legen. Die dadurch auftretende Lastspitze bedeutet wiederum höhere Kosten für die Erzeuger für das Vorhalten von Erzeugungsreserven, was wiederum den niedrigen garantierten Bezugspreis als rückblickende Fehleinschätzung

der preissetzenden Stelle sichtbar macht (Dallinger & Wietschel, 2012). Ein anderer Teil der Arbeiten hat sich auf die Homogenisierung des Lastprofils eines Betrachtungsraums konzentriert, also die gleichmäßige Verteilung der Bezugsleistung auf alle 24 Stunden eines Tages und der damit einhergehenden Vermeidung von Lastspitzen und -tälern (z.B. Galus, M.D. und Simon Art, G.A. (2012); Peppanen, J. und Grijalva, S. (2014); Xu, Shaolun und Feng, Donghan und Yan, Zheng und Zhang, Liang und Li, Naihu und Jing, Lei und Wang, Jianhui

(2013)). Dies wird zum Zweck der Generatorschonung und der Reduktion von vorzuhaltender Regelernergie durchgeführt. Im Normalfall führt ein über optimales Ausnutzen von Preissignalen gesteuertes Lademanagement auch zur Homogenisierung der Lastkurve, da die Lastverteilung über den Tag ein wichtiger Einflussfaktor bei der (zentralisierten) Preisbildung ist. Der in dieser Arbeit verwendete Ansatz zur Definition der Zielfunktion folgt einem dritten Weg, der ohne zentrales Preissignal auskommt und unter anderem auch von Dallinger et al. (2013), Papavasiliou & Oren (2010), Schuller et al. (2015) und Subramaniam et al. (2012) verwendet wird: Ziel der Optimierung ist, einen möglichst hohen Anteil der verbrauchten Energie im Betrachtungsraum durch lokal produzierte Energie aus Erneuerbaren Energieträgern abzudecken und dadurch eine hohe Eigenverbrauchsquote der lokal erzeugten Erneuerbaren Energie zu erreichen. Dies geschieht durch ein Harmonisieren der Ladezeitpunkte mit den Einspeisezeitpunkten. In Abbildung 8 ist die Verschiebung zwischen EE-Einspeisung und unkoordiniertem Energiebezug an einem exemplarischen Tag zu sehen.

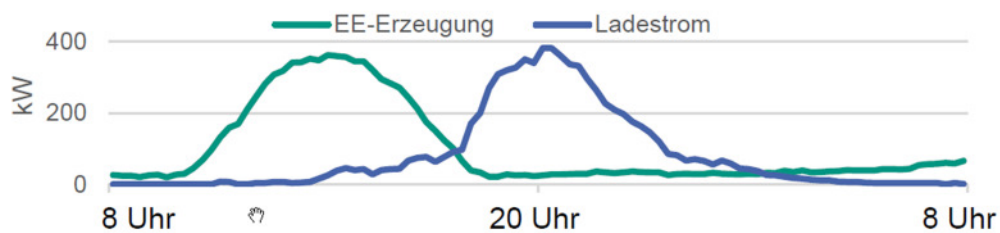


Abbildung 8: Schematischer Verlauf von EE-Erzeugung und Energiebedarf über einen Tag

Die drei Ziele haben wiederum Einfluss aufeinander, sind teilweise voneinander abhängig. So führt eine Optimierung der EE-Integration zu sinkenden Kosten und zu weniger Netzbezug, das Abbauen von Lastspitzen im Netzbezug wiederum zu sinkenden Gesamtkosten in der Stromversorgung. Für die Erreichung der Ziele werden in der Literatur verschiedene Verfahren zur Koordination vorgestellt. Diese lassen sich in nach zwei Dimensionen gruppieren: Zentralität der Koordination und Vorhersagehorizont der Leistungsdaten (Abbildung 9). Die Begrenztheit von Informationen bedeutet in diesem Zusammenhang die zeitlich beschränkte Kenntnis über zukünftige Einspeisung von EE, zukünftige Haushaltsbedarfe, sowie Daten für die nächsten Fahrten von Fahrzeugen.

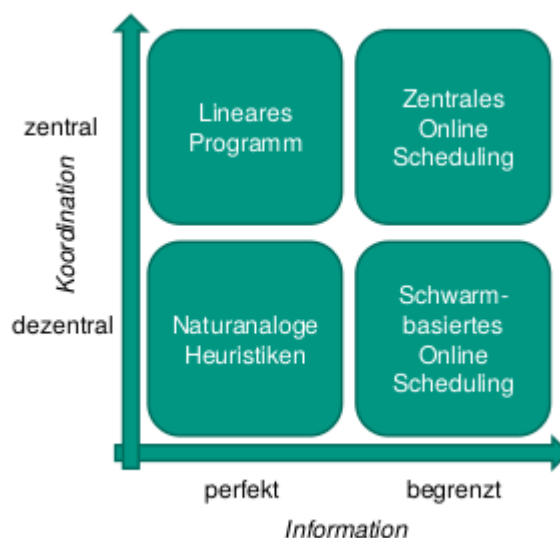


Abbildung 9: Dimensionen zur Gruppierung von Koordinationsverfahren in Energiesystemen

Im Folgenden werden Ansätze zur Koordination steuerbarer Lasten in Energiesystemen aus der Literatur vorgestellt: Eine zentrale Koordination mit Datenkenntnis über den gesamten Betrachtungshorizont ist in der Realität nur ex-post möglich. In der Literatur wird sie allerdings zur Evaluation des Potentials von Leistungskoordination verschiedene Ziele zu erreichen, eingesetzt. Hierbei wird das Koordinationsproblem als Lineares Programm beschrieben und dann durch einen Solver optimal gelöst. Die Verwendung dieses Ansatzes wird in insbesondere auch in AP 300 vorgestellt. In der Literatur wird der Ansatz u.a. von Schuller et al. (2014) beschrieben und von Schuller et al. (2015) angewendet. Für eine dezentrale Koordination mit perfekter Information werden in der Literatur Naturalanaloge Heuristiken eingesetzt. Xu et al. (2013) schlagen ein Verfahren vor, das auf dem ACO basiert. Das Ziel ihres Algorithmus ist das Ausfüllen von Lasttälern und das Abtragen von Lastspitzen, um den Transformator zu schonen und große Erzeugungsreserven zu vermeiden. Dafür wird jeden Tag zu einem Zeitpunkt ein Ladeplan für den nächsten Tag erstellt. Der betrachtete Schwarm ist eine Teilmenge der Fahrzeuge, die gemeinsam unter einem Ortsnetztransformator zusammengefasst sind. Das Verfahren ist iterativ. In jeder Iteration wählt jedes Fahrzeug seinen individuellen Ladeplan und belegt die Zeitsegmente, in denen es laden möchte, mit Duftstoffen. Nachdem die globale Duftstoffbelegung jedem Fahrzeug zugänglich gemacht worden ist, wird in der nächsten Iteration ein veränderter Ladeplan erstellt. Diese Anpassung geschieht so lange, bis die vorher bestimmte maximale Anzahl an Iterationen erreicht ist. Für das Verfahren werden die kompletten Fahrten- und Energieerzeugungsdaten des nächsten Tages benötigt. Anpassungen am Tag des Ladeplans selbst sind nicht vorgesehen. Das Verfahren ordnet sich in der oben gezeigten Matrix links unten ein: Hierbei wird in einer Population ein Problem schwarmbasiert heuristisch gelöst, es ist allerdings perfekte Information gegeben. In der Simulation des Verfahrens sind 500 Fahrzeuge betrachtet worden. Deren Fahrdaten und die Haushaltslastkurven sind, angelehnt an Haushaltsbefragungen einer Mobilitätsstudie, durch eine Monte-Carlo Variation erzeugt wurden. Durch den Einsatz der Koordination konnte die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert der Lastkurve in 24 Stunden im Vergleich zu einem unkoordinierten Ladevorgang um ca. 75% gesenkt werden. Die Koordination von 500 Fahrzeugen mit 1500 Iterationen hat dabei nur 1,2 Sekunden gedauert. Peppanen & Grijalva (2014) wiederum nutzen eine PSO zur Koordination von Ladevorgängen. Wieder wird ein Ladeplan für Fahrzeuge in einem Verteilnetz für den nächsten Tag erstellt. Die Zielfunktion ist dieses Mal allerdings eine Kostenminimierung. Es wird dafür von sich stündlich ändernden Strompreisen ausgegangen, die allerdings im Vorhinein für den nächsten Tag bereits bekannt sind. Der Ansatz variiert dabei nicht die Leistungen, die von den Fahrzeugen in jeder Stunde abgerufen werden, sondern die Ladestartzeiten der Fahrzeuge, die anschließend einen unterbrechungsfreien Ladevorgang durchführen, bis die Batterie voll ist. Die Partikel sind in diesem Ansatz nicht die Fahrzeuge, sondern Vektoren mit Ladestartzeiten für jedes Fahrzeug. Diese haben wiederum Orte und Geschwindigkeiten im n-Dimensionalen Raum, wobei n die Anzahl der betrachteten Fahrzeuge ist. Der zu minimierende Zielfunktionswert an jedem Ort ist die Summe aus den Ladegesamtkosten für den Ladezeitplan und einem Strafterm für die Überschreitung der Gesamtleistungsfähigkeit des Verteilnetztransformators. Für die Optimierung sind keine Fahrten Daten genutzt worden, somit war die strikte Erfüllbarkeit des Fahrdienstes auch kein Teil der Nebenbedingung. Die

Simulation des Verfahrens mit 57 Haushalten und einem Elektrofahrzeug pro Haushalt hat ergeben, dass die Gesamtkosten ca. um 40 % reduziert werden konnten. Im Vergleich zu einer reinen Kostenoptimierung sind zwar noch ca. 20 % Optimierungsspielraum vorhanden, allerdings konnte die Anzahl von Netzüberlastungen von 18, im Fall eine reinen Kostenoptimierung, auf null mit einer PSO Optimierung reduziert werden. Die PSO dauerte mit 200 Iterationen und 114 eigenständigen Ladeplanvektoren ca. 14 Sekunden. Subramanian et al. (2013) besprechen Ansätze zur Koordination von Energieverbrauch, mit geringem Vorhersagehorizont von Bezugs- und Einspeiseleistungen, durch Anwendung von Online Scheduling. Mangels einer passenden Architektur, findet die Koordination zentral statt. Bei den koordinierbaren Energieverbräuchen handelt es sich sowohl um Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen, als auch um statische Großenergieverbraucher, wie z.B. zur Klimatisierung von Räumen. Zuerst werden die zwei bekannten Verfahren, EDF und LLF, untersucht und mit einem eigenen Verfahren, *Receding Horizon Control* (RHC), verglichen. Die Verfahren werden jeweils zentral von einem Cluster Manager durchgeführt und haben das Ziel der Kostenminimierung. Die Kostenfunktion der zwei ersten Verfahren setzt sich hier aus dem Bezug von Netzenergie und der Bereitstellung von Netzleistung, welche wiederum das Maximum der Netzbezugsleistung darstellt, zusammen. Wo bei den ersten beiden Ansätzen eine neue Lösung beim Bekanntwerden eines neuen Verbrauchs berechnet wird, sieht das vorgestellte Verfahren RHC ein wiederholtes, zentrales Lösen eines Optimierungsproblems vor. Dessen Zielfunktion ist um einen Strafterm erweitert, der die Nichtnutzung von Erneuerbar Erzeugter Energie bestraft. Es liegen hierbei immer nur Informationen aus einem begrenzten Zeithorizont vor. Alle drei vorgestellten Verfahren verbessern die lokale Nutzung von Erneuerbar Erzeugten Energien, im Gegensatz zum unkoordinierten Leistungsbezug, in ähnlicher Weise um ca. 25 %. Die Reduktion der aus dem Netz bezogenen Energie gelingt LLF und RHC in etwa gleich gut mit ca. 63 %, wird aber auch von EDF deutlich verbessert (-55 %). Bei der benötigten Netzkapazität hingegen unterscheiden sich die Verfahren dramatisch: Wo LLF im Mittel etwa 70 % mehr benötigt, braucht RHC ca. 66 % und EDF ca. 13 % weniger. Der Grund für das schlechte Abschneiden von LLF beim letztgenannten Indikator ist in der aus dem Paper entnommenen Abbildung 10 gut zu sehen: Da gegen Ende des Zeitraums die Flexibilität der Verbraucher abnimmt und nicht genügend EE-Einspeisung zur Verfügung steht, müssen alle Verbraucher unkoordiniert ihren Leistungsbezug beginnen, um ihren Dienst gemäß der Restriktionen erbringen zu können. Dieser wird somit durch Netzenergie gedeckt.

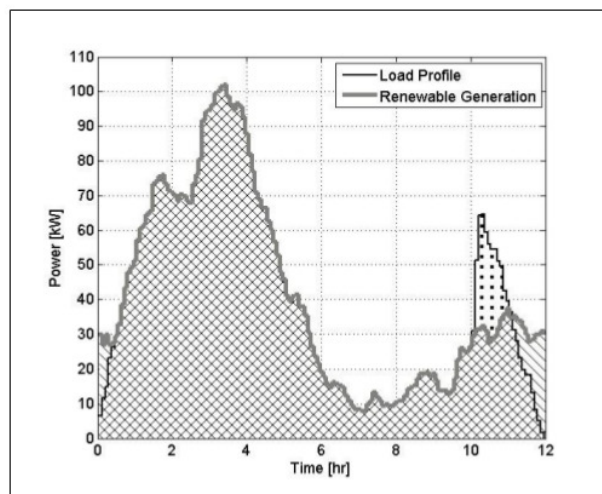


Abbildung 10: Lastkurve mit LLF Koordination (aus: Subramanian et al. (2013))

Dezentrale Ansätze mit geringem Vorhersagehorizont der Leistungsdaten zur Steuerung von Energiesystemen verwenden teilweise ebenfalls Naturanaloge Algorithmen: Moussa et al. (2011) und Hamim et al. (2011) verwenden beispielsweise zwei unterschiedliche modifizierte Varianten von PSO zur Optimierung der Kosten eines Kraftwerkseinsatzproblems. Dethlefs et al. (2015) verwendet ein Schwarmsystem bestehend aus MAPE als Architektur und ACO als Koordinationsmechanismus zur Kostenoptimierung von DSM. Jedes Gerät in dem System stellt dabei einen Agenten dar. Jeder Agent hat wiederum eine Menge von möglichen Startzeitpunkten für den Leistungsbezug. Die Agenten sind hintereinander geschaltete Knoten. Der so entstehende Graph kann über die möglichen Startzeitpunkte als Kanten von den künstlichen Ameisen durchschritten werden. Je nach Lösungsqualität erhält ein Pfad entweder einen Duftstoff, oder nicht. Wie im ACO Grundverfahren, steigt die Wahrscheinlichkeit einen (Teil-)Pfad zu wählen mit zunehmendem Duftstoffeintrag. So bildet sich nach und nach eine optimale Verteilung der Startzeitpunkte des Leistungsbezugs über die Agenten. Dieses Verfahren soll Anpassungen von am Vortag erstellten DSM-Plänen aufgrund von Änderungen der Voraussetzungen vereinfachen. Einen anderen Ansatz wählen Kamper & Schmeck (2012): Ihr Ziel ist, die Erzeugung und den Verbrauch von Energie in einem Bilanzkreis aufeinander abzustimmen, um Regelenergiebereitstellung zu vermeiden. Dafür nutzen sie eine Observer/Controller Architektur mit einem evolutionären Algorithmus als Optimierungsmechanismus. Neben steuerbaren Lasten beziehen sie auch steuerbare Produzenten, wie z.B. kleine KWK-Anlagen, mit als Agenten in die Koordination ein. In dem Ansatz hat jeder Agent 60 Nachbarn, die er kontaktiert, sobald bei ihm in absehbarer Zukunft eine Leistungsbezugs- oder Einspeiseänderung eintritt. Der evolutionäre Algorithmus bestimmt dann zentral, aber immer an einem anderen Ort (z.B. einem Internetrouter), wie der Pool auf die Änderung reagieren kann. Bei einer Erhöhung der Nachfrage wird also versucht ein entsprechendes Angebot zu schaffen und umgekehrt. Die Berechnung für einen Pool von 60 Agenten nimmt auf einem 2 GHz Computer nur höchsten 140ms in Anspruch. Diese wechselnd zentrale Durchführung der Optimierung erfordert Informationstransparenz über alle wichtigen Informationen im Pool. Durch diese Koordination sinkt die durchschnittliche Abweichung zwischen Verbrauch und Produktion von Energie um 60 % (von ca. 14% auf 5,5%). Dieser Ansatz wird von den Autoren noch um die Einführung von Elitären Gruppen erweitert, in denen 10-20 Geräte zusammengefasst sind, deren Leistungsaufnahme vom Bilanzkreisverantwortlichen in Extremsituationen direkt steuerbar sind und die durch diesen schnell abgeschaltet werden können. Dadurch verringert sich die Abweichung in lokalen Extremsituationen von 21 % auf 2 %, also um 90 %.

2.2. Technologie

Eine Analyse bestehender Standards sowie Technologien wurde durchgeführt mit dem Ziel Rahmenbedingungen für das schwarmbasierte Laden von Elektrofahrzeugen zu identifizieren, diese zu dokumentieren und eine strategische Roadmap zu definieren, womit die weiteren Arbeitspakete behandelt werden sollen. Am Ende sollen nicht nur Rahmenbedingungen feststehen sondern auch konkrete Anwendungsfällen definiert und in Sequenzdiagrammen verfeinert werden.

Ergebnis

Für die Kommunikation zwischen Schwarmteilnehmer wurden aktuell bekannte Normen untersucht bzw. ausgewählt:

- ISO15118: für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule (inkl. Smart Charging)
- OCPP1.6+: Anpassung der Norm OCPP1.5 für die Kommunikation zwischen Ladesäule und Energieversorger bzw. Fahrzeug sowie zwischen Fahrzeugen untereinander. Hierzu müssen Projektspezifische Anpassungen implementiert werden damit Anforderungen an Kommunikation im Scharm erreicht werden können.

Das System würde dann folgendermaßen aussehen:

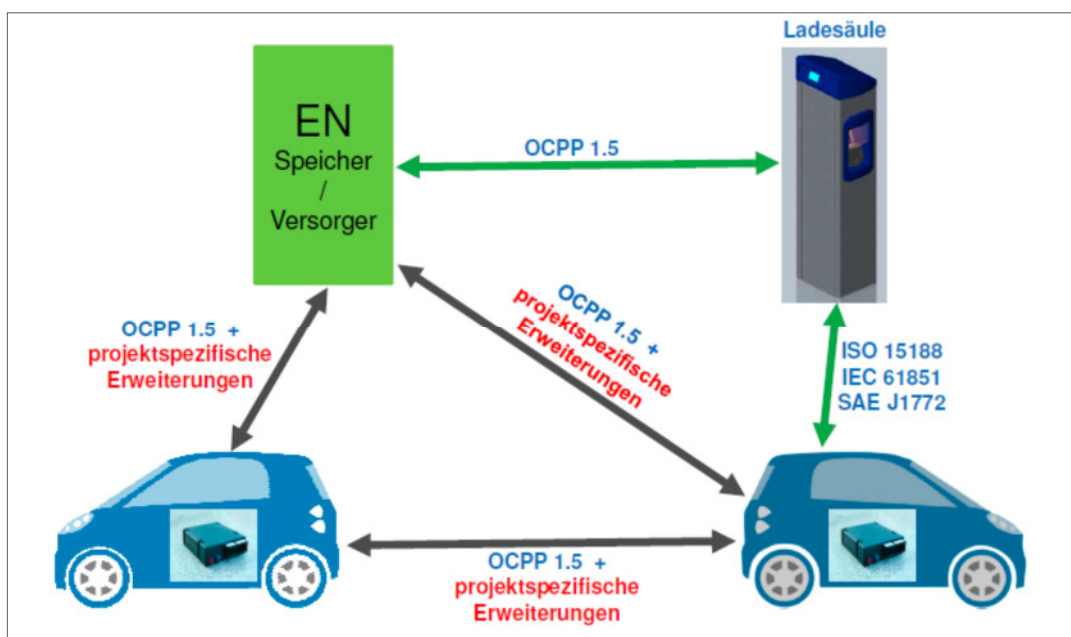


Abbildung 11: Aufbau des Architekturdiagramms SBLaden

Darüber hinaus wurde das Konzept der Kommunikation technisch definiert und Softwareimplementierung eingeleitet. Verschiedene Use Cases wurden diskutiert:

- Use Case 1: Maximale Nutzung lokaler (erneuerbarer) Erzeugung
 - o Ziel ist es lokale erneuerbare Erzeugung möglichst komplett zum Laden der E-Fahrzeuge zu verwenden
 - o Trafoauslastung des Netzabschnittes ist nur technische Nebenbedingung
- Use Case 2: Regionaler Pool mit EVs und regenerativer Eigenerzeugung
 - o EVs als einzige steuerbare Last (Erweiterung durch HH und Speicher möglich)
 - o Grundlast von Gewerbebetrieben und Haushalten ist nicht steuerbar
 - o Ziel ist es die Trafolast nicht über einen bestimmten Leistungswert steigen zu lassen

Ziel des lokalen Flexibilitäts pools soll sein:

- Lokales Netzgebiet, dass sich möglichst komplett physikalisch selbst versorgen kann
- Dieses Smart Microgrid ist auf die Ausnutzung aller Flexibilität zur stabilen Betriebsführung angewiesen

2.3. AP 120 – Konzept für schwarmbasiertes Laden

In der Einführung der Arbeit sind bereits die Anforderungen, die in dieser Arbeit an ein schwarmbasiertes Lademanagement¹ gestellt werden, kurz aufgezählt. Insgesamt werden sechs Anforderungen formuliert:

1. Das Ziel der Koordination ist, die Deckung des lokalen Energiebedarfs durch lokal erzeugte EE zu maximieren.
2. Alle Fahrdienste müssen erfüllbar bleiben.
3. Die maximal zulässige Belastung des Niederspannungstransformators muss eingehalten werden.
4. Informationen zu Leistungsbedarfen und -einspeisungen sind erst ein Zeitintervall im Voraus bekannt.
5. Sensible Fahrdaten müssen privat bleiben.
6. Die Koordination muss dezentral ablaufen.

Anforderung 1 ist, in Form der Minimierung des Netzbezugs, in die Zielfunktion des Linearen Programms in AP 300 eingeflossen. Anforderung 2 ist im Linearen Programm die hauptsächlich einschränkende Nebenbedingung. Anforderung 3 hätte ebenfalls Teil der Zielfunktion sein können, stellt aber aufgrund der direkten Abhängigkeit von der Betrachtungsraumgröße nur eine zu beobachtende Variable im Zuge der Simulation des Verfahrens dar, deren Einhaltung ex-post untersucht wird. Anforderungen 4, 5 und 6 sind weiche Nebenbedingungen, die im Linearen Programm keinen Ausdruck finden, sondern direkt mit dem verwendeten Lösungsverfahren zusammenhängen. Die bisher vorgestellten Verfahren widersprechen alle mindestens einer dieser Anforderungen. Beim ACO-basierten Ansatz von Xu et al. (2013) ist eine vollständige Informationstransparenz über den Lastverlauf des nächsten Tages vonnöten. Peppanen und Grijalva (2014) nutzt wiederum die Naturanaloge Heuristik PSO, führt diese aber zentral aus. Genauso findet die Optimierung von Subramanian et al. (2013) durch Scheduling Verfahren zentral statt. Dethlefs et al. (2015) beschränken ihr Verfahren auf die Durchführung von kleinen, spontanen Anpassungen an einem bestehenden, ausführlichen Ladeplan und Kamper und Schmeck (2012) fordern innerhalb eines beschränkten Agentenpools das Teilen aller sensiblen Nutzungsdaten. Für die Konstruktion eines Schwarmbasierten Verfahrens zur Koordination von Ladevorgängen muss nun eine Kombination aus Architektur des Schwarmsystems und Funktionsweise der Koordination gefunden werden, die alle sechs Anforderungen erfüllen kann. Neben der Einhaltung der Anforderungen stehen zudem die Lösungsqualität, die zeitliche Performance und die Skalierbarkeit des Verfahrens im Fokus. Die zur Erfüllung der

¹ Die folgenden Kapitel stützen sich insbesondere auf die Erkenntnisse die im Rahmen der Arbeit von Philipp Heidel und der Veröffentlichung (Heidel, Gärtner, & Gottwalt, 2016)

Anforderungen relevante Komponente des Schwarmsystems ist der Koordinationsmechanismus. Hier ist das Online Scheduling als einziges Verfahren in der Lage mit dem kurzen Sichtbarkeitshorizont von Leistungsbedarfen und -einspeisungen von Haushalten und Erneuerbaren Energiequellen umzugehen (Anforderung 4). Innerhalb der Online Scheduling Verfahren gewährleistet der *Least Laxity First* Ansatz zudem die Erfüllbarkeit aller Fahrdienste (Anforderung 2), da beim Schrumpfen der Flexibilität das Laden des Fahrzeugs immer stärker priorisiert wird. Aus diesem Grund wird für die Koordination ein Least Laxity Verfahren verwendet, welches so angepasst wird, dass Anforderung 5 und 6 ebenfalls erfüllt werden und das Problem des Leistungspeaks in den frühen Morgenstunden abgemildert wird. Das Verfahren muss nun noch um eine Inter- und Intraagentenarchitektur erweitert werden, die eine dezentrale Koordination zulässt, wie auch Subramanian et al. (2012) in ihrem Fazit zur Vorstellung des eigenen Verfahrens feststellen. Die vorgestellten Architekturen bestehen aus Agenten, die in ihrem Inneren durch Regelkreise gesteuert werden und die über bestimmte Mechanismen miteinander kommunizieren können. Eine inhaltliche Unterscheidung der Architekturen mit Vor- und Nachteilen für eine Anwendung in Schwarmsystemen im Energiebereich ist wegen der Ähnlichkeit der Funktionsweisen schwer möglich. Aus drei Gründen ist die Wahl für die verwendete Architektur auf die Observer/Controller Architektur von Richter et al. (2006) gefallen: Zum ersten existiert mit der Arbeit von Kamper und Schmeck (2012) bereits eine Anwendung der Architektur im Energiekontext, an die potentiell angeknüpft werden kann. Der zweite Grund ist die beim Fahrzeug verbleibende Ladesteuerung. Falls durch fehlerhafte Koordination die Gefahr der Nichterfüllbarkeit eines Fahrdienstes entsteht, kann das Fahrzeug selbstständig den Ladevorgang starten und die Restriktion einhalten. Drittens ist die Observer/Controller Architektur explizit für die Konstruktion eines emergenten Systems ausgelegt, wie Schmeck et al. (2010) ausführlich beschreiben. Im Folgenden ist die Funktionsweise des Schwarmbasierten Lademanagements mit der Observer/Controller Architektur und der LLF Koordination im Grundverfahren beschrieben. Vorerst werden dafür die V2G Funktion und stationäre Speicher außer Acht gelassen. Das gesamte Verfahren betrachtet nur Ladevorgänge zu Hause, kann allerdings problemlos auf Ladekoordination am Arbeitsplatz bzw. im öffentlichen Raum übertragen werden.

Der Interagentenarchitektur der Observer/Controller Architektur entspricht, wie in Abbildung 12 schematisch zu sehen, einem vollständig vernetzten Pool einer Menge von Agenten. Diese Menge ist im einfachsten Fall die gesamte Menge aller Agenten im Betrachtungsraum, also im Niederspannungsnetz, kann aber, als Variation des Verfahrens, auch eine Teilmenge davon sein. Im Netzwerk kann jeder Agent mit jedem anderen kommunizieren. Die technische Umsetzung der Verbindung ist vorerst nicht Gegenstand der Betrachtung, wird aber in Kapitel 5 und 6 angeschnitten. Wichtig ist, dass die verwendete Technologie einfaches Messaging unterstützt, damit eine Kommunikation auch über *Broadcasts*, also dem effizienten Versenden derselben Nachricht an einen größeren Empfängerkreis, möglich ist.

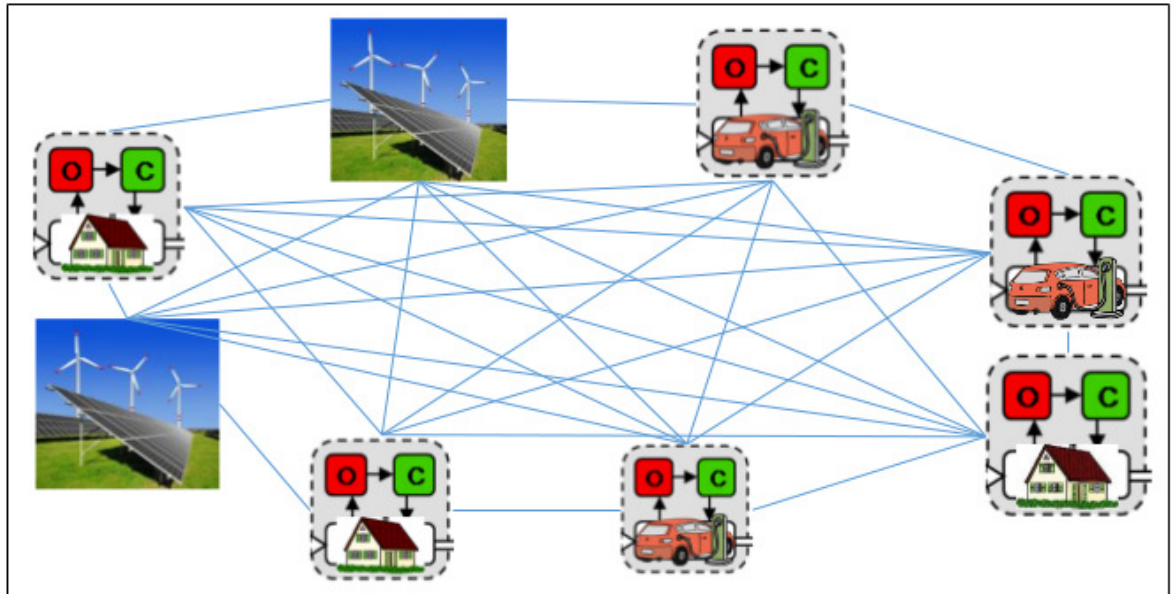


Abbildung 12: Interagentenarchitektur: Observer / Controller Netzwerk aus Agenten

Die Agenten im Netzwerk selbst sind „Systems under Observation und Control“ (SuOC), die durch Regelkreise, bestehend aus Observer und Controller, gesteuert werden. Bei den Haushalten und EE-Erzeugern dominiert dabei die Funktion des Observers, der Vorhersagen für den Haushaltsleistungsbedarf bzw. der Einspeiseleistung für das nächste Zeitintervall trifft. Bei den Fahrzeugen bilden Observer und Controller mit ihrer Auswirkung auf

das „System under Observation und Control“ die Keimzelle für das Schwarmbasierte Lademanagement. Hierfür nehmen die zwei Elemente ähnliche Funktionen ein, wie sie in den Grundlagen zur Observer/Controller Architektur beschrieben sind. Der Observer betrachtet den Zustand des Fahrzeugs und der Umwelt, wohingegen der Controller für Vorhersagen, die Kommunikation mit der Außenwelt und der eigentlichen Ladesteuerung zuständig ist. Der Observer hat dabei die aktuelle Zeit, den aktuellen Ladezustand und den bisherigen Durchschnittsverbrauch des Fahrzeugs im Blick. Im Controller sind die nächste Abfahrtszeit und die dann zu fahrenden Kilometer hinterlegt. Aus den Kilometern und dem bisherigen Durchschnittsverbrauch berechnet der Controller den Ziel-SOC für die nächste Abfahrt. Er ist außerdem für die Berechnung des Ladedringlichkeitsquotienten zuständig und gibt dem Fahrzeug das Signal zum Laden und teilt die Ladestromstärke mit. Die Daten zur nächsten Fahrt bekommt der Controller vom Nutzer des Fahrzeugs. Dieser muss beim Abstellen des Fahrzeugs zu Hause angeben, wie lange das Fahrzeug nicht mehr bewegt wird und was die Summe der Weite der daran anschließenden Fahrten ist, bis das Fahrzeug wieder für eine bestimmte Mindestzeit zu Hause steht. Diese Mindestzeit ist abhängig von der maximal möglichen Ladeleistung und sollte in etwa für eine vollständige Batterieladung ausreichen. Der Controller ist, neben der Kommunikation mit dem

Nutzer, auch für die Maschine zu Maschine Kommunikation mit den anderen Agenten im Pool zuständig. Die Inhalte dieser Kommunikation werden im Zuge der Beschreibung des Koordinationsmechanismus dargelegt. Die Intraagentenarchitektur der Fahrzeuge ist schematisch in Abbildung 13 zusammengefasst. Observer und Controller können sich dabei entweder im Fahrzeug selbst, oder in der Ladestation befinden, je nachdem welche

technische Umsetzung des Schwarmbasierten Lademanagements gewählt wird. Dies hat aber auf die folgende Beschreibung des Schwarmbasierten Lademanagements keine Auswirkung.

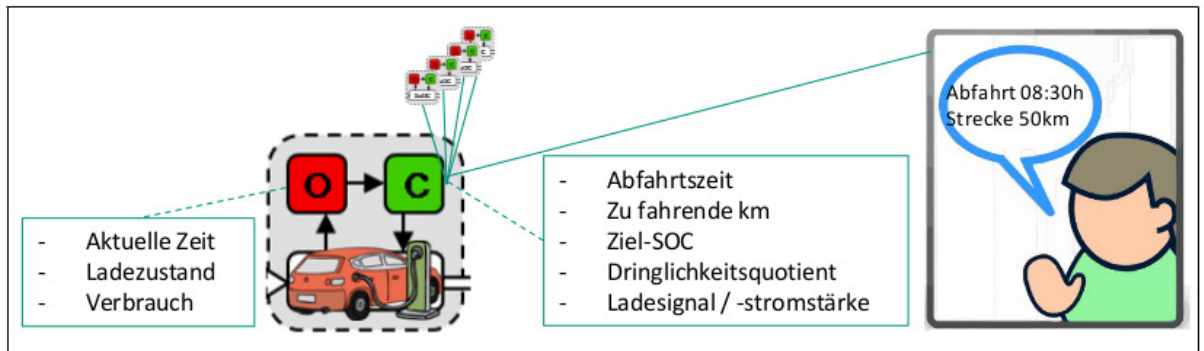


Abbildung 13: Intraagentenarchitektur: Regelkreise aus Observer, Controller und SuOC

Der Kern des Ladekoordinationsverfahrens ist der Ladedringlichkeitsquotient, welcher ab jetzt nur noch mit DQ bezeichnet wird. Der Wert des DQ bildet dabei die verbleibende Flexibilität jedes Fahrzeugs im Hinauszögern des Ladevorgangs ab. Ein größerer DQ steht für eine größere Flexibilität. Dementsprechend werden Fahrzeuge mit kleineren DQ auch bevorzugt geladen. Der DQ ist positiv, für den Fall, dass der aktuelle SOC kleiner ist als der Ziel-SOC bei der nächsten Abfahrt. Der Wert des DQ ist der Quotient aus tatsächlich verbleibender Standzeit und benötigter Standzeit für die Erreichung des Ziel-SOC mit ununterbrochener Ladung mit höchster Leistung. Wenn der DQ einen Wert von eins erreicht muss das Fahrzeug also auf jeden Fall geladen werden, um den Ziel-SOC noch erreichen zu können. Dies kann durch eine Ladezuteilung im Koordinationsverfahren geschehen, ist aber auch als Notladen möglich, das direkt vom Controller des Fahrzeugs getriggert wird. Ein Notladen muss ebenfalls durchgeführt werden, falls dem Fahrzeug keine Ladegenehmigung für das nächste Intervall zugeteilt wurde, ein Intervall ohne Laden aber zu einem DQ kleiner eins im nächsten Intervall führen würde. In diesem Fall muss allerdings nur mit einer Stromstärke geladen werden, die einen DQ von größer oder gleich eins im nächsten Intervall gewährleistet. Im Falle eines bereits ausreichenden bzw. den Ziel-SOC übersteigenden SOC wird der DQ negativ. Dies ist für Intervalle relevant, in denen die Menge der zur Verfügung stehenden EE-Leistung die Summe aus Haushaltsbedarfen und Ladebedarfen von Fahrzeugen mit DQ größer null übersteigt. In diesem Fall wird die Energie, welche von EE-Erzeugern zur Verfügung gestellt wird, auch ohne direkten Bedarf in den Fahrzeugen gespeichert, insofern es noch freie Batteriekapazitäten gibt. Hierbei werden Fahrzeuge mit einem niedrigen SOC nach der nächsten Fahrt bevorzugt, damit die potentielle Reichweite aller Fahrzeuge im Pool gleichmäßig steigt. Um den Allokationsgrundsatz für Ladegenehmigungen auch bei negativen DQ konsistent zu halten, berechnet sich der Wert des negativen DQ aus dem negierten Quotienten aus Batteriekapazität und SOC nach der nächsten Fahrt. Hierbei kann, insofern der aktuelle SOC exakt dem Ziel-SOC entspricht, der Nenner des negativen DQ null werden. In diesem Fall wird ein ausreichend großer Wert (gegen Unendlich gehend) angenommen, der anschließend negiert wird. Formal beschrieben sieht der DQ wie folgt aus:

$$DQ = \begin{cases} \frac{\text{Reststandzeit bis zur nächsten Abfahrt}}{\text{Minimal benötigte Ladezeit zur Erreichung des Ziel-SOC}} & \text{für SOC} < \text{Ziel-SOC}, \\ -\frac{\text{Batteriekapazität}}{\text{SOC} - \text{Ziel-SOC}} & \text{für SOC} \geq \text{Ziel-SOC} \end{cases}$$

Der DQ ist Kern des Koordinationsverfahrens, welches durch Kommunikation zwischen den Agenten möglich wird. Die Kommunikation findet immer direkt vor dem nächsten Intervall statt, welches von dem Koordinationsergebnis betroffen ist. Ergebnis der Koordination ist die Zuteilung von systemseitiger Ladegenehmigung an die Fahrzeuge, die dann im betreffenden Intervall laden dürfen. Da das übergeordnete Ziel des Schwarmbasierten Lademanagements die lokale Integration von lokal erzeugter Erneuerbarer Energie ist,

haben die EE-Erzeuger eine besondere Rolle im Koordinationsverfahren: Sie verteilen die Ladegenehmigungen an die Fahrzeuge. Hierfür ist eine Vorhersage jedes EE-Erzeugers über die Erzeugungsleistung im nächsten Zeitintervall nötig. Diese werden anschließend allen Agenten im Pool mitgeteilt, sowohl den Haushalten und Fahrzeugen, als auch den anderen EE-Erzeugern. Dies ist der Auslöser für die Fahrzeuge, die sich zu Hause befinden, ihrerseits den individuellen DQ und die angeforderte Ladeleistung an alle EE-Erzeuger mitzuteilen, sowie für die Haushalte, ihre Bedarfe anzumelden. Bei allen EE-Erzeugern befinden sich nun Informationen über die anderen EE-Erzeuger, sowie über alle Fahrzeuge und Haushalte im Pool. Die Liste der EE-Erzeuger und der Fahrzeuge wird nun absteigend nach Einspeiseleistung bzw. aufsteigend nach DQ sortiert. Da Haushalte als nicht steuerbare Lasten angesehen werden, müssen deren Bedarfe vorrangig gedeckt werden. Hierfür wird der gesamte Leistungsbedarf der Haushalte im Pool in jedem einzelnen EE-Erzeuger aufsummiert und dezentral die EE-Erzeuger mit größter Leistung identifiziert, welche mit ihrer Einspeiseleistung in Summe diesen Bedarf decken können. Diese EE-Erzeuger nehmen nicht mehr am Koordinationsverfahren für die Ladevorgänge der Fahrzeuge teil. Wenn nun noch EE-Erzeuger mit nicht verteilter Leistung übrig bleiben, wird von jedem Erzeuger die Menge an Fahrzeugen bestimmt, die er mit einer Ladegenehmigung versorgen kann. Dies geschieht durch eine Zuordnung von Fahrzeugen zu Erzeugern nach dem Prinzip, dass Fahrzeuge aufsteigend nach positivem DQ so lange mit maximaler Ladeleistung dem Erzeuger mit höchster Einspeiseleistung zugeordnet werden, bis dieser keine freie Kapazität mehr hat. Insofern nach Zuteilung maximaler Ladeleistungen noch freie Erzeugungsleistung bei dem Erzeuger übrig ist, wird das nächste Fahrzeug dem Erzeuger anteilig zugeordnet. Anschließend wird die Einspeiseleistung des zweithöchsten Einspeisers verteilt usw. Dies geschieht, bis die Erzeugungsleistung aller Erzeuger verteilt ist. Falls alle Fahrzeuge mit positivem DQ versorgt sind, wird die restliche EE-Erzeugungsleistung auf die Fahrzeuge mit negativem DQ verteilt, um möglichst viel Erneuerbare Energie im Pool zu integrieren. Dies geschieht wiederum nach aufsteigendem DQ. Sobald alle Fahrzeuge mit Restkapazität in ihrer Batterie (also negativem $DQ < -1$) ebenfalls versorgt sind und immer noch Erzeugungsleistung für das nächste Intervall übrig ist, wird diese über den Transformator ins übergeordnete Netz eingespeist, geht dem Betrachtungsraum also verloren. Falls bei der Zuteilung der Erzeugungsleistung auf die Fahrzeuge mit positivem DQ noch nicht alle Fahrzeuge versorgt sind, die gesamte Erzeugungsleistung aber schon vergeben ist, kommen die Fahrzeuge mit hohem DQ nicht zum Zug. Durch das Verfahren ist es offensichtlich

möglich, dass einem Erzeuger mehrere Fahrzeuge zugeordnet sind, es ist allerdings auch möglich, dass ein Fahrzeug mehreren Erzeugern zugeordnet ist. Die Zuordnung der

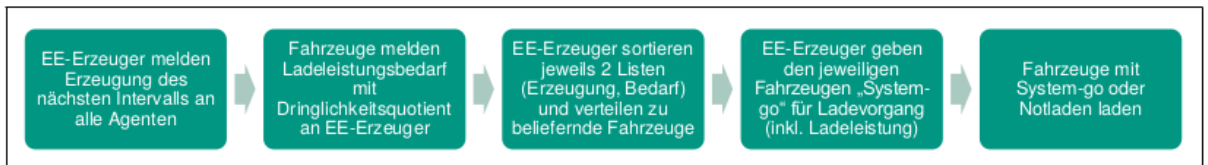


Abbildung 14: Ablauf der Ladekoordination

Fahrzeuge zu den Erzeugern läuft lokal bei jedem Erzeuger ab, sodass hierfür keine weitere Kommunikation benötigt wird. Sobald die Zuordnung abgeschlossen ist, werden die Ladegenehmigungen inklusive der genehmigten Ladeleistungen an die Fahrzeuge verteilt. Im dem Fall, dass ein Ladebedarf durch mehrere EE-Erzeuger gedeckt wird, übermittelt nur der dem Fahrzeug als erstes zugeordnete EE-Erzeuger die Ladegenehmigung und die zugeordnete Ladeleistung. Die Fahrzeuge legen nun, bei Erhalt einer Ladegenehmigung oder beim Bedarf eines Notladens, die jeweilige Ladeleistung für das anschließende Intervall fest. Im Intervall selbst besteht keine physische Kopplung zwischen den EE-Erzeugern und ihren jeweils zugeordneten Fahrzeugen. Es liegt nur das gegenseitige Versprechen vor, die gleiche Leistung in den Betrachtungsraum einzuspeisen, wie von den Fahrzeugen auch entnommen wird. Das dem Betrachtungsraum übergeordnete Netz nimmt also eine Stabilisierungsfunktion für etwaige Fehler oder Ungenauigkeiten in der Koordination bzw. den Ausfall einzelner Agenten ein. Dadurch ist auch ein nicht legitimes Notladen kein Problem, es wird hier allerdings keine Leistung aus lokaler EE sondern über den Transformator aus dem Mittelspannungsnetz bezogen. Ein schematischer Ablauf der Ladekoordination, ohne Berücksichtigung der Haushalte, ist in Abbildung 14 zu sehen.

In einem Koordinationsbeispiel in Abbildung 15 wird der Ablauf der Kommunikation noch einmal verdeutlicht. In dem Szenario befinden sich in dem betrachteten Pool nur drei Fahrzeuge und zwei EE-Erzeuger. Die maximale Ladeleistung der Fahrzeuge beträgt 11 kW und die DQ der Fahrzeuge sind 2, 2,5 und 3. Die EE-Erzeuger liefern über die nächsten 15 Minuten (hier ein Intervall) eine Leistung von 8 bzw. 10 kW.

Das beschriebene Schwarmbasierte Lademanagement erfüllt alle Anforderungen, die weiter oben formuliert sind: Anforderung 2, die Erfüllbarkeit aller Fahrdienste, ist durch den DQ und die Möglichkeit des Notladens verfahrensimmanent.

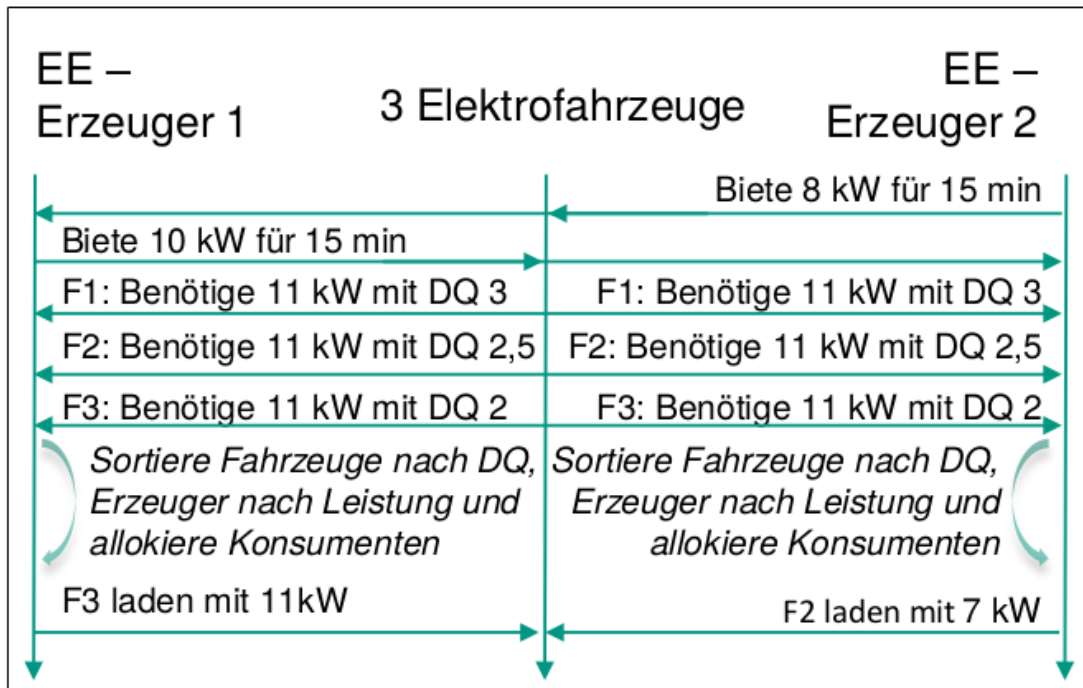


Abbildung 15: Beispielskommunikation des Koordinationsverfahrens

Im beschriebenen Koordinationsverfahren werden immer nur Ladegenehmigungen für das nächste Intervall erteilt, wenn im nächsten Intervall ausreichend EE lokal erzeugt wird. Für den Ablauf des Verfahrens ist also nur die Vorhersage der EE Einspeiseleistung des nächsten Intervalls nötig, was wiederum Anforderung 4 erfüllt. Die Einspeiseleistung wird dann an die, entsprechend dem DQ, bedürftigsten Fahrzeuge verteilt. Dies geschieht über eine Zuweisung von Seiten der EE-Erzeuger. Die Koordination benötigt also keine zentrale informationskumulierende Stelle, sondern funktioniert dezentral und ist nicht von einem Agenten abhängig, was Anforderung 6 befriedigt. Für die Koordination ist kein Datenaustausch zwischen den Fahrzeugen selbst nötig. Zusätzlich zur informationskapselnden Wirkung des DQ, aus dem keine Kilometer oder Zeitangaben extrahierbar sind, trägt das zur Einhaltung von Anforderung 5, der Privatheit sensibler Fahrdaten, bei.

In diesem Unterkapitel wurde das grundlegende Funktionsprinzip des Schwarmbasierten Lademanagements vorgestellt. Dafür wurden die Funktion V2G und stationäre Speicher noch nicht mit einbezogen. Außerdem wurde ausschließlich eine Architektur betrachtet, in der alle Agenten in einem großen Pool miteinander verknüpft sind. Zusätzlich wurde das durch Subramanian et al. (2012) beschriebene Problem des Lastpeaks am Ende des Beobachtungszeitraums bzw. am frühen Morgen vor der Abfahrt vollzeitbeschäftigter Arbeitnehmer, noch nicht adressiert, was zu einer Verletzung von Anforderung 3, der Einhaltung der maximalen Trafobelastbarkeit, führen kann. Im folgenden Unterkapitel werden Architekturalternativen und Erweiterungen des Verfahrens vorgestellt.

2.4. Klassifizierung unterschiedlicher Lasttypen zur optimierten Zusammensetzung des Kundenportfolios eines regionalen Energieversorgers

Die folgenden Inhalte wurden im Artikel „Modeling und Valuation of Residential Demand Flexibility for Renewable Energy Integration“ im Journal IEEE Transactions on Smart Grid veröffentlicht (Gottwalt, Gärtner, Schmeck, & Weinhardt, 2016). Für die vertiefende Beschreibung des Flexibilitäts- und Geräte Typen verweisen wir neben der folgenden Dokumentation daher auf diesen Artikel.

„Smart Grid“ Technologie erlaubt die Integration von Kunden in „Demand- Response“ (DR) Programme, in denen Konsumenten ihren Elektrizitätsverbrauch an die Erzeugung anpassen (Strbac, 2008). Diese aktive Beteiligung der Nachfrageseite ermöglicht es, den Elektrizitätsverbrauch unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit lokaler erneuerbarer Energien (EE) zu steuern und deren Integration in das Elektrizitätsnetz zu unterstützen. Heutzutage nutzen DR Anbieter wie Enernoc² die Flexibilität großer Verbraucher in den Sektoren Industrie und Gewerbe. Dem gegenüber steht die relativ geringe Nachfrage einzelner Haushalte. Daher ist es erforderlich, die Nachfrage zusammenzuführen, um eine ausreichende Größe für eine effektive Marktteilnahme zu erreichen. In dieser Hinsicht kann ein Lastaggregator eine große Anzahl kleiner Konsumenten zusammenführen, um deren Flexibilität zu bündeln. Bisherige Arbeiten konzentrieren sich auf das Flexibilitätpotential eines einzelnen Gerätetyps in Wohngebieten (Stadler, Krause, Sonnenschein, & Vogel, 2009) (H. & Kempton, 2008). Es existieren jedoch wenige Untersuchungen, welche das Flexibilitätpotential verschiedener Haushaltsgeräte untersuchen, um dadurch direkt auf fluktuierende erneuerbare Energien zu reagieren.

Diese Untersuchung ergänzt bisherige Arbeiten unter Anwendung eines umfangreichen Frameworks zur Modellierung und Evaluation des Flexibilitätpotentials verschiedener Haushaltsgeräte. Dabei werden folgende Kernfragen adressiert:

- Wie hoch fällt das Kosteneinsparungspotential eines Aggregators aus, welcher Haushaltsgeräte innerhalb eines Microgrids bestehend aus einem großen Anteil von erneuerbaren Energien steuern kann?
- Welches sind die wichtigsten Eigenschaften, um Nachfrageflexibilität zu charakterisieren?
- Wie wird die Lastdeckung innerhalb eines Microgrids durch verschiedene Portfolios intermittierender erneuerbarer Energien beeinflusst?

Zur Beantwortung dieser Fragen stellen wir ein umfangreiches Model verschiebbarer Haushaltsgeräte vor, welche in Zukunft weit verbreitet sein werden. Ein Aggregator kann steuerbare Geräte zeitlich verschieben, um lokal verfügbaren erneuerbaren Energien zu nutzen. Konventionelle Reservekapazität steht zur Verfügung, wann immer die Last die Erzeugung aus erneuerbarer Energien übersteigt. Im Fokus steht die Untersuchung der Kosteneinsparpotentiale in einem Microgrid durch direkte Steuerung von Haushaltsgeräten.

² <http://www.enernoc.com/>

Fluktuierende EE beeinflussen außerdem die Zusammensetzung des optimalen Konsumentenportfolios (Gärttner, Flath, & Weinhardt, 2014). Vor diesem Hintergrund analysieren wir zudem den Einfluss verschiedener Anteile an Wind- und Photovoltaikanalagen innerhalb des EE Angebots auf die Flexibilitätseinschätzung.

Verwandte Forschungsarbeiten

Die Laststeuerung der Nachfrage ermöglicht beträchtliche Steuerungspotentiale bei gleichzeitig vertretbaren Kosten. Albadi und El-Saadany (2008) kategorisieren Programme zur Laststeuerung der Nachfrage in preis- oder anreizbasiert. Bei preisbasierten Programmen bieten dynamische Preise Anreize für Konsumenten, um deren Verhalten zu beeinflussen. Versteht der Konsument einen variablen Tarif jedoch nicht, kann dies zur Ablehnung der jeweiligen Implementierung führen (Albadi & El-Saadany, 2008). Unser Ansatz nutzt zentrale Laststeuerung, was einem anreizbasierten Programm entspricht. Dabei übergeben Konsumenten die Kontrolle über ihre flexiblen Geräte an einen Aggregator, wodurch sie bessere Vertragskonditionen erhalten (z.B. niedrigerer Basistarif). Ein solches Regime ist für Konsumenten einfacher zu verstehen. Als Nachteil bleiben jedoch typische Probleme eines zentralisierten Kontrollansatzes bestehen, z.B. Datenschutzbedenken oder komplexe Computerberechnungen, welche zur groß angelegten Optimierung notwendig sind. Um dieses Problem zu adressieren ist eine angemessene Infrastruktur nötig, z.B. ein hierarchisches Schema mit Subgruppen (Callaway & Hiskens, 2011).

Bestehende Literatur, welche sich mit Lastenkontrolle in Wohngebieten beschäftigt, adressiert ökonomische und technische Zielsetzungen. Adika und Wang (2014) präsentieren einen Ansatz zum automatischen zeitlichen Regulieren von elektrischen Haushaltsgeräten für Ein-Personen-Haushalte, welche mit einer Solaranlage ausgestattet sind. In ihrer Studie nutzen sie Lastkontrolle, um den Verbrauch von durch Solaranlagen erzeugte Energie zu erhöhen und gleichzeitig die Elektrizitätskosten für den Haushalt zu verringern. Die meisten Studien untersuchen Lastflexibilität im Hinblick auf eine lokale Agglomeration von Haushalten. Stadler et al. (2009) stellen ein Modell für regulierbare Kühlschränke vor und konzentrieren sich auf deren Potential, ausbalancierende Energie bereitzustellen. Die Regulierung von Kühlschränken wurde ebenfalls von Kamper (2010) untersucht. Der Einsatz von Klimaanlage für notwendige Dienstleistungen wurde in Sullivan (2013) untersucht. In gleicher Weise können Warmwasserboiler eingesetzt werden, um Tertiärregelenergie bereitzustellen (Sundstrom, Binding, Gantenbein, Berner, & Rumsch, 2012). Dabei wurde eine Einschätzung hinsichtlich des Boilerverbrauchs sowie –zustands abgegeben, sowie ein Flexibilitätsmodell, welches für Wasserboiler anwendbar ist. Van de Ven et al. (2013) schlagen einen Regulierungsansatz vor, mit dem stationäre Batterien von Verbrauchern optimal eingesetzt werden können, um Elektrizitätskosten unter Berücksichtigung von variablen Echtzeitpreisen.

Andere Publikationen untersuchen, inwiefern Lastkontrolle dazu beitragen kann, die direkte Nutzung von verteilter EE-Erzeugung zu erhöhen. Vor diesem Hintergrund schätzen Schuller et al. (2015) das Potential von Ladesteuerung bei Elektrofahrzeugen zur EE-Erzeugung ab und vermeiden dadurch kostspielige konventionelle Erzeugung. Hakimi und Moghaddas-Tafreshi

(2014) analysieren die Kontrolle von Wärme- und Kühlsystemen zur Reduzierung des Anteils importierter Energie in ein Microgrid. Mohsenian-Rad et al. (2010) formulieren die optimale Steuerung verschiedener flexibler Geräte mithilfe eines linearen Programms, um einen Trade-off zwischen Elektrizitätskosten und Gerätelebensdauer bei Berücksichtigung von Echtzeitpreisen zu erreichen. Ein generisches Haushaltsflexibilitätsmodell zur Evaluation von Algorithmen für die zeitliche Programmierung von kostensensitivem Verbrauch bei gleichzeitiger Beibehaltung eines Basisniveaus an Komfort ist in Scott (2013) illustriert. Das Ziel dabei besteht in der Reduzierung der Kosten. Die Analyse beruht auf stochastischen Eingaben für externe Parameter (z.B. Preise) und für Gerätenutzung (z.B. steuerbare Ladeanfragen). In Tushar et. al. (2014) stellen die Autoren ein Modell für Haushaltsgeräte und Elektrofahrzeuge vor. Dabei schlagen die Autoren eine zentralisierte zeitliche Programmierung vor, um den häuslichen Elektrizitätsverbrauch gemeinsam zu regulieren. Mit dem Fokus auf die Ladekontrolle von Elektrofahrzeugen wird die optimale Lösung dabei mit einem dezentralen Ansatz zur Ladekontrolle verglichen.

Die hier durchgeführten Arbeiten ergänzen die bestehenden Arbeiten, welche sich zumeist auf Lastflexibilitäten einzelner Gerätetypen oder die Nutzung von preisbasierter Koordination konzentrieren. Wir präsentieren ein umfangreiches Modell für die Flexibilität von Haushaltsgeräten und möglichen zukünftigen Geräten, welche für gewöhnlich in Wohngebieten Anwendung finden bzw. künftig finden werden. Dieses Modell erlaubt den Vergleich hinsichtlich des Wertes von Flexibilität verschiedener Endverbrauchergeräte zur Integration von EE. Zusätzlich untersuchen wir den Einfluss verschiedener EE-Portfolios im Hinblick auf die Notwendigkeit der Lastflexibilität.

Beschreibung der Angebots und Nachfrageseite

Wir analysieren das Microgrid eines Wohngebiets, bei welchem ein Aggregator Geräte zeitlich steuern kann, um die Kosten der Stromerzeugung zu minimieren (siehe Abbildung 16). Der Aggregator kann sich die Flexibilität der Haushalte zunutze machen, indem er deren Nachfrage mit dem Angebot an EE und dem optionalen Gebrauch einer Gasturbine abstimmt.

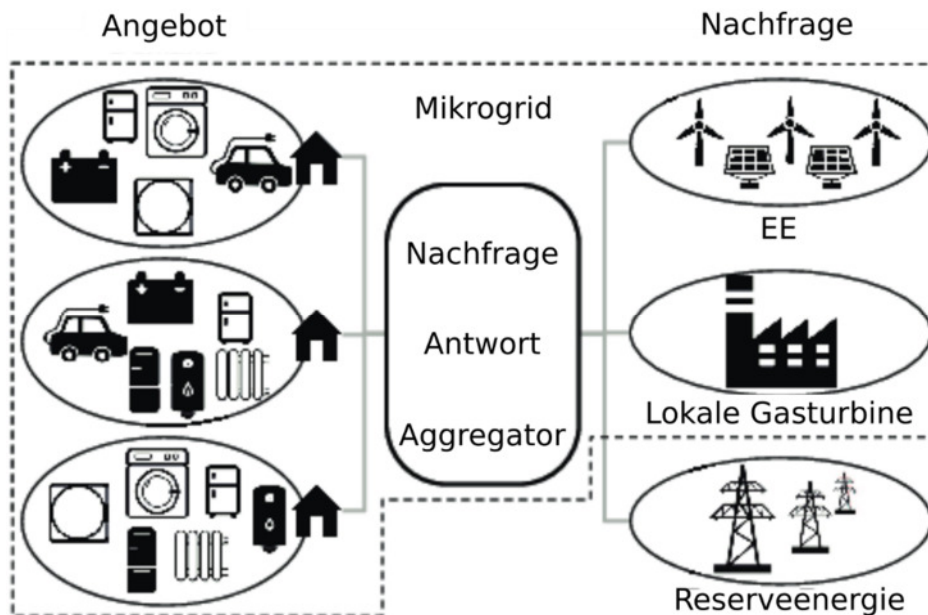


Abbildung 16: Übersicht des Mikro-Netz-Szenarios

Jeder Haushalt ist mit einer bestimmten Anzahl an Haushaltsgeräten ausgestattet. Im Falle dass die erzeugte Last trotz EE und hinzugeschalteter Gasturbine nicht gedeckt werden kann, muss auf kostenintensive Reserveenergie des übergeordneten Netzes zurückgegriffen werden. Um einen klaren Fokus auf den Aspekt der Lastkoordination beizubehalten, und um weitere Annahmen zu vermeiden, verzichtet dieses Modell auf potentielle Einschränkungen wie Netzkapazität oder Verluste innerhalb des Microgrids.

Nachfrageseite

Für das flexible Lastmodell mit einem bottom-up-Ansatz berücksichtigen wir heutige Gerätespezifikationen und empirische Daten von typischem Nutzungsverhalten. Die Eignung von Haushaltsgeräten zur flexiblen Steuerung der Last kann im Hinblick auf den Einfluss von Nutzen bzw. Nachteil der Lastenverschiebung auf den Verbraucherkomfort evaluiert werden. Wir orientieren uns an Gottwalt et al. (2011), um Haushaltsgeräte zu identifizieren, welche sich für Lastenverschiebung eignen und um damit das Potential der Automatisierung zur Lastenverschiebung zu bestimmen. Geräte mit einem thermischen Speicher werden nicht kontinuierlich betrieben. Es besteht keine Interaktion zwischen Verbrauch und dem individuellen Betreiben dieser Geräte. Das Betreiben der Geräte kann zu einem gewissen Anteil (A) automatisch reguliert werden, ohne zu einer Verringerung des Nutzens zu führen. Manche Geräte können automatisch gestartet werden, setzen jedoch vorherige Interaktion mit dem Verbraucher voraus (z.B. muss der Verbraucher die Geschirrspülmaschine füllen). Um Lastenflexibilität zu erleichtern, wird daher angenommen, dass Verbraucher solche Geräte in einen Bereitschaftsmodus versetzen (nach dem Beladen der selbigen) und den letztmöglichen Zeitpunkt zur Beendigung des Vorgangs festlegen. Der Vorgang kann dann innerhalb der durch den Verbraucher festgelegten Zeitintervalle automatisch gestartet werden. Wir benennen diese Regulierungsoption semi-automatisch (S-A). Die meisten Klassen von Haushaltsgeräten sind als nicht für das Nachfragemodell regulierbar kategorisiert. Einige Geräte (z.B. Klimaanlage) sind für die Lastverschiebung geeignet, besitzen jedoch eine geringe Verbreitung in Deutschland, während andere

Verbraucherkomfort deutlich einschränken (z.B. Herd). Tabelle 1 stellt die Spezifikationen des Modells dar, sowie die Herkunft der Daten und den Optionen zur Lastregulierung per Gerät.

Tabelle 1: Eingabeparameter für die Kalibrierung des Haushaltsgerätemodells und angewandte Regulierungsoptionen

Gerät	Grad der Verbreitung	Anteil am Stromverbrauch	Energieverbrauch je Vorgang [kWh]	Benötigte Zeit je Vorgang [min]	Steuerungsoptionen
Kühlschrank	0.997	0.09	0.024	15	A
Gefrierschrank	0.505	0.07	0.035	15	A
Boiler	0.06	0.04	6.0	240	A
Raumheizung	0.04	0.12	59.0	240	A
Geschirrspüler	0.673	0.037	1.206	105	S-A
Waschmaschine	0.945	0.036	0.888	105	S-A
Trockner	0.391	0.024	2.485	105	S-A

Die flexiblen Geräte im Modell stellen ungefähr 42% der heutigen Last in Deutschlands Wohngebieten dar. Nicht steuerbare Haushaltlast ist durch Standardladeprofile abgebildet. Der Verbund der deutschen Energie- und Wasserindustrie (BDEW) stellt dieses Profil, genannt H0, in einer Auflösung von 15 Minuten für den durchschnittlichen Elektrizitätsverbrauch eines genormten deutschen Haushalts zur Verfügung.

Für stationäre Batterien wenden wir ein lineares Programm an, welches auf Daryanian et al. (1989) basiert. Diesem Modell zufolge können Batteriespeicherkapazität, maximale Lade- sowie Entladeenergie als relevante technische Parameter zur Spezifizierung von stationären Batterien identifiziert werden. Wir nehmen eine virtuelle Batterie an, welche, vergleichbar mit momentan käuflich erhältlichen Batteriespeichersystemen, eine Kapazität von 7 kWh und eine Lade- bzw. Entladeenergie von 4 kW besitzt. Stationäre Batterien können Elektrizität entweder entladen (Angebot) oder laden (Verbraucher).

Bestehende Literatur, so z.B. Sioshansi (2012), demonstrieren, dass ein einfaches bottom-up-Elektrofahrzeugmodell auf Basis der Evaluation von empirischen Fahrprofilen unter Anwendung von technischen Spezifikationen für Elektrofahrzeuge und Ladesysteme erstellt werden kann. Für unsere Repräsentation von Elektrofahrzeugen nutzen wir das Modell von Flath et al. (2013) für die genaue Spezifikation dieser Komponenten. Unser Modell nutzt dabei empirische Fahrprofile konventioneller Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Das Mobilitätspanel Deutschland³ veröffentlicht das Mobilitätsverhalten während einer Woche eines Jahres und erlaubt so das Extrahieren von Reisen und der Lokalisierung von Fahrzeugen. Für diese Studie nutzen wir Fahrprofile von Vollzeitmitarbeitern. Das Elektrofahrzeugmodell ist dabei kalibriert auf Basis der Spezifikationen von derzeit erhältlichen Elektrofahrzeugen. Dabei nehmen wir eine Batterieleistung von 30 kWh und einen Verbrauch von 0.15 kWh/km an. Weiterhin können Elektrofahrzeuge zuhause sowie am Arbeitsplatz mit einer maximalen Leistung von 11 kW geladen werden.

Angebotsseite

Um das Flexibilitätspotential der Stromnachfrage von Haushalten zur Integration von EE zu evaluieren, wird ein hoher Anteil an Windkraft und Solarenergie am Strommix des Referenzsystems angenommen. Die eingesetzten Daten für EE beinhalten Zeitserien für Wind- und Solarenergie von deutschen Übertragungsnetzbetreibern mit einer Auflösung von 15 Minuten und stammen aus dem Jahr 2013. Die Daten der Windenergie stammen von 50Hertz⁴. Die Daten für Solarenergie stammen von Transnet BW⁵. Fehlende Datenpunkte werden auf Basis linearer Interpolation existierender Werte geschätzt.

Im Folgenden besteht EE aus dem erzeugten Strom von Wind- sowie Solaranlagen. EE-Daten deutscher Netzbetreiber werden mit dem Parameter $\gamma \in \mathbb{R}^+$ skaliert, was dem Verhältnis von aggregiertem Angebot und Nachfrage des Mikro-Netzes entspricht. Häusliche Last, welche die EE-Erzeugung übersteigt (Restlast), muss von konventionellen Kraftwerken bereitgestellt werden. Diese werden durch eine Gasturbinen oder hinzugekaufte Energie des Reservemarkts abgebildet. In einem Microgrid mit einem hohen Anteil an EE sollte flexible Last zeitlich so eingesetzt werden, dass die Kosten zur Deckung der Restlast minimiert werden.

Klassifizierung von Haushaltslasten.

In unserer Analyse erhält der Aggregator vollen Zugriff auf Informationen zur Flexibilität der Verbraucher und kann Haushaltsgeräte direkt steuern. Weiterhin nehmen wir vollständige Information hinsichtlich EE an. Damit stellen unsere Ergebnisse die obere Grenze des Flexibilitätspotentials eines Wohngebietes dar. In unseren Ergebnissen betrachten und vergleichen wir unregulierte Last mit einem eine direkten Lastprogramm.

³ <http://daten.clearingstelle-verkehr.de/192/>

⁴ <http://www.50hertz.com/de/Netzkennzahlen.htm>

⁵ <http://www.transnetbw.de/de/kennzahlen>

Im Szenario einer unregulierten Last ist die Last des Wohngebiets L' determiniert durch historisches Konsumverhalten von Haushaltsgeräten durch die Verbraucher, sowie den Fahranforderungen von Elektrofahrzeugen. Das Elektrizitätserzeugungsmodell dient der Feststellung der variablen Kosten für konventionelle Energieerzeugung. Um die Laufzeiten der Haushaltsgeräte, und damit die aggregierte durch die Haushalte erzeugte Last L_{FH}^t , zu bestimmen, wenden wir eine vereinfachte Version des Haushaltlastenerzeugungsmodells an, welches in Gottwalt et al. (2011) detailliert beschrieben ist. Die Lastprofile einer Gruppe von Haushalten werden in drei Schritten bestimmt. Zunächst wird die Anzahl an Geräten innerhalb der gesamten Gruppe berechnet. Wir nutzen Verbreitungsschwellen verschiedener Geräte als Wahrscheinlichkeit für deren Verfügbarkeit und erstellen auf dieser Basis eine Gruppe von Geräten für die betrachtete Haushaltsgruppe. Im zweiten Schritt wird die Anzahl an Vorgängen oder Laufzeiten eines Haushaltsgeräts wie folgt bestimmt:

$$\frac{\text{Durchschnittlicher Verbrauch per Haushalt} \times \text{Anteil des Geräts am Verbrauch}}{\text{Verbrauch pro Vorgang} \times \text{Penetrationsschwelle des Geräts}}$$

Der jährliche Energieverbrauch eines deutschen Haushalts beträgt ungefähr 3.100 kWh (BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2013). Die verwendeten Daten zur Berechnung der Vorgänge oder Operationen je flexiblem Haushaltsgerät sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Nutzung von Speicherheizungen variiert je nach Jahreszeit und beträgt 1 im Winter, 0,25 in Wechselzeiten und 0 im Sommer. Der Betrieb der restlichen Geräte variiert hingegen nicht in Abhängigkeit der jeweiligen Jahreszeit. Im dritten Schritt ist es erforderlich, die Verbrauchszeiten zu bestimmen, zu denen die jeweiligen Haushaltsgeräte betrieben werden. Speicherheizungen, Boiler, Kühlschränke und Gefrierschränke werden als unabhängig von der Aktivität der Verbraucher modelliert.

Die ersten beiden genannten Geräteklassen in der Aufzählung werden üblicherweise abseits der Spitzenlastzeiten betrieben und Netzbetreiber legen deren Aktivierungszeit daher für nachts fest (Stamminger, 2009). Im unregulierten Lastszenario wird angenommen, dass diese Geräte in einem einzigen Vorgang zwischen 00:00 und 06:00 Uhr betrieben werden. Kühlschrank und Gefriertruhe hingegen werden häufig betrieben, um deren Temperatur in festgelegten Bereichen zu halten. Um dieses Verhalten in das Lastenmodell zu integrieren, ist ein Tag in verschiedene Intervalle unterteilt; mit einem aktiven Zyklus pro Intervall. Für die Intervalle wird eine Länge von 45min angenommen (La Cascia & Miceli, 2008). Innerhalb der Intervalle sind die Zyklen gleichmäßig verteilt. Der Betrieb von Waschmaschinen, Geschirrspülern und Wäschetrocknern ist abhängig von der Aktivität des Verbrauchers. Um die Startzeiten dieser Geräte zu bestimmen, werden stündliche Startwahrscheinlichkeiten angewandt, welche auf der gewöhnlichen Nutzung dieser Geräte basieren (Stamminger, 2009).

Um das Lastenmuster für stationäre Batterien L_S^t zu bestimmen, ist eine Betriebsstrategie zum zeitlichen Programmieren von Lade- und Entladevorgängen erforderlich. Innerhalb eines statischen Lastenregimes, d.h. ohne Anreize oder fortgeschrittene Strategien, könnten einfache regelbasierte Regulierungsschemata angewandt werden, um Batterien zeitlich zu programmieren. In dieser Arbeit wurde hingegen angenommen, dass Batterien innerhalb des unkontrollierten Lastenregimes nicht zum Einsatz kommen. Für das Laden von Elektrofahrzeugen L_V^t nehmen wir innerhalb dieses Regimes an, dass Inhaber dieser Fahrzeuge jederzeit die Reichweite ihrer Fahrzeuge maximieren möchten. Daraus folgt, dass Elektrofahrzeuge wann immer möglich unter Ausnutzung der maximal verfügbaren Energie geladen werden. Die Koordination der flexiblen Lasten erfolgt mittels eines Mixed Integer Linear Programms (MILP).

Evaluation

Wir wenden ein Modell für direkte Lastregulierung an, um das Kostenreduktionspotential bei flexibler Last eines Mikronetzes innerhalb eines Wohngebiets zu bestimmen und leiten daraus Empfehlungen ab, wie ein Stromanbieter dessen Portfolio an erneuerbaren Energien strukturieren kann. Das Modell läuft für 12 aufeinanderfolgende Wochen unter Anwendung der oben genannten Spezifikationen und Eingabeparameter (siehe Tabelle 1). Für die Optimierung wird eine Vorschau von einem Tag und eine Auflösung von 15min verwendet. Wir simulieren eine Population von 1000 Haushalten. Im Basisszenario sind 160 Elektrofahrzeuge und 25 stationäre Batterien enthalten (Federal Government of Germany, 2011). Wir nehmen einen Windenergieanteil von $S^W = 70\%$ und ein Angebot-Nachfrage-Verhältnis von $\gamma = 1$ an. Für das bewegliche Intervall von halbautomatisch regulierten Geräten nehmen wir Werte von 3,5 oder 10 Stunden an. Für den Speicherwert von Elektrofahrzeugen und Batterien wurde ein künstlich niedriger Wert von $\theta = 0.01$ angenommen. Das schafft den Anreiz, um während Zeiten von überschüssigen erneuerbaren Energien und nicht vorhandenen variablen Kosten zu laden. Daneben sorgt dieser niedrige Wert dafür, dass nicht von konventionellen Energien (Gasturbine oder Reserveladung) geladen wird, was zu höheren SOC-Werten für Elektrofahrzeuge führt und es erlaubt, dass von stationären Batterien geladen werden kann, wann immer überschüssige Ladung verfügbar ist.

Angebot- und Nachfragecharakteristika

Abbildung 17 stellt die Last sowie Energieerzeugung innerhalb des Mikronetzes über den Zeitraum einer Woche dar. Dabei sind statische Haushaltslasten angenommen, sowie ein optimiertes Szenario mit direkter Lastenregulierung (OPT).



Abbildung 17: Verhalten von Last und Erzeugung innerhalb des Mikronetzes für eine Beispielwoche

Im statischen Szenario sind für die aggregierte Lastenkurve deutliche Spitzen in den Morgen- sowie Abendstunden zu sehen. Zu diesen Spitzenzeiten fügt das Laden von Elektrofahrzeugen zu einer bereits hohen Basisauslastung hinzu und erhöht die Nutzung von anderen potentiell flexiblen Geräten. Innerhalb des Musters der Erzeugung aus erneuerbaren Energien ist eine hohe Spitze für Photovoltaik zur Mittagszeit zu sehen. Abseits dieser Spitzenzeiten ist die Erzeugung aus konventionellen Brennstoffen zu fast allen Zeiten erforderlich. Die Last entspricht der Erzeugung aus Erneuerbaren ausschließlich zufällig. Die Möglichkeit Fluktuationen von Erneuerbaren zu kompensieren, ist in der unteren Hälfte der Abbildung dargestellt. Unter der Anwendung von direkter Laststeuerung kann die Last von Haushalten zeitlich so programmiert werden, dass sie in Zeiträume von hoher erneuerbarer Erzeugung fällt. Daraus resultiert, dass wir für die Erzeugerseite (unten links) eine deutliche Reduzierung von Gasturbinen und Reserveenergie feststellen können.

Flexibilitätpotentiale der Nachfrageseite

Um den Wert von flexiblen Haushaltsgeräten für einen DR-Aggregator festzustellen, identifizieren wir zunächst die Kostenreduktion für die Energieerzeugung innerhalb des Mikronetzes. Hierfür vergleichen wir das unregulierte Szenario mit der integrierten Optimierung, bei welcher Geräte zeitlich gesteuert werden können. Das Modell des Energiesystems enthält als Variablen die Gasturbine, marginale Kosten, sowie Kosten der Reserveenergienutzung. Im Folgenden werden die Kosten für die gesamte konventionelle Energieerzeugung berücksichtigt. Abbildung 18 stellt die Erzeugungskosten innerhalb des Mikronetzes im Falle von direkter Lastenregulierung dar und berücksichtigt dabei verschiedene flexible Lasten der Haushalte.

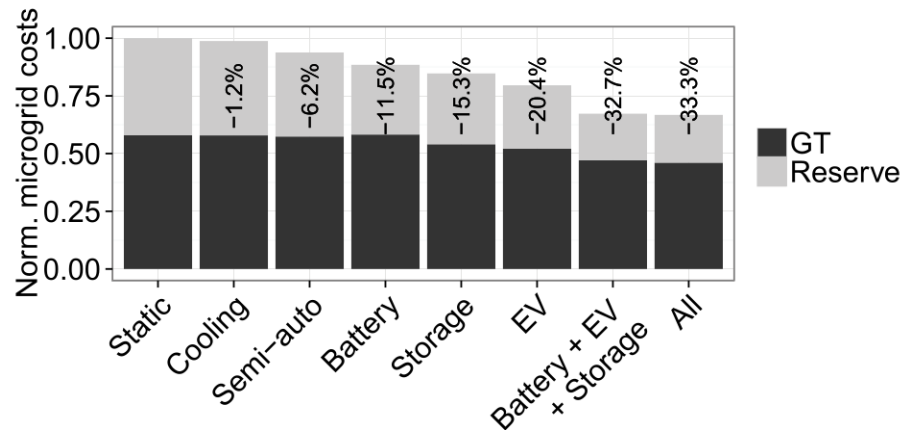


Abbildung 18: Normierte Kosten innerhalb des Mikronetzes für verschiedene Kombinationen flexibler Geräte

Für die verbleibende Last wird für jede Kombination angenommen, dass diese statisch gleichbleibt. Zur vereinfachten Darstellung werden manche Lasten zu Gerätegruppen zusammengefasst: die Gruppe „Kühlung“ enthält Kühlschrank und Gefriertruhe; „Semi-automatisch“ enthält Waschmaschine, Geschirrspüler und Trockner; „Speicher“ enthält Boiler und Raumheizung. Elektrofahrzeuge sowie stationäre Batterien werden individuell in der Analyse ausgewiesen. Die Abbildung enthält außerdem zwei Kombinationen mit der gleichzeitigen Regulierung mehrerer Gerätegruppen („Batterie + Elektrofahrzeuge + Speicher“ und „Alle“). Die Kosten wurden auf das Szenario ohne Laststeuerung normalisiert (Statisch).

Bei Betrachtung der gesamten Erzeugungskosten innerhalb des Mikronetzes ist festzustellen, dass Kühlgeräte und halbautomatisch regulierte Geräte gleichwohl ihrer hohen Verfügbarkeit von geringer Wichtigkeit sind. Stationäre Batterien zeigen eine bessere Leistung, als die zwei vorher genannten. Speichergeräte und insbesondere Elektrofahrzeuge erzielen die größten Kosteneinsparpotentiale. Das gleichzeitige zeitliche Programmieren aller flexiblen Geräte reduziert die Kosten im Umfang von mehr als 30% im Vergleich zum unregulierten Szenario. Interessanterweise kann das Kosteneinsparpotential fast vollständig realisiert werden, wenn die gruppierte Speichergruppe, Elektrofahrzeuge und Batterien flexibel reguliert werden.

Um besser verstehen zu können, welchen Einfluss das Portfolio bestehend aus erneuerbaren Energien auf die Notwendigkeit der konventionellen Energieerzeugung hat, analysieren wir verschiedene Anteile an Windenergie, sowie Photovoltaikanlagen. Das ermöglicht es uns, regionale Unterschiede hinsichtlich der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien zu betrachten, die Einfluss auf einen Aggregator haben können. Aus diesem Grund untersuchen wir die Kosteneinsparpotentiale je Gerätegruppe für Portfolios bestehend aus verschiedenen Anteilen an erneuerbaren Energien (siehe oberer Teil in Abbildung 19).

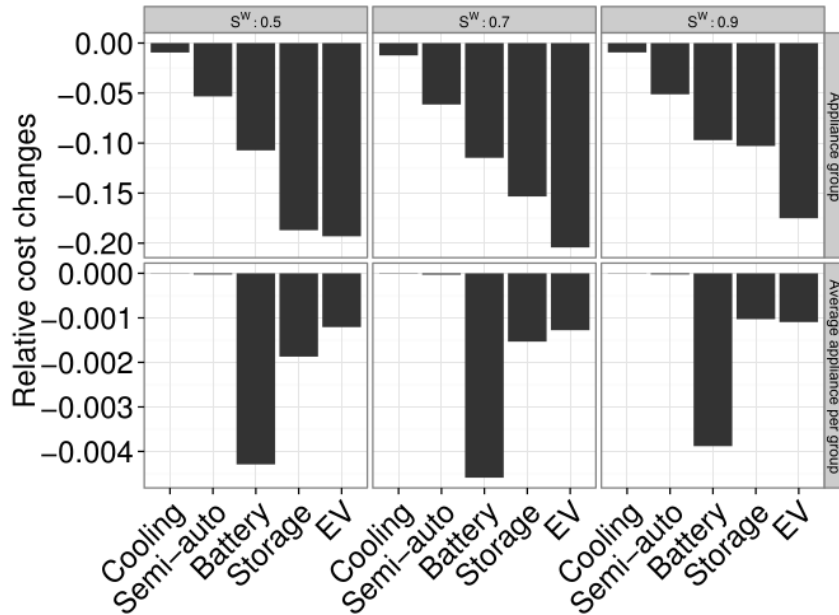


Abbildung 19: Kosteneinsparungen für die Energieerzeugung per Geräteklasse (oben) und durchschnittliche Einsparung je individuellem Gerät je Gruppe (unten) für verschiedene Anteile an Windenergie

Die Facetten innerhalb der Abbildung repräsentieren den Anteil der Windenergie S^W für das jeweilige Portfolio an erneuerbaren Energien. Aus der Abbildung ist zu lesen, dass Raumspeicherheizungen die größten Kosteneinsparpotentiale realisieren, wenn Photovoltaik den größten Anteil im Portfolio bestimmt. Raumspeicherheizungen werden innerhalb des unregulierten Szenarios nachts betrieben und können durch Zufall der erzeugten Windenergie gleichen. Dagegen fehlt einem Portfolio, welches von Photovoltaik dominiert wird, nachts die nötige Kapazität, was zu einem größeren Potential für Lastenregulierung durch Raumspeicherheizungen führt. Stationäre Batterien sowie Elektrofahrzeuge können die größten Einsparpotentiale in einem leicht von Windenergie dominierten Portfolio realisieren. Die Möglichkeit der Batterien Elektrizität zur Mittagszeit zu speichern, sowie Energie nachts bereitzustellen, ist dann wichtig, wenn durch Photovoltaik erzeugte Energie verfügbar ist. In einem von Windenergie dominierten Portfolio können hohe bzw. niedrige Erzeugungsperioden für mehrere Tage anhalten und stationäre Batterien laden bzw. entladen in einem solchen Fall lediglich einmal per Periode. Gleichmaßen ist für Elektrofahrzeuge die Nutzung von konventionell erzeugter Energie zur Realisierung der Fahrten notwendig, wann immer eine Periode von niedriger Windenergieerzeugung vorliegt. Ein höherer Photovoltaikanteil führt zu täglichen Erzeugungsspitzen rund um die Mittagsstunden und verhindert lange Perioden niedriger erneuerbarer Energien ausgelöst durch niedrige Windenergieerzeugung.

Die Potentiale der Nachfrageregulierung von individuellen Haushalten hängen von deren Haushaltsgeräten ab. Um daher erfolgsversprechende Verbraucher identifizieren zu können, muss zunächst die Reduktion einzelner Geräte analysiert werden. Der untere Teil der Abbildung 19 zeigt die durchschnittliche Reduktion je individuellem Gerät einer

Gerätegruppe. Drei zentrale Beobachtungen können aus dieser Abbildung gewonnen werden. Zum einen besitzen Geschirrspüler, Waschmaschinen und Trockner kaum Kosteneinsparpotentiale. Zum anderen führt das zeitliche Steuern von Speicherheizungen bzw. Elektrofahrzeugen bei Betrachtung aller Geräte zu ähnlichen Einsparpotentialen. Zu guter Letzt besitzen stationäre Batterien das größte Einsparpotential aller Geräte. Daraus ist zu folgern, dass ein Aggregator der Nachfrageflexibilität am meisten von Verbrauchern profitiert, welche Elektrofahrzeuge, Speichergeräte bzw. stationäre Batterien besitzen, da diese zu höheren Kosteneinsparungen auf der Erzeugerseite beitragen. Ein Aggregator sollte Tarife einführen, welche Anreize für Verbraucher darstellen, um solche Geräte zu erwerben. Geräte welche sowohl bei Betrachtung der gesamten Population als auch auf individueller Ebene die größten Anteile an den Kosteneinsparungen tragen, stellen sich als die vielversprechendsten für Lastenregulierung heraus. Die zuvor genannte stellt das Einsparpotential innerhalb des gesamten Systems für einen Aggregator oder Stromanbieter dar. Die zuletzt genannte unterstützt Anreizzahlungen, um Verbraucher für deren Teilnahme am Nachfrageregulierungsprogramm zu animieren.

Schlussfolgerungen

Es bleibt eine offene Frage, welches die Schlüsselfaktoren zur Realisierung von Nachfrageregulierungspotentialen verschiedener Geräte sind. Schlussendlich nutzen wir Energieverbrauch⁶ und zeitliche Flexibilität⁷ je Gerät und untersuchen den Einfluss dieser Charakteristika auf die Kosteneinsparpotentiale. Für diese Analyse nutzen wir das Basisszenario unserer Simulation. In Abbildung 20 ist zu erkennen, dass die Reihenfolge der Geräte basierend auf wöchentlichem Verbrauch und zeitlicher Flexibilität mit den Kosteneinsparpotentialen korrespondiert. Bei Betrachtung individueller Geräte ist zu sehen, dass stationäre Batterien die größte zeitliche Flexibilität sowie den größten Verbrauch aufweisen und somit die größten Kosteneinsparpotentiale je Gerät erzielen. Speicherheizungen und Elektrofahrzeuge weisen ähnliche Potentiale auf. Speicherheizungen besitzen jedoch einen höheren wöchentlichen Verbrauch, während Elektrofahrzeuge ein größeres zeitliches Flexibilitätspotential aufweisen. Kühlgeräte besitzen einen leicht geringeren Verbrauch als halbautomatisch regulierbare Geräte. Allerdings weisen Kühlgeräte wegen ihrer geringeren zeitlichen Flexibilität ein reduziertes Kosteneinsparpotential auf.

⁶ Für Batterien ist der Verbrauch angegeben in wöchentlichem Ladeumfang.

⁷ Zeitliche Flexibilität betrachtet die Einschränkungen für zeitgesteuerte Regelung: z.B. besitzen Kühlgeräte ein kurzes Flexibilitätsintervall (45min). Speichergeräte und Elektrofahrzeuge erlauben die Verlagerung von Last innerhalb eines Tages. Elektrofahrzeuge haben jedoch die zusätzliche Limitation, dass sie zu bestimmten Zeitpunkten stets vollständig aufgeladen sein müssen.

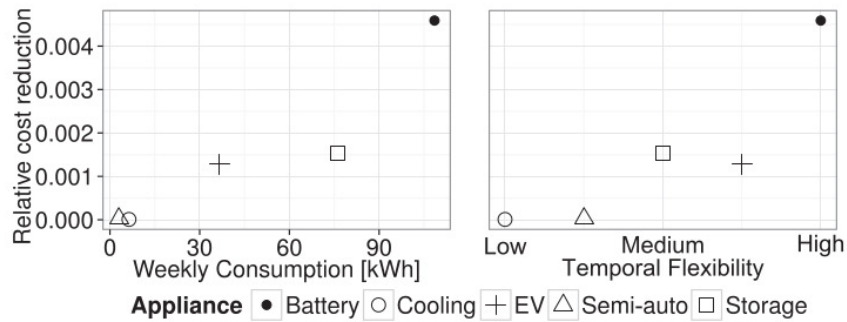


Abbildung 20: Einfluss von Verbrauch und zeitlicher Flexibilität auf die Kosteneinsparpotentiale

Gestaltung von Erzeugungsportfolios

Um regionale Unterschiede hinsichtlich der Verfügbarkeit von Windenergie und Photovoltaik zu berücksichtigen, analysieren wir detailliert verschiedene EE-Portfolios mit unterschiedlichen Gewichtungen von Wind und Photovoltaik. Abbildung 21 stellt den Anteil der Nachfrage dar, welche durch die Erzeugung verschiedener Windenergieanteile S^W gedeckt werden kann. Je weniger Last durch EE gedeckt werden kann, desto höher ist der Bedarf an konventioneller Energie. In dieser Analyse gehen wir von direkter Laststeuerung für die am vielversprechendsten Geräte aus (stationäre Batterien, Speichergeräte und Elektrofahrzeuge).

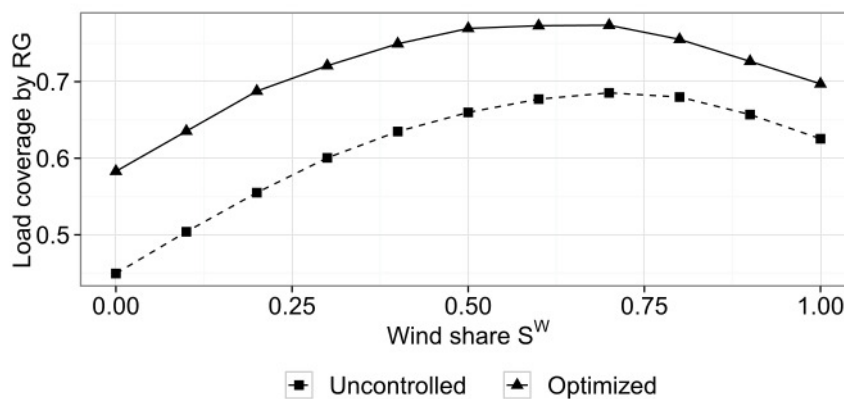


Abbildung 21: Durchschnittliche Deckung der Last verschiedener EE-Anteile

Ein Windanteil von 0 definiert ein Portfolio, welches ausschließlich aus Photovoltaikerzeugung besteht. Die direkte Regulierung flexibler Lasten erhöht die Lastabdeckung in allen Portfoliokombinationen. Für koordinierte als auch unkoordinierte Lasten deckt ein PV-dominiertes Portfolio weniger Last ab, als ein Portfolio, welches ausschließlich aus Windenergie besteht. Ein gemischtes Portfolio verbessert die Lastenabdeckung durch erneuerbare Energien. Berücksichtigt man die Volatilität in reinen PV- oder Windportfolios, können im Unterschied zu gemischten Portfolios, bei denen sich

die beiden Erzeugungsformen ergänzen, Erzeugungstunden gekennzeichnet durch hohe Erzeugung nicht effektiv ausgenutzt werden. Bei Anwendung von Laststeuerung kann die beste Lastenabdeckung in leicht von Windenergie dominierten Portfolios erzielt werden. In Situationen ohne Lastenregulierung führen Portfolios mit mehr Windanteil zu einer verbesserten Lastenabdeckung. Das ist nicht verwunderlich, da PV auf wenige Mittagsstunden pro Tag konzentriert ist, während die Erzeugung aus Windenergie gleichmäßiger über den Tag hinweg verteilt ist. Daraus folgt, dass unregulierte Last von Verbrauchern in den meisten Fällen durch Zufall von einem Windenergieportfolio abgedeckt ist. Das bedeutet wiederum, dass Nachfragerregulierung in von PV dominierten Portfolios den größten Nutzen stiftet. Die Frage, wie ein Aggregator dessen Portfolio zu gewichten hat, hängt somit von verschiedenen Faktoren ab. Erstens rechtfertigt der fehlende Einsatz von Nachfragesteuerung die Wahl eines von Wind dominierten Portfolios, um von den zufälligen Lastabdeckungen für lastenintensive Speichergeräte sowie für die Basislast nachts zu profitieren. Zweitens erhöht die Entscheidungsmöglichkeit des Aggregators für einen Tarif zur Erzeugung von Flexibilitätsanreizen für Verbraucher den Anreiz für einen erhöhten PV-Anteil im Portfolio. Die Last von stationären Batterien, Elektrofahrzeugen und Speicherheizungen kann so verschoben werden, um einen Teil der Nachfrage zu erhöhen, welcher durch erneuerbaren Energien verbunden mit geringen Kosten gedeckt werden kann.

Interaktionseffekte

Flexible Laststeuerung und Portfolioanteile von EE haben große Auswirkungen auf den Bedarf an konventioneller Energie eines Aggregators. Zur besseren Betrachtung untersuchen wir vielversprechende Demand-Response-Geräte (Elektrofahrzeuge, stationäre Batterien und Energiespeicher) unter Anwendung verschiedener Erzeugungsportfolios. Hierzu erhöhen wir separat die Sättigung dieser Geräte innerhalb der Population, während die verbleibende Auslastung konstant bleibt. Abbildung 22 zeigt den Ladeanteil von EE für verschiedene Sättigungsschwellen und unterschiedliche Zusammensetzungen des EE-Portfolios.

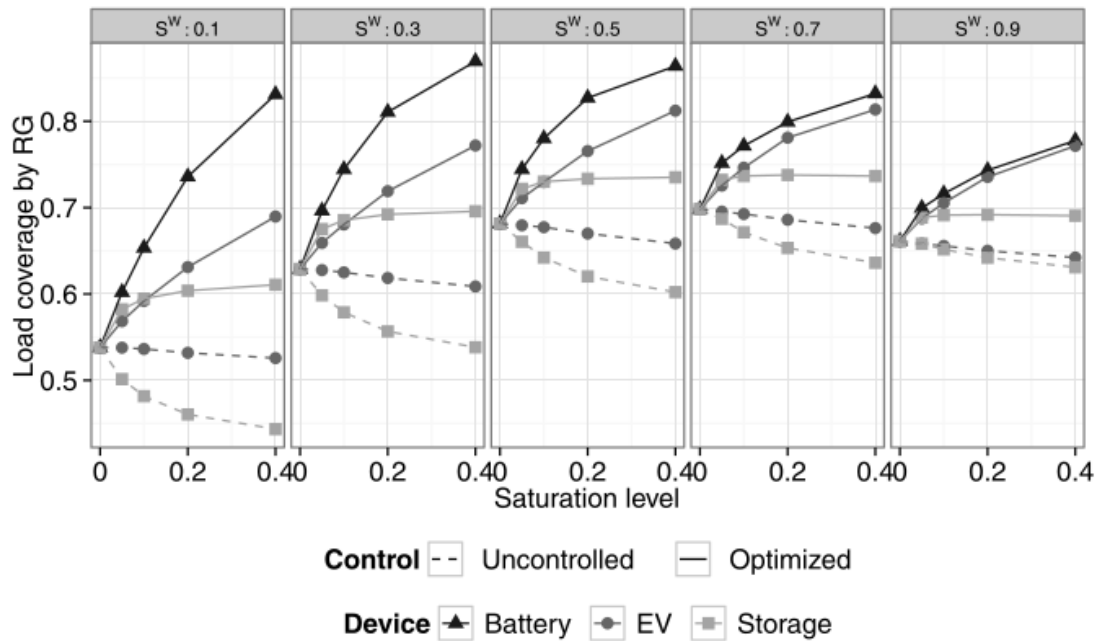


Abbildung 22: Durchschnittliche Auslastungsabdeckung durch EE für flexible „große“ Geräte.

Bei einer Sättigung von null werden nur Basislast, Kühlung und halbautomatisch kontrollierte Geräte berücksichtigt. Demand-Response-Geräte werden nicht berücksichtigt. Ohne Anwendung von Lastkontrolle führen höhere Anteile von Elektrofahrzeugen zu einer fast konstant bleibenden Abdeckung durch EE. Für Wärmespeichergeräte nimmt diese Abdeckung rapide mit sinkender Sättigungsschwelle ab. Dieser Effekt ist am größten in von Photovoltaik dominierten Portfolios. Dies resultiert aus der azyklischen Erzeugung von PV während des Tages und dem Energieverbrauch von Speichergeräten während der Nachtstunden. Demgegenüber verteilt sich die Aufladung von Elektrofahrzeugen über den ganzen Tag und kann daher optimal von PV erzeugte Energie nutzen. Der Unterschied zwischen Elektrofahrzeugen und Heizspeichergeräten nimmt mit zunehmendem Anteil an Windenergie ab. Die Erzeugung von Windenergie ist gleichmäßiger über den Tag verteilt.

Selbst kleine Anteile von Batterien, Elektrofahrzeugen oder Speichergeräten erhöhen die Auslastungsabdeckung bei der direkten Kontrolle der Geräte. Besonders in von Photovoltaik dominierten Portfolios erhöhen Speichergeräte die Auslastungsabdeckung, da deren Betrieb statt nachts mittags während der maximalen Produktion durch PV erfolgen kann. Dieser Effekt nimmt ab mit erhöhter Verbreitung von Speichergeräten, da die überschüssige Energie aus PV schnell wegen des hohen Energiebedarfs dieser Speichergeräte verbraucht ist. In dieser Studie stellen stationäre Batterien deutlich kleinere Einheiten dar. Bei niedriger Verbreitung erhöhen sie die Auslastungsabdeckung gleichermaßen wie Speichergeräte. Bei höherer Verbreitung führen sie jedoch zu besseren Ergebnissen als Heizspeichergeräte. Interessanterweise kann die beste Auslastungsabdeckung durch EE mit einem von PV dominierten Portfolio und einer weiten Verbreitung von stationären Batterien erzielt werden. Erklärt ist dies durch die regelmäßigen Spitzenerzeugungen durch PV und der

Speicherfunktionalität stationärer Batterien. Elektrofahrzeuge zeigen ein ähnliches Verhalten wie stationäre Batterien. Allerdings können sie anders als stationäre Batterien Elektrizität nicht zurückspeisen. Diese Vorteile von stationären Batterien verschwinden fast komplett in einem von Wind dominierten Portfolio. In diesem ist die Rückeinspeisung von weniger Relevanz.

2.5. AP 130 – Kommunikations- und Applikationsprotokoll

Auf Basis der Arbeitsergebnisse aus AP110 wurden Kommunikations- und Anwendungsprotokoll entworfen und implementiert. Die Entwicklung erfolgte auf Basis eines Laboraufbaus der Hardware bestehend aus der Vorentwicklungsplattform und extern angebundenem Kommunikationsinterface (A-Muster). Es wurde die notwendige Software Struktur konzipiert und implementiert. Danach wurde die Demonstrationsumgebung definiert und die Rolle der jeweiligen Teilnehmer identifiziert bzw. technisch umgesetzt.

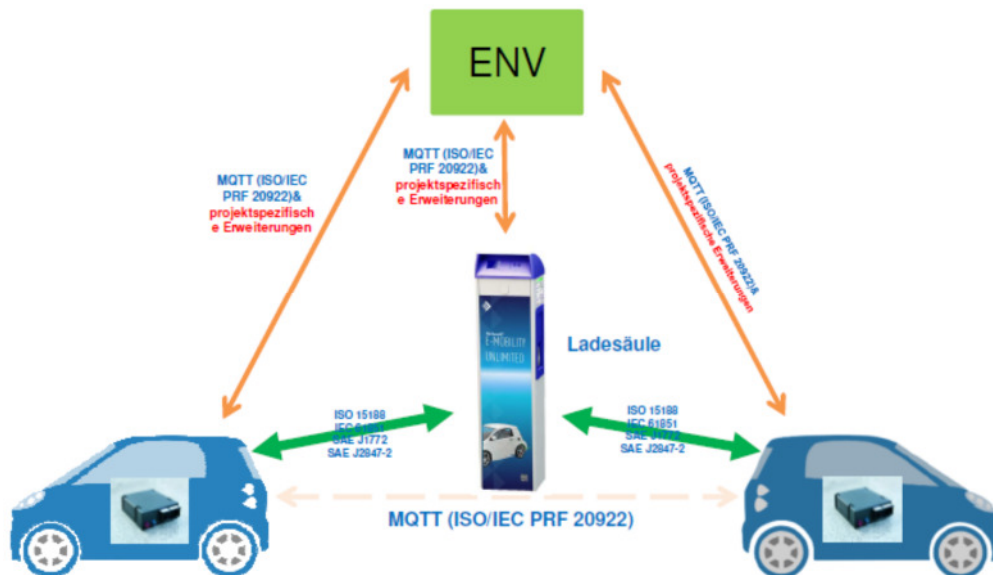


Abbildung 23: Kommunikationsstandards / Architekturdiagramm

Ergebnis:

Software Implementierung für die Umsetzung der Kommunikations-/Anwendungsprotolle zwischen Teilnehmer im Schwarm. Als Hardware-Plattform wurde die Telematik-Box Flea3 verwendet.

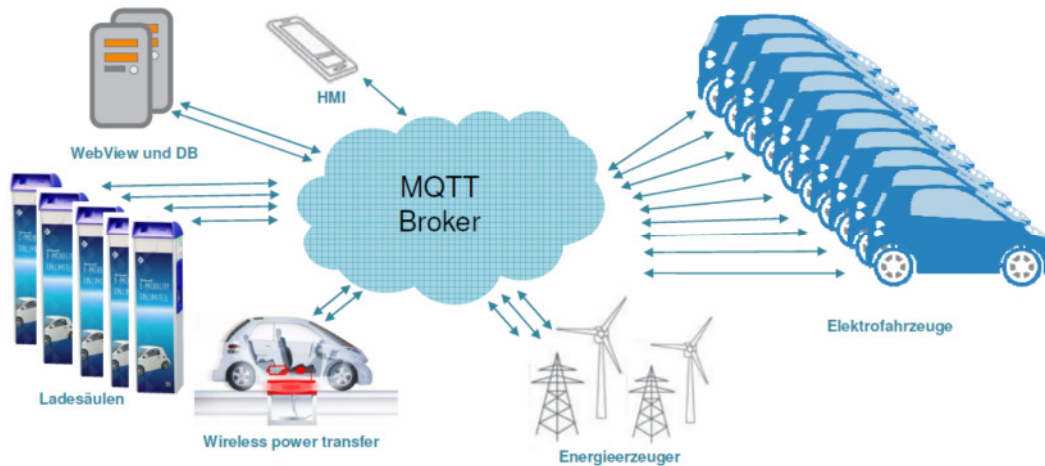


Abbildung 24: Beispiel MQTT-Kommunikationsinfrastruktur

Dabei wurden folgende Normen und Protokolle umgesetzt und integriert:

- Kommunikationsprotokolle
 - o Teilweise Basic Service Set 802.11 – Netzwerkorganisation
 - o MQTT – Grundlage zur Organisation vom Schwarm
- Applikationsprotokolle
 - o ISO15118-2
 - o OCPP1.5/1.6
- Diverse Labortests bei CML und Partners erfolgt (siehe Aktivitäten)
 - o PLC-Interface Board
 - o PLC-Adapter Box

2.6. AP 135 – Dienste-Entwicklung

Aufsetzend auf den entwickelten Normen und Protokollen wurden im Rahmen von AP135 benötigte Dienste entwickelt. Hierbei fand einerseits der Ausgleich der beteiligten Fahrzeuge untereinander statt, andererseits die Signalisierung des Ergebnisses in Richtung Ladesäule. Unterstellt wurde, dass die Fahrzeuge mit der Ladeinfrastruktur kommunizieren können und, dass ein Ausgleich im Schwarm auch hierdurch entsteht. Für die Kommunikation werden oben genannter Normen und Spezifikationen verwendet.

Ergebnis:

Software-Entwicklung der Dienste mit MQTT als Grundlage zur Organisation vom Schwarm

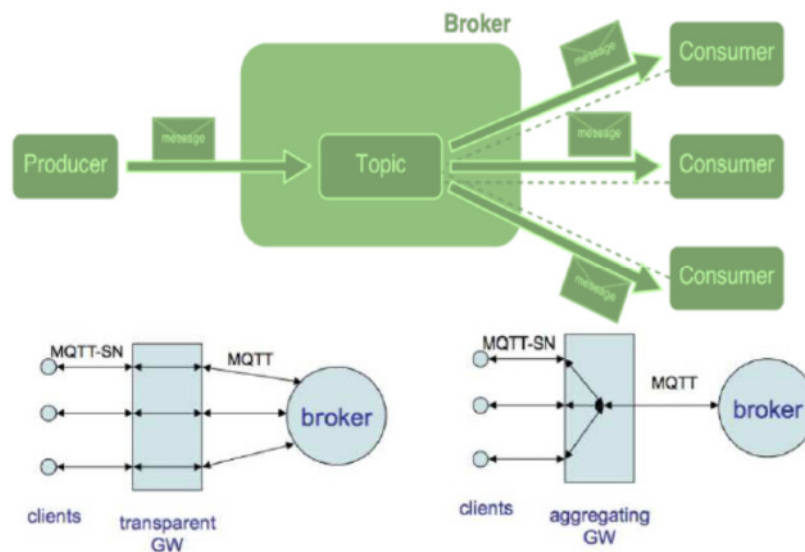


Abbildung 25: Beispiel MQTT-Funktionsweise mit Broker

MQTT (MQ Telemetry Transport oder Message Queue Telemetry Transport) ist ein offenes Nachrichtenprotokoll für Machine-to-Machine-Kommunikation (M2M), das die Übertragung von Telemetriedaten in Form von Nachrichten zwischen Geräten ermöglicht, trotz hoher Verzögerungen oder beschränkten Netzwerken.

Es gibt unterschiedliche Kommunikationsszenarien, wobei der Client direkt oder durch ein Gateway angeschlossen werden kann.

2.7. AP 140 – Systemdienste und Ausnahmebehandlung

Während AP 135 den Gut-Fall und die prinzipielle Arbeitsweise des Dienstes abbildet, dient das parallellaufende AP140 der Robustheit und Betriebssicherheit. Systemereignisse und Ausnahmebehandlungen werden erarbeitet, so dass auch beispielweise mit Abbrüchen in Kommunikation oder Ladevorgang umgegangen werden kann. All diese Fragen wurden nicht nur konzeptionell angesprochen, sondern es wurden technische Lösungen im Sinne der Software Implementierung umgesetzt und überprüft. Als Ergebnis entstanden robuste Dienste, womit normale und unerwartete Ereignisse behandelt werden.

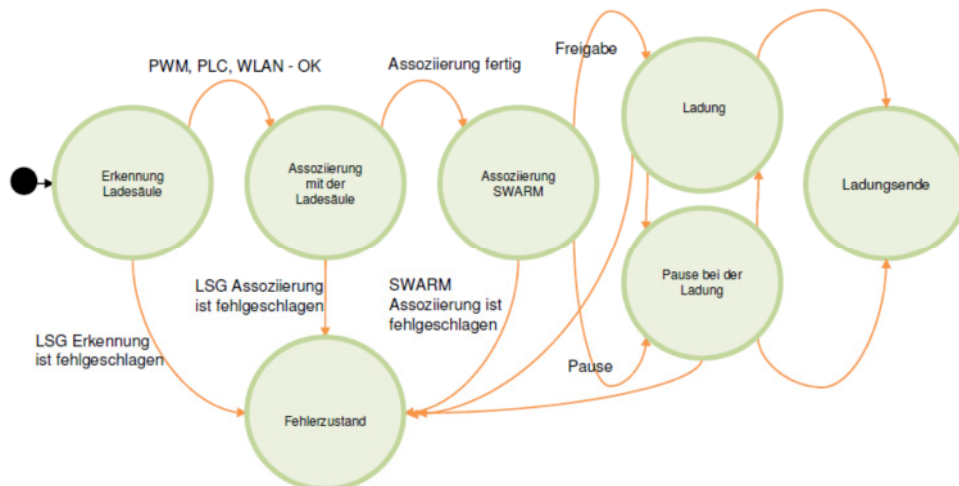


Abbildung 26: Ablaufbeispiel

Ergebnis:

- Folgende Dienste wurden entwickelt und in Betrieb genommen:
 - o Allgemeines Netzwerk-Setup
 - o Zertifikatshandling mit Identifikation/Autorisierung
 - o Schwarmbildung & Bedürfnisausgleich & Signalisierungen
 - o Zielsetzung & Ausnahmebehandlung (Ladung/Komm., Steuerungen, etc.)
- MQTT & Transport Layer Security als Systemdienst in Entwicklung

2.8. AP 150 – Evaluation und Demonstration

Evaluation des Schwarmbasierten Lademanagements

Die Bestimmung der allgemeinen Leistung des schwarmbasierten Lademanagement-Verfahrens ist mit dem Basisszenario, wie oben beschrieben, durchgeführt worden. Die gemessene Leistung wird in diesem Kapitel vorgestellt, insbesondere im Vergleich zwischen den verschiedenen Architekturalternativen und im Verhältnis zur maximal erreichbaren optimalen Lösung.

Für die gegebenen Inputdaten konnte im Fall einer optimalen Lösung des linearen Programms durch Gurobi eine Bedarfsdeckung von 80,31% durch EE erreicht werden. Im

gänzlich unkoordinierten Fall wurden 63,04% erreicht. Durch eine schwarmbasierte Koordination, in der alle Agenten miteinander verbunden sind (Grundverfahren), konnte eine Bedarfsdeckung von 79,16% durch EE erreicht werden. Dies bedeutet eine Lösungsgüte von 98,57% der optimalen Lösung und eine Steigerung von 25,57% im Gegensatz zum unkoordinierten Fall. Auch die Koordination mit zweistufiger Kommunikation (AHK) erreichte noch 78,68% Bedarfsdeckung, das Aufteilen der Agenten auf zehn Pools (ADP) allerdings nur noch 69,91%. Alle Bedarfsdeckungen durch EE setzen sich aus der Deckung der unkoordinierten Haushaltsbedarfe und der koordinierbaren Ladebedarfe zusammen. Im Basisszenario wird allerdings allein durch die Haushaltsbedarfe bereits 52,43% des Gesamtenergiebedarfs durch EE gedeckt. Durch diese hohe Basis-Integration bekommen die Verbesserungen der BDEE durch das schwarmbasierte Lademanagement ein noch höheres Gewicht.

Neben der Leistungsbedarfsdeckung durch EE waren auch die Transformatorbelastungen Beobachtungsgegenstand der Simulation. Im unkoordinierten Fall betrug der maximale Netzleistungsbezug, der die Belastung des Transformators angibt, 1494 kW. Diese hohe Belastung wurde zu Beginn des Beobachtungszeitraums erreicht, da dort alle Fahrzeuge gleichzeitig anfangen, ihre Batterie bis zur Kapazitätsgrenze voll zu laden. Im eingeschwungenen Zustand des Systems betrug der maximale Leistungsbezug über den Transformator ohne Koordination nur noch 604 kW. Diese Belastung konnte durch Koordination mit dem Grundverfahren und Lastspitzenabschwächung auf 331 kW gesenkt werden, was einer Absenkung von 77,84 % zum Maximalbezug und 45,20 % im Gegensatz zum eingeschwungenen Zustand entspricht. Gerundet liegt die maximale Bezugsspitze dabei auf demselben Niveau, wie bei der optimalen Lösung des Problems. Bei einer maximalen Belastungsgrenze des Transformators von 630 kW wird eine unschädliche Integration der Elektrofahrzeuge also erst durch eine Ladekoordination sichergestellt. Auch die Ladevarianten „AHK“ und „ADP“ blieben mit einer Maximalbelastung von 428 kW bzw. 465 kW deutlich unter dem Transformatorgrenzwert.

Tabelle 1: Ergebnisse der Simulation des Basisszenarios

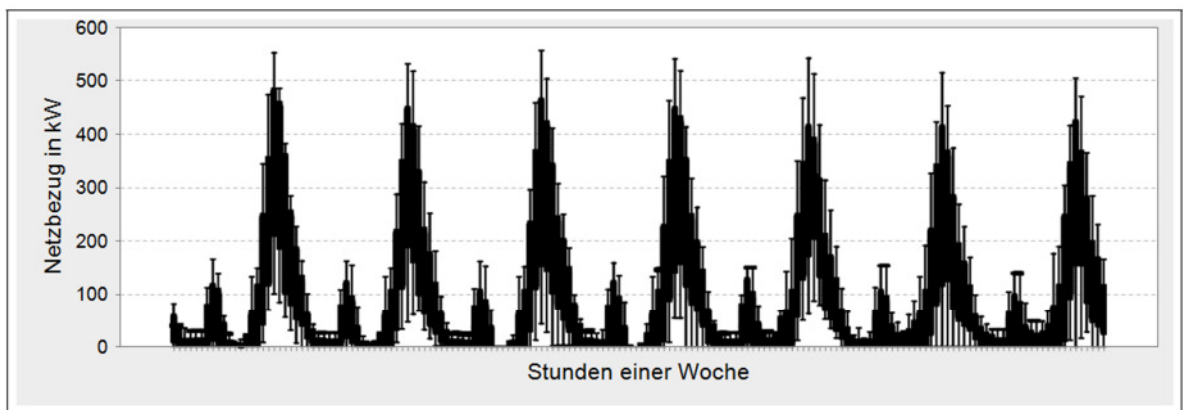
Ladevariante	B_{DEE}	$Leistungsbezug_{max}$	VK	Lösungsgüte
unkoordiniert	63,04 %	1494 (604) kW	0	78,50 %
schnellstmöglich	63,48 %	584 kW	0	79,04 %
letztmöglich	61,84 %	1169 (559) kW	0	77,00 %
Grundverfahren	79,16 %	331 kW	1005	98,57 %
AHK	78,68 %	428 kW	116	97,97 %
ADP	69,91 %	465 kW	105	87,05 %
optimal	80,31 %	331 kW	- ¹	100 %

Um einen Vergleich der Koordinationsarchitekturen durchführen zu können, muss neben der Koordinationsqualität auch die Koordinationskomplexität betrachtet werden. Die Verfahrenskomplexität nach betrug für Ladevariante AHK 116 Kommunikationsschritte. Der geringfügige Leistungsgewinn durch Ladevariante Grundverfahren wurde mit einer Verneunfachung der Verfahrenskomplexität bestraft. Diese betrug 1005 Kommunikationsschritte. Der deutliche Verlust an Lösungsgüte in Ladevariante ADP wurde wiederum mit einer sehr geringen Verfahrenskomplexität von 105 kompensiert. Die Ergebnisse der Simulation des Basisszenarios können Tabelle 1 entnommen werden. Beim

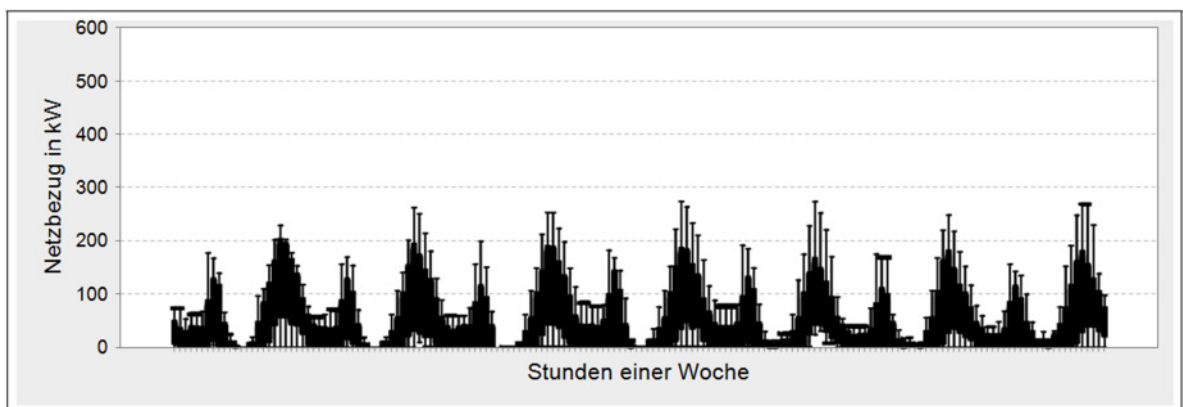
maximalen Leistungsbezug sind in Klammern die Bezüge in eingeschwungenem Zustand angegeben.

Durch die lokale Integration von EE nimmt der Bedarf an Leistungsbezug über das Mittelspannungsnetz ab. Dies führt sowohl zu einem niedrigeren Gesamtenergiebezug, als auch zu einem Absinken der maximalen Lastspitzen, wohingegen sich Bereiche niedriger Netzbezüge kaum verändern. Der Leistungsbezug aus dem Netz wird dadurch homogenisiert. Die Änderung des stündlichen Bezugs von Netzleistung durch Einführung des schwarmbasierten Lademanagement ist unten in Abbildung 27 über alle Wochen in einem Boxplot-Diagramm aggregiert zu sehen.

Der Tagesenergiebedarf im Betrachtungsraum hängt bei schwarmbasierter Koordination im Grundverfahren direkt von der am betreffenden Tag erhaltenen EE- Einspeisung ab. Ohne Koordination sind Einspeisung und Verbrauch entkoppelt, wie in Abbildung 28 zu sehen ist. Der Verbrauch setzt sich hierbei zusammen aus den Haushaltsverbräuchen, die keiner Koordination unterliegen und den Ladeströmen, die den gesamten



(a) Netzbezug ohne Koordination



(b) Netzbezug mit Koordination

Abbildung 27: Stündlicher Leistungsbezug aus dem Netz über alle Wochen aggregiert

Unterschied am Bezugsprofil ausmachen. Die nicht durch EE gedeckte, benötigte Energie muss aus dem Netz bezogen und überschüssige Energie ins Netz eingespeist werden. Die dadurch entstehende Transformatorbelastung unterscheidet sich zwischen unkoordiniertem und koordiniertem Szenario erheblich. In Abbildung 29 ist die Belastungsdifferenz auf Tagesbasis zu sehen. Werte über null stellen dabei Vorteile des

koordinierten Szenarios dar, Werte unter null, Tage, an denen das unkoordinierte Szenario geringere Netzbelastung hervorgerufen hat. Hierbei wurden nicht nur Netzbezüge, sondern auch Netzeinspeisungen über den Transformator betrachtet. Für diesen Zweck wurden die Absolutwerte der Belastungen verglichen. Aufgrund dessen, dass im Basisszenario über den Betrachtungshorizont exakt so viel EE vorhanden ist, wie insgesamt Energie verbraucht wird, sinkt bei Einsatz des schwarmbasierten Lademanagements die Gesamteinspeisung von EE ins übergeordnete Mittelspannungsnetz proportional zur Reduktion des Gesamtenergiebezugs über den Transformator.

Strukturelle Untersuchung der Simulationsergebnisse

Das schwarmbasierte Lademanagement mit dem Grundverfahren als Architektur und dem Basisszenario als Modellkonfiguration führte zu insgesamt 435 Fahrzeugladeintervallen. Bei 400 Fahrzeugen entspricht dies durchschnittlich ca. 1.100 Ladeintervallen pro Fahrzeug und mit 13.440 betrachteten Intervallen ca. einer durchschnittlichen Ladung jedes

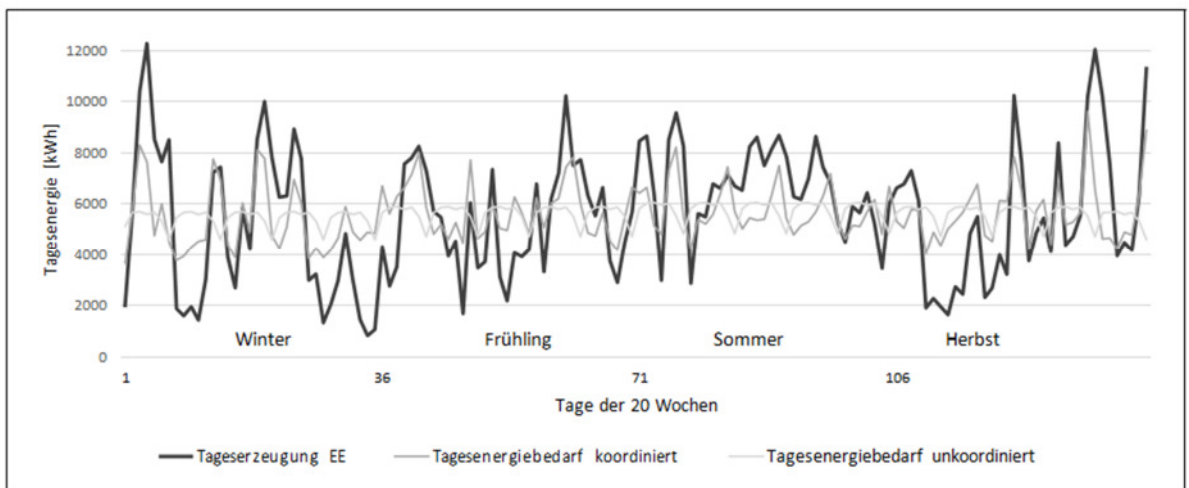


Abbildung 28: Tagesenergiebedarf mit und ohne Koordination im Vergleich zu EE-Einspeisung

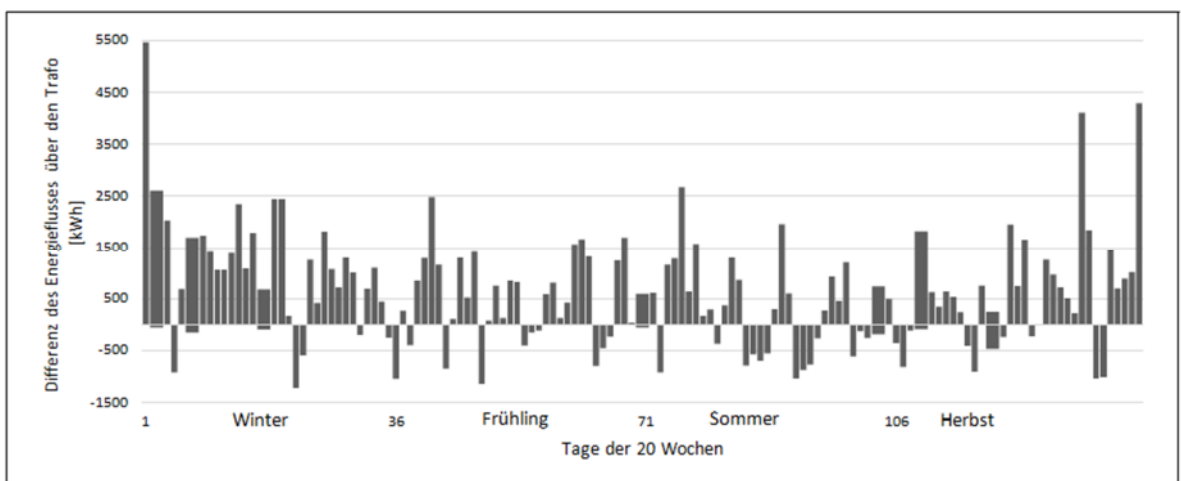


Abbildung 29: Differenz im Energiefluss über den Transformator zwischen unkoordiniertem und koordiniertem Szenario auf Tagesbasis

Fahrzeugs in jedem 12. Intervall. Von der Gesamtanzahl an Fahrzeugladeintervallen kamen 3.991 Ladeintervalle durch eine Notladung zustande, bei der trotz aufgebrauchter EE-

Kapazität ein Fahrzeug zur Erfüllung des nächsten Fahrdienstes laden muss. Dies entspricht 0,92 % der Gesamtladeintervalle. Im Intervall mit den meisten Notladungen wurden 44 Fahrzeuge zwangsgeladen.

Wie in Abbildung 30 zu sehen ist, kommt nur ein kleiner Anteil der Intervalle durch Ladevorgänge zustande, in denen das EE-Leistungsangebot durch den kumulierten Leistungsbedarf von Fahrzeugen und Haushalten überschritten wurde. Der deutlich größere Teil der Überschreitungen wird bereits durch Haushaltsbedarfe induziert. In den 1.218 Intervallen, in denen eine Überschreitung erst durch Ladevorgänge hervorgerufen wurde, wurden entweder Notladungen durchgeführt oder die Lastspitzenabsenkung griff und der Netzbezug wurde über mehrere Intervalle verteilt. Zur Visualisierung der Auswirkungen des Lademanagements auf den Leistungsbezugsverlauf innerhalb einer Woche, ist in Abbildung 31 eine exemplarische Woche aus dem Frühling mit der zugehörigen EE- Einspeisung und Strombezug mit und ohne Ladekoordination dargestellt.

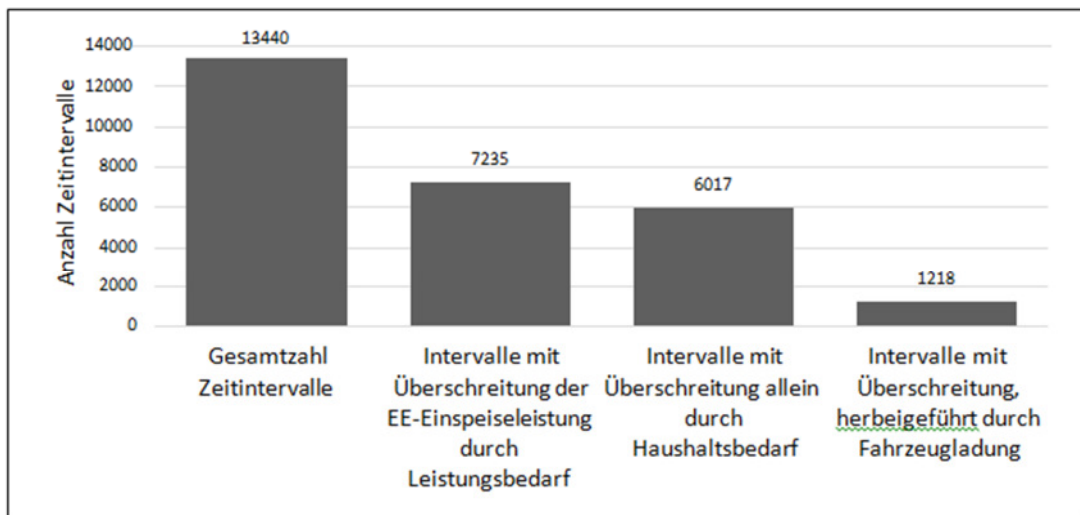


Abbildung 30: Anzahl und Zusammensetzung der Zeitintervalle, in denen der Verbrauch die EE-Einspeisung überschritten hat

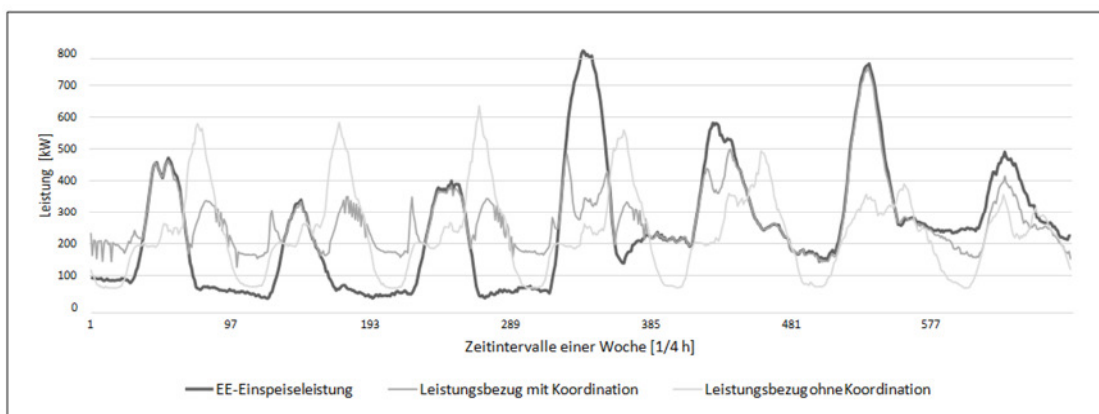


Abbildung 31: Verlauf von EE-Einspeisung, sowie Leistungsbezug mit und ohne Ladekoordination in einer Frühlingswoche

Wie gut zu sehen ist, bewegt sich die hellgraue Kurve (Leistungsbezug ohne Ladekoordination) unabhängig von der dunkelgrauen Kurve (EE-Einspeiseleistung) und

überschreitet diese regelmäßig. Die mittelgraue Kurve (Leistungsbezug mit Ladekoordination) hingegen passt sich, wo möglich, dem Verlauf der dunkelgrauen Kurve an. Um die Zeitintervalle 50, 150, 250, 400 und zwischen 440 und 560, ist dies besonders gut zu erkennen. In diesen Fällen wird die gesamte lokal erzeugte EE lokal verbraucht und keine weitere Leistung aus dem übergeordneten Netz bezogen. Die oszillierende Charakteristik der mittelgrauen Kurve, insbesondere bis Intervall 25, bei Intervall 90, 180, 280 und 375, kommt durch den im Koordinationsverfahren integrierten Mechanismus zur Absenkung der Netzbezugsspitzen zustande. Das Einsetzen dieses Mechanismus hängt von dem durchschnittlichen DQ des unteren Quartils der Fahrzeuge ab. Da dieser sich mit Einsetzen des Mechanismus allerdings kurzfristig erhöht, im nächsten Intervall aber wieder verringert, entsteht ein oszillierendes Einsetzen des Mechanismus. In Fällen von sehr niedriger EE-Einspeisung, wie zwischen Intervall 70 und 130 sowie 160 und 225, übersteigt der Leistungsbezug die Einspeisung. Dies kann, wie oben beschrieben, aber auch durch unkoordinierten Haushaltsbezug zustande kommen. In Fällen von sehr hoher EE-Einspeisung, wie bei Intervall 340 und 425, kann, trotz Ladepflicht bei EE-Überschuss, nicht die gesamte Energie lokal integriert werden, da nicht genug ladefähige Fahrzeuge zu Hause sind. Diese Energie wird ins übergeordnete Mittelspannungsnetz eingespeist.

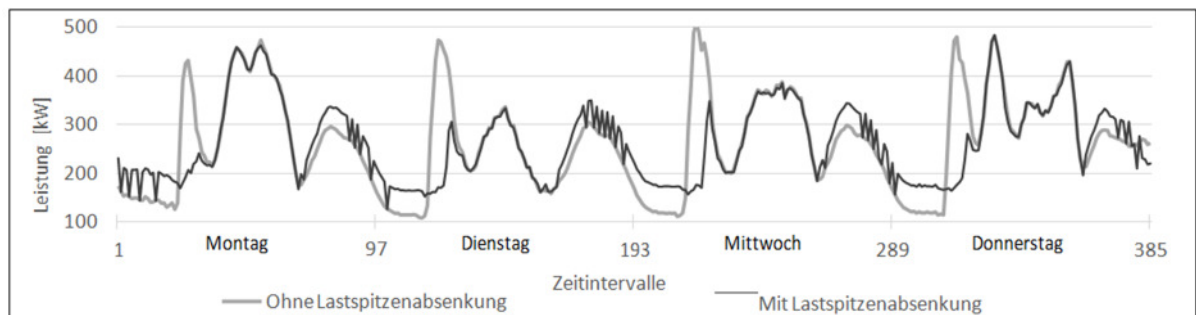


Abbildung 32: Auswirkung der Lastspitzenabsenkung auf den zeitlichen Verlauf des Leistungsbedarfs

Die Auswirkung der Lastspitzenabsenkung wird in Abbildung 32 sichtbar. Hier ist der Verlauf des Leistungsbedarfs der ersten vier Tage der gezeigten Beispielwoche mit und ohne Lastspitzenabsenkung dargestellt. Man sieht deutlich, dass ohne Lastspitzenabsenkung jeweils morgens eine Leistungsbedarfsspitze von bis zu 500 kW auftritt. Durch den Einsatz der Lastspitzenabsenkung werden Ladevorgänge nach vorne gezogen und der Leistungsbedarf verteilt sich auf mehrere Intervalle. In den Bereichen des sägezahnartigen Leistungsbedarfs sieht man, wie der Absenkungsmechanismus abwechselnd greift und wieder aussetzt, da der DQ-Durchschnitt des kleinsten Quartils jeweils über und unter dem angegebenen Grenzwert liegt. Der Wert der Leistungsbedarfsdeckung durch EE von 79,16 % über den gesamten Betrachtungszeitraum von 20 Wochen ist ein Durchschnittswert der Bedarfsdeckungen der einzelnen Tage. Abbildung 33 stellt dar, wie diese über die 140 Tage verteilt sind. Es wird sichtbar, dass die Werte jahreszeitenunabhängig sowohl über als auch unter dem Durchschnittswert liegen. Deutlich zu beobachten ist allerdings, dass die Varianz insbesondere im Winter (erste 35 Tage) und im Herbst (letzte 35 Tage) deutlich höher ist, als in großen Teilen des Frühlings und des Sommers. Dies kommt durch die hohe Tagesvolatilität der Windeinspeisung in diesen Jahreszeiten zustande.

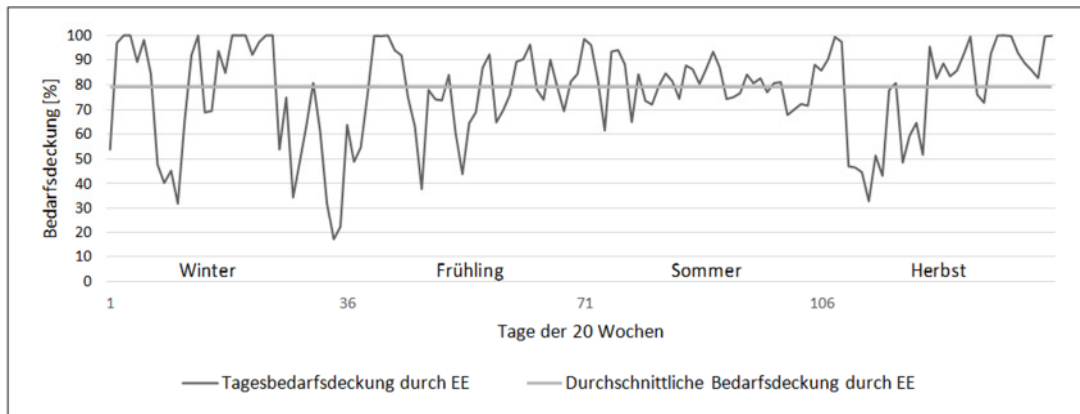


Abbildung 33: Leistungsbedarfsdeckung durch EE, aufgeschlüsselt nach Tagen im Basisszenario

Die Schwankungen um den Mittelwert kommen durch die Überlagerung mehrerer Effekte zustande: Unterschiedliche Haushaltsbedarfskurven und Fahrtenprofile zwischen Wochentagen und Wochenenden, sowie zwischen Jahreszeiten und unterschiedlichen Einspeisemengen und -zeitpunkten von EE.

Zusammenfassung zum schwarmbasierten Lademanagement

In dieser Arbeit wurde ein schwarmbasiertes Lademanagement für Elektrofahrzeuge in Niederspannungsnetzen vorgestellt. Durch Kommunikation zwischen den Agenten und dezentrale Koordination soll der Anteil des lokal durch EE gedeckten Energiebedarfs maximiert werden. Das Verfahren stellt dabei eine Erweiterung von in der Literatur bereits existierenden Verfahren dar. Durch den Aufbau eines Schwarmsystems aus Architektur und Koordinationsverfahren, die aus der Literatur zu Schwarmintelligenz abgeleitet sind, wird eine dezentrale Koordination mit geringem Vorhersagehorizont von EE-Einspeisung und Haushaltsleistungsbedarfen ermöglicht. Dabei werden private Fahrdaten lokal in einem Dringlichkeitsquotienten gekapselt und nicht einer zentralen Koordinationsstelle zugänglich gemacht. Alle Fahrdienste können auch mit schwarmbasiertem Lademanagement weiterhin erfüllt werden. Diese Eigenschaft ist verfahrensimmanent. In einer Erweiterung des Verfahrens werden alternative Interagentenarchitekturen vorgestellt. Außerdem wird eine Vorhersage und präventive Verhinderung von Lastspitzen durch Ladevorgänge in das Verfahren eingebaut. Zudem wird eine Integration von V2G in das schwarmbasierte Lademanagement vorgestellt.

Die Evaluation des Verfahrens zeigt dessen Wirkung: Im Basisszenario konnte eine Erhöhung der lokalen Integration von EE um 25 % auf 79,2 % erreicht werden. Dies entspricht 98,5 % der physisch möglichen lokalen EE-Integration des Szenarios. Mit dem Einsatz von V2G konnte die Bedarfsdeckung durch EE im Basisszenario nochmals um 11 % auf 87,9 % gesteigert werden. Zudem konnte die maximale Netzbezugsleistung im Betrachtungszeitraum, die gleichzeitig der maximalen Transformatorleistung entspricht, ohne V2G um 45 % auf 331 kW reduziert werden und bleibt somit deutlich unter der Belastungsgrenze eines Niederspannungstransformators von 630 kW. Die Evaluation zeigt, dass das vorgeschlagene Grundverfahren mit einer Vernetzung aller Agenten zwar geringfügig bessere Lösungsgüten und niedrigere Netzbezüge bietet, durch die Architektur mit hierarchischer Kommunikation allerdings in der Performance deutlich dominiert wird (vgl. auch AP 300). Aus diesem Grund wird, für eine Umsetzung des Verfahrens, die zweistufige, hierarchische Kommunikation empfohlen.

Für die technische Umsetzung des schwarmbasierten Lademanagements in der Realität werden verschiedene Technologien vorgestellt, wobei eine Empfehlung für eine Vernetzung über PLC ausgesprochen wird. Das schwarmbasierte Lademanagement bietet in einem Szenario, in dem jeder Haushalt ein Elektrofahrzeug besitzt und die Gesamterzeugung der EE dem Gesamtenergiebedarf entspricht, eine effiziente Variante, Strombezüge ohne den Einsatz einer zentralen Stelle zu koordinieren und deutlich mehr EE lokal zu verbrauchen. Bei niedrigen Ausbaustufen von EE und geringer Verbreitung von Elektrofahrzeugen sinkt der Einfluss des schwarmbasierten Lademanagements allerdings deutlich.

Demonstration

Der Demonstrator besteht aus folgenden Teilnehmern & Systemen:

- 2 Simulierten Fahrzeugen in den Embedded Telematik-Systeme Flea3 eingebaut sind
- Eine Weboberfläche, wo der aktuelle Zustand des Schwarms abgebildet wird
- Eine simulierte Energiequelle, die Teil des Schwarms ist.
- Ein simulierter Fahrzeugschwarm womit die aktuelle tatsächliche Simulation extrapoliert wird (bis ca. 400 Fahrzeuge)

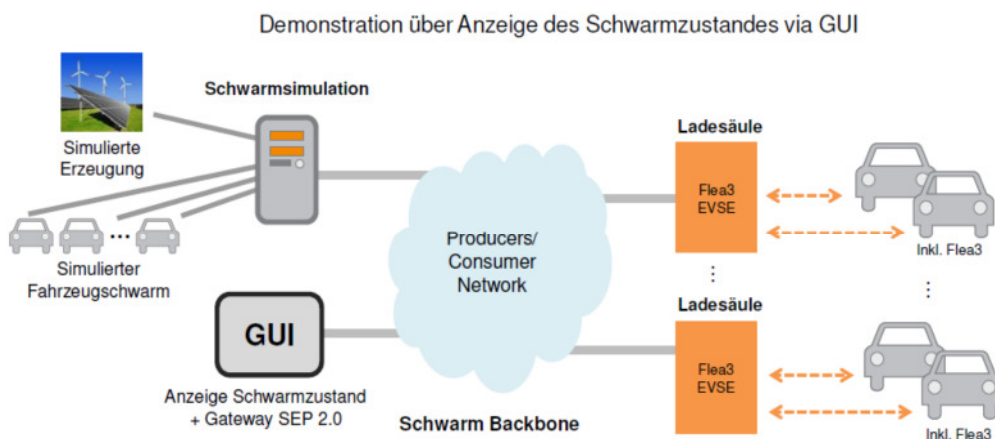


Abbildung 34: Aufbau Funktionsdemonstrator

Der Demonstrator wurde aufgebaut, getestet und bei der Abschlusspräsentation vorgeführt.

Ergebnis:

- Integration mit FZI-Konzept
- Konzeptanpassung nach ersten Ergebnissen
- Simulationen durchgeführt
- Optimierungsansatz evaluiert
- Demonstrator aufgebaut und getestet

Als Hardware-Plattform wird im gesamten Projekt die Telematik-Box Flea3 der Fa. CarMedialab verwendet. Die Flea3-Box ist für die Kommunikation zwischen allen Teilnehmer verantwortlich. Dafür werden alle notwendigen Normen und Kommunikationsanforderungen in die Box integriert.

2. AP 200 – Flottenlastmanagement

3.1. Management Summary

Im AP210 stehen die Erforschungen und Entwicklung von Betriebsstrategien für hybride Fahrzeugflotten im Vordergrund, um das teilen von Fahrzeugen einfacher, effizienter und ökonomischer zu gestalten. Das einfache Handling und die Attraktivität des Carsharings wird durch neue Oberflächen und deutlich vereinfachten Abläufe sichergestellt. Insbesondere kleinere Fahrzeugflotten benötigen nicht den gesamten Umfang des Ametras-Dispositions-Backend, um effizient eine Flotte steuern zu können.

Eine effiziente und vor allem schnelle Verplanung mit allen relevanten Rahmen- und Randbedingungen für die Elektromobilität, wird durch einen neuen mathematischen Dispositions-Algorithmus erreicht. Dieser lässt sich flexibel auf unterschiedliche Optimierungsziele in der Verplanung der Fahrzeuge anpassen. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IAO wurden 75.000 Buchungen generiert und getestet.

Ein Reichweiteninformationsdienst, welcher vor Fahrtantritt schon die benötigte Energie für die jeweilige Strecke berechnet und diese dann auch bei einer Zwischenladung dem Backend wieder mitteilt, existiert bisher nicht und ist für eine optimale Fahrzeugdisposition hilfreich. Konzeptionell wurde ein Reichweiteninformationsdienst ausgearbeitet, der Energieverbräuche vor Fahrtbeginn berechnet und Zwischenladungen bei Energieunterdeckung einplanen kann. Gleichzeitig kann dieser Dienst auch als ein Navigationssystem eingesetzt werden.

Hauptarbeitspunkt im AP210 war der Demonstrator der Prognoseplanung, der in Kooperation mit dem ADAC erstellt wurde. Nachfragen an einzelnen Stationen können mithilfe mathematischer Wahrscheinlichkeiten vorhergesagt werden. Fahrzeuge können optimal disponiert und deutlich besser ausgelastet werden. Die Anzahl an Fahrzeugen in den Innenstädten wird reduziert und ein erster Schritt hin zu einer automatisierten Versetzung zwischen einzelnen Carsharing Stationen ist gemacht. Die Planbarkeit für ein Lade- und Lastmanagement wird deutlich erhöht, da Ladeprognosen für die Zukunft an den Stationen vorliegen. Frühzeitig kann so das richtige Fahrzeug für die Buchung disponiert werden und die Ladung der Fahrzeuge wird für den Betreiber planbar.

AP 220 bezieht sich auf das Thema des Lade- und Lastmanagements an einem bzw. mehreren Standorten. Dazu wurden die Simulationen der Projekte „Charge@Work“ und „eFlotte“ zu einem neuen Simulationsmodell verbunden, getestet und anschließend in der Technologie des realen Ladeinfrastruktursystems umgesetzt.

Darauf aufbauend wurden Algorithmen entwickelt und getestet. Diese haben unterschiedliche Optimierungsziele wie beispielsweise die Vermeidung von Lastspitzen oder Überlast im Zusammenhang mit nicht steuerbaren Großverbrauchern. Für die Validierung der Algorithmen und als Eingabe für die Simulation wurde ein Buchungsgenerator mit Reichweiteninformationsdienst umgesetzt, mit dem anhand einer Flottenbeschreibung ein virtueller Fuhrpark mit Buchungen erzeugt werden können. Mit Hilfe der virtuellen Flotten als auch der Daten des ADAC konnte in der Simulation aufgezeigt werden, dass durch die Optimierungsalgorithmen der Anteil an erneuerbaren Energien erhöht, als auch Lastspitzen vermieden werden konnten. Das AP 230 versteht sich als ein übergreifendes

Querschnittsthema. Zum Themenbereich der IT Infrastruktur in Smart Grid und Smart Mobility Projekten werden in Deutschland und Europa best-practices analysiert, um u.a. spezielle Anforderungen potenzieller Kunden in diesem Bereich erkennen zu können. Zudem werden Schnittstellen zwischen Smart Mobility (AP 210) und Smart Grid (AP 220) herausgearbeitet.

Eine Unterstützung von Demonstratoren und Simulationen im Bereich Smart Grid ist in Abstimmung mit den weiteren Konsortialpartnern im AP 200 geplant.

Aufgaben

- Umfeldanalyse mit Fokus auf die IT-Infrastruktur
 - o bestehender Projekte in Deutschland und der EU
 - o Standards und Quasi-Standards
 - o Spezieller Anforderungen der Industriekunden
- Dokumentation und Lösungskonzeption einer auf Standards und Quasi-Standards beruhenden Architektur
- Wenn möglich Unterstützung im Aufbau von Demonstratoren und Simulationen – Hier speziell ein Arealnetz welches über eine eigene Flotte verfügt. Eine Umsetzung erfolgt, wenn sich ein Partner mit Arealnetz findet. Sollte dies nicht der Fall sein, wird die Umsetzung als Simulation erfolgen.

3.2. AP 200 – Übersicht und Scope

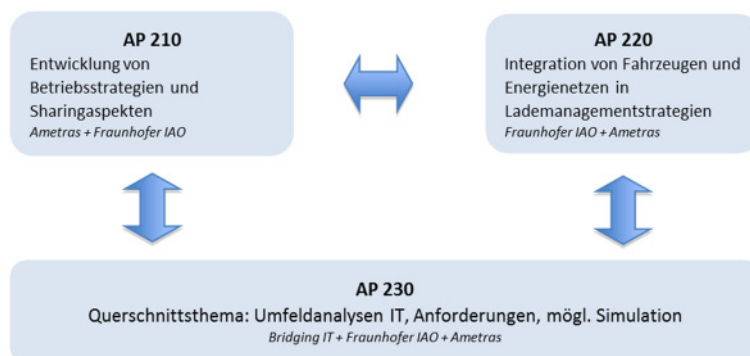


Abbildung 35: Systemübersicht AP200

Das AP 200 wird in drei Teilbereiche untergliedert, die sich mit optimierten Betriebsstrategien für Fahrzeugflotten und mit dem Fahrzeugflottenkontext eines Lastmanagements auseinandersetzen werden.

Das AP 210 umfasst Themen, deren Erforschung sich im Rahmen des Forschungsprojektes eFlotte logisch anschließen. Themen, die es zu betrachten gilt, liegen im Bereich einer optimierten Betriebsstrategie für Flotten und beinhalten u.a. Aspekte der optimierten Disposition von Fahrzeugen und der Prognoseplanung. Des Weiteren werden Fragestellungen bezüglich Reichweiteninformationsdiensten und Schnittstellen zu externen Diensten aufgegriffen. Die Umsetzung eines Demonstrators im Bereich der Prognoseplanung wurde erfolgreich abgeschlossen.

Das AP 220 wird Themen im Bereich der Netzintegration betrachten. Eine Integration von Fahrzeug und Energienetz sowie dessen Optimierung mithilfe der E-Fahrzeuge stehen in

diesem Unterarbeitspaket im Vordergrund. Aufbauen wird dieses Unterarbeitspaket auf Erfahrungen aus den Vorprojekten „charge@work“ und „eFlotte“.

Das AP 230 versteht sich als ein übergreifendes Querschnittsthema. Zum Themenbereich der IT-Infrastruktur in Smart-Grid-Projekten werden in Deutschland und Europa Best-Practice-Fälle erforscht, um u.a. spezielle Anforderungen potenzieller Kunden in diesem Bereich erkennen zu können. Zudem werden Schnittstellen herausgearbeitet, die die beiden Arbeitspakete AP 210 und AP 220 betreffen. Eine Unterstützung von Demonstratoren und Simulationen im Bereich Smart Grid ist angedacht.

3.3. AP 210 – Flottenlastmanagement

Im AP 210 werden Themen behandelt, die sich logisch an die Erforschung im Rahmen des Forschungsprojektes eFlotte anschließen.

Themen, die im Projekt IMEI intensiv betrachtet werden, liegen im Bereich der optimierten Betriebsstrategien für Fahrzeugflotten. Ein ganzheitlicher Ansatz von optimierter Disposition mithilfe einer mathematischen Prognoseplanung und eines angeschlossenen Ladelastmanagements, welches die Ladelasten verteilt und somit die Lastspitzen abmildert, wird in einem Demonstrator in Zusammenarbeit mit dem ADAC und dem Fraunhofer IAO aufgebaut.

Des Weiteren werden Fragestellungen bezüglich Reichweiteninformationsdiensten und Schnittstellen zu externen Diensten aufgegriffen. Diese wurden im Projekt eFlotte begonnen und in IMEI weitergeführt und ausformuliert.

Die mit der Fa. ISC Gebhard angestoßene mathematische Disposition mit variablen Optimierungszielen wurde im Projekt IMEI getestet. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IAO wurden 75.000 Bewegungen in einem Simulationstool erstellt. Fahrzeuge wurden generiert und ein Testaufbau wurde erstellt, um insbesondere den zeitlichen Unterscheid der Zuordnung zwischen dem bestehenden Tetris-Algorithmus und dem neuen mathematischen Algorithmus aufzuzeigen.

Während des Projekts eFlotte hatten sich vermehrt kleinere Kunden an uns gewendet, um E-Fahrzeuge in Ihre Flotten zu integrieren oder reine e-Flotten aufzubauen. Diese Kundengruppe benötigt nicht die volle Funktionalität des Backends, sondern möchte die Flotte schnell und einfach mit abgespeckter Funktionalität steuern. So wurde in Abstimmung mit dem Projektträger entschieden, einen neuen Client, der optisch ansprechend und einfach zu bedienen ist, und auf die Ansprüche der kleineren Flottenkunden zugeschnitten ist, im Projekt umzusetzen.

210.1 Optimierte Betriebsstrategien für elektrifizierte Fahrzeugflotten für eine höhere Wirtschaftlichkeit

Neue Oberflächen und intuitive Bedienung des Buchungsportals

Durch den Paradigmenwechsel im Bereich der Mobilität werden nun insbesondere kleinere Fahrzeugflotten zunehmend auf E-Fahrzeuge umgerüstet oder es kommen neue Anbieter auf den Markt, die bewusst E-Fahrzeuge anbieten. Diese benötigen nur einen ausgewählten Umfang an Funktionalität aus dem bestehenden Backend. Das sehr umfangreiche Ametras-Backend ist mit dem Funktionalitätsumfang für eine Flottensteuerung mit einer geringen Anzahl an Fahrzeugen deutlich überdimensioniert und verkompliziert diese. In Abstimmung mit dem Projektträger wurde bei der Entwicklung der neuen Nutzer-Oberflächen der Fokus auf eine einfache und selbsterklärende Funktionalität gelegt.

Im zeitlichen Verlauf des Projekts wurde allerdings deutlich, dass intuitive und attraktive Oberflächen zur Bedienung nicht nur im Bereich der kleinen Fahrzeugflotten nachgefragt sind. Zunehmend möchten die OEMs den Funktionsumfang auf ein Minimum reduzieren, um Ihre Prozesse zu beschleunigen. Die zunehmende Verbreitung sämtlicher Sharing-Modelle und die Integration von weiteren Mobilitätsarten wird zeigen, dass wir die zunehmende Komplexität ohne attraktive und einfache Oberflächen nicht abbilden können.

Im Folgenden einige beispielhafte Screens zum aktuellen Stand der neuen Bedienoberflächen – diese zeigen einen Auszug und werden auch nach Projektende sukzessive weiterentwickelt:

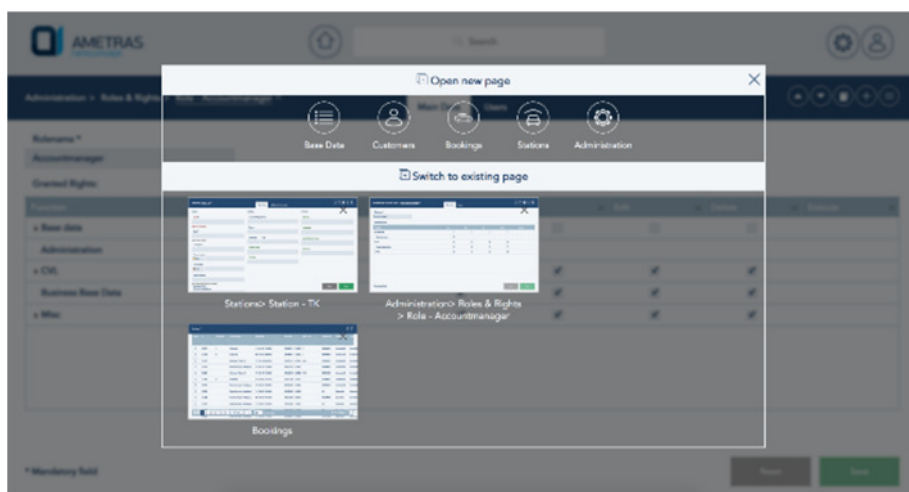


Abbildung 36: Zentrale Navigation

In Abbildung 9 wurde eine zentrale Navigation eingeführt, in der das Öffnen von unterschiedlichen Masken möglich ist. So kann bei der Bedienung flexibel zwischen den Masken gewechselt werden.

In Abbildung 10 können die Rollen und Rechte einfach und visuell einem User zugeteilt werden. Zudem können

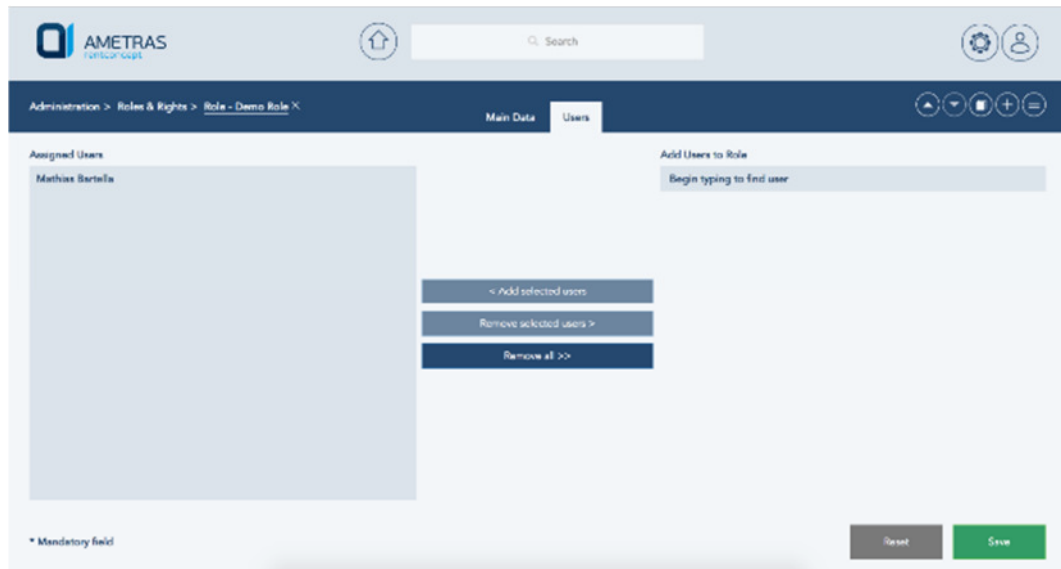


Abbildung 37: Rollen/Rechte

in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** in einer Übersicht die speziellen Rollen und deren Rechte individuell angepasst werden. Die Rechteverwaltung der einzelnen Rollen wird sich mit den neuen Oberflächen deutlich vereinfachen. Sie wird eine zentrale Rolle bei gemischten Flotten spielen, bei denen neben verschiedenen Antriebsarten auch unterschiedliche Mobilitätsformen eine Rolle spielen werden. Dem Nutzer wird eine individuelle Sicht auf die Flotte ermöglicht.

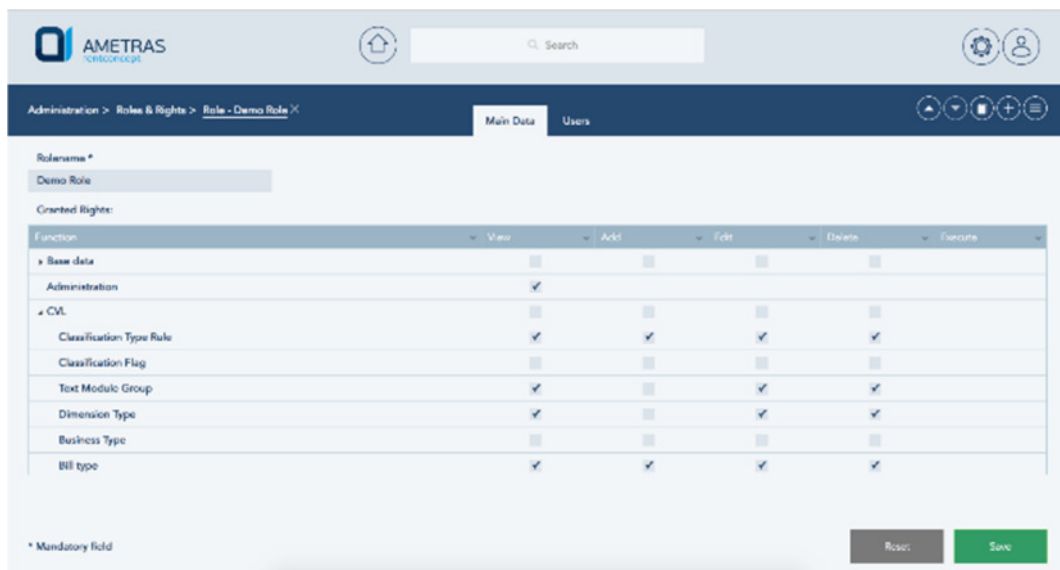


Abbildung 38: Übersicht Rollen/Rechte

Kundendaten können zentral erfasst werden – inklusive aller kundenspezifischen Punkte: Führerscheinvalidierung, Personalausweis, hinterlegte Zahlungsart, Carsharing-RFID, etc. (siehe Abbildung 12)

Abbildung 39: Kundendaten

In Abbildung 13 kann der Personalausweis als Bild hinterlegt und im selben Zuge auch verifiziert werden.

Abbildung 40: Kundendaten – Personalausweis

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** kann der Fortschritt-Status des angezeigten Kunden abgefragt werden. Für den Power-User oder Administrator wird direkt ersichtlich, welche Schritte noch zur vollständigen Verifizierung des Nutzers fehlen.

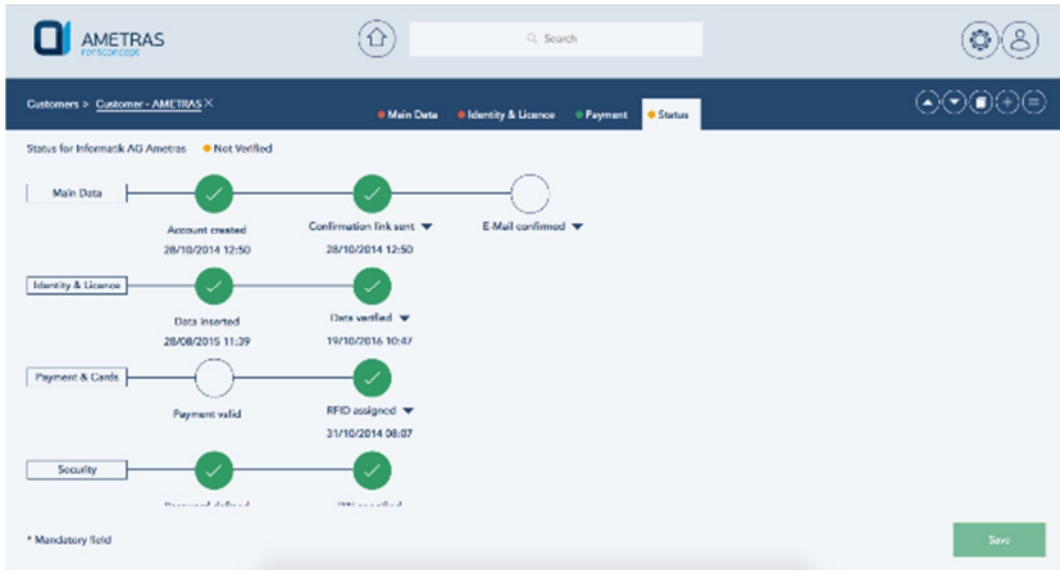


Abbildung 41: Erfassung der Kundendaten und Fortschrittsanzeige

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. stellt die Buchungen übersichtlich in einem Grid dar. In diesem kann nach unterschiedlichen Parametern gesucht werden.

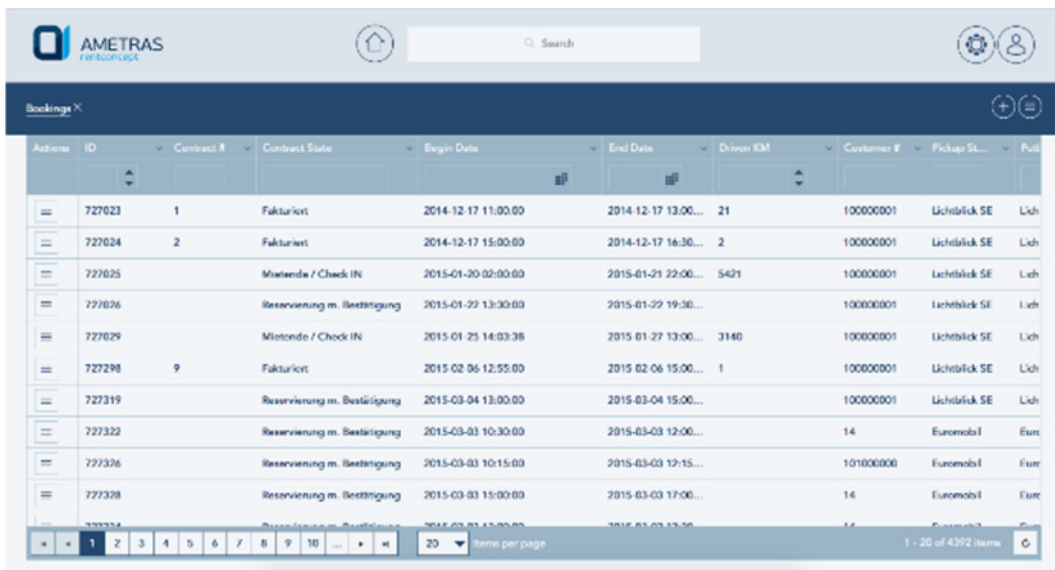


Abbildung 42: Buchungen

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt die Anlage einer neuen Station. Alle relevanten Grundinformationen werden auf der ersten Seite abgefragt. Zusatzinformationen können über eine nachgeordnete Seite gepflegt werden.

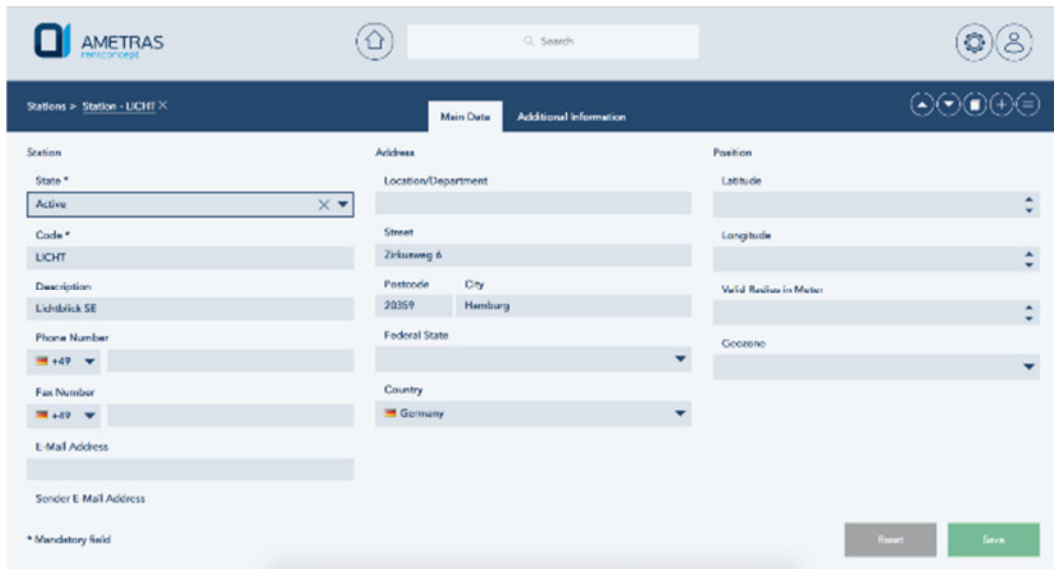


Abbildung 43: Stationen

Erweiterung des Optimierungsalgorithmus

Die Ametras rentconcept GmbH hat bei ihrem bisherigen Dispositions-Algorithmus auf einen „Left-Edge- bzw.

Right-Edge-Algorithmus“ gesetzt. Der Unterschied zu dem von der Fa. ISC Gebhard im Projekt eFlotte

erarbeiteten „gewichteten Intervall-Scheduling“ besteht darin, dass individuelle Optimierungsziele im mathematischen Algorithmus berücksichtigt werden können. So kann der Algorithmus auf unterschiedliche Optimierungsziele hin ausgerichtet werden und bietet eine Lösung direkt an dem festgelegten Optimierungsziel (Deckungsbeitrag/Auslastung) an.

Im Projekt eFlotte wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. ICS Gebhardt eine Gegenüberstellung des bestehenden Tetris-Algorithmus mit dem neu erarbeiteten mathematischen Algorithmus ausgearbeitet und mit einer geringen Datenmenge erprobt.

Im Projekt IMEI wurde der der Algorithmus-Vergleich erweitert und mit dem Simulationstool des Fraunhofer IAO vernetzt (siehe Abbildung 17). So konnten Bewegungen im Datengenerator (siehe Kapitel Buchungsgenerator: 3.4) individuell erstellt und anschließend mit dem neuen Algorithmus getestet werden.

Auf diesem Wege wurden ca. 75.000 Bewegungen vom Fraunhofer IAO generiert. Zudem wurden 100 Fahrzeuge – verteilt auf die Modelle Nissan Leaf, BMW i3 und Opel Ampera – mit den entsprechenden Fahrzeugdaten und Verbräuchen erstellt.

Diese wurden zusammen mit den Bewegungen verplant. Nach der Analyse der Daten war der Unterscheid im Laufzeitvergleich der beiden Algorithmen sehr auffällig und durchaus positiv zu bewerten. Mit dem neuen mathematischen Algorithmus war eine deutlich schnellere Zuordnung der Buchungen auf die Fahrzeuge möglich (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

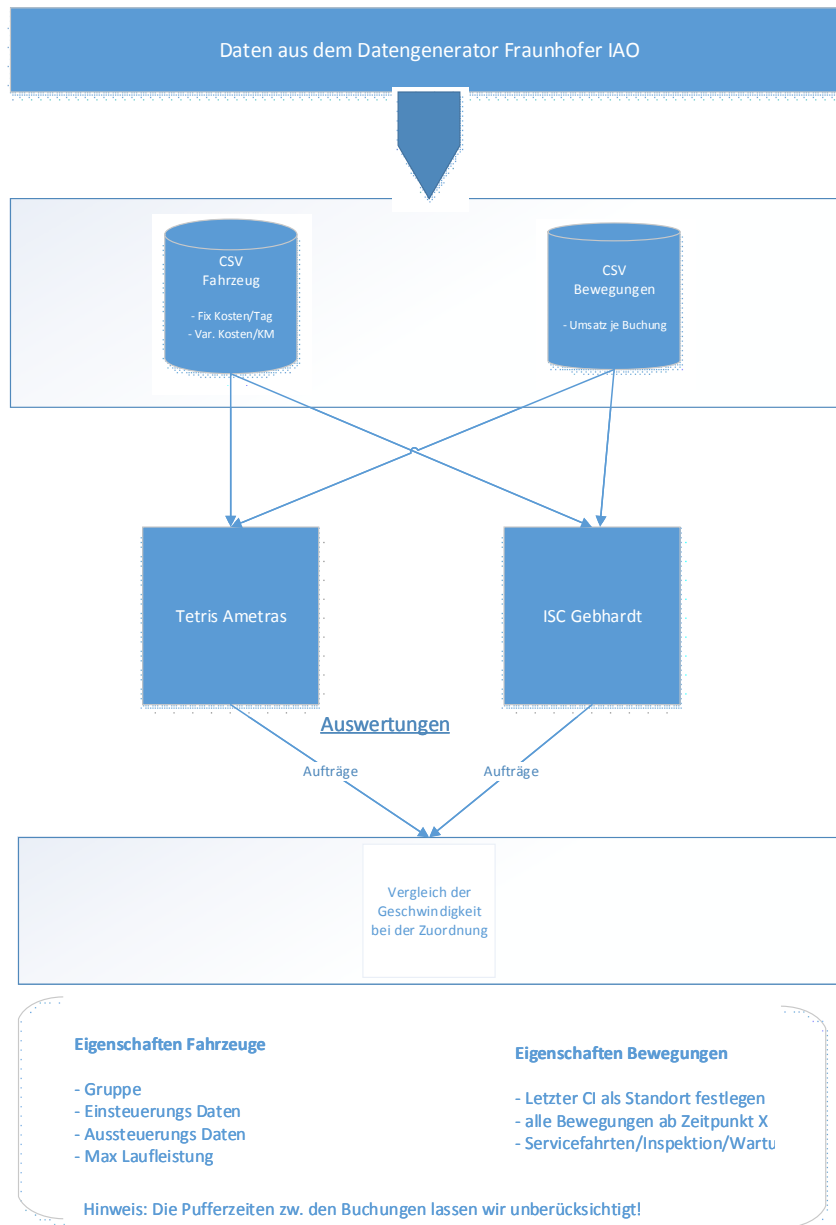


Abbildung 44:Gegenüberstellung der beiden Algorithmen mit den Daten des Fraunhofer IAO

Mode	ISC-Optimierungsziel	Fahrzeug	Laufzeit in s
Tetrismetras		1	114,95
Tetrismetras		2	249,257
Tetrismetras		4	928,782
ISC	Deckungsbeitrag	1	1,002
ISC	Deckungsbeitrag	4	5,058
ISC	Deckungsbeitrag	2	3,105

Tabelle 2: Laufzeitvergleich des bestehenden Tetrismetras-Algorithmus und dem ISC Gebhardt Algorithmus

Im Vergleich zur Zuordnung im eFlotte Projekt konnte der Algorithmus bei den nun 75.000 Buchungen seinen Geschwindigkeitsvorteil ausbauen. Dies bietet uns besonders bei der

Zuordnung der E-Fahrzeuge mit vielen Einflussfaktoren und Randbedingungen einen gewissen Geschwindigkeitsvorteil.

Die generierten Buchungen und die entsprechend generierte Fahrzeugliste befinden sich im Anhang dieses Dokumentes.

210.2 Entwicklung eines Reichweiteninformationsdienstes

Für Buchungen im Flottenbereich sind nicht die mit einem E-Fahrzeug aktuell noch möglichen km interessant, sondern, ob die Buchungen auch zur Reichweite des Fahrzeugs/der Fahrzeuggruppe passen. Somit werden auch Buchungen, die schon Monate vor Buchungsstart getätigt werden, analysiert und die mögliche Reichweite anhand vieler externer Einflussfaktoren berechnet.

Bei der Fahrzeugbuchung im AMS-Portal/App wird beim Buchungsprozess auch gleichzeitig die gewünschte Fahrtstrecke abgefragt. Der Kunde gibt Start und Ziel mit ggf. Zwischenzielen/Zwischenladungen und Präferenzen an (schnell/langsam/etc.). Auf einer Karte werden dem Nutzer ggf. drei Routenmöglichkeiten grafisch angezeigt. Der Nutzer hat die Möglichkeit, eine Routenführung auszuwählen. Diese wird gespeichert und die berechneten kW/h Daten (abhängig von der gewählten Fahrzeuggruppe/Fahrzeug) werden im System zur Reichweitenberechnung herangezogen und hinterlegt.

Gleichzeitig bietet der Reichweiteninformationsdienst in der App die Möglichkeit, die abgespeicherte routingfähige Route auch als Navigation zu verwenden. Somit kann das eigene Smartphone per AMS-App auch gleichzeitig als Navigationssystem fungieren.

Die hinterlegte Route gleicht den aktuellen Standort mit der Batteriekapazität im Fahrzeug stetig ab. Somit wird eine mögliche Energieunterdeckung frühzeitig erkannt und entsprechende Maßnahmen können vom AMS-System eingeleitet werden.

Im Folgenden der Überblick des Datenaustauschs mit dem Reichweiteninformationsdienst (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Datenflussdiagramm

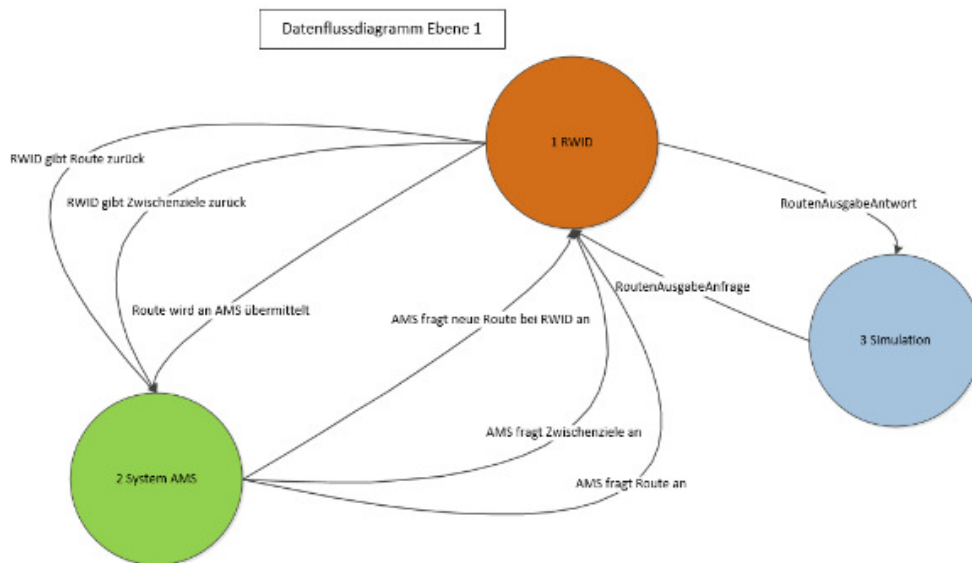


Abbildung 45: Überblick Datenfluss

Basis-Routenplanung Strecke A-B Simulation

Use Case Nr.:	Simulation (Abbildung 18)
Use Case Name:	Routenausgabe Simulation von A-B
Beschreibung:	Ausgabe einer detaillierten Route zur Durchführung deterministischer Simulationsvorgänge. Dazu gehören Zwischenpunkte und zusätzliche Informationen (z.B. Geschwindigkeit, Zeit, Höhenmeter)
Auslöser:	Daten werden für Simulationsvorgang generiert
Beteiligte Akteure:	Simulation/RWID

Basisablauf:

- 1) RWID erhält Informationen zum gewünschten Start- und Endpunkt von der Simulation
- 2) RWID ermittelt die Routeninformationen (Zwischenpunkte, Positionen, Geschwindigkeit, Zeiten, Höhenmeter)
- 3) RWID übermittelt die Route an die Generierung der Dateneingabe der Simulation

Um das Simulationsmodell mit Daten zu füllen, werden genaue Informationen bezüglich der Route benötigt. Da das MATLAB-Simulationsmodell für jeden Simulationsschritt die aktuelle Position als auch den Energieverbrauch als Referenz benötigt, wird hier sekundlich die aktuelle Position, die Geschwindigkeit und der Status benötigt. Dazu übergibt eine Anfrage

an den RWID eine Start- und Zielcoordinate, das Schritintervall und einen Fahrzeugtyp, der RWID berechnet daraufhin die Strecke mit ihren Zwischenschritten und sendet diese wiederum an die Simulation. Dies geschieht einmal pro Buchung und Fahrzeugtyp (siehe Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.).

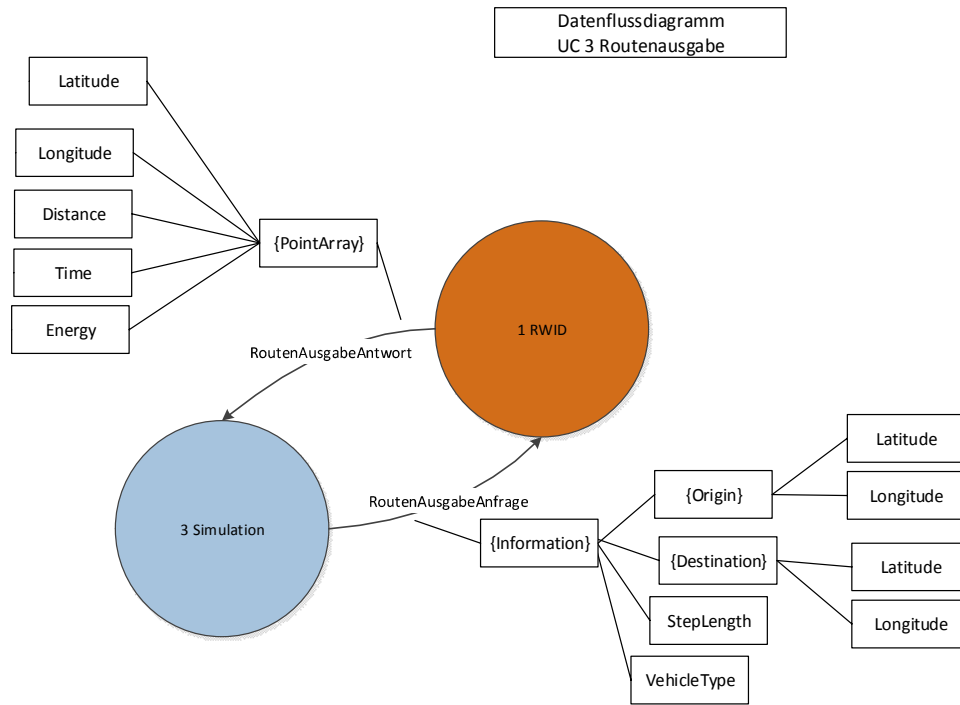


Abbildung 46: Routenausgabe Simulation

Basis-Routenplanung mit Zwischenzielen

Bei der Basis-Routenplanung werden diverse Parameter an den RWID vom AMS-Backend übermittelt. Aus den zur Verfügung gestellten Parametern zur Fahrtstrecke, Fahrzeug/Fahrzeuggruppe und den externen Einflüssen werden Routenvorschläge mit dem prognostizierten Energiebedarf vom RWID an das AMS-Backend übermittelt. Der Umfang der Informationen, die der RWID erhält, kann deutlich erweitert werden. Somit sind Routenplanung und eine Reichweiteninformation für E-Fahrzeuge möglich (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Use Case Nr.:	Basis UseCase (Abbildung 20)
Use Case Name:	Basis Routenplanung einer Strecke A - B
Beschreibung:	Mithilfe einer Routenplanung wird Strecke von A nach B geplant
Auslöser:	Ametras-Backend (AMS) fragt bei Reichweiteninformationsdienst (RWID) Route für geplante Buchung an
Beteiligte Akteure:	Ametras-Backend (AMS), Reichweiteninformationsdienst (RWID)

Basisablauf:

- 1) AMS erhält vom Nutzer Buchungsanfrage mit Wunsch nach Routenplanung
- 2) AMS ruft gewünschte Route vom Reichweiteninformationsdienst ab
- 3) Reichweiteninformationsdienst berücksichtigt ggf. weitere Parameter – siehe weitere UC
- 4) AMS erhält Routeninformationen von RWID und speichert diese ab

Zusätzliche Abläufe:

1) Verschiedene Fahrmodi (schnell/langsam/etc.)

- a) RWID erhält Informationen zum gewünschten Fahrmodus über weitere Parameter
- b) RWID ermittelt selbstständig die Route, den Einfluss und die Energieabweichung
- c) RWID beachtet die geänderten Werte bei der internen Routenplanung

2) Fahrerbewertung (bei geschlossenem Nutzerkreis gut einschätzbar)

- a) RWID erhält Informationen zum Fahrer über weitere Parameter
- b) RWID ermittelt selbstständig den Einfluss und die Energieabweichung
- c) RWID beachtet die geänderten Werte bei der internen Routenplanung

3) Zusätzliche Parameter (Aufbauten/Zuladung)

- a) RWID erhält Informationen zu gewünschten Aufbauten/Zuladung
- b) RWID ermittelt selbstständig den Einfluss und die Energieabweichung
- c) RWID beachtet die geänderten Werte bei der internen Routenplanung

4) Berücksichtigung von Wetter/Klima (Start Datum/Ende Datum)

- a) RWID erhält Informationen über Wetter/Klima bei Eingabe zukünftiger Buchungen
- b) RWID ermittelt die resultierende Energieabweichung
- c) RWID beachtet die geänderten Werte bei der internen Routenplanung

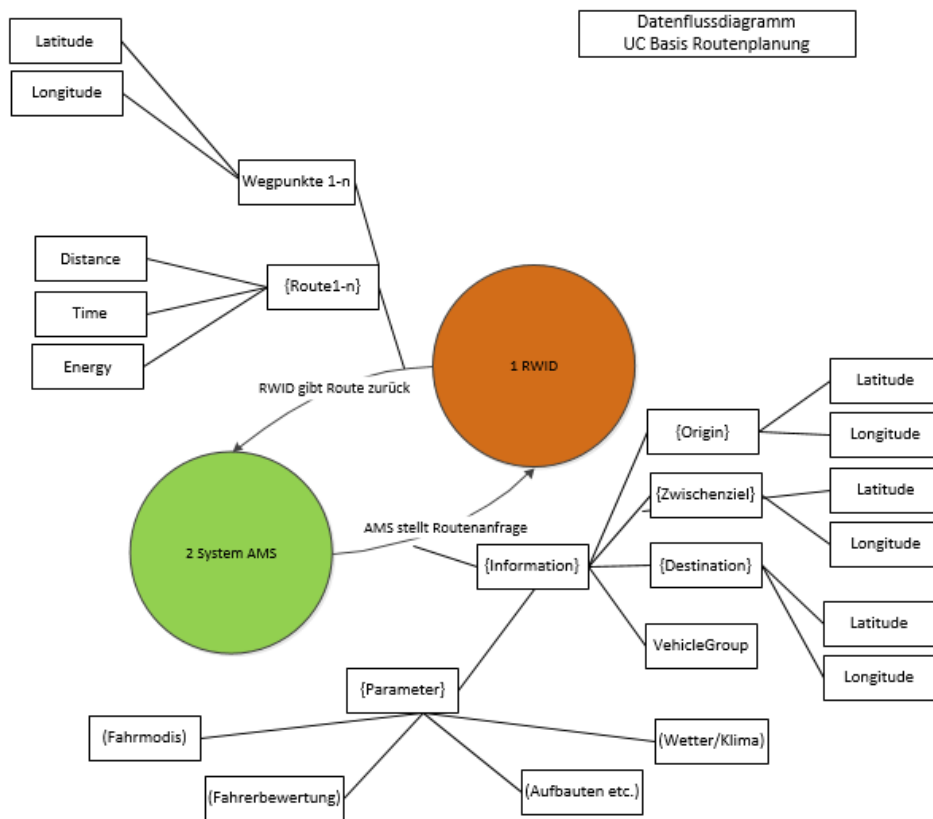


Abbildung 47: Basis der Routenplanung

Routenplanung mit festen und variablen Zwischenzielen

Der UC 1 – mit Zwischenzielen auf einer Route – wird unterteilt in zwei Ausbaustufen, mit fest vor der Fahrt definierten Zwischenzielen und während der Fahrt variablen Zwischenzielen.

Feste Zwischenziele: So kann bspw. bei einem geplanten Geschäftstermin in Heidelberg das Fahrzeug während der Standzeit geladen werden, was für den Verplanungsalgorithmus bedeutet, dass das Fahrzeug mit mehr Energie zurückkommt, als es dem Nutzer übergeben wurde. Eine schnellere Verplanung des Fahrzeugs ist somit möglich. Vom AMS-Backend werden zusätzlich die Zwischenziele und die entsprechende Ladezeit/Standzeit oder die gewünschten kWh übergeben (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Variable Zwischenziele: Bei dieser Variante können variabel Zwischenziele definiert werden, wann geladen/eine Pause gemacht werden soll. So ist es möglich zu definieren, dass nach einer Stunde eine Pause gemacht werden soll und natürlich auch dann ein Ladepunkt zur Verfügung stehen sollte. Das System wird die Route und den Ladepunkt vorschlagen. Eine weitere mögliche Variante ist, dass in einem Umkreis einer bestimmten Stadt auf der geplanten Route eine Pause/Ladung vorgenommen werden soll. Des Weiteren kann das System auch schon vor Start der Buchung feststellen, dass die Buchung in der Fahrzeuggruppe aufgrund der Batteriekapazität nicht möglich ist. Eine Zwischenlandung kann schon vor Fahrtantritt geplant werden, um das Ziel trotzdem zu erreichen (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Use Case Nr.:	UC 1 (Abbildung 21; Abbildung 22)
Use Case Name:	Routenplanung mit Zwischenzielen
Beschreibung:	Hinzufügen von Zwischenzielen bei Routenplanung des Nutzers
Auslöser:	AMS fragt Reichweiteninformationsdienst zur Routenberechnung an
Beteiligte Akteure:	AMS, RWID

Basisablauf:

- a) AMS ermittelt Start/Ziel und Zwischenziele/Zwischenladungen
- b) AMS fragt bei RWID Route an
- c) RWID ermittelt Route mit Zwischenziele/Zwischenladungen
- d) RWID übermittelt Route an AMS

Alternative Abläufe:

- a) RWID erkennt Ausfall/Nichterreichbarkeit eines Zwischenziels
- b) RWID ermittelt alternative Zwischenziele/Zwischenladungen

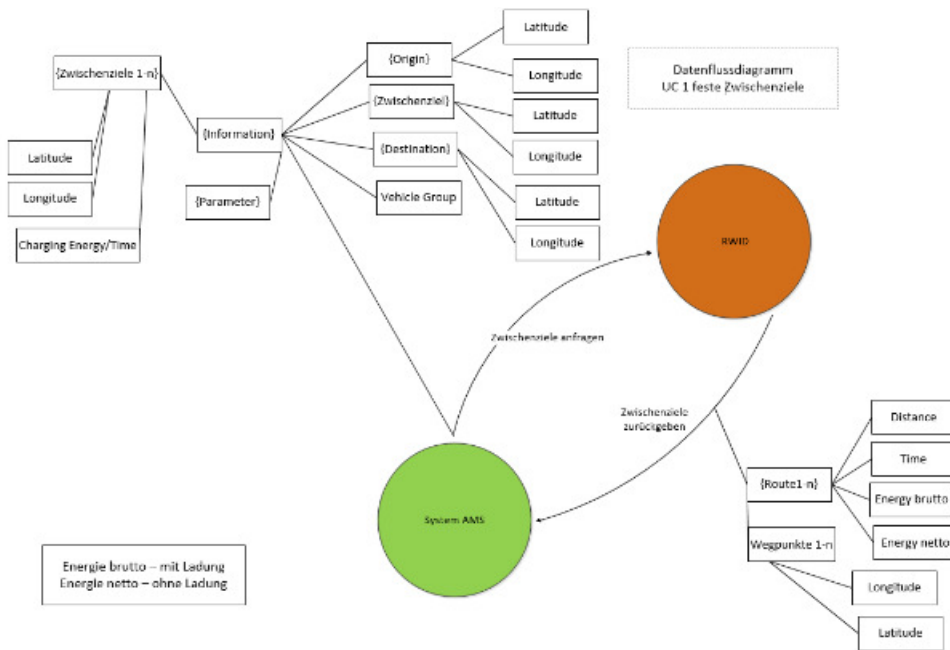


Abbildung 48: Routenplanung mit festen Zwischenzielen (UC1)

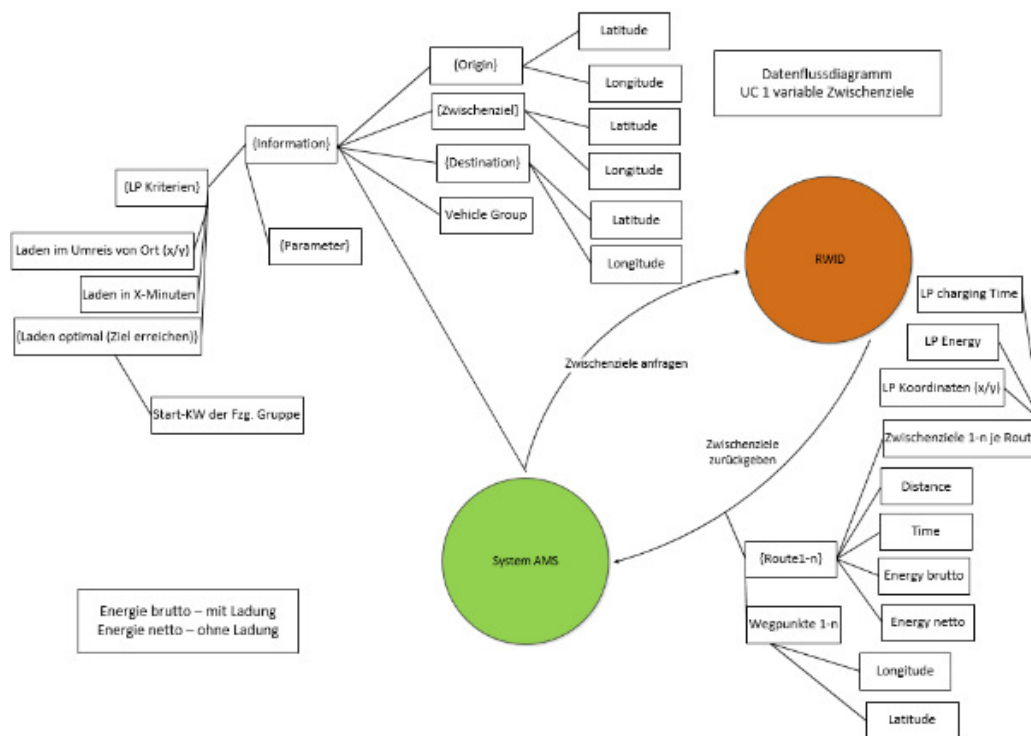


Abbildung 49: Routenplanung bei variablen Zwischenzielen

Routenplanung bei Energieunterdeckung

Der UC 2 – Störungsmanagement bei einer Energieunterdeckung – wird während einer Fahrt genutzt, um eine Energieunterdeckung aufzulösen. Während der Fahrt werden regelmäßig aktuelle Batteriedaten an das AMS-Backend gesendet, um den „Ist-Zustand“ und den „geplanten Zustand“ abzugleichen. Kommt es durch einen Stau oder eine andere Verkehrsbeeinflussung zu einer Energieunterdeckung, kann der RWID vom aktuellen Standort aus eine Routenberechnung zum nächsten Ladepunkt ausführen. Diese Abweichung wird direkt dem AMS-Backend mitgeteilt und der neue Batteriestand für das Fahrzeug hinterlegt (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Use Case Nr.:	UC 2 (Abbildung 23)
Use Case Name:	Störungsmanagement bei Energieunterdeckung
Beschreibung:	Problemlösung bei Energieunterdeckung
Auslöser:	AMS erkennt durch Abgleich mit Fahrzeugdaten eine mögliche Energieunterdeckung und benötigt neue Route
Beteiligte Akteure:	AMS, RWID

Basisablauf:

- a) AMS ermittelt Position/Ziel und im Fahrzeug verbleibende Batteriekapazität
- b) AMS fragt bei RWID Route an
- c) RWID ermittelt neue Route mit notwendigen Zwischenzielen/Zwischenladungen
- d) RWID übermittelt Route an AMS

Alternative Abläufe:

- a) Es gibt keine vorhandenen Zwischenziele für eine Ladung
- b) RWID informiert AMS-Störungsmanagement über Problem

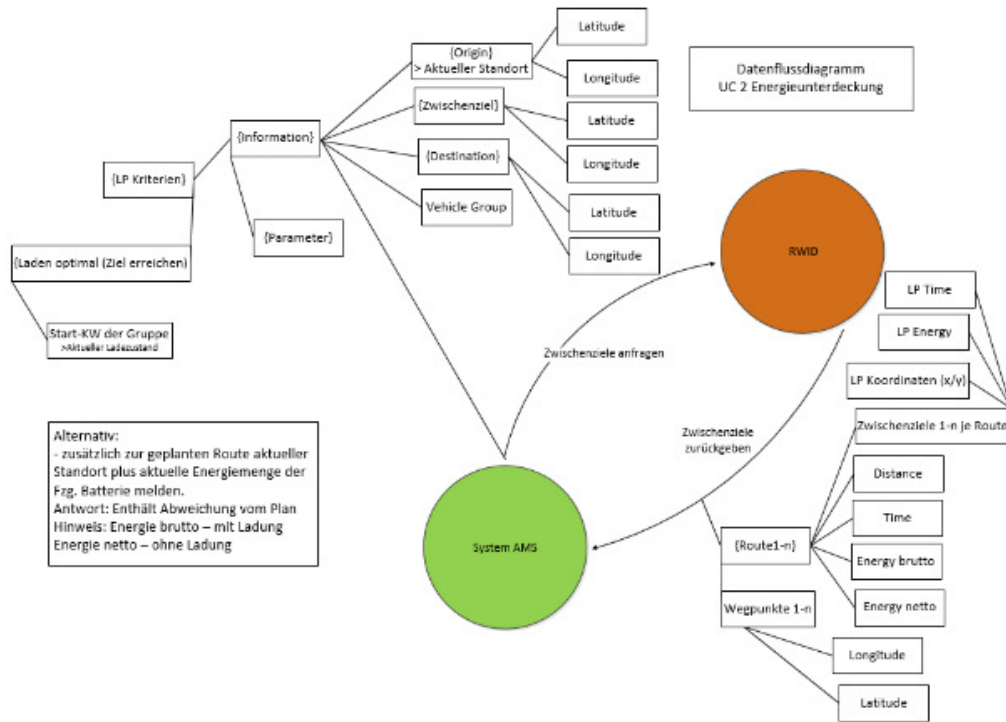


Abbildung 50: Routenplanung bei Energieunterdeckung

Umsetzung im Rahmen des Projekts

Nachdem auch nach einem Termin mit der Firma PTV in Karlsruhe, mit Hr. Dr. Hubschneider, keiner der angefragten Firmen die benötigten Informationen für die Simulation bereitstellen konnte, wurde für die Simulation festgelegt, diesen Dienst selbst bereitzustellen. Dazu wurde der Buchungsgenerator (Details zur Umsetzung und Funktionalität sind Teil des AP220 und im Kapitel 3.4 beschrieben) für die Simulation der Algorithmen um einen Reichweiteninformationsdienst erweitert. Der Buchungsgenerator dient dazu, für einen bestimmten Zeitraum und anhand einer Verhaltensbeschreibung Buchungen von Nutzern zu generieren und an ein Dispositionssystem weiterzugeben.

Außerdem wurde der Buchungsgenerator für einen Teil der folgenden Algorithmen in AP210 genutzt, um die Performance der Algorithmen zu testen und zu vergleichen, da mit ihm hunderttausende von Buchungsanfragen über Wochen bzw. Jahre generiert werden können. Die Ergebnisse des Performance-Tests mit den simulierten Buchungen befinden sich in Kapitel 3.4.

210.3 Konzipierung eines Demonstrators zur Prognoseplanung

Prognoseplanung

Eine der Hauptherausforderungen eines effizienten Carsharing-Betriebs ist die optimale Disposition der Fahrzeuge. Bei einer guten Auslastung der jeweiligen Station ist die Zeitspanne zwischen Buchungsanfrage und Mietstart recht kurz, sodass zur Erfüllung der Buchungsanfrage nur Fahrzeuge an der jeweiligen Station oder den umliegenden Stationen zur Verfügung stehen. Daher ist eine Prognose der Fahrzeugbuchungen, um anschließend die Fahrzeugversetzungen und -zuführungen sowie die Optimierung der Fahrzeugbuchungen zu planen, unersetzlich.

Die Anforderung bei der Prognose ist es, unter Betrachtung bestimmter Parameter den optimalen Fahrzeugbestand an einer Station oder in einem bestimmten geografischen Gebiet zu einer bestimmten Zeit vorherzusagen. Prognosen sind somit Vorhersagen und im Grunde nichts anderes als eine Verlängerung eines Trends einer Entwicklung aus der Vergangenheit heraus in die Zukunft.

Somit kann eine optimale Versetzungsplanung gewährleisten, dass eine effiziente Versorgung der voraussichtlichen Nachfragestandorte sichergestellt wird. Solche Parameter können z.B. sein: Witterungs-, Jahreszeit- und Reiseverhaltens-bedingte Nachfrage für die nächsten x Tage an einer Station. Durch eine bessere Verteilung der Fahrzeuge können mehr Buchungsanfragen mit dem optimalen Fahrzeug bedient werden.

Die langfristige Prognose – Zeithorizont ein bis zwei Jahre – ist für die Vermietung u.a. für die Entscheidung, welcher Fahrzeugmix bei der Neubeschaffung sinnvoll ist, maßgebend.

Durch den Wandel von klassischen Kraftstoffoptionen hin zu alternativen Modellen, insbesondere Elektroantrieben, welcher nicht nur auf technischen Entwicklungen, sondern auch auf der Mobilitätsstrategie der Politik fußt, ergeben sich für alle Beteiligten im Verkehrssektor eine Vielzahl von neuen Herausforderungen. Insbesondere im Flottenmanagement und für verschiedene Mietmodelle sind Fahrzeuge mit Elektroantrieb sehr sinnvoll. Da einige Limitierungen, die derzeit noch für E-Fahrzeuge gelten, aus verschiedenen Gründen in eben diesen Flotten nicht so sehr ins Gewicht fallen und die

positiven Eigenschaften stärker genutzt werden können, nimmt dieser Sektor eine treibende Kraft im Bereich Elektromobilität ein. Darüber hinaus resultieren für die Fuhrparkbetreiber aus der Nutzung von E-Fahrzeugen aber auch potentielle Umstellungen durch eine Anpassung der Infrastruktur und damit verbunden auch eine veränderte Betriebsplanung (vgl. Fraunhofer IAO 2016). Daraus ergibt sich für das Flottenmanagement die Aufgabe, u.a. durch gezielte Planung die Integration von E-Fahrzeugen für alle Beteiligten zufriedenstellend und wirtschaftlich effizient zu gestalten.

Neben der Einführung dieser disruptiven Technologie sehen sich Flottenmanager insbesondere im Bereich der Autovermietung aber auch weiteren klassischen Herausforderungen gegenübergestellt. Zu einer der wichtigsten Aufgaben zählt bspw. die Bestimmung der optimalen Größe sowie die Zusammenstellung einer Flotte, die an einem Standort auf Tagesbasis verfügbar sein soll (vgl. Pachon et al. 2003). Dies wird durch die typischen Eigenschaften der Autovermietung (wie der hohen Rate an sehr kurzfristigen Annullierungen von Buchungen), der Unsicherheit der Mietdauer sowie dem Bewegen der Fahrzeuge zwischen Stationen, erschwert (vgl. Yang et al. 2008). Um diese Herausforderungen vor dem Hintergrund der Kosteneffektivität zu meistern, ist eine optimale Disposition der Flotte essentiell.

Anhand historischer Buchungsdaten kann eine Prognose des Buchungsbedarfs erstellt werden, die vorhersagt, wie viele Fahrzeuge eines Typs in einem Zeithorizont von einer Woche an einem Flottenstandort benötigt werden. Zudem kann eine Quantifizierung und Charakterisierung von potentiellen Faktoren hinsichtlich ihres Einflusses auf die Buchungsnachfrage analysieren, inwieweit die Buchungsnachfrage von externen Faktoren abhängt.

Des Weiteren bietet die Datengrundlage Informationen, in welchem Maße Fahrten der Flotte durch E-Fahrzeuge durchführbar gewesen wären, um darauf aufbauend Schlüsse für eine potentielle Integration von Elektromobilen in die Flotte zu ziehen.

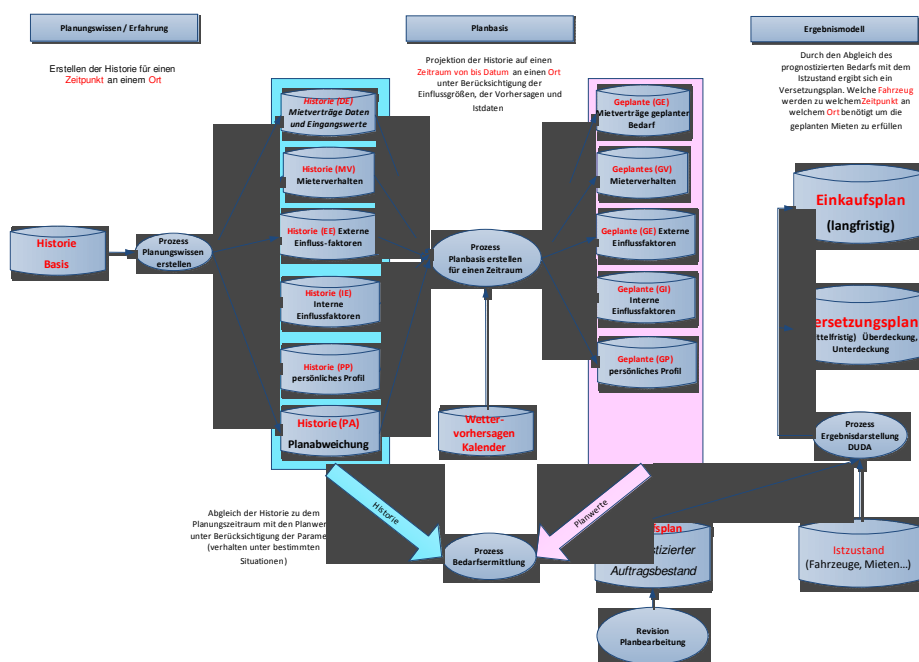


Abbildung 51: Vorgehen Prognoseplanung

Allgemeine Prognosemethoden

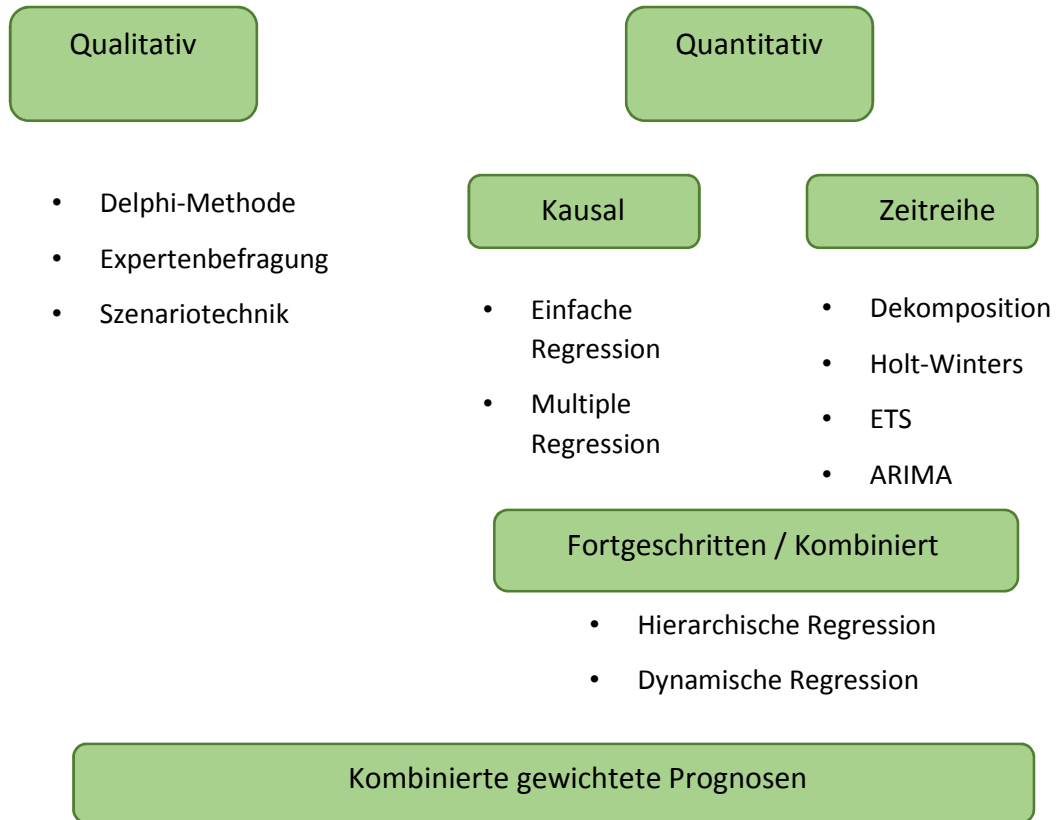


Abbildung 52: Überblick Prognosemethoden

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. gibt einen Überblick über allgemeine Prognosemethoden. Im Folgenden wird dabei lediglich auf einige quantitative Methoden genauer eingegangen, da qualitative Methoden nur sehr begrenzt und für spezielle Anwendungsfälle einsetzbar sind und bei quantitativer Methodik nach einer Voranalyse entschieden werden kann, welche Modelle sinnvoll anwendbar sind.

Im Gegensatz zu qualitativen Methoden basieren quantitative Techniken auf mathematischen Verfahren sowie der analytischen Auswertung empirischer Daten und versuchen dadurch subjektive Präferenzen und Verzerrungen auszuschließen. Hierbei unterscheidet man zwischen univariaten Modellen, die versuchen, zukünftige Werte nur aufgrund der Vergangenheitsdaten der Zeitreihe vorherzusagen, und multivariaten Modellen, die den Einfluss von externen Variablen miteinbeziehen.

Univariate Methoden

Bei univariaten Prognosemodellen wird versucht, anhand der Historie der Zielgröße eine Prognose zu erstellen. Hierbei kann man durch Erkennen verschiedener Muster und der Dekomposition der Zeitreihe zu Erkenntnisgewinnen gelangen und Aussagen über die zukünftige Entwicklung tätigen. Unter einer Zeitreihe versteht man die Erfassung der Beobachtungen y_t eines Merkmals Y zu den aufeinanderfolgenden Zeitpunkten bzw. Perioden $t = 1, \dots, n$ (vgl. Fahrmeir et al. 2007, S.547). Eine Aufgabe der Zeitreihenanalyse ist die Zerlegung der Reihe in eine systematische und eine irreguläre Komponente. Dabei lassen sich grundsätzlich vier Komponenten unterscheiden:

- Der **Trend** ist eine langfristige mittlere Veränderung des Prozesses, etwa ein lineares oder logarithmisches Wachstum
- Die **Konjunktur- oder zyklische Komponente** beschreibt die langfristigen (meist mindestens zwei Jahre), unregelmäßigen Fluktuationen wie z.B. Schweinezyklus oder Lemming-Zyklus
- Die **saisonale Komponente** umfasst regelmäßig zyklische Schwankungen, wie z.B. monatliche oder Wochentags-Schwankungen
- **Restkomponente** oder **Fehler** ist ähnlich der Abweichung in der Regression der Teil der Zeitreihe, der alles beinhaltet, was nicht durch die vorigen Komponenten erklärt werden kann

Dabei ist zu beachten, dass nicht jede Zeitreihe all diese Komponenten beinhaltet bzw. diese sehr unterschiedlich ausgeprägt sind und es verschiedene Möglichkeiten gibt, diese Komponenten zu berechnen und in ein Prognosemodell umzuwandeln. Oftmals werden Trend- und Konjunkturkomponente zusammengefasst, da die Trennung schwierig ist, und schließlich gemeinsam als Trend bezeichnet. (vgl. Fahrmeir et al. 2007)

Als Beispiel wird die sehr gebräuchliche exponentielle Glättung als univariate Methodik erläutert.

Exponentielle Glättung

Falls eine Zeitreihe keinen exakt linearen bzw. leicht zu erkennenden Trend aufweist, ist es dennoch möglich, durch exponentielle Glättung eine Prognose für diese Zeitreihe aufzustellen. Dabei ist zu beachten, dass diese Prognosen eher für einen kurzen Horizont sinnvoll sind. Durch Erweiterungen des Verfahrens durch Holt und Winters ist es aber auch möglich, auftretende Trendkomponenten und auch Saisonalität einzufangen und stabilere Vorhersagen über die Zeitreihen zu tätigen. Exponentielle Glättung nutzt dabei zur Prognose gewichtete Mittelwerte vergangener Werte, d.h. je näher der Wert an der Gegenwart liegt, desto stärker und höher ist seine Gewichtung und sein Einfluss auf die Prognosegröße.

Einfache Exponentielle Glättung ohne Trend und Saisonalität

Die Durchschnittsmethode sowie die naive Methode können dabei als Sonderformen der exponentiellen Glättung gesehen werden, da sie den vergangenen Werten die gleiche Gewichtung (Durchschnitt), bzw. dem letzten beobachteten Wert 100% der Gewichtung für die Vorhersage geben. Um Werte zwischen diesen Extremen zu erhalten, benutzen wir folgende Formel für exponentielle Glättung in der einfachsten Form ohne Trend und Saisonalität:

$$\hat{y}_{T+1|T} = \alpha y_T + \alpha(1 - \alpha)y_{T-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 y_{T-2} + \dots,$$

wobei $0 \leq \alpha \leq 1$ der sogenannte einstellbare Glättungsfaktor ist, der bestimmt, wie schnell die Gewichtung der vergangenen Beobachtungswerte für die Prognose von Zeitpunkt $T + 1$ sinkt. Dieser kann entweder durch subjektive Präferenzen wie Erfahrungswerte festgelegt werden oder durch mathematische Verfahren optimiert werden. Eine Problematik

ergibt sich bei der Initialisierung des Glättungsprozesses, da ein Startwert l_0 gewählt werden muss. Liegt keine bekannte Saisonalität und kein Trend vor, wird l_0 normalerweise auf den ersten Wert y_1 gesetzt. Liegen Saisonalität oder ein Trend vor, wird diese Information mit in den Startwert genommen (siehe dazu Hyndman und Athanasopoulos 2012, Kap. 7.1 und Kap. 7.9).

Exponentielle Glättung mit Trend und Saisonalität

Charles C. Holt (1957) erweiterte zunächst das Verfahren der exponentiellen Glättung für Zeitreihen um einen Trend durch die Zerlegung in eine Niveauekomponente und eine Trendkomponente, bevor Winters (1960) dieses um eine saisonale Komponente erweiterte. Hierbei gibt es wiederum die Möglichkeit der additiven und multiplikativen Zusammensetzung dieser Komponenten. Die exponentielle Glättung mit linearem Trend berechnet sich nach:

Prognosegleichung: $\hat{y}_{t+h|t} = l_t + hb_t$

Niveaugleichung: $l_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1})$

Trendgleichung: $b_t = \beta(l_t - l_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$

Wobei l_t das Level bzw. Niveau zu Zeitpunkt t ist und b_t der Trend zu Zeitpunkt t . α und β sind jeweils die Glättungsfaktoren.

Bei der saisonalen Methode kommt zusätzlich die Saisonkomponente s_t hinzu:

Saisongleichung: $s_t = \gamma(y_t - l_{t-1} - b_{t-1} - 1) + (1 - \gamma)s_{t-m}$

Prognosegleichung: $\hat{y}_{t+h|t} = l_t + hb_t + s_{t-m+h_m^+}$

m gibt dabei die Summe der saisonalen Komponente in einer Gesamtperiode an. Der Term h_m^+ stellt klar, dass die Schätzungen der saisonalen Indizes, die für die Prognose verwendet werden, aus der letzten Periode des Trainingsatzes kommen (vgl. Hyndman und Athanasopoulos 2012, Kap.7).

Multivariate Methoden und multiple Regression

Multivariate Modelle analysieren den Einfluss bzw. den Effekt von einer Menge an einstellbaren Variablen auf die Zielgröße, wie bspw. den Zusammenhang zwischen Werbemaßnahmen auf Verkaufszahlen. Hierbei gibt es Unterscheidungen u.a. in der Anzahl der Einflussgrößen (einfach, multipel) und dem Zusammenhang der Größen (linear, logarithmisch, ...). Multivariate Methoden basieren im Grunde immer auf einer Form von Regression. Für verschiedene Domänen gibt es zwar auch spezielle Prognoseanwendungen wie z.B. Netzplantechnik, auf die aber im Folgenden nicht näher eingegangen wird (vgl. Küpper et al. 1975). Im Folgenden werden lediglich die für die Problemstellung relevanten

Methoden für einseitig gerichtete Variablenbeziehungen betrachtet. Um Wechselwirkungen zu untersuchen, sind diese nicht geeignet.

Bei der multiplen Regression betrachtet man die Beziehung zwischen einer Zielgröße und mehreren Prädiktorvariablen. Die generelle Form für ein multiples lineares Regressionsmodell ist demnach:

$$y_i = \beta_1 + \beta_1 x_{1,i} + \beta_2 x_{2,i} + \dots + \beta_k x_{k,i} + e_i$$

y_i ist dabei die zu prognostizierende Variable, $x_{1,i}, \dots, x_{k,i}$ sind die Werte der k Prädiktorvariablen und β_1, \dots, β_k die Koeffizienten, die den Einfluss der jeweiligen Prädiktorvariablen messen. Auch bei der multiplen Regression werden die bestmöglichen Koeffizienten durch die OLS-Methode geschätzt. Um eine korrekte Regression durchführen zu können, müssen einige Voraussetzungen bzw. Annahmen über die Verteilung und Eigenschaften der entstehenden Residuen gelten, die im späteren Anwendungsfall noch genauer untersucht werden (vgl. Urban und Mayerl 2011, Kap.4):

- Normalverteilungsannahme
- Linearitätsannahme
- Heteroskedastizität
- Autokorrelation

Neben der Einhaltung dieser Bedingungen für die Residuenverteilung ist zudem zu beachten, dass bei multipler Regression oftmals Multikollinearität vorliegt, das bedeutet, zwei oder mehr erklärende Variablen sind stark miteinander korreliert bzw. Linearkombinationen von Prädiktoren sind stark korreliert und ihr Effekt auf die zu erklärende Variable kann nicht differenziert werden. Für die Prognose selbst ist dies vor allem dann problematisch, wenn die Werte dieser Variablen in der Zukunft außerhalb ihrer historischen Reichweite (d.h. sie gehen über die historischen Extremwerte hinaus) liegen. Die Beseitigung von Multikollinearität ist oftmals nicht zu vermeiden und sollte insbesondere bei Aussagen über die Einflussstärke von Variablen untersucht werden. Man kann sich demnach überlegen, wenn zwei oder mehrere Variablen sehr stark miteinander korrelieren, ob sie nicht womöglich den gleichen Einfluss auf y messen und demnach eine der Variablen gestrichen werden kann bzw. sie zu einer übergeordneten Größe zusammengefasst werden können (siehe dazu auch 3.3).

Durch Einführen von sogenannten Dummyvariablen können auch die Effekte von Wochen- bzw. Feiertagen, saisonale Effekte oder Ausreißer in das Regressionsmodell einbezogen werden. Diese Variablen nehmen die Werte 1 an, wenn der Fall zutrifft und 0 wenn nicht, im Fall der Wochentage bräuchte man demnach 6 Variablen, die jeweils für sechs Wochentage den Wert 1 annehmen, und wenn alle Dummyvariablen 0 sind, ist der letzte Wochentag abgedeckt.

Grundsätzlich gibt es oftmals je nach Modell eine große Auswahl an möglichen unabhängigen Variablen, und das Ziel der Regression soll sein, die bestmögliche Auswahl an Prädiktoren zu treffen. Hierbei gibt es verschiedene Techniken und Kennzahlen, die dabei helfen, eine optimale Auswahl zu treffen – was jedoch in manchen Fällen nicht oder nur sehr

schwer möglich ist (siehe dazu Hyndman 5.3). Als erste Kennzahl, die betrachtet wird, gilt hierbei im Allgemeinen der Determinationskoeffizient bzw. das Bestimmtheitsmaß

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \text{ mit}$$

\hat{Y}_i = geschätzte Werte der Regression und \bar{Y} = arithmetisches Mittel der Werte von Y.

Der Determinationskoeffizient R^2 berichtet den in einer Regressionsschätzung ermittelten, ausgeschöpften, relativen Anteil der Varianz der abhängigen Y-Variablen, ist in der multiplen Regression jedoch modell- und messspezifisch (vgl. Urban und Mayerl S.98). Er ist ein Indikator für die Güte einer Regression, jedoch sehr störanfällig, und sollte nie als alleiniges Gütekriterium oder ohne Kontext betrachtet werden. Ein häufig verwendeter Weg zur Variablenfindung ist die schrittweise Regressionstechnik. Hierbei wird die unabhängige Variable x_1 gesucht, die am höchsten mit der abhängigen Variable y korreliert, und eine simple Regression durchgeführt. Anschließend wird der Einfluss der Variable x_1 auf die anderen unabhängigen Variablen auspartialisiert (siehe dazu Urban S.80 ff) und das nächste x_2 gesucht, das nach diesem Schritt am höchsten mit y korreliert. Aus x_1 und x_2 wird dann ein neues Regressionsmodell erstellt und der Wert R^2 mit dem R^2 des ersten Modells verglichen. Sollte dieser signifikant (siehe dazu Urban, Kap.3.3) höher sein, wird x_2 in das Modell aufgenommen und mit den verbleibenden x-Werten fortgefahren, bis entweder R^2 nicht mehr signifikant steigt oder alle Variablen getestet wurden. Hierbei ist es auch möglich, die Reihenfolge nicht nach der Korrelation, sondern z.B. aus theoretischen Vorüberlegungen zu ändern. Die schrittweise Regression garantiert jedoch keinesfalls eine optimale Regression, u.a. da durch die Reihenfolge der Betrachtung Variablen ignoriert werden können oder aufgrund der Schwächen des Bestimmtheitsmaßes als Klassifikator. Zur ersten explorativen Analyse und als Benchmark für spätere Regressionsmodelle ist dies aber eine akzeptierte Methode. Zu beachten ist außerdem bei dem Determinationskoeffizienten, dass er immer wächst, sobald man einen weiteren Regressor in das Modell miteinbezieht. Deshalb ist eine Modellauswahl rein nach R^2 nicht sinnvoll und führt oftmals zum sogenannten „Overfitting“. Weitere Methoden und Gütekriterien, nach denen die Regression bestimmt werden können die u.a. dieses Problem umgehen, sind (vgl. Hyndman, Kap.5.2):

- Korrigiertes Bestimmtheitsmaß
- (Korrigiertes) Akaike-Informationskriterium
- Schwarz-Bayes-Informationskriterium
- Mallows's CP

Anwendungsfall

Der zu untersuchende Anwendungsfall befindet sich in der Schnittmenge zwischen Autovermietung und Flottenmanagement. Die Prognoseanwendung wird für die ADAC-Autovermietung entwickelt, die an 270 Stationen in Deutschland das Anmieten von PKWs anbietet. Motorräder, LKWs sowie Wohnmobile sind nicht Teil der Untersuchung. (siehe ADAC 2016)

ADAC-Mitglieder haben als Teil ihrer Mitgliedschaft eine Versicherung, die ihnen im Falle eines Unfalls bzw. einer Autopanne, die das Fahrzeug fahruntauglich macht, einen Ersatzwagen zusichert, soweit sich der Ausfall des Wagens mindestens 50 Kilometer (Wegstrecke) von dem Wohnsitz der versicherten Person ereignet hat. Dieser Ersatzwagen darf für die Zeit der Reparatur des eigenen PKWs, maximal sieben Tage genutzt werden, und kann dann an einer beliebigen Station wieder abgegeben werden. Infolgedessen werden auch Fahrzeuge zwischen Stationen versetzt, ohne dass eine gesteuerte Bewegung durch die Disposition abläuft. Dabei ist die Quote an sogenannten „One-Way“-Fahrten, bei der die ausgebende Station nicht gleich der annehmenden Station ist, stark abhängig von der individuellen Station. Sollte zum Pannenzeitpunkt kein Wagen der Flotte verfügbar sein, wird auf einen PKW eines anderen Anbieters zurückgegriffen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Eine Prognose soll vor diesem Hintergrund die Planung dabei unterstützen, dass möglichst viele Fahrten durch eigene Wägen durchgeführt werden können.

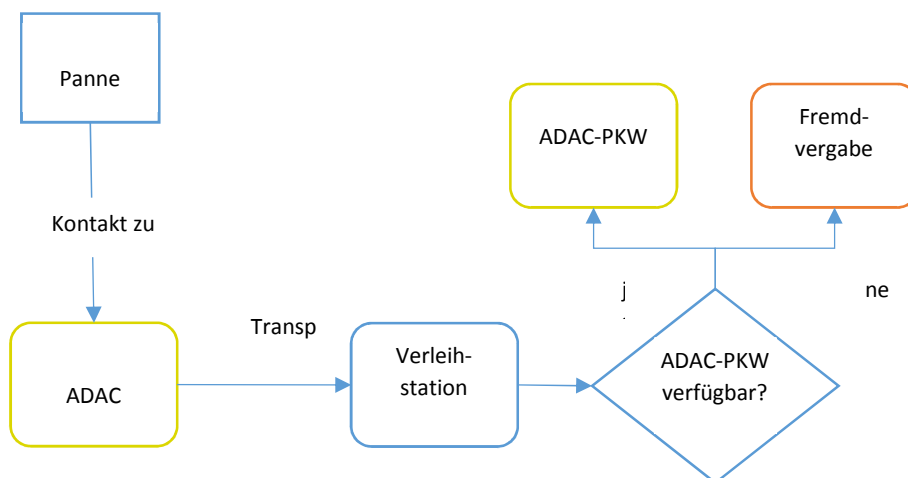


Abbildung 53: Prozessablauf

Die Prognoseanwendung versucht aufgrund historischer Buchungsdaten und externer Einflüsse die Gesamtnachfrage an Buchungen pro Tag für einen Prognosehorizont von 1-2 Wochen zu erstellen.

Als externe Einflussfaktoren werden folgende Effekte untersucht:

Witterungsverhältnisse: Aufgrund hoher Temperaturen kommt es an heißen Sommertagen zu häufigen Überhitzungen bei Fahrzeugen. Des Weiteren ist die Temperatur eine gute Variable zur Darstellung des Jahresverlaufs der Buchungen. Da im Sommer bei gutem Wetter deutlich mehr Verkehrsaufkommen vorhanden ist, ist die Zahl der Ausfälle und demzufolge der Buchungen höher. Weiterführend können neben der Lufttemperatur auch die

Niederschlagshöhe bzw. Schneehöhe potentiell Einfluss auf das Verkehrsaufkommen bzw. die Unfallhäufigkeit haben.

Saisonalität: Es wird eine Saisonalität im Jahresverlauf sowie eine starke Abhängigkeit vom Wochentag vermutet.

Ferien: In den Ferien gilt, insbesondere hinsichtlich des Reiseverkehrs, ein deutlich erhöhtes Verkehrsaufkommen, was zu erhöhten Buchungsanfragen führt.

Feiertage/lange Wochenenden: Der Einfluss von Feiertagen auf den Verkehrsfluss muss in diesem Fall genauer untersucht werden. Es gibt Untersuchungen, die darauf hindeuten, dass an Feiertagen verminderter Verkehr herrscht. Jedoch wird aus den Experteninterviews deutlich, dass es an den Tagen vor und nach Feiertagen, insbesondere, wenn dadurch ein verlängertes Wochenende entsteht, zu erhöhter Nachfrage kommt.

Prognosemodelle und Ergebnisse

Es findet eine Betrachtung auf Tages- sowie auf Wochenbasis statt, um eine stabilere Prognose zu erstellen. Dabei gibt es jeweils eine multiple Regression aus den oben erwähnten Regressoren, eine tägliche exponentielle Glättung mit Saisonalität = 7 und eine wöchentliche exponentielle Glättung. Darauf aufbauend werden zwei hierarchische Methoden erstellt, mit der Basis aus der wöchentlichen Regression, der allgemeinen Verteilung nach Wochentagen sowie der Verteilung nach der Tagesregression. Als Benchmark dienen naive bzw. Durchschnittsmethoden. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt alle genutzten Modelle

Modellname	Beschreibung	Tages-/ Wochenbasis
TR	Multiples Regressionsmodell	Tagesbasis
WR	Multiples Regressionsmodell	Wochenbasis
EGTAG	Exponentielle Glättung mit Saisonalität = 7	Tagesbasis
EGWOCHE	Exponentielle Glättung ohne Saisonalität	Wochenbasis
HM1	Hierarchisches Modell mit Basis aus WR und Verteilungen aus dem Mittelwert der Tagesverteilung	Tagesbasis
HM2	Hierarchisches Modell mit Basis aus WR und Verteilungen aus den Werten des Modell TR	Tagesbasis
NATAG	Saisonales naives Modell	Tagesbasis
NAWOCHE	Naives Modell	Wochenbasis
DSTAG	Durchschnittsmodell	Tagesbasis
DSWOCHE	Durchschnittsmodell	Wochenbasis

Tabelle 3: Prognosemodelle

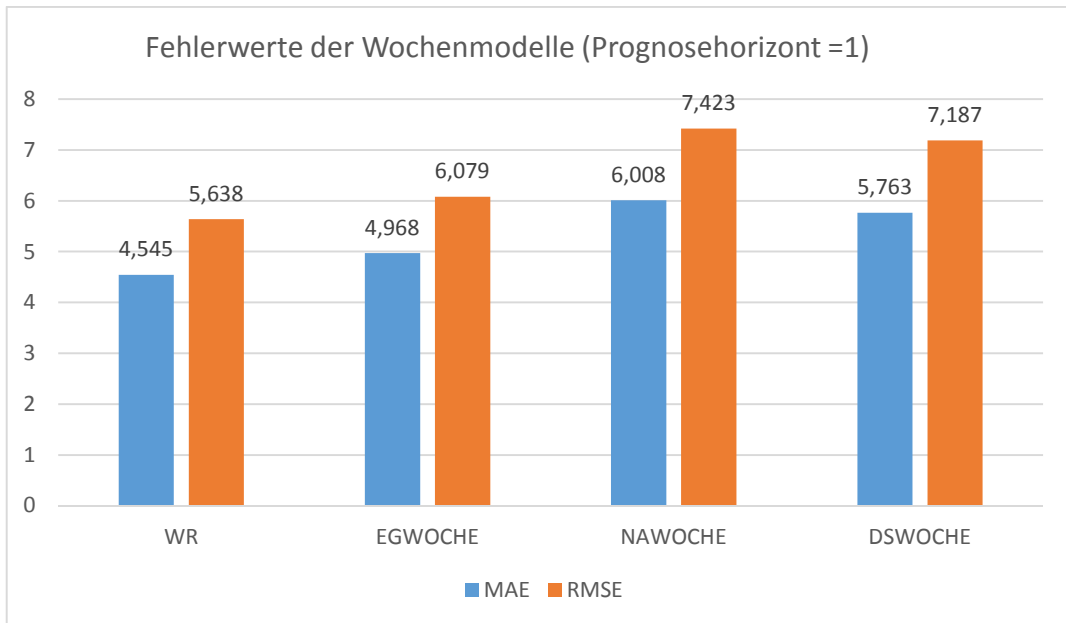


Abbildung 54: Prognosegüte der Wochenmodelle

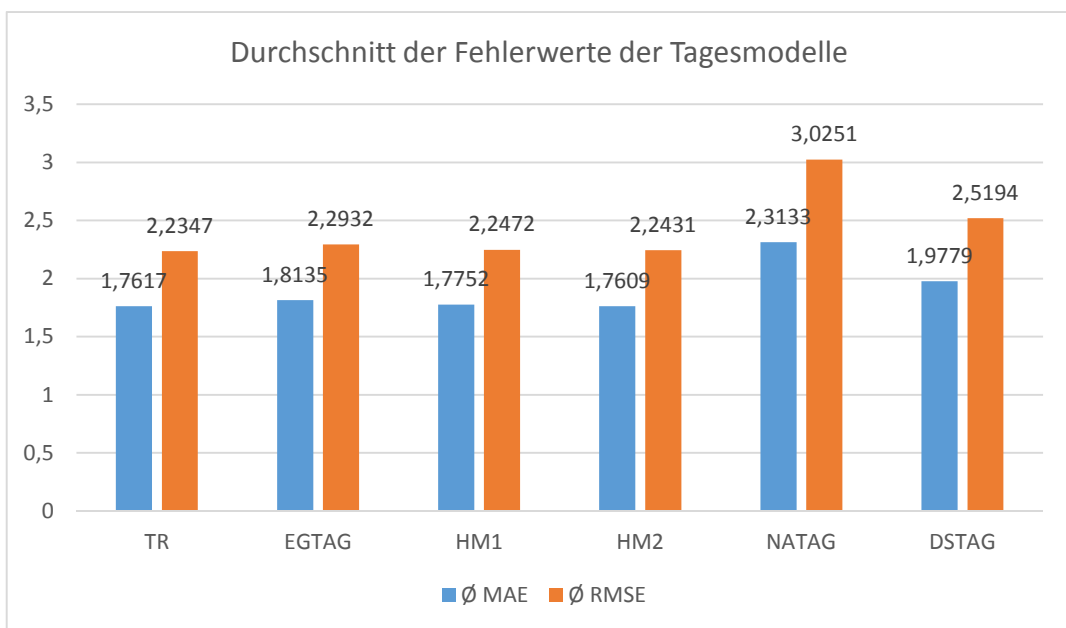


Abbildung 55: Prognosegüte der Tagesmodelle

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.7 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.8** zeigen die Ergebnisse der Tages- sowie Wochenmodelle. Die multiple Regression sowie die hierarchische Prognose zeigen auf Tagesbasis die beste Genauigkeit und liegen nahezu auf einem Niveau. Die exponentielle Glättung liegt knapp dahinter, und alle Modelle sind deutlich besser als die Durchschnitts- bzw. Mittelwertmethoden.

Auf Wochenbasis ist ebenfalls die multiple Regression die beste Methode, die exponentielle Glättung liefert auch gute Ergebnisse. Mit steigendem Prognosehorizont sinkt die Genauigkeit der exponentiellen Glättung, während die hierarchischen Methoden sowie die Regression stabil sind.

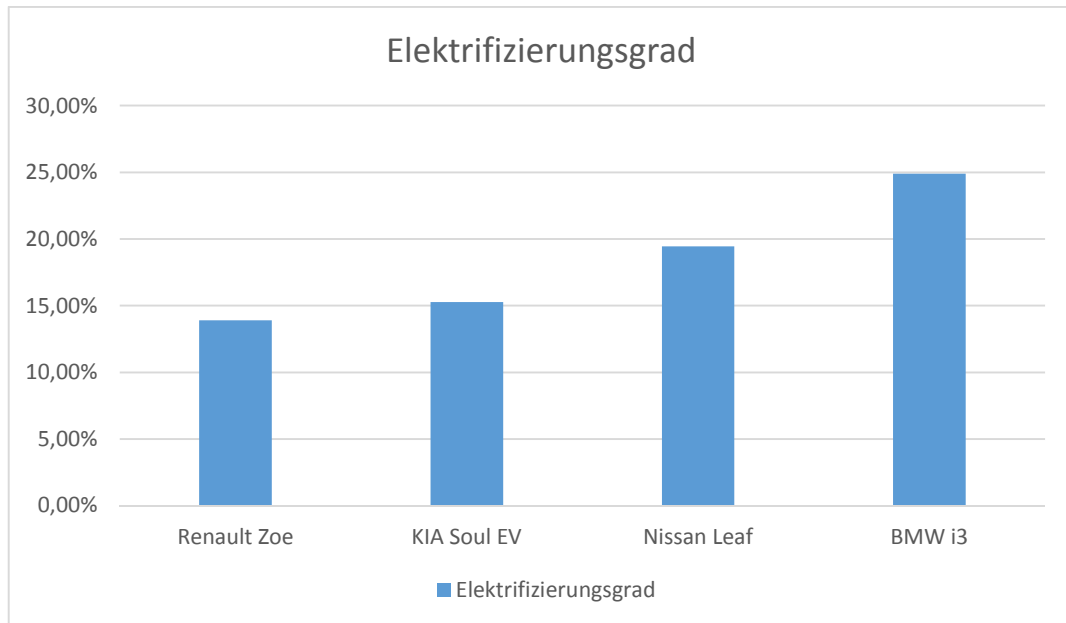


Abbildung 56: Elektrifizierungsgrad nach Modell

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt den Anteil an Fahrten, die mit einem E-Mobil durchgeführt werden könnten. Dabei kommt man mit einem sehr neuen Modell, wie dem BMW i3 oder dem Nissan Leaf, immerhin auf einen Anteil von 24,9% bzw. 19,45%, während mit einem Renault Zoe, der eine um 33% kleinere Reichweite hat als ein BMW i3, der Anteil auf 13,9% sinkt.

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die multiple Regression als auch exponentielle Glättung und hierarchische Modelle eine bessere Prognosegüte besitzen als simple Prognosen. Die hierarchische Prognose und die Tagesregression liefern die besten Ergebnisse, wobei hier aufgrund der minimalen Differenzen zwischen den Fehlerwerten eine genaue Einordnung sehr schwierig ist. Der minimale Unterschied zwischen den beiden hierarchischen Modellen unterstreicht noch einmal, dass insbesondere die Saisonalität der Wochentage der größte Faktor bei der Prognose ist.

Sowohl die Ergebnisse der Wochenbetrachtung als auch die der Tagesbetrachtung zeigen aber auch die Grenzen einer Prognose in diesem Anwendungskontext. Naive Modelle sind lediglich 5-6% schwächer als die erstellten Prognosen und das Bestimmtheitsmaß ist mit 0,236 bzw. 0,386 relativ gering. Nichtsdestotrotz zeigt das Ergebnis, dass eine Prognoseanwendung definitiv in den Planungsprozess mit einbezogen werden sollte, um die Planungssicherheit zu optimieren.

Die Ergebnisse der Betrachtung des Elektrifizierungspotenzials zeigen, dass trotz des eher schwierigen Anwendungsfalls eine Integration von E-Mobilen sinnvoll sein kann. Obwohl einige Buchungen zum Reiseverkehr gehören und deshalb aus langen Fahrten bestehen, kann mit neuen E-Modellen knapp ein Viertel der Buchungen durchgeführt werden.

Im Kapitel 3.4 wird die erarbeitete Schnittstelle zwischen der Prognoseplanung und dem Lade- und Lastmanagement erläutert.

3.4. AP 220 – Integration von E-Fahrzeugen und Energienetzen in Lademanagementstrategien

Das in AP220 betrachtete Szenario des Lade- und Lastmanagements spielt im Rahmen eines Industriestandorts mit E-Fahrzeugen und lokalem Micro-Smart-Grid. Dazu wird der Standort des Fraunhofer IZS als Vorlage verwendet. Dementsprechend sind die in Abbildung 30 gezeigten Komponenten vertreten. Als Erzeuger werden Solaranlage und Netzanbieter eingesetzt, die mit einem Pufferspeicher kombiniert werden. Auf Verbraucherseite hingegen stehen der firmeneigene Fuhrpark, E-Fahrzeuge der Mitarbeiter und die Großverbraucher des Firmenstandortes.

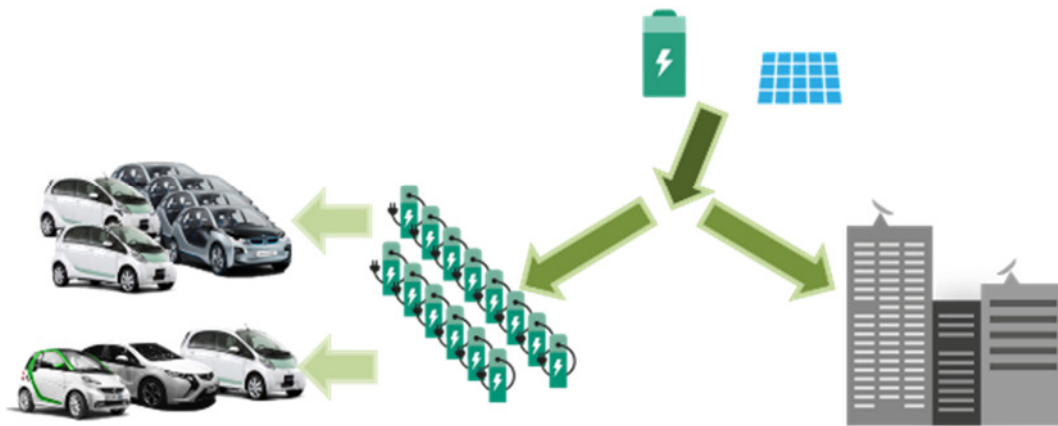


Abbildung 57: Komponentenübersicht

Ziel ist es nun, diese Komponenten für die verschiedenen Optimierungsziele in Einklang zu bringen (lokale Lastspitzenglättung, Netzstabilisierung, Maximierung der Nutzung regenerativer Energie, ökonomische Optimierung, möglichst günstig laden). Dazu wird auf die bereits bestehenden Simulationsmodelle der Projekte „eFlotte“ und „charge@work“ zurückgegriffen. Diese werden um die Funktionalität mehrerer Standorte erweitert und anschließend für AP300 aufbereitet. Darüber hinaus werden sie in AP220 zur Validierung der Algorithmen in eine ausführbare Programmumgebung exportiert. Dabei wird beim Export das mathematische Modell in die Programmiersprache der Algorithmen übersetzt (Python), um eine Schnittstelle zu den Buchungssystemen und Algorithmen herzustellen. Anschließend werden die Ergebnisse der Algorithmen über die Simulationsdurchläufe visualisiert und validiert.

220.1 Simulationsstruktur und Datenaufbereitung

Die Simulation wird in mehreren Schritten durchgeführt, die im Detail in AP 220.2 beschrieben werden. Die Datenvorbereitung, das Einstellen der Simulationsparameter und der Durchlauf in der Oberfläche werden folgend im Detail vorgestellt.

RWID/Buchungsgenerator

Wie bereits in Kapitel 3.3 beschrieben, wurde für das Testen der Algorithmen ein Buchungsgenerator entwickelt, der Buchungen von Nutzern erzeugt und diese dann auf die verfügbaren Fahrzeuge verteilt. Dazu wird in der Oberfläche der Simulation (Kapitel 0) die

Fuhrparkkonfiguration durchgeführt. In dieser stehen folgende Einstellungsmöglichkeiten bereit:

- Simulationszeitraum
- Anzahl Fahrzeuge je Fahrzeugtyp
- Wahrscheinlichkeiten mit denen die Abfahrtszeiten gewählt werden
- Anzahl Fahrten pro Tag mit +/- Zufallswert
- Aufenthaltsdauer am Ziel mit +/- Zufallswert
- Fahrten samstags bzw. sonntags
- Liste der möglichen Ziele

Anhand dieser Informationen erzeugt der Buchungsgenerator eine Liste mit Buchungen nach

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. mit:

- einer geschätzten Entfernung
- dem geschätzten Energieverbrauch
- dem Fahrzeugwunsch

Dazu wählt der Buchungsgenerator für jede Buchung ein zufälliges Ziel aus der Liste der möglichen Ziele und ergänzt dieses um eine zufällige Uhrzeit, die anhand der eingestellten Wahrscheinlichkeitsverteilung beeinflusst wird. Als Basis für die Streckenführung und die daraus abgeleitete Energieberechnung wird das Kartenmaterial von OpenStreetMap herangezogen. Dieses wird in eine eigene Graphen-Datenbank importiert, um Verbrauchswerte der Fahrzeughersteller ergänzt, und dient als Basis für die Berechnungen von Distanz und Energieverbrauch. Alternativ kann auch ein anderer Routingdienst an dieser Stelle verwendet werden.

ID	TIME_START	TIME_END	NAME	ORIGIN	DESTINATION	TYPE	ENERGY	DISTANCE
1	25451	35086	Buchung 1	7910566	2789521448	iMiEV	5585	62388
2	30641	39546	Buchung 2	7910566	10533882	i3	5414	27068
3	31642	41034	Buchung 3	7910566	14794705	iMiEV	13303	144684
4	32171	40114	Buchung 4	7910566	2789521448	Twizy	3742	62388
5	32603	44702	Buchung 5	7910566	2789521448	Kangoo	12478	62388
6	33173	42283	Buchung 6	7910566	10533882	Twizy	1678	27068
7	33496	41692	Buchung 7	7910566	1653698429	iMiEV	7201	79146
8	33726	43603	Buchung 8	7910566	14794705	Twizy	8673	144684
9	34224	40862	Buchung 9	7910566	2789521448	iMiEV	5585	62388
10	36239	44304	Buchung 10	7910566	10533882	i3	5414	27068
11	36474	52197	Buchung 11	7910566	14794705	iMiEV	13303	144684
12	37157	50237	Buchung 12	7910566	2789521448	i3	12478	62388
13	37648	47829	Buchung 13	7910566	10533882	Ampera	3593	27068
14	38561	49903	Buchung 14	7910566	2789521448	Smart	12478	62388

Abbildung 58: Beispiel-Tabelle mit generierten Buchungen und Energieprognose

Da die für das MATLAB-Simulationsmodell notwendigen Informationen nicht von einem vorhandenen Reichweiteninformationsdienst bereitgestellt werden konnten (Kapitel 0), wurde der Buchungsgenerator noch erweitert. Für die Simulation werden die Fahrzeugposition und Geschwindigkeit im Simulationszeitraster benötigt. Diese Ausgabe

einer Route externer Dienste erfolgt nicht mit den für die Simulation notwendigen Parametern. Intern sind bei den Anbietern solche Informationen vorhanden, diese werden jedoch nicht nach außen kommuniziert. Aus diesem Grund wird wiederum das OpenStreetMap-Kartenmaterial herangezogen und zu jeder Buchung ein Routenprofil erzeugt, das zu einem Zeitraster Δt zu jedem Zeitpunkt die Position, Geschwindigkeit und den voraussichtlichen Ladezustand ausgibt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, Hinfahrt/Aufenthalt/Rückfahrt). Da das Kartenmaterial allerdings keine Abbiegeregeln beinhaltet, sind die generierten Routen nicht zur Navigation geeignet.

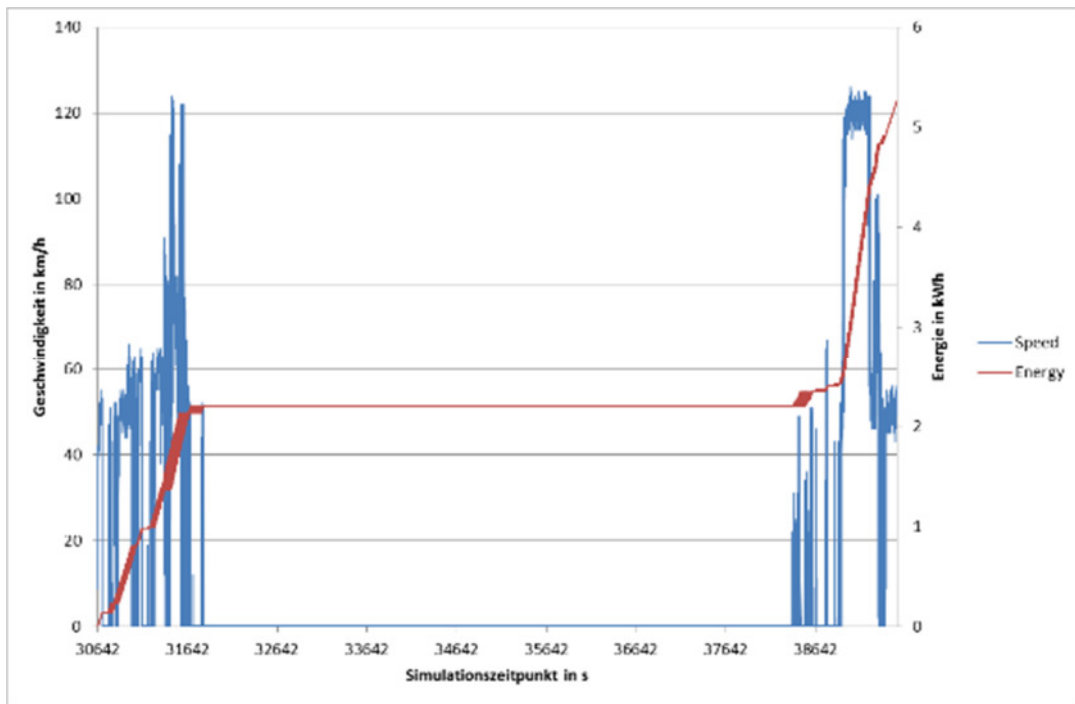


Abbildung 59: Virtuelle Fahrt mit Geschwindigkeit und Energieverbrauch

Die testweise Disposition der Buchungen auf die Fahrzeuge wird von einem einfachen Dispositions-Skript durchgeführt, das von den verbleibenden freien Fahrzeugen eines Typs eines auswählt und ihm die Buchung zuweist. Dazu kommen zwei Kriterien zum Einsatz: Es muss ein ausreichend langer Zeitraum zum Laden zur Verfügung stehen, und das Fahrzeug kann diese Strecke zurücklegen bzw. der Fahrzeugtyp wird gewechselt. Sollte eine Buchung nicht möglich sein, wird diese als abgelehnt markiert. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt das Ergebnis eines Dispositionsdurchlaufs (in Blau die Buchung, in Grün die Standzeit und in Rot die benötigte Ladezeit).

Eine umfangreichere Betrachtung wurde in AP220 nicht durchgeführt, da die Buchungen in Zukunft aus einem externen Buchungssystem wie aus AP210 bzw. von einem Drittanbieter kommen können.

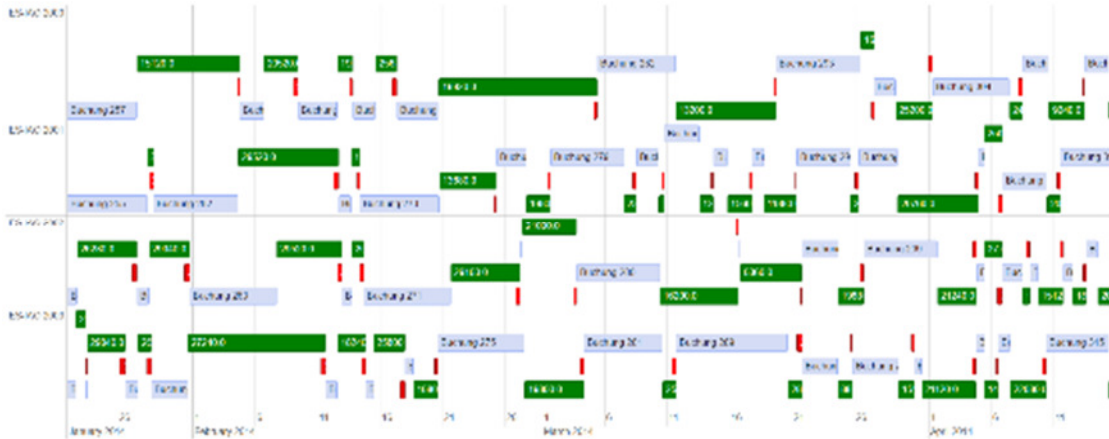


Abbildung 60: Disposition und Ladereservierung

Oberfläche

Um die Algorithmen zu testen und alle Parameter einstellen zu können, verfügen die Algorithmen über eine Konfigurationsoberfläche, in der alle Parameter dargestellt werden. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Standard-Ansicht mit der Übersicht der vorhandenen Szenarien und Tasks. Ein Szenario steht dabei für einen Zusammenschluss aus Fuhrparkkonfiguration, MSG-Parametern, Simulationszeitraum und Flottenverhalten.

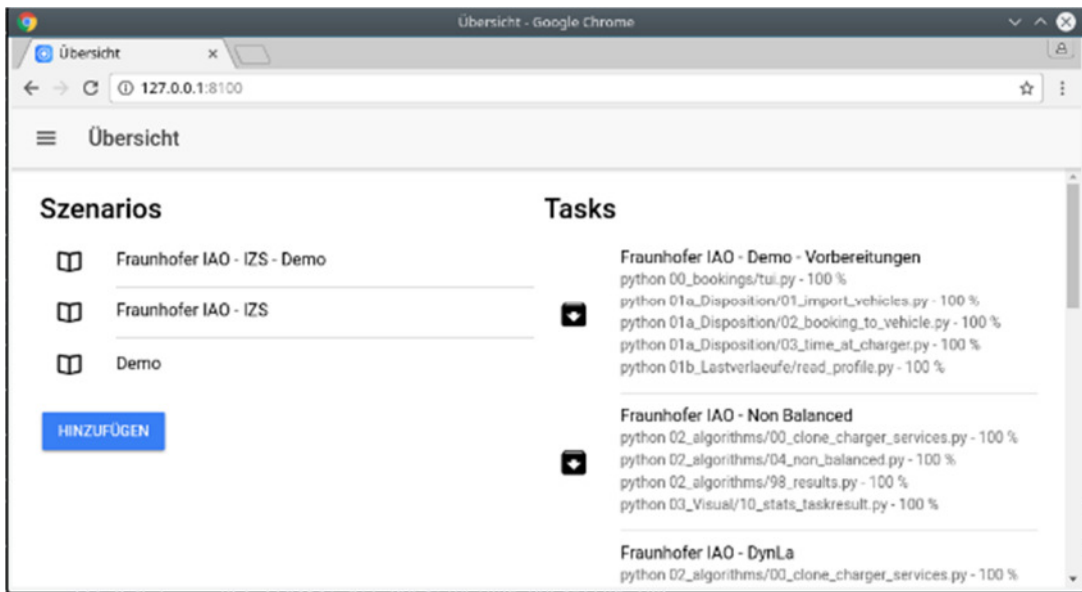


Abbildung 61: Standard-Ansicht des Simulationstools

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt im Einzelnen auf (von oben nach unten):

- Simulationszeitraum
- MSG-Parameter für den Erzeuger/Netzanbieter, den Pufferspeicher und den Großverbraucher (Für den Großverbraucher stehen die Standardlastprofile zur Auswahl und dieser wird anhand der kWh/Jahr skaliert.)
- Flottenkonfiguration, die vom Buchungsgenerator genutzt wird

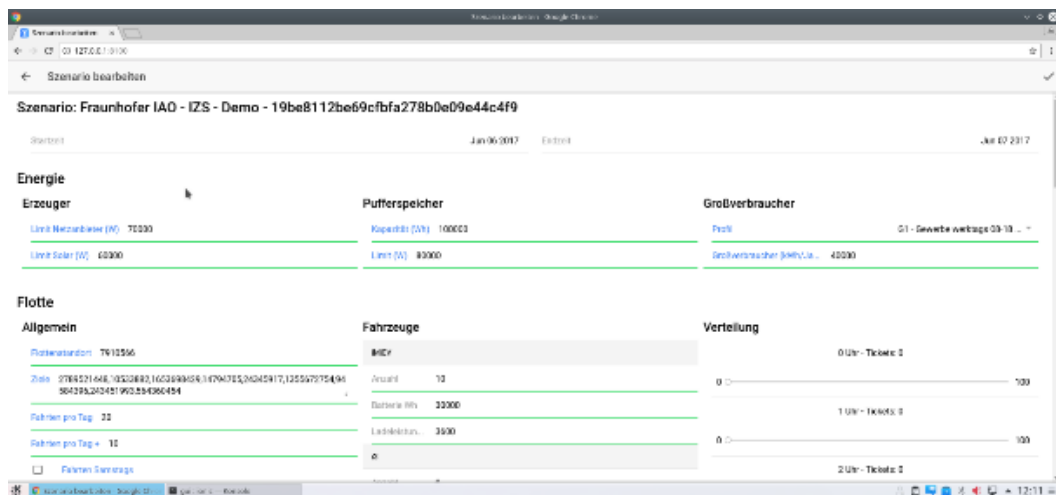


Abbildung 62: Szenario bearbeiten

Ein Szenario kann wiederum mehreren Tasks zugeordnet werden (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Ein Task beinhaltet alle auszuführenden Skripte. Alle Ausgaben von Logs, Kurven usw. werden in einem Ergebnisverzeichnis der Task abgelegt. So können für jede Algorithmus- und Szenario-Konfiguration ein Task angelegt und auch mehrere Simulationsvorgänge parallel durchgeführt werden.

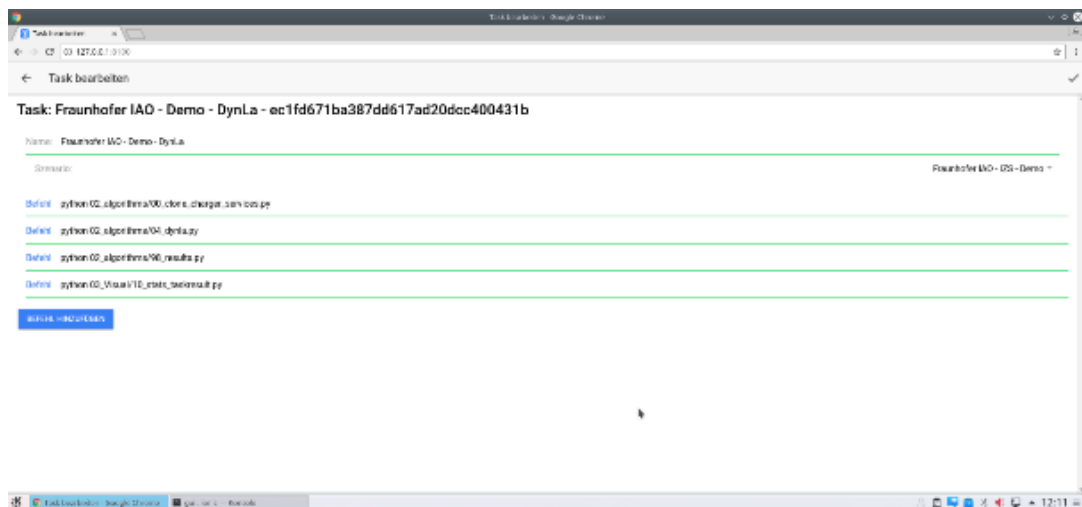


Abbildung 63: Task bearbeiten und das Definieren der Simulationsskripte

Anschließend wird der Task ausgeführt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und im Hintergrund berechnet. Dieser Vorgang kann in der Oberfläche überwacht werden.

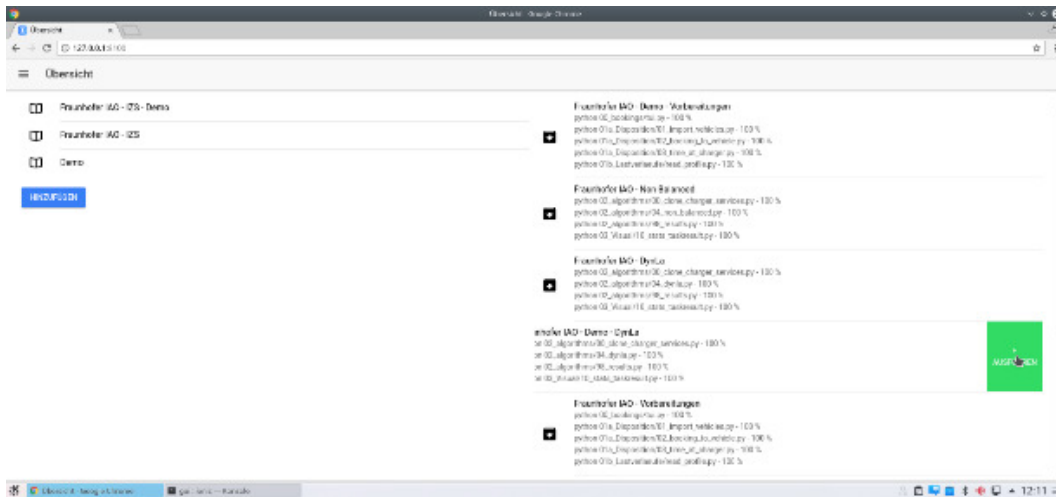


Abbildung 64:Task bzw. den dahinterliegenden Simulationsvorgang ausführen

Ist ein Task beendet, kann über die Oberfläche ein Blick auf die Ergebnisse geworfen werden (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Details und ausführliche Ergebnisse in auswertbarer Form werden im Ergebnisverzeichnis abgelegt. Die Steuerbefehle des MSGs und der Ladeinfrastruktur befinden sich anschließend in der Datenbank der Steuersoftware für die Ladesäulen.

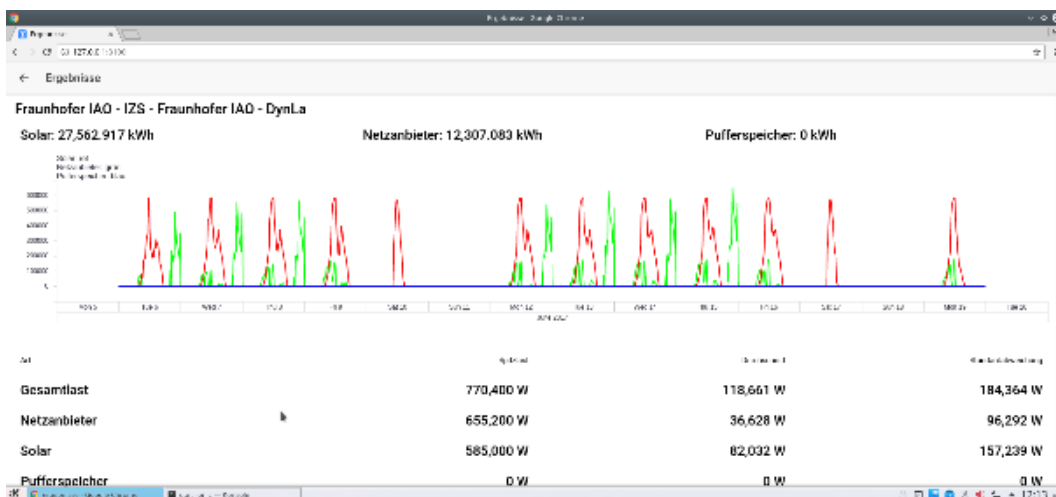


Abbildung 65:Vorschau der Simulationsergebnisse

Datenherkunft für die Simulationsdurchgänge

Der bereits im Zwischenbericht 2015 erwähnte Buchungsgenerator wurde weiter verfeinert und die Reichweitenprognose über den internen Reichweiteninfodienst optimiert. Zusätzlich wurden Testdaten für Ametras generiert, um die Skalierbarkeit der Disposition zu testen (ca. 3 Millionen Buchungen verteilt auf ein Jahr). Außerdem wurde der Buchungsgenerator genutzt, um Buchungsdaten, Reichweitenprognosen sowie Energieverbräuche für die Disposition und Steueralgorithmen zu liefern. Dazu wurden drei grundlegende Szenarien generiert, die später in den Algorithmen verwendet werden:

- Ametras-Testdaten, zum Testen der Disposition von Ametras
- Eine an AP300 angepasste Flotte für den stattfindenden Vergleich: 400 Fahrzeuge, kurzer Aufenthalt von ein bis drei Stunden am Zielort

- IAO-Testflotte: 400 Fahrzeuge, kurzer Aufenthalt von ein bis drei Stunden am Zielort

220.2 Kopplung der beiden Simulationsumgebungen und Makroskopische Systemsimulation

Anpassungen des Simulationsmodells

Abbildung 66 zeigt alle Komponenten, die in der Simulation bereits existierten und mit in das Projekt eingebracht wurden. Die Ladesäulen auf der linken Seite wurden zusätzlich um neue Modelle bereichert. Mittig ist die Kabelverteilung und auf der rechten Seite sind die verschiedenen Fahrzeuge dargestellt.

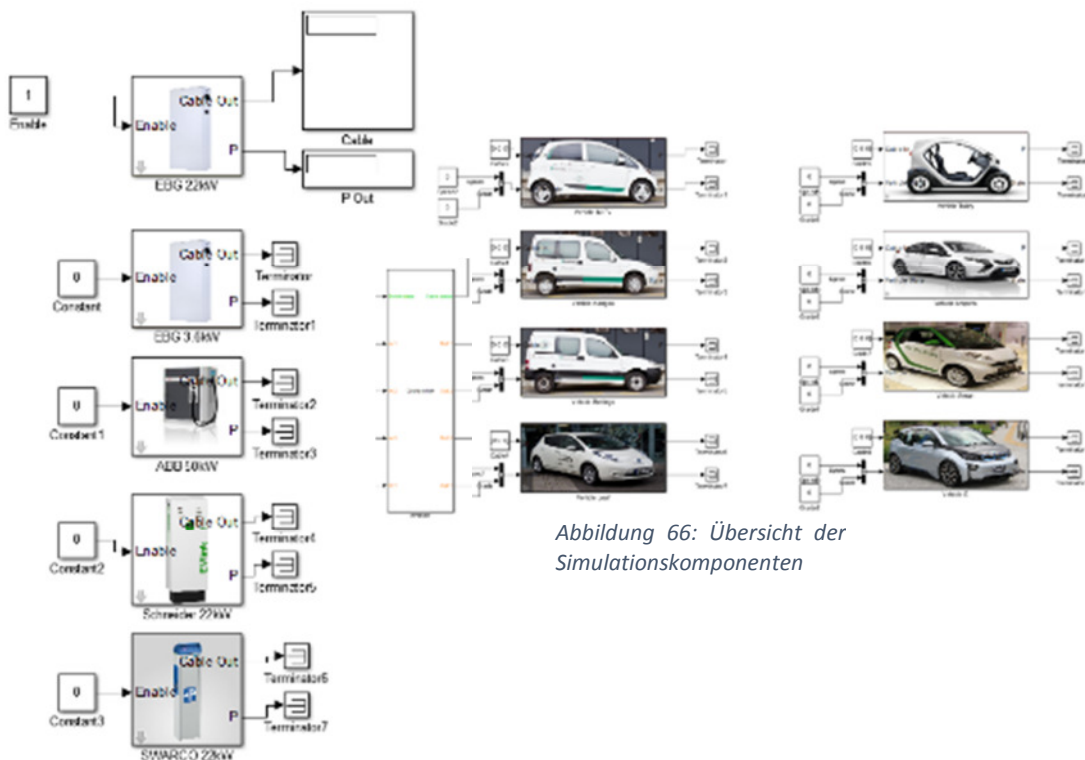


Abbildung 66: Übersicht der Simulationskomponenten

Nach verschiedenen Workshops über die bereits vorhandenen Simulationsmodelle wurde in Absprache mit AP300 und den Projekten „Charge@Work“ und „eFlotte“ zwischen den Simulationen der MSGs und der Ladeinfrastruktur Schnittstellen geschaffen, um einzelne Komponenten der Simulationen in die jeweils andere Simulation einzubauen. Eine direkte Kopplung war aufgrund der technischen Basis der jeweiligen Simulationen mit vernünftigem Mehraufwand nicht möglich. Dennoch entstanden zwei vollwertige Simulationsmodelle. Die bereits in den Workshops gesammelten Erfahrungen und der Modellaustausch waren ausreichend, um die Simulation um fehlende Komponenten zu ergänzen. Die Simulation des Mobilitätssystems wurde deshalb um folgende Komponenten erweitert: Pufferspeicher, Großverbraucher, Energiemanager und Solaranlage (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

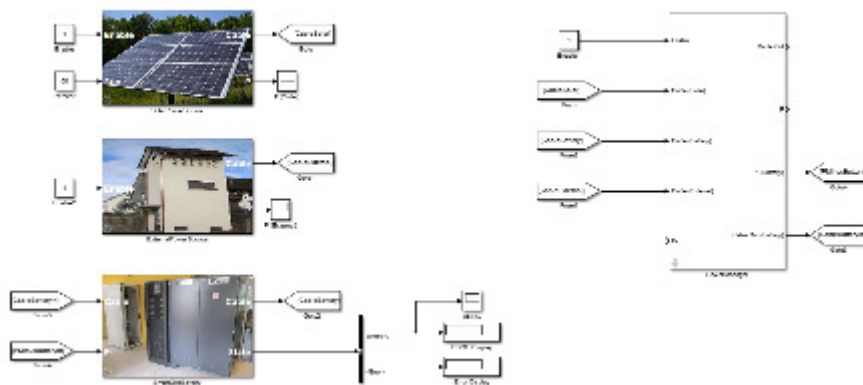


Abbildung 67: Neue Komponenten zur Energiebereitstellung

Die neue Version der in IMEI erweiterten Simulation (basierend auf der Simulation aus dem Projekt „eFlotte“) erhielt außerdem folgende Änderungen: Die Simulation bietet nun die Möglichkeit, Fahrzeuge zwischen verschiedenen Standorten zu tauschen. Dazu wurden verschiedene Fahrzeug- und Ladeinfrastrukturgruppen eingefügt, die separat angesteuert werden können (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die weiteren Betrachtungen zur Energieverteilung über Micro-Smart-Grids und verschiedene Standorte sind in AP300 und dem zugehörigen Simulationsmodell verankert.

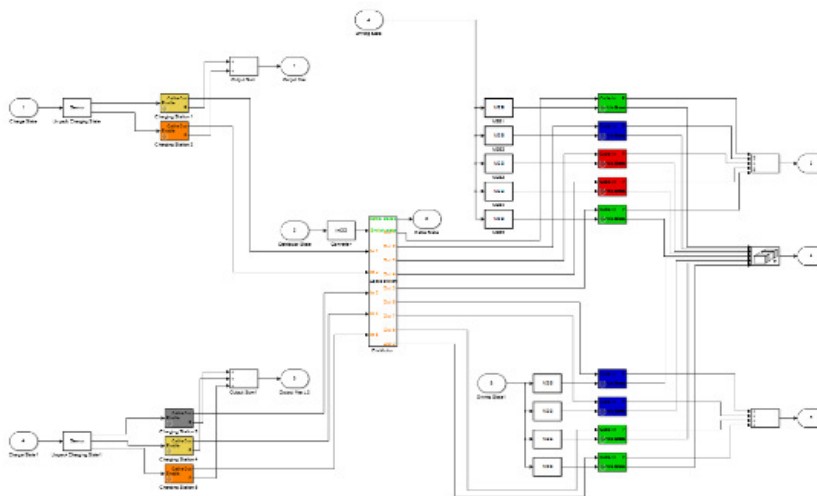


Abbildung 68: Simulation mit mehreren Standorten

Export für die Algorithmen

Für die Algorithmen wurde das in MATLAB verwendete Simulations-Modell in Python exportiert, um es später am realen System als auch simulativ zu verwenden. Dazu wurde die mathematische Abbildung des Modells in Python/Numpy übersetzt. Dieses unterteilt sich in drei einzelne Skripte: Das Smart-Grid, die Fahrzeuge und den Netzanbieter. Diese werden in den Tasks zur Ergebnisvalidierung und Lastkurvenberechnung herangezogen.

Simulationsdurchlauf

Ein mehrstufiges Modell für die Algorithmen wurde konzipiert und umgesetzt. Begonnen wird mit dem Verteilen der von extern erhaltenen oder generierten Buchungen. Darauf folgt

die Disposition der Buchungen auf die Fahrzeuge unter Berücksichtigung der vorhandenen Ladeinfrastruktur und Leistungsparameter. Fahrten, die nicht realisiert werden können – sei es aufgrund der zu geringen Anzahl verfügbarer Fahrzeuge oder Beschränkungen der Ladeinfrastruktur –, werden aussortiert und als nicht durchführbar markiert. Anschließend läuft die Energieprognose von Solar, Großverbraucher, Störern (ungeplant ankommende Nutzer mit E-Fahrzeugen) und Anschlussleistung, die als Entscheidungsbasis für die Algorithmen im nächsten Schritt dient. Es folgt der Durchlauf der einzelnen Algorithmen, die die Steuerbefehle für die Ladeinfrastruktur und die Energieverteilung im MSG mit abschließender Lastprognose und Statistiken umsetzen.

Alle Elemente der Algorithmen wurden so umgesetzt, dass diese auch auf einem realen System agieren können: In den Algorithmen kommt das Datenbanksystem Elasticsearch zum Einsatz, das mit sehr vielen kleinen Datensätzen agieren und skalieren kann, als auch die Grundlage für eine zeitreihenbasierte Datenverarbeitung bietet. Die dabei abgelegten Steuerdatensätze für die Ladeinfrastruktur können dann wiederum von dem am IAQ vorhandenen Ladeinfrastruktur-Backend eingelesen werden, das auf denselben Technologien beruht. Ebenso könnten die Steuerdatensätze auch als Buchungsdaten aus einem realen System übernommen werden. Für den Einsatz der Algorithmen ergeben sich drei Möglichkeiten für den Einstieg in einen Simulations- und Algorithmen-Durchlauf:

- Einstieg über den Fahrtengenerator (A) und über externe Buchungen (B): Hier werden die Buchungsdaten noch durch eine Disposition geschickt.
- Einstieg über eine externe Disposition (C): Hier werden die Daten direkt übernommen und nur noch den Ladesäulen zugewiesen.

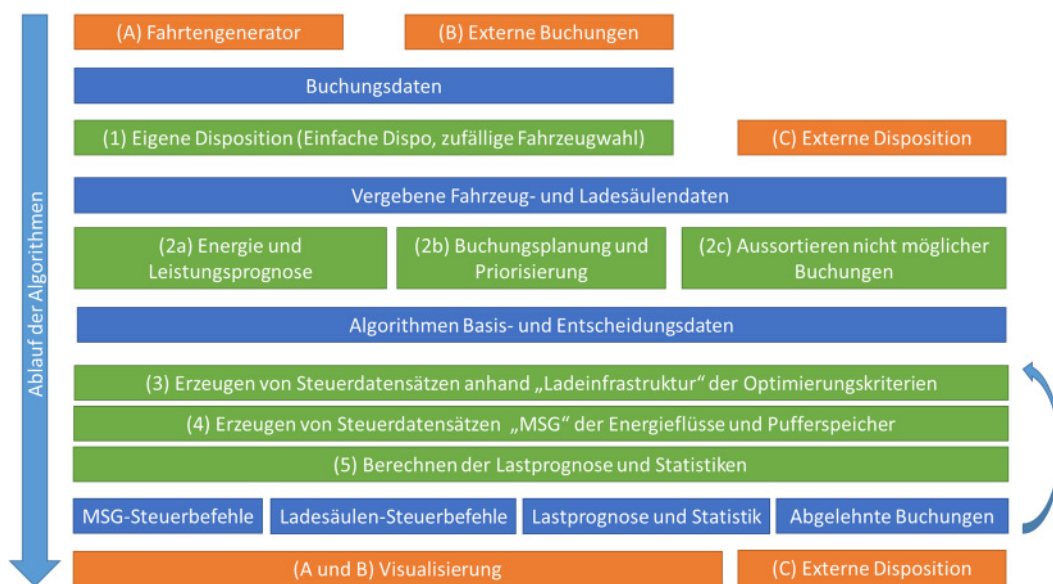


Abbildung 69:Ablauf eines bzw. mehrerer Simulationsdurchgänge

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt alle durchgeführten Schritte beim Einsatz der Algorithmen. Die verwendeten Farben kennzeichnen dabei:

- Orange: Programmierte Ein- bzw. Ausgabeschnittstellen
- Blau: Daten, die gespeichert werden

- Grün: Umgesetzte Programmelemente, Algorithmen und Simulationstools

Bei jedem Durchlauf werden die Schritte 1 bis 2 einmalig durchgeführt und dienen als Basis für die eigentliche Lade- und Lastplanung. Anschließend wird für den Vergleich jeder Algorithmus in den Schritten 3 bis 5 nacheinander gestartet.

220.3 Optimierung des Lademanagements und Entwicklungen von Betriebsstrategien

Die Optimierung des Lademanagements wird in mehreren Schritten definiert. Zuerst wird die Problematik des Anschlusses des Fahrzeuges an die Ladeinfrastruktur betrachtet. Anschließend werden die Rahmenbedingungen für die Algorithmen festgelegt. Die Algorithmen selbst werden anhand verschiedener Kriterien definiert und in verschiedenen Stufen umgesetzt.

Steckerproblematik

Aufgrund der Erfahrungen am Fraunhofer IZS und der dort vorhandenen Ladeinfrastruktur ergibt sich bei jedem Lade- und Lastmanagement die Problematik der Verkabelung und der unterstützten Stecker und Lademöglichkeiten der Fahrzeuge/Ladesäulen. Im Idealfall gibt es eine einheitliche Ladeinfrastruktur, bei der jede Ladesäule mit gleicher Leistung und Steckermöglichkeiten für jedes Fahrzeug zur Verfügung stehen. Dies ist auch der Fall für die Algorithmen im Folgenden, die aber bereits intern darauf vorbereitet wurden, weitere Parameter aufzunehmen. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** verdeutlicht die Problematik des Anschlusses des Fahrzeugs an der Ladeinfrastruktur und der für den Algorithmus im realen Umfeld zu beachtenden Parameter bei der Auswahl einer passenden Ladesäule für ein Fahrzeug:

- Ein Fahrzeug kommt gegebenenfalls mit unterschiedlichen Akkus verschiedener Generationen bzw. Kapazitäten und Batteriemanagementsystemen.
- Das Fahrzeug besitzt eine oder mehrere Anschlussmöglichkeiten.
- Im Fahrzeug befindet sich nicht zwangsweise für jede Möglichkeit ein passendes Kabel.
- Die Ladesäule unterstützt nur bestimmte Stecker und auch nicht unbedingt die notwendigen Protokolle zur Laststeuerung.
- Die Ladesäule hat eine bestimmte oder beschränkte Anschlusslast.

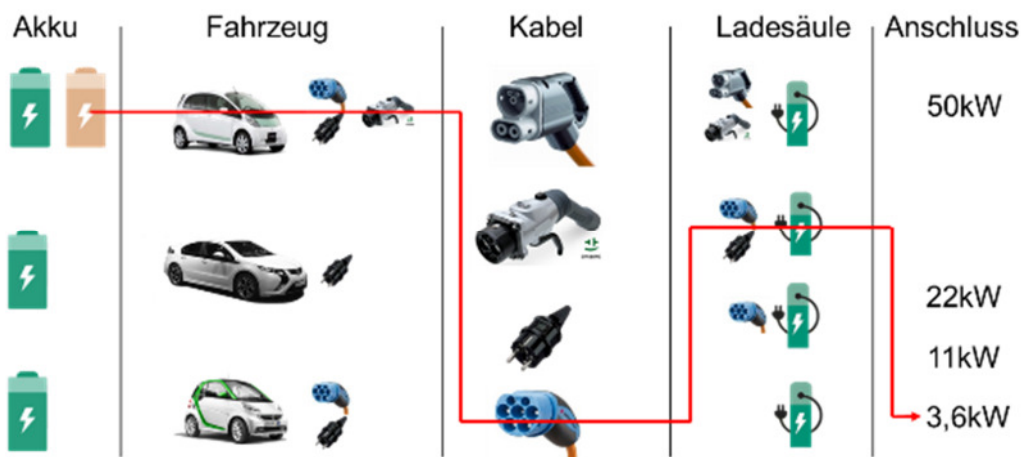


Abbildung 70:Kabel- und Steckerproblematik beim Lade- und Lastmanagement

So kann es im schlimmsten Fall vorkommen, das ein Fahrzeug mit neuer Batterie und einem 22kW-Lader im Fahrzeug an einer Ladesäule mit Typ2-Stecker steht, und die Ladesäule nur 3,6kW liefern kann.

Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen gliedern sich in drei Kategorien:

- Standort
 - Ein Standort erhält jeweils die Buchungsdaten einer Flotte
 - Standortübergreifendes Lastmanagement wird über das übergeordnete MSG-Management durchgeführt
 - Es gibt einen aufaddierten Lastgang der Groß- und Störverbraucher, die nicht steuerbar sind (Industrieanlagen, E-Fahrzeuge der Mitarbeiter)
- Ladevorgänge
 - Ladevorgänge können beliebig gestoppt und wieder gestartet werden
 - Die Ladeleistung ist fix (0kW oder 3,6kW/11kW/22kW) und innerhalb eines Simulationsdurchlaufes konstant
 - Keine Wirkungsgrade
 - Jedes Fahrzeug verfügt über eine zugeordnete Ladesäule und kann mit dieser Steuerdaten austauschen
 - Zu Simulationsbeginn: Die Fahrzeuge sind voll aufgeladen und der Pufferspeicher ist leer
- Erzeuger und Speicher
 - Solarerzeugung nach Tagesprofil, ein Pufferspeicher am Standort
 - Netzanbieter ist beliebig verfügbar, aber mit Lastobergrenze

Algorithmen

Die entwickelten Algorithmen können für jedes Zeitintervall (definiert als 15 Minuten) festlegen, welches Fahrzeug geladen wird (0 bis 3,6/11/22kW) und wie der Mix aus erneuerbaren Energien und Netzbetreiber anteilig von dem MSG-Management einzuhalten ist. Bei Bedarf und Berücksichtigung der bereits abgelehnten Buchungen kann der Algorithmus weitere Buchungen ablehnen oder auch bereits abgelehnte Buchungen wieder mit einplanen. Im Rahmen des Projekts wurden folgende Optimierungsziele festgelegt (detailliert in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**):

- Möglichst günstig laden (Nachstrom)
- Möglichst viel erneuerbare Energie nutzen (DynLa)
- Lastspitzenglättung (DynLa, Nachtstrom)
- Möglichst hohe Verfügbarkeit (alle)

Aus diesen Zielen ergeben sich die Algorithmen nach **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, zusätzlich zu den Referenzen-Algorithmen: „Ungesteuert“, „Obergrenze“ und „NurBenötigt“, die für den abschließenden Vergleich benötigt werden.

Name	Beschreibung
DynLa	Wenn möglich werden alle Ladevorgänge in den Bereich der Solarenergie verschoben, priorisiert nach Dringlichkeit bis zur Abfahrt. Dabei wird jeweils im Zeitintervall mit der höchsten Solarleistung angefangen, bis alle Zeitintervalle des Tages abgearbeitet sind. Im ersten Durchlauf werden die Anschlussleistung und der Großverbraucher noch nicht betrachtet. Danach folgt ein zweiter Durchlauf, in dem alle noch verbleibenden Ladeblöcke anhand der dynamischen Lastobergrenze verteilt werden.
Ungesteuert	Jedes Fahrzeug, das angeschlossen wird, fängt sofort an zu laden, bis es voll ist.
Obergrenze	Ladevorgänge werden nach Dringlichkeit und der Zeit bis zur nächsten Abfahrt priorisiert und auf die Zeitintervalle verteilt, sodass die Lastobergrenze unter keinen Umständen durch Großverbraucher und Ladeinfrastruktur zusammen verletzt wird. Solarenergie und Pufferspeicher werden nicht in die Planung mit einbezogen.
NurBenötigt	Jedes Fahrzeug, das angeschlossen wird, wird von der Steuerung vom Laden abgehalten. Diese fängt vor Abfahrt des Fahrzeugs an zu laden – und zwar genau so, dass der Ladezustand für die folgende Fahrt ausreicht.
Nachtstrom	Verhält sich wie DynLa: Überschüssige Solarenergie wird in den Pufferspeicher geleitet und dieser wird mit Nachtstrom zusätzlich befüllt. Tagsüber wird der Pufferspeicher dann geleert, um einen Teil der benötigten Leistung bei Spitzlasten abzudecken.

Tabelle 4: Übersicht der Algorithmen

Für jeden Algorithmus wurden Testläufe über zwei Tage hinweg durchgeführt. Später sollen sie einen Bereich von jeweils 14 Tagen im Voraus berechnen, um einerseits eine Prognose an den lokalen Netzbetreiber zu liefern, andererseits aber auch der Ladeinfrastruktur bzw. dem MSG die benötigten Steuerinformationen bereitzustellen. Dazu wurden die Algorithmen um eine zusätzliche Software erweitert, die die Prognosen und Statistiken berechnet. Ein Beispiel dazu ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt:

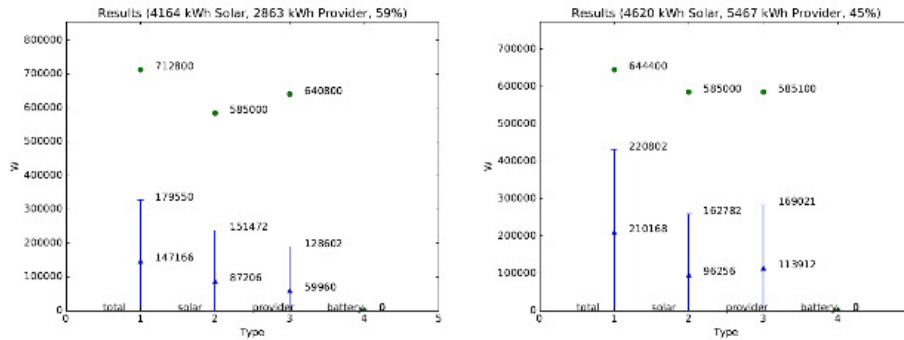


Abbildung 71: Ergebnisse zweier Algorithmen (2 Tage; links: bevorzugt Solarenergie, rechts: ohne Algorithmus)

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt jeweils den Bereitsteller der Leistung (1: Gesamt, 2: Solar, 3: Provider, 4: Pufferspeicher) mit den Durchschnittswerten (Dreieck), der Spitzlast (Kreis) sowie der Standardabweichung. Ausgenommen und hier nicht angezeigt ist der Großverbraucher, da dieser zusammen mit der Anschlussleistung die dynamische Lastobergrenze für den Algorithmus erzeugt. Der Anteil der erneuerbaren Energien ist in der Überschrift in Prozent angegeben.

Algorithmus	Provider-Limit	Solarerzeuger	Pufferspeicher	Lastverschiebung	Glättung Lastspitzen	Beschreibung
NonBalanced						Anstecken, sofort laden bis BSOC 100%
ChargeLate				X		Laden direkt vor Abfahrt (nur so viel, wie für die Fahrt benötigt wird)
Limit	X					Verhindern einer Überlast/Auslösen einer Sicherung unter Einbezug des Großverbrauchers
DynLa	X	X		X		Maximierung der Nutzung regenerativer Energie
NightBalanced	X	X	X	X	X	Möglichst günstig über Solar und Nachtstrom laden, sowie Lastspitzenglättung

Tabelle 5: Eigenschaften der Algorithmen

Lade- und Lastmanagement-Szenario für AP300

Im AP300 wurden für den Vergleich des zentralen Lade- und Lastmanagements am Industriestandort mit dem dezentralen Lade- und Lastmanagement im Haushaltsbereich ähnlich dimensionierte Szenarien gewählt. Die Anschlussleistung des Netzanbieters wurde

gleichgesetzt mit den Angaben aus AP100, der Solarerzeuger (Referenzprofil: Erzeugerkurve Frühjahr am Fraunhofer IZS, hochskaliert) wurde übernommen, und auf die Windkraft wurde verzichtet. Der Großverbraucher am Industriestandort wurde auf das G1-Profil festgelegt und dementsprechend auf das Niveau der aufsummierten Haushalte des Vergleichsszenarios gehoben. Ein wesentlicher Unterschied ist das vorrangige Auftreten kurzer Fahrten mit zwischen ein und drei Stunden Aufenthalt am Zielort. Dazu wurden drei darauf angepasste Algorithmen verwendet und die Ergebnisse dementsprechend an das AP300 weitergegeben:

- (SofLa) Sofortiges Laden (Einstecken und Laden)
- (NurBe) Laden vor Fahrtantritt und nur so viel, wie für die Fahrt benötigt wird (Verschieben)
- (DynLa) Dynamisches Lastmanagement und Lastgrenze gegenüber dem Netzbetreiber (inkl. Großverbraucher, Verschieben/Leistungsvariation)

Ergebnisanalyse der Algorithmen

Algorithmen IAO

Die Ergebnisse für die Algorithmen teilen sich in drei Kategorien: Die mögliche Anzahl von Buchungen, der Deckungsanteil mit Solarenergie sowie die Lastspitzenvermeidung. Bei der Anzahl der Buchungen wurde der Algorithmus „DynLa“ mit den unterschiedlichen Leistungsstufen 3,6/11/22kW als Grundlage genutzt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

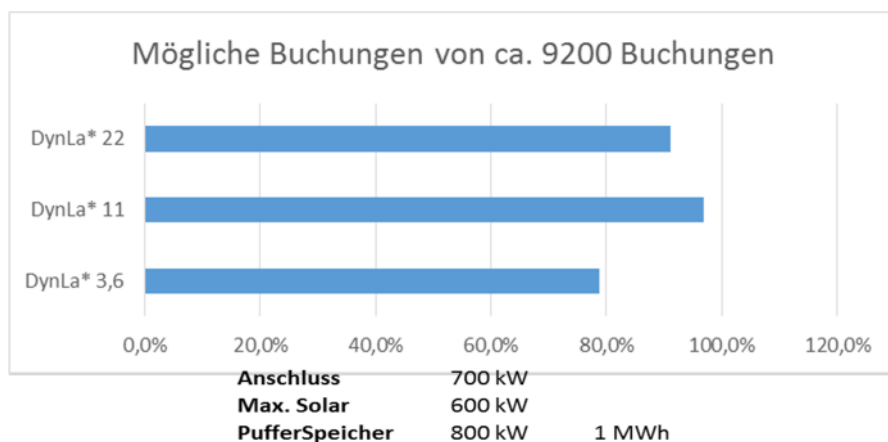


Abbildung 72: Anzahl der möglichen Buchungen in Abhängigkeit der Ladeleistung

Dabei fällt auf, dass die meisten Buchungen bei 11kW Ladeleistung möglich sind. Das hat in diesem Fall zwei Ursachen. Bei 22kW ist die Ladeleistung so hoch, dass die Ladezeiträume und Fahrzeugbuchungen zu eng verplant werden. Dies führt zu einem sehr engen Spielraum für das Lade- und Lastmanagement – es muss Buchungen zur Einhaltung der Lastobergrenze ablehnen. Bei 3,6kW hingegen ist seltener die Lastspitzenvermeidung ein Problem, sondern vor allem die lange Standzeit beim Laden und die fehlende Möglichkeit, Ladungen zu verschieben. Durch die hauptsächlich tagsüber genutzte Flotte, mit kurzem Aufenthalt am Zielort, lassen sich bei 3,6kW Ladeleistung nur nachts die Ladezeiten effektiv verschieben.

Erneuerbare Energien

Ein weiteres Ziel der Algorithmen ist eine möglichst effektive Nutzung von Solarenergie im Rahmen des Ladens der Flotte (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Hier schneiden die beiden Algorithmen „DynLa“ und „NightBalanced“ mit fast anteilig 70% für das Flottenverhalten am besten ab.

„NightBalanced“ nutzt zwar auch einen Pufferspeicher zum Speichern der Solarenergie, jedoch ist der Anteil in diesem Szenario zu gering und es müsste eine größere Solaranlage genutzt werden, um den Deckungsanteil zu erhöhen. Bei „NonBalanced“ – also ohne Lastmanagement – ist der Anteil höher als beim verzögerten Laden oder bei der Verschiebung von Ladezeiten („ChargeLate“, „Limit“), was wiederum mit dem Flottenverhalten einhergeht. Die Fahrzeuge kommen in dem Zeitraum zurück, in dem noch Solarenergie zur Verfügung steht. Daher ist der Anteil beim „NonBalanced“ höher.

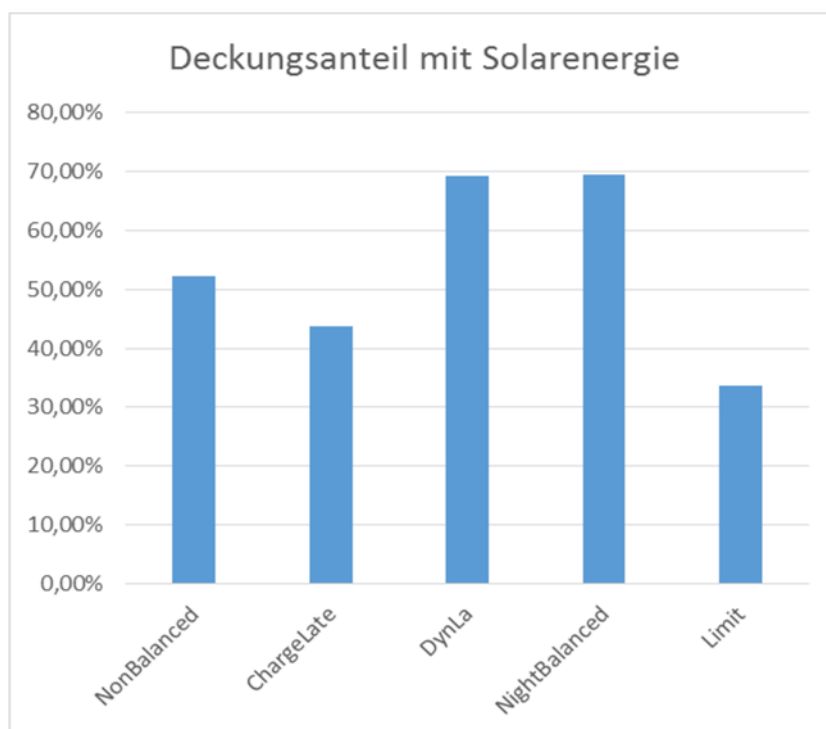


Abbildung 73: Deckungsanteile mit Solarenergie der Algorithmen

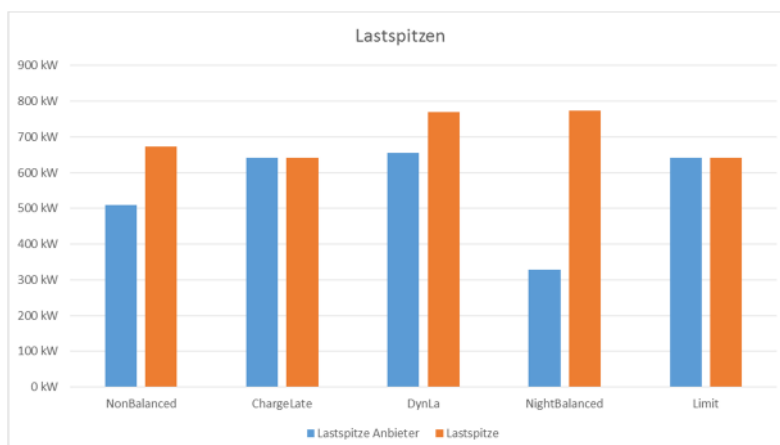


Abbildung 74: Ergebnisse der Lastspitzenvermeidung

Lastspitzenvermeidung

Bei der Betrachtung der Lastspitzen wird in zwei Lastspitzen unterschieden: Der Lastspitze gegenüber dem Strom-Anbieter und der Lastspitze im internen Netz (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, ohne Einbezug des Großverbrauchers). In dieser Betrachtung und den Algorithmen geht es vorrangig um das Vermeiden einer Lastspitze nach extern (gegenüber dem Anbieter). Durch „DynLa“ konnte dieser die Lastspitze soweit verringern, dass sie nicht mehr über die Grenze des Netzanbieters (700kW) geht und die Differenz zur internen Lastspitze mit Solarenergie ausgeglichen werden kann. Bei „NightBalanced“ wird der Pufferspeicher sowohl mit Solarenergie, als auch über den Netzanbieter geladen. Dadurch steht den Tag über so viel Energie zur Verfügung, dass die Lastspitze drastisch gesenkt werden kann. Bei „NonBalanced“ ist die Lastspitze nicht so hoch wie bei den anderen intelligenten Algorithmen. Allerdings bezieht dieser auch das Laden während des aktiven Großverbrauchers mit ein. Im schlimmsten Fall führt dies dazu, dass der Großverbraucher ebenfalls aktiv ist und es zu einer Verletzung der Obergrenze kommt. „DynLa“ und „NightBalanced“ erzeugen die dargestellten Spitzen nur in Zeiträumen, wenn der Großverbraucher nicht aktiv ist. Ebenfalls zu beachten ist bei „NightBalanced“, dass die Lastspitze des Großverbrauchers nicht mit einbezogen ist. So schafft es der Algorithmus, ca. 320kW Spitzlast zu halten, und bleibt damit unter der Lastspitze des Großverbrauchers mit 500kW.

Ametras

Um die Algorithmen mit realen Daten zu testen, wurde eine Schnittstelle zu AMS (Buchungssystem von Ametras) entwickelt. Diese ist dafür zuständig, die Buchungen von AMS über Pfad B (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) oder Pfad C (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) zu übernehmen. Anschließend wurden diese mit und ohne Lastmanagement durchgerechnet. Abschließend meldet der Algorithmus die abgelehnten Buchungen und Fahrten wieder zurück an AMS. Über Verschiebungen der Ladevorgänge in den von Ametras erhaltenen realen Daten von 4 Fahrzeugen im Mieteinsatz konnte hier die Nutzung regenerativer Energien von 45% auf 93% angehoben sowie die Spitzlast gegenüber dem Netzanbieter von 6kW auf 3kW gesenkt werden.

Zusammenfassung

Während die Algorithmen es schaffen, bestimmte Lastgrenzen einzuhalten und somit zu einem besseren Management der Energieflüsse zu führen, gibt es vier große Einflussfaktoren, die sich während des Arbeitspaketes aufzeigen:

1. Die Dimensionierung des MSG und der Anschlusslast
2. Das Flottenverhalten
3. Die Ladeinfrastruktur
4. Die verwendeten Algorithmen

Bei einer Anpassung der Komponenten 1 bis 3 müssen auch die Algorithmen angepasst werden. So können einzelne Ausreißer im Flottenverhalten noch ausgeglichen werden –

wenn sich jedoch das Flottenverhalten insgesamt ändert, sind gegebenenfalls ein neuer Algorithmus und Anpassungen des MSG notwendig, um eine möglichst gute Auslastung und den Deckungsanteil zu erhalten. Bei ähnlichen Szenarien wie z.B. dem Szenario des IAO und den realen Fahrdaten von Ametras ließ sich derselbe Algorithmus einsetzen und führte selbst ohne Pufferspeicher zu besseren Ergebnissen. Daher müssen für andere Flotten jeweils wieder alle Algorithmen berechnet werden, um einen idealen Algorithmus für die Flotte und das MSG zu finden.

3.5. AP 230 – Umfeldanalyse IT

Einführung: Schnittstelle IT, Smart Grids und Mobility

IKT ist eine Schlüsseltechnologie in den Smart-Grid- und Smart-Mobility-Anwendungen, welche als Bindeglied für die Informationsübermittlung und Weiterverarbeitung zwischen verschiedenen Smart-Grid-Komponenten dient. Insgesamt können diverse Herausforderungen in der Anbindung der Datenquellen, der Datenverarbeitungsdienste und der Agenten identifiziert werden:

- Komplexität der Vernetzung
- Sicherheit der Systeme
- Einhaltung der Datenschutzbestimmungen und Datenminimierung
- Einbindung in die dahinterliegenden Backend-Systeme (z.B. Meter Data Management) und deren Betriebsführung

Die Bedeutung im IMEI-Kontext

Die breite Einführung der Elektromobilität eröffnet große Potentiale zur Energieeffizienzsteigerung und CO₂-Einsparung im Verkehrssektor. Für das elektrische Energiesystem bieten Elektrofahrzeuge einerseits die Chance, als flexible Verbraucher bzw. als Speicher genutzt zu werden. Andererseits kann die gleichzeitige Ladung vieler Elektrofahrzeuge – beispielsweise bei reiner Orientierung an den Preissignalen des Großhandelsmarktes – zu einer örtlichen Überlastung der Stromnetze führen.

Es wird erwartet, dass sich bei den Fahrzeugen der Zukunft die Elektrofahrzeuge, die Steuerung des Energienetzes bzw. der Energieerzeugungsinfrastruktur und die Abrechnungsdatenverwaltung untereinander abstimmen und sich gegenseitig bei der Optimierung unterstützen werden. Diese Kombination bzw. Zusammenarbeit verspricht neuartige Anwendungen, wie z. B. den Abgleich des Energiebedarfs mit der Energieverfügbarkeit und die entsprechende Steuerung der Teilsysteme. Diese Art von Smart-Grid-Lösungen könnte auch mit intelligenten Flottenmanagementansätzen kombiniert werden, womit die Flottenbetreiber als potentielle Akteure im Smart Grid ihre Mobilitätsbedarfe ökonomisch hocheffizient und umweltfreundlich abdecken können.

Für diese Anwendungen müssen verschiedenste Daten und Informationen flächendeckend erfasst und über Systemgrenzen hinaus verteilt werden. Dabei gibt es diverse Herausforderungen: Jede Anwendung hat unterschiedliche technische Anforderungen (z. B. Datenmenge, Echtzeit-Fähigkeit, Datensicherheit, Verfügbarkeit und Redundanz, etc.), was sich ganz wesentlich auch auf die technische Ausprägung und somit auf die Kosten der zu errichtenden IKT-Infrastruktur auswirkt.

In diesem Anwendungsgebiet werden daher Lösungen gesucht, um eine intelligente Vernetzung zwischen E-Fahrzeugflotten, Smart-Grid-Systemen und dezentraler Energieerzeugung herzustellen. Dabei stehen Lade- und IKT-Infrastruktur, Anwenderschnittstellen und Smart Grids im Fokus.

Ausgewählte Projekte zum Themenkomplex

Nach eingehender Recherche zu Forschungsprojekten, welche sich der IKT der Integration von Erneuerbaren Energien und E-Mobilität widmen, wird in diesem Kapitel eine Auswahl an Projekten gelistet, die für die bestehende Projektlandschaft exemplarisch ist.

Zur Recherche und Auswertung des Bezuges der bestehenden Projekte auf moderne IKT als Rückgrat eines modernen Energiesystems kann allgemein gesagt werden:

- Entwickelte Systeme zur vernetzten Kommunikation von E-Autos mit dem Energienetz beschränken sich fast ausschließlich auf die Charakteristika eingebetteter Systeme, sodass die in den Projekten entwickelten Lösungen schnell an Grenzen der für die Zielstellung des Projektes IMEI notwendigen Skalierbarkeit stoßen.
- Der Verweis auf die technische Machbarkeit holistischer Systeme, welche die moderne IKT
z. B. durch Cyber-Physische-Systeme zur Integration von Industrien zum Erreichen domänenübergreifender Zielstellungen anbietet, ist nur in minimalem Maß vorhanden.
- Auffallend ist die Kleinteiligkeit der untersuchten Projekte: Es bestehen viele Insellösungen, die im Rahmen ihres Anwendungskontextes wertvolle Ergebnisse präsentieren können. In diesem Rahmen entstehen aber auch einige redundante Ergebnisse, was auf mangelnde Koordination der Forschungsaktivitäten im Sinne der übergeordneten Ziele hinweist.
- Außerdem bestehen zahlreiche Kooperationen zwischen öffentlichen und privaten Akteuren, was die Verfügbarkeit der Ergebnisse als Open-Source-Dokumente ausschließt.

Die folgenden Projekte sollen diese Ergebnisse reflektieren und deutlich machen, dass das Innovationspotential moderner IKT in Schlüsselindustrien für die Zielsetzung der Integration von Erneuerbaren Energien im Mobilitätsbereich noch nicht ausgeschöpft wird. Deshalb wird im AP520 die Entwicklung eines Cyber-Physischen-Systems zur weiteren Forschung an diesem Thema eingeführt.

In Deutschland

Future Internet Smart Utility Services (FINESCE)⁸

Das FINESCE Projekt testet innovative Internetapplikationen und Services im Energiebereich. Der Fokus des Projektes ist es, zu testen und zu demonstrieren, wie die Prozesse der Entwicklung, des Tests und der Einbindung von Smart Energy Anwendungen und Dienstleistungen durch die Verwendung von generischen Future Internet Komponenten beschleunigt und auf kosteneffektive Weise ausgeführt werden können. Die grundlegende Technologie liefert dabei das FIWARE Projekt mit Standard Softwarekomponenten,

⁸ Weitere Informationen unter <http://www.finesce.eu/>

sogenannte Generic Enablers, die die schnelle und kosteneffiziente Entwicklung von neuen Applikationen ermöglichen sollen.

In Finesce wird auf Grundlage von App-basierten IT-Lösungen ein Smart-Grid simuliert, das die kommunikative Vernetzung von Stromerzeugern, Speichern und Verbrauchern im Energiesektor ermöglicht. Die Produktion in der Demonstrationsfabrik nimmt in diesem Zusammenhang die Rolle eines intelligenten Verbrauchers ein. Hierzu wird der Stromverbrauch der Maschinen und Anlagen der Demonstrationsfabrik mit Smart-Metern gemessen, die erfassten Daten in einer BigData-Plattform analysiert und somit der spezifische Energieverbrauch dem Auftragsprogramm gegenübergestellt.

Demofabrik an der RWTH Aachen⁹

Der Fokus der smarten Demofabrik in Aachen ist es, den Ansatz eines Energiemanagements für Energieüberwachung und Nachfrageflexibilität zu demonstrieren und die entsprechenden Chancen zu nutzen. Dabei wird der gegenseitige Einfluss der Energienachfrage der Produktion und des Energieverbrauchs. Dieses Produktionswerk ist eine Demofabrik, welche Komponente für das Elektrofahrzeug StreetScooter herstellt. Das Produktionsumfeld steht insofern für Forschungszwecke zur Verfügung und stellt intelligente Informationssysteme (SAP ECC 6.0), Sensornetzwerke und Data-Kommunikation bereit. Weitere Informationen sind auf der Projektwebseite erhältlich.

Die IT-Infrastruktur der Fabrik besteht aus drei wesentlichen Domains. In der Werkstatt, wo die Datenerfassung erfolgt, die Maschinen, Anlagen und Energiemonitoringsysteme werden über ein LAN-Netzwerk basiert auf Modbus und PROFINET mit dem Lokalserver (Dell PowerEdge M620 Blade Server) vernetzt, wo GE Gateway Data Handling und GE Gateway Device Management installiert sind.

Dabei werden folgende "Generic Enablers (GE)" eingesetzt:

- Gateway Data Handling GE - durch [GEi Esper4-FastData](#) - für die Erfassung der Produktionsinformationen von Maschinen und Anlagen und integriert in den Datenerfassungslayer.
- Complex Event Processing GE - durch [GEi Proactive Technology Online](#), Cloud-Infrastruktur für die Sammlung und Analyse der Echtzeitereignisse.
- Publish/Subscribe Broker GE - durch [Orion Context Broker GEi](#), welche die erfasste Ereignisse von der CEP Engine (Complex Event Processing) zu Verbrauchersystemen, Unterstützung durch eine Cloud-Infrastruktur.
- Application Mashup GE - durch WireCloud GEi für Datenauswertungen, Unterstützung durch eine Cloud-Infrastruktur.

Folgende Domain Specific enablers (DSE) werden ebenso eingesetzt:

- DSE Modbus Connector integriert Fabrikinfrastruktur mit GE Gateway Data Handling
- DSE Local Storage ermöglicht Lokalspeicherung als Back-UP für die Daten, die zur Cloud-Infrastruktur ermittelt werden.

⁹ Weitere Informationen unter: http://www.finesce.eu/Trial_Site_Aachen.html

Demand Response – das Auto als aktiver Speicher und virtuelles Kraftwerk¹⁰

Unter der Projektleitung von enercity wurden 40 Elektrofahrzeuge in einem Feldversuch eingesetzt, der die Auswirkungen von unterschiedlichen Ladevorgaben auf Erzeugungs- und Verbrauchsmuster und auf den Netzbetrieb untersuchte. Dazu wurde eine CarConnectBox entwickelt, welche als eingebettetes System das Lademanagement der Autos steuert, optimiert und gleichzeitig für die Datenaufzeichnung verantwortlich ist. Mittels dieser Technologie konnten die E-Autos als virtuelles Kraftwerk vernetzt werden und unter Simulation in den Regelenergiemarkt eingebunden werden. Wobei Nutzerverhalten und resultierende Anforderungen an die Nutzung von E-Autos als flexible Lasten reale Ergebnisse waren, wurden die Auswirkungen von Nachfragemechanismen auf den Netzbetrieb nur exemplarisch erhoben. Die Laufzeit des Projektes endete im Dezember 2015, ein Abschlussbericht ist für Mitte 2016 geplant.

Das Projekt Demand Response liefert wertvolle Beiträge zur Erforschung der Nutzerakzeptanz von Nachfragemechanismen in der Nutzung von E-Autos und demonstriert die grundlegende Möglichkeit, diese in den Regelenergiemarkt einzubinden. Die eingesetzte CarConnectBox als Technologie kann aufgrund ihrer Vernetzung von unterschiedlichen Objekten und Akteuren als wichtige Vorstufe eines CPS angesehen werden. Um die Definition eines CPS jedoch zu erfüllen, müsste das System bspw. über internet-basierte Dienste eine Skalierbarkeit erlangen, die beliebig viele Nutzer, Dienste und Datenströme von lokal und fachlich unterschiedlichen Quellen integrieren kann, sodass sich Kooperationen ergeben, die domänenübergreifende Mehrwerte zur Verfügung stellen.

Tanken im Smart Grid

Unter Projektleitung der TU Claustal wird das Potential von E-Autos für die Erbringung von Systemdienstleistungen erforscht, wobei eine Prosumerzelle nach netzdienlichen Parametern optimiert werden soll. Dazu wird erforscht, wie E-Autos mit dem Netz verbunden werden können, sodass Daten erfasst werden können, die dem Nutzer als Entscheidungsgrundlage für das Lademanagement seines E-Autos als flexible Last dienen. Eine „Quality Map“ dient als zentrale Kommunikationsplattform relevanter Daten und Akteure, die bei Netzkopplung des Fahrzeuges die Situation des lokalen Netzes erfasst und Ausgleichspotentiale in Form von Momentanreserve und Regelleistung zur Systemstabilisierung angezeigt. Somit entstehen relevante Daten für sowohl den Nutzer, als auch für den lokalen Netzbetreiber.

Weiterführende Informationen über die zugrundeliegende IKT wurden angefragt, blieben aber unbeantwortet, weshalb nicht eindeutig festgestellt werden kann, in wie weit die „Quality Map“ als integrierende Plattform im Projekt Tanken im Smart Grid den Kriterien eines CPS erfüllt.

Geschäftsmodelle und IKT-basierte Dienstleistungen¹¹

¹⁰ Weitere Informationen unter: <http://www.enercity-contracting.de/alternative-antriebe/elektromobilitaet/projekte/demand-response.html>

¹¹ Weitere Informationen unter: https://www.fzi.de/fileadmin/user_upload/Forschung/Mobility/2014-06-25_Abschlussbericht_Projektuebergreifende_Forschung_FZI_IAO.pdf

Im Projekt Geschäftsmodelle und IKT-basierte Dienstleistungen analysierte das FZI zusammen mit dem Fraunhofer Institut, welche Wertschöpfungsstrukturen und Anreizsysteme marktbasiert für die Integration von Erneuerbaren Energien und E-Mobilität bestehen und welche Bedeutung Lastverschiebepotential damit für Geschäftsmodelle der Elektromobilität bietet. Außerdem bestand ein Fokus auf den Beitrag, den IKT-basierte Dienstleistungen zur Ladesteuerung liefern könnten. Beim letzten Punkt wurde auf die Kommunikation der Rollen in der Energiewirtschaft für die Abrechnung von Ladeleistung und deren Organisation eingegangen, wobei die Nutzung von Cyber-Physischen-Systemen nicht explizit genannt wird. Die im Abschlusspapier angesprochenen Punkte sind aber wertvolle Beiträge zur Klärung des Datenmanagement über ein CPS und dessen rechtlichen und technischen Anforderungen. Diese beziehen sich in einer deutlichen Darstellung auf die DIS ISO/IEC 15118-2 als derzeit passendste Grundlage zum Aufbau einer dem Lademanagement zugrundeliegenden IKT, weshalb die vorliegende Studie diesen Punkt im AP 520 aufnimmt.

DELTA

Zum 1. Januar 2016 ist die Forschungsgruppe DELTA gestartet, die sich mit Datensicherheit, Datenintegrität und Eichrecht in der E-Mobilität auseinandersetzt. Konsortialführer ist die RWE und das Projekt ist auf 3 Jahre angelegt. Informationen sind nicht zugänglich, wobei zu erwarten ist, dass Forschungsergebnisse in diesem Bereich einen erheblichen Klärungsbeitrag zum Thema Datensicherheit und Datenkonformität und damit den Voraussetzungen eines CPS liefern könnte.

Well2Wheel¹²

Seit 2013 untersuchen Vertreter aus Wirtschaft und Forschung unter der Führung von Continental im Projekt Well2Wheel wie Elektromobilität Ausgleichsenergie im Verteilnetz zur Verfügung stellen kann. Elektromobilität soll als aktive Komponente ins Verteilnetz des Netzgebietes der ENTEGA eingebunden werden, wobei verschiedene Akteure an deren Steuerung beteiligt werden sollen. Im Vordergrund steht die zuverlässige und wirtschaftliche Bereitstellung von Energie im Verteilernetz.

Informationen über die Details des Projektes, insbesondere über die informations- und kommunikationstechnische Umsetzung, sind nicht bekannt, was auf die starke Vertretung von privaten Akteuren und damit Interessen im Projekt zurückzuführen sein könnte.

CPS Hub NRW¹³

Im CPS Hub NRW haben sich regionale Universitäten zusammengeschlossen, um die zahlreichen Beiträge zu erforschen, die Cyber-Physische Systeme zu Lösungen von unterschiedlichsten Herausforderungen beisteuern zu können. Diese Herausforderungen sind geclustert in Fachgruppen, zu denen auch die Gruppe IKT und Energienetze gehört: „Um Smart Grids zu realisieren und die Herausforderungen der Energiewende zu bewältigen, brauchen wir Cyber Physical Systems für die Energieversorgung, die die speziellen Bedarfe und Anforderungen von Energienetzen in Hinsicht auf Sicherheit, Planung und Betrieb berücksichtigen. Wir bündeln das Expertenwissen von Energie- und IKT-Fachleuten, so dass passgenaue Lösungen entwickelt werden.“ Ergebnisse werden regelmäßig als öffentlich

¹² Weitere Informationen unter: <http://www.well2wheel.de/>

¹³ Weitere Informationen unter: <http://www.cps-hub-nrw.de/>

zugängliche Paper veröffentlicht, welche als sehr wichtige Grundlage für weitere Forschungsarbeiten und Demonstrationsprojekte im Bereich Cyber-Physische-Systeme zur Integration von Erneuerbaren Energien und E-Mobilität gelten.

AutoMat (Automotive Big Data Marketplace for innovate cross-vehicle Services)¹⁴

Die Akteure im Projekt AutoMat arbeiten daran die zunehmende Menge an von Fahrzeugen produzierten Daten in einer Form verfügbar zu machen, dass sie zur Entwicklung von industrieübergreifenden Geschäftskonzepten nutzbar gemacht werden können. Am Beispiel der Smartphone-Industrie soll ein open-source Ökosystem für interdisziplinäre Anwender im Bereich Vehicle Big Data entstehen, sodass derzeit ungenutzte Informationen aus vernetzten Fahrzeugen wertschöpfend genutzt werden können. Dazu ist eine offene, markenunabhängige Kollaboration der Hersteller notwendig, welche allerdings heute noch nicht gewünscht ist. Derzeit versuchen Hersteller markenspezifisch und mit proprietären Lösungen Geschäftskonzepte durch Vehicle Big Data zu realisieren, welche allerdings nur zu fragmentierten und damit sehr komplexen Angeboten für Endnutzer führt und damit das Potential offener Wertschöpfungsketten nicht heben können. Automat möchte eine offene Zusammenarbeit durch die Schaffung einer Plattform ermöglichen, welche ausgewählte Daten anonymisiert zur Verfügung stellt, um für B2B oder B2C Geschäftsideen korreliert werden zu können.

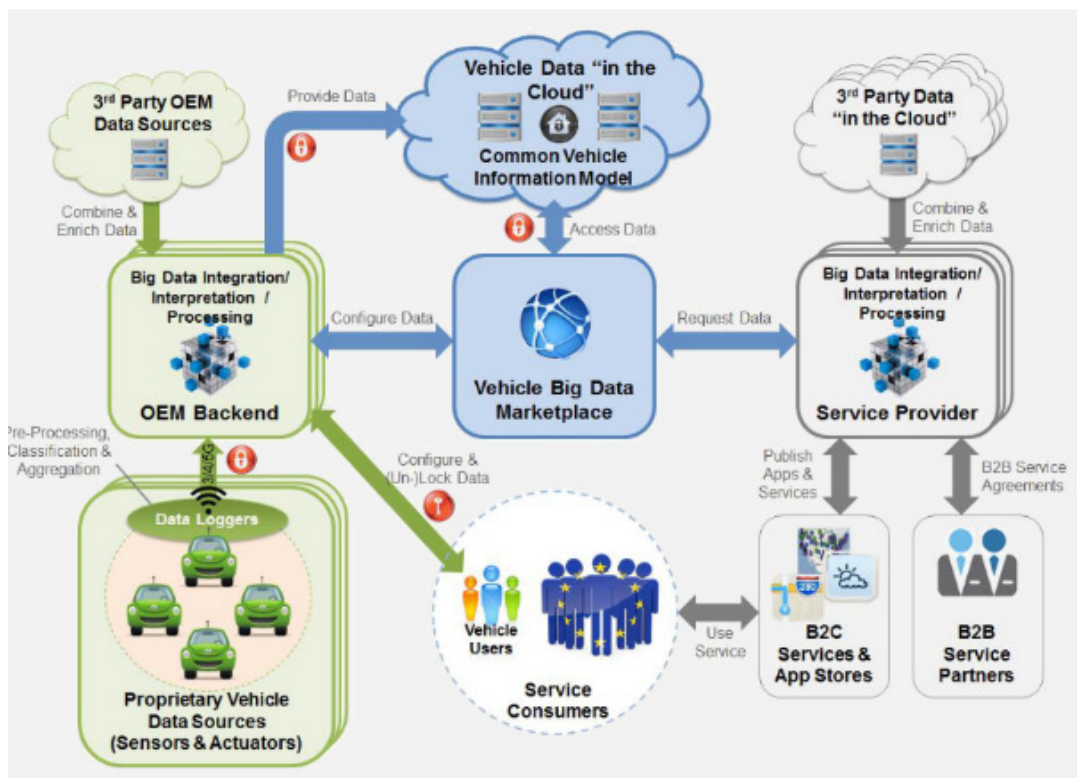


Abbildung 75: Vision von AtoMat. Quelle: <http://www.automat-project.eu/content/objectives>

¹⁴ Weitere Informationen unter: <http://www.automat-project.eu/>

Innerhalb Europas

Vehicle2Grid¹⁵

Das EU-weite Forschungsprojekt Vehicle2Grid unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts hat das Ziel, europaweite Akteure im Bereich E-Mobility, Erneuerbare Energien und Netzmanagement zusammenzubringen, um an eingebetteten Kontrolltechnologien zu forschen, die der netzdienlichen Integration von E-Mobilität und Erneuerbaren Energien dienen. Die Internetpräsenz des Projektes lässt auf einen Fokus der wissenschaftlichen Arbeit auf Nachfragesteuerungsmechanismen, kontrolliertes Lademanagement und Infrastrukturplanung schließen.

Weiterführende Informationsanfragen über IKT-Themen wurden gesendet, blieben bisher aber unbeantwortet. Insofern kann nicht beurteilt werden, inwieweit die erforschten Technologien die begrenzten Möglichkeiten vernetzter eingebetteter Systeme zur skalierbaren Integration von Mobilität und Energie aufweisen.

Projekt Beams¹⁶

Projektpartner: ETRA Research and Development, S.A. (ETRA), Thales Italia SPA (THALIT), Barcelona Digital Technology Centre, Institute of Communication and Computer Systems (ICCS)

Das im Zuge von BEAMS Projekt entwickelte und im Feldversuch bereits erprobte Energiemanagementsystem ist dafür eingesetzt, Photovoltaikanlagen, Heizungen, Klimageräte, Beleuchtung und Elektrofahrzeuge, auch welche mit unterschiedlichen Kommunikationstechnologien und von unterschiedlichen Herstellern zu verbinden, benutzerdefiniert zu überwachen und zu steuern. Somit werden die Daten der verschiedenen Subsysteme gebündelt, die unterschiedlichen Kommunikationsprotokolle unabhängig von Hersteller und Technologie in eine gemeinsame Sprache übersetzt und gezielt spezielle Überwachungs- und Steuerungsfunktionen unterstützt.

Das System steht auf zwei Säulen. Die von ETRA (Unternehmensgruppe Electronic Traffic S.A.) entwickelte Software "FAME" (Facility Advanced Management System) bildet die technologische Grundlage für die Steuerungszentrale der Liegenschaften. So genannte Interoperabilitäts-Gateways, die auf dem quelloffenen IWES-Energiemanagement-Betriebssystem "OGEMA" (Open Gateway Energy Management Alliance) basieren, verbinden diese Leitwarte mit den unterschiedlichen Subsystemen. Das Gateway erfasst die Daten einzelner Subsysteme, zum Beispiel die aktuell eingespeiste Leistung einer Photovoltaik-Anlage, übersetzt sie in eine einheitliche Sprache und gibt sie an die Steuerungssoftware FAME weiter. FAME wiederum bietet verschiedene Bedienoberflächen zur Auswertung der Daten und zur Systemsteuerung und versorgt OGEMA mit Informationen, wie die einzelnen Geräte zu schalten sind, etwa wann die Heizung laufen oder in welchen Intervallen das Licht an- und ausgehen soll.

Darüber hinaus erkennt und meldet das System automatisch Abweichungen, zum Beispiel ungewöhnlich hohe Energieverbräuche. Durch unterschiedliche Module, beispielsweise zur

¹⁵ Weitere Informationen unter: <http://www.smartv2g.eu/>

¹⁶ Weitere Informationen unter: <http://www.energiesystemtechnik.iwes.fraunhofer.de/de/projekte/suche/2014/beams.html>

Prognose von PV-Leistungen oder dem Management von Elektrofahrzeugen ist es zudem in der Lage, die vor Ort erzeugte Energie auf der Basis variabler Stromtarife optimal zu nutzen und damit die Energiekosten zu senken. Grafiken unterstützen den Nutzer zusätzlich bei der Erreichung seiner Energiesparziele. "Entscheidend ist, dass wir ein offenes System geschaffen haben", hebt Ringelstein hervor. So können - wie bei einem Smartphone - abhängig von den Überwachungs- und Steuerungsfunktionen, die Facility-Manager nachfragen, Apps individuell entwickelt und installiert werden.

Der Prototyp des neuen Energiemanagementsystems wurde bereits erfolgreich im Feld getestet, unter anderem auf dem Campus der Universität von Salento. Hier wurden drei Gebäude mit jeweils einem Gateway zur Aufnahme der Messdaten ausgestattet. Sensoren in den Büros maßen die Temperatur und meldeten, ob die Fenster geschlossen waren oder nicht und ob Personen im Raum waren. Die Experten steuerten in einem der Gebäude über die FAME-Plattform gezielt die Beleuchtung sowie die Klima- und Heizanlage. Eine über mehrere Standorte verteilte PV-Anlage mit einer installierten Leistung von drei Megawatt wurde eingebunden.

Im Bereich Elektromobilität wurden die Voraussetzungen für eine bidirektionale Kommunikation zwischen Netz und E-Auto (V2G) geschaffen, jedoch nicht weiter ausgeführt. Drei Elektroladestationen erhoben stündlich Daten über die Ladevorgänge, welche als wertvolle Grundlage für die Nachfrageprognose von Elektromobilität genutzt werden können. Netzdienliches Lademanagement von E-Fahrzeugen war keine Priorität des Projektes, weshalb die entwickelten Algorithmen zur Optimierung des Ladeprozesses nur sehr eingeschränkt angewandt wurden: die Interaktion des Ladevorgangs mit der Netzsituation bei limitiertem Angebot von Elektrizität wurde lediglich theoretisch getestet. Dazu wurde aber eine Nutzerschnittstelle entwickelt, welche grundlegende Parameter über Batteriezustand und verbleibende Ladezeit angezeigt wurde.

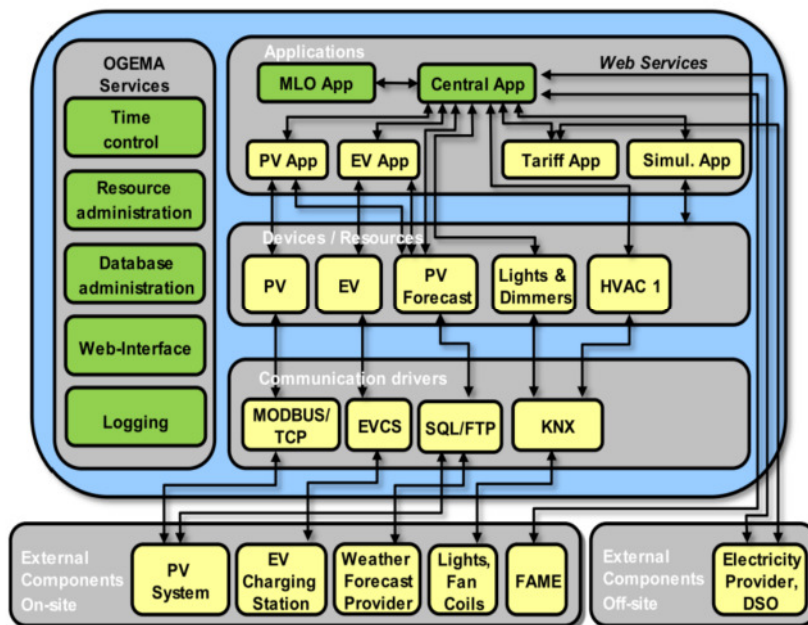


Abbildung 76:OGEMA-Framework Project BEAMS. Quelle: Abschlussbericht Project BEAMS.

Nachfragevorhersagen wurden 24h vorher getroffen, wobei zwischen zwei Szenarien unterschieden wurde: private E-Autos und E-Autos, die im Rahmen des Facility Managements zum Einsatz kamen.

Die Spanische Softwarefirma BDIGITAL entwickelte den Algorithmus zur Vorhersage und damit Optimierung von Nachfrage, welcher nun als Patent angemeldet ist. Die Funktionen der Elektromobilität wurde in die allgemeine Systemarchitektur OGEMA integriert. OGEMA ist eine der technischen Herzstücke von BEAMS und stellt die Schnittstelle zwischen den Subsystemen des Gebäudemanagements und der Umwelt dessen namens Facility Advanced Management Environment (FAME). OGEMA übersetzt einerseits die Protokolle ausgehend von den zahlreichen Subsystemen und ermöglicht damit die konsolidierte Kontrolle und Überwachung durch FAME und übernimmt andererseits die örtliche Überwachung von Subsystemen laut auf Gateway-Leven erhältlicher Informationen und Anforderungen bzw. Einschränkungen, die durch FAME gesetzt werden.

Rockstart: Smart Energy Programm

Rockstart ist ein Förderprogramm für Startups mit digitalen Geschäftsmodellen. Eine der geförderten Kategorien ist „Smart Energy“ und unterstützt Gründer bei der wirtschaftlich sinnvollen Kombination von IT und Energie. Rockstart unterstützt zukunftsfähige Ideen mit u.a. finanziellen Mitteln, gewährt Zugang zu einem breiten Netzwerk an fachlichen Experten und validiert die angenommenen Geschäftsideen. Das Smart Energy Programm ist an alle Ideenträger gerichtet, die IT nutzen, um den Übergang zu einer nachhaltigeren Energieinfrastruktur zu beschleunigen. Mit dem Begriff „Internet of Energy Things“ fassen sie Themen zusammen, die eine zukunftsfähige Energiestruktur beschreiben: Konnektivität von Maschinen, intelligente Daten angewandt in Software und Apps, Sharing-Plattformen zur Optimalen Ausnutzung des Netzes, von Geräten und Energieinstallationen.

Das Smart Energy Programm wird von Experten im Bereich Softwareentwicklung in der nachhaltigen Energieplanung und Cleantech geleitet. Die Entwicklung der beteiligten Startups sollte von anderen Forschungsvorhaben beobachtet werden, da die Bedingungen von Rockstart vielversprechende Demonstrationen der Anwendung von IT zur Lösung energiewirtschaftlicher Herausforderungen. Sympower als ein für den IMEI-Kontext relevantes Startup wird im nächsten Abschnitt kurz vorgestellt.

Sympower

Sympower ist ein holländisches Startup, welches verspricht Elektrizität von Haushalten so zu steuern, dass smarte Geräte zum Ausgleich von Lastspitzen netzdienlich eingesetzt werden können. Dabei profitieren Netzbetreiber durch die Verfügbarkeit von Ausgleichspotentialen durch das gezielte an- und abschalten smarterer Endgeräte im Haushalt auf Sekundenbasis, ohne dass der Nutzer dieser Geräte eine Einschränkung seines Komforts wahrnimmt. Die Motivation, aus der diese Geschäftsidee entstanden ist, ist den Übergang zu einer CO₂-ärmeren Wirtschaft durch ein dekarbonisiertes Energiesystem zu beschleunigen und damit die Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu erreichen. Nachfragemanagement im Bereich Elektrizität weist hohes Potential zur Kosteneinsparung und CO₂-Einsparung auf, weshalb das Geschäftsmodell von Sympower durch den Startup Hub Rockstart gefördert wird.

Spezielle Anforderungen der Industriekunden

Die Recherche hat bezüglich der Anforderungen der Industriekunden vor allem ergeben, dass der Bedarf an Systemen, welche Mobilität und Energie ausschließlich bei den Akteuren liegt, die für die Anpassung der Netze an eine vermehrte Einspeisung aus Erneuerbaren Energiequellen verantwortlich sind. So sind vor allem Stadtwerke und Energieunternehmen motiviert an Forschungsprojekten teilzunehmen und entsprechende Lösungen zu entwickeln. Die ursprüngliche und damit grundlegende Motivation aber, Erneuerbare Energien überhaupt auszubauen, ist aus der Umweltstrategie der Bundesregierung abzuleiten und gedeiht noch nicht auf Basis eines betriebswirtschaftlichen Verständnisses gezielter Notwendigkeit.

So kann geschlussfolgert werden, dass die Anforderungen an Lösungen zur Integration von Industriekunden neben wirtschaftlicher Konkurrenzfähigkeit in der Produktion von Gütern (CPS im Kontext Industrie 4.0), welche im Rahmen dieses Projektes nicht thematisiert werden, zuerst einmal das Erkennen klarer Vorteile ist, welche aus der Teilnahme des einzelnen Unternehmens an einer übergreifenden Integration von Systemen im Bereich Mobilität und Energie zur Lösung eines allgemeinwirtschaftlichen Problems, resultieren. Neben den verbesserten Möglichkeiten strengere Auflagen im Emissionsmanagement zu erfüllen, können potentielle wirtschaftliche Mehrwerte durch die sinnvolle Kombination von Informationen zu Services und Dienstleistungen angenommen werden. Ebenfalls ist ein wirtschaftlicher Nutzen durch die Bereitstellung einer Flotte als flexible Speicher denkbar, wobei klare Anforderungen an die Demonstration eines dadurch entstehenden profitablen Geschäftsmodells bestehen. Im AP520 wird auf genau solche Anforderungen für Industriekunden noch einmal eingegangen.

4. AP 300 – Potentiale zur Netzunterstützung durch Microgrids

3.1. Management Summary

In Arbeitspaket 300 wurde einleitend ein Vergleich zwischen zentralem und dezentralem Lastmanagement durchgeführt. Insbesondere wurde Unterschiede entsprechender Koordinationsansätzen erläutert, deren Vor- und Nachteile evaluiert, sowie Potentiale zur Netzunterstützung ermittelt und verglichen. Darauf basierend wurden Potentiale durch die Kooperation verschiedener Microgrids untersucht. Zu diesem Zweck wurden architekturelle Möglichkeiten für schwarmbasiertes Laden in topologisch benachbarten Microgrids erarbeitet und diskutiert, sowie mögliche Auswirkungen der Integration in die deutsche Übertragungs- und Verteilnetzstruktur aufgezeigt. Es konnte gezeigt werden, dass durch die Kooperation benachbarter Microgrids die Nutzung verschiedener Synergieeffekten möglich ist. In der abschließenden technischen und ökonomischen Bewertung wurde das Netzunterstützungspotential durch Elektrofahrzeuge untersucht. Dabei wurden u.a. Leistungsspitzen, ausgetauschte Energiemengen zwischen Micro Grid und übergelagertem Netz, die Verteilung der Trafolast, sowie Erlöse und Kosten näher quantifiziert.

4.1. AP 300 – Übersicht und Scope

Insgesamt werden in AP 300 folgende Ziele verfolgt:

- Vergleich von zentralen und schwarmbasierten Lastmanagementverfahren
- Vernetzung benachbarter Microgrids
- Technische und ökonomische Bewertung von Netzunterstützung durch E-Fahrzeuge

Die Struktur im Arbeitspaket ist daher wie folgt gegeben:

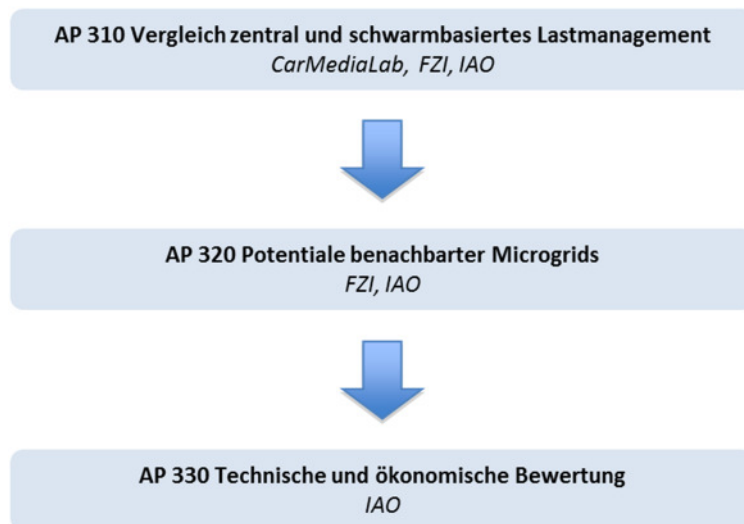


Abbildung 77: Übersicht und Scope

4.2. AP 310 – Vergleich zentral und schwarmbasiertes Lastmanagement

In Arbeitspaket 310 wird ein Vergleich zwischen zentralem und dezentralem Lastmanagement durchgeführt. Insbesondere wird hier auf die Unterschiede bei den Koordinationsansätzen eingegangen und die ermittelten Potentiale zur Netzunterstützung verglichen. Hier werden auch die unterschiedlichen Vor- und Nachteile der Koordinationsansätze evaluiert.

Zunächst erfolgt ein Überblick über zentrale und dezentrale Ansätze in der wissenschaftlichen Literatur (Kapitel 0). Im ersten Schritt wird ein Vergleich des schwarmbasierten Lastmanagements mit einer zentralen Steuerung im Szenario Privathaushalte durchgeführt. Hierfür wird zunächst eine formale Beschreibung des zentralen Optimierungsproblems vorgestellt (Kapitel 0) und anschließend die Simulationsergebnisse aus dem Vergleich diskutiert (Kapitel 0). Eine umfangreiche Beschreibung des Szenarios ist in der Dokumentation zu AP 100 vorzufinden. Abschließend erfolgt ein Vergleich zwischen den beiden in IMEI untersuchten Szenarien. Hierbei werden die Potentiale und Risiken von zentralem Lastmanagement denen von schwarmbasiertem Lastmanagement gegenübergestellt.

Überblick zentraler und dezentraler Ansätze zur Ladesteuerung

Nachfolgender Abschnitt basiert auf Schuller (2013). Um die Nachfrageflexibilität von Elektrofahrzeugen (EVs) in einem Lastmanagementprogramm zu nutzen, müssen ihre Ladevorgänge koordiniert werden. Koordination muss dabei in Bezug auf ein bestimmtes Ziel erfolgen. Die Koordination der Bedarfsanforderungen kann in verschiedenen Kommunikations- und Steuerungsarchitekturen ausgeführt werden. Die Hauptarchitekturkonzepte sind dezentrale und zentrale Steuerungsarchitekturen. Diese Kategorien beziehen sich auf die Ebene, auf der die Ladeentscheidung getroffen wird, gegeben eine Zielfunktion und Nebenbedingungen, die zu erfüllen sind für ein bestimmtes Szenario. Entsprechend der vorherrschenden Paradigmen der zentralen Kontrolle des traditionellen Energiesystems, bauen zentrale Ladesteuerungsarchitekturen auf Scheduling-Verfahren auf, die auch Anforderungen der einzelnen Ladepläne berücksichtigen. Diese Paradigmen verlassen sich oft auf Zeitpläne, die an eine zentrale Instanz kommuniziert werden oder gehen davon aus, dass eine direkte Lastkontrolle (Direct Load Control, DLC) eingesetzt wird, um den Gesamtladevorgang zu organisieren, sodass insbesondere technischen Auflagen erfüllt werden. Verteilnetz- oder Übertragungsnetzbetreiber werden oft als mögliche Verantwortliche für diese Form der Koordination angesehen, da technischen Ziele erfüllt werden müssen und ein zuverlässiger Stromnetzbetrieb sichergestellt werden muss (Gonzalez Vaya und Andersson, 2012).

Ein zentraler Ansatz hat Vorteile im Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Ladesteuerung und lässt sich einfach in bestehende Systemsteuerungsparadigmen integrieren. Aber zentrale Steuerungsarchitekturen erfordern ein hohes Maß an Information, um eine genaue Planung durch die zentrale Instanz zu ermöglichen. Weiterhin setzen zentrale Steuerungsarchitekturen auf immer komplexere Optimierungsverfahren, die nicht sehr gut in der Anzahl der beteiligten Einheiten skalieren (Li und Shahidehpour, 2005), da mit jedem neuen Fahrzeug zusätzliche Beschränkungen für das Optimierungsproblem eingeführt werden. Es gibt viele Möglichkeiten zur Verringerung der Komplexität für zentrale Koordinierungsverfahren oder für schnellere Rechenalgorithmen, einschließlich Heuristiken (z.B. genetische Algorithmen oder Simulated Annealing (Padhy, 2004)), oder die Aufteilung

der Probleme in Teilmengen, die gelöst werden können. Dennoch führt dieses Steuerparadigma zu Akzeptanzproblemen bei E-Fahrzeug-Besitzern, da sie die Kontrolle über den Ladeprozess ihres Fahrzeugs abgeben. Um der technischen Komplexität und der immer dezentraleren Struktur des Stromnetzes zu begegnen, müssen hierarchische Ansätze zur Ladekoordination ebenfalls berücksichtigt werden.

Hierarchische Koordinierungsverfahren können Mischformen mit Aspekten aus sowohl zentraler als auch dezentraler Steuerungsparadigmen darstellen. Sie können zentrale Kontroll- und Scheduling-Verfahren umfassen, im Gegensatz zu ihrem systemweiten Gegenstück jedoch adressieren sie nur Lösungen für Teile des Gesamtsystems. Dies teilt die allgemeinen Optimierungsprobleme in eine Menge von miteinander lokal verbundenen, im besten Fall optimalen, Lösungen. In einer kompakteren Situation ist dieser traditionelle Ansatz somit noch aus technologischer Perspektive anwendbar. Die Nachteile mit Bezug auf die Ladeentscheidung von EV-Besitzern sind weiterhin vorhanden. In diesem Zusammenhang wurde die Rolle des Aggregators als Institution, die aggregierte Last, und damit auch die Lastflexibilität zahlreicher EVs zur besseren Vermeidung von Netzengpässen (Galus et al., 2011) am Markt einbringen kann und die damit zur Verbesserung der Netzstabilität durch die Bereitstellung von Systemdienstleistungen oder zur Unterstützung der Integration von fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen (Caramanis und Foster, 2009b) dienen kann, als hierarchisches Koordinationsbeispiel vorgeschlagen.

Ladekoordination im hierarchischen Szenario kann entweder einem Zeitplan oder preisbasierten Koordinierungsansatz folgen. Im preisbasierten Szenario wird der Preis entweder durch den Aggregator ermittelt und den Kunden (EVs) kommuniziert, oder er kann mittels einer Auktion, in der EVs teilnehmen, festgelegt werden (Gerding et al., 2011). Preisbasierte Mechanismen können den Systemzustand, insbesondere in Hinblick auf die regionalen technologischen Einschränkungen, entsprechend einbeziehen. Nach dem Konzept der Spotpreise können Preise, die lokale Kapazitätsengpässe und die Verfügbarkeit von Ressourcen widerspiegeln, eine effiziente Ressourcenallokation erreichen. Die Preise können nach Ort variieren, ein Konzept das dem Knotenpreis (Nodal Pricing) - Paradigma folgt. Ebenfalls können Preise über die Zeit oder einer Kombination aus Zeit und Ort variieren.

Dezentrale Ladekoordination basiert bisher hauptsächlich auf preisbasierten Mechanismen. Dezentrale Ladeentscheidungen erlauben Fahrzeugbenutzern oder Besitzern zu entscheiden wann und unter welchen Bedingungen Sie Ihren Ladevorgang starten möchten. Der Koordinationsmechanismus muss daher Entscheidungen von einzelnen Fahrzeugen berücksichtigen, um eine effektive und zuverlässige Führung des Systems gewährleisten zu können. In diesem Umfeld können Preise entweder einheitlich für alle Marktteilnehmer oder diskriminierend basierend auf dem Ort und der Nachfrage gestaltet werden. Die zentrale Koordination benötigt mehr Informationsaustausch, die Anzahl der benötigten Parameter die ausgetauscht werden müssen ist jedoch geringer, denn das Entscheidungsproblem ist auf eine Einheit (EV) limitiert.

Die verschiedenen Ladekoordinationsarchitekturen können nicht immer klar abgegrenzt werden. Dezentrale Ladeentscheidungen basierend auf zentral kommunizierten Einheitspreisen und sind ein Beispiel für eine Mischform von Ladekoordination. Hierarchische und dezentrale Architekturen sind verknüpft, wenn Preissignale auf einer

regionalen Ebene von einem Aggregator berechnet werden, wenn gleichzeitig Fahrzeuge Entscheidungen über ihren eigenen Ladeplan treffen können.

Formulierung des zentralen Optimierungsproblems

Im Untersuchungsszenario Privathaushalte geht es um eine möglichst optimale zeitliche Verteilung der Ladevorgänge der Elektrofahrzeuge unter Berücksichtigung von technischen Nebenbedingungen und mit strikter Erfüllung des benötigten Fahrdienstes. In Arbeitspaket 100 werden verschiedene Zielgrößen der Optimierung besprochen. Bei der Entwicklung eines Schwarmbasierten Lademanagements widerspricht die Abhängigkeit der Zielfunktion von einer externen, preissetzenden Zentralstelle dem Grundgedanken der dezentralen Optimierung. Daher kommt eine Optimierung über den Bezugspreis, wie in TOU Ansätzen, nicht in Frage. In Ansätzen zur Lastkurvenglättung entsteht der Mehrwert nur mittelbar für die Agenten im Betrachtungsraum, zuvorderst wird der Bilanzkreisverantwortliche entlastet. Durch eine dezentrale Koordination soll allerdings ein lokaler Nutzen erzeugt werden, weswegen nur eine sinnvolle Optimierungsgröße übrig bleibt: Die prozentuale Bedarfsdeckung durch EE (BD_{EE}) in einem abgeschlossenen Betrachtungsraum innerhalb einer festgelegten Zeitspanne. BD_{EE} ist dabei wie folgt definiert:

BD_{EE} = Menge lokal verbrauchter EE/Menge gesamt verbrauchter Energie.

Dieses Optimierungsziel ist nicht abhängig von der Installation intelligenter Stromzähler und vollständig flexibler Preissignale durch eine zentrale preissetzende Stelle und kann dennoch einen monetären Nutzengewinn im Betrachtungsraum herbeiführen. Durch das Ausnutzen der Preisdifferenz von momentan gültiger Einspeisevergütung für Erneuerbare Energien und dem höheren Strombezugspreis vom Lieferanten kann mit jeder lokal verbrauchten Kilowattstunde ein Deckungsbeitrag erwirtschaftet werden. Da die in einem Zeitabschnitt benötigte Energie im Betrachtungsraum immer entweder von Erneuerbaren Energien im Niederspannungsnetz bereitgestellt oder über den Transformator aus dem Mittelspannungsnetz bezogen wird, wirkt die Zielfunktion automatisch generatorentlastend. Eine Harmonisierung des Lastprofils wird obsolet und durch die bestmögliche Annäherung des Lastgangs an das Einspeiseprofil Erneuerbarer Energie ersetzt.

Die Optimierung nach o.g. Kriterium findet in dieser Arbeit ausschließlich lokal im beschriebenen Betrachtungsraum statt und Energiefehlmengen werden, ohne die Berücksichtigung externer Netzbeschränkung, über den Transformator bezogen. In Bezug auf das gesamte Stromnetz in Deutschland könnte man von einer lokalen Optimierung sprechen, deren wechselseitige Wirkungen mit dem übergeordneten Netz im Arbeitspaket 320 gesondert diskutiert werden.

Nachfolgend wird das im oben beschriebenen Betrachtungsraum zu lösende Optimierungsproblem mit allen Nebenbedingungen in Form eines linearen Programms vorgestellt. Alle betrachteten Elemente und deren Eigenschaften werden zuerst mit Variablen beschrieben. Anschließend wird die verwendete Zielfunktion hergeleitet und die Nebenbedingungen formal beschrieben. Die verwendete formale Darstellung ist durch die Problemdefinitionen von Xu et al. (2013) und Schuller et al. (2014) inspiriert. Bei der Formulierung wird ein umfassenderes Modell vorgestellt, welches auch die Einbindung von stationären Speichern berücksichtigt. Bei der Evaluation sind stationäre Speicher von untergeordneter Bedeutung. Für das Aufstellen des linearen Programms werden sechs

Annahmen getroffen, wobei die ersten beiden aus Subramanian et al. (2013) entnommen sind:

1. Ladevorgänge können beliebig unterbrochen und fortgesetzt werden ("preemptive").
2. Die Ladeleistung der Elektrofahrzeuge und der stationären Speicher ist in jedem Zeitabschnitt kontinuierlich einstellbar auf dem Intervall zwischen der positiven und negativen maximalen Ladeleistung.
3. Innerhalb eines Zeitintervalls ist die Bezugs- oder Einspeiseleistung jedes Agenten konstant.
4. Die Energie, welche ein Fahrzeug für die Erfüllung eines Fahrdienstes benötigt, wird bereits bei Fahrtbeginn aus der Batterie entnommen.
5. Elektrofahrzeuge laden ausschließlich zu Hause.
6. Wirkungsgrade bleiben unberücksichtigt.

Nachfolgend werden die im Linearen Programm verwendeten Variablen eingeführt:

$I = \{ \text{Menge d. Elektroautos} \}$

- N_i = { Menge d. Fahrten von Fahrzeug i },
- $SOCE_i$ = Batteriekapazität Fahrzeug i ,
- $SOCE_{i,t}$ = SOC Fahrzeug i nach Zeitintervall t ,
- $SOCE_{ini,t,i}$ = SOC Fahrzeug i zu Beginn des Beobachtungszeitraums,
- $SOCE_{end,i}$ = SOC Fahrzeug i zum Ende des Beobachtungszeitraums,
- $P_{L,i,t}$ = Ladeleistung Fahrzeug i im Intervall t ,
- $P_{L,i,max}$ = Maximale Ladeleistung Fahrzeug i ,
- V_i = Stromverbrauch von Fahrzeug i pro 100 km,
- $M_{i,n}$ = Kilometerleistung von Fahrzeug i bei Fahrt n ,
- $t_{d,i,n}$ = Abfahrtsintervall von Fahrzeug i auf Fahrt n ,
- $t_{a,i,n}$ = Ankunftsintervall von Fahrzeug i von Fahrt n ,
- $z_{i,t}$ = 1 falls Fahrzeug i in Intervall t zu Hause ist, 0 sonst .

$S = \{ \text{Menge d. stationären Speicher} \}$

- $SOCS_s$ = Speicherkapazität Speicher s ,
- $SOCS_{s,t}$ = SOC Speicher s nach Zeitintervall t ,
- $P_{L,s,t}$ = Ladeleistung Speicher s im Intervall t ,
- $P_{L,s,max}$ = Maximale Ladeleistung Speicher s ,

$J = \{ \text{Menge d. Haushalte} \}$

- $P_{C,j,t}$ = Leistungsbedarf von Haushalt j in Zeitintervall t ,

$K = \{\text{Menge d. EE-Produzenten}\}$

$P_{\text{peak},k} = \text{Peak Leistung EE-Produzent } k,$

$s_t = \text{Prozentuale Sonnenwirkung in Zeitintervall } t,$

$w_t = \text{Prozentuale Windwirkung in Zeitintervall } t,$

$T = \{\text{Menge d. Zeitintervalle}\},$

$|t| = \text{Länge eines Zeitintervalls}$

$E_{\text{nutz,gesamt}} = \text{Gesamte Energiemenge, die im System verbraucht wird,}$

$E_{\text{nutz,EE}} = \text{Gesamte erneuerbar erzeugte Energiemenge die im System verbraucht, also nicht}$

$\text{über den Transformator ins Mittelspannungsnetz eingespeist wird,}$

$E_{\text{nutz,TR}} = \text{Gesamte über den Transformator eingespeiste Energiemenge, die im System}$

verbraucht wird,

$P_{\text{nutz,TR},t} = \text{Positive Leistung, die in } t \text{ vom Transformator ins System eingespeist wird.}$

Nach der Beschreibung der verwendeten Parameter erfolgt die Aufstellung der Zielfunktion. Ausgehend von der verbalen Definition der Zielsetzung, der Maximierung des Anteils der EE am Gesamtenergieverbrauch im Betrachtungszeitraum, kann abgeleitet werden, dass die Bezugsenergie über den Transformator minimiert werden soll:

$$E_{\text{nutz,EE}}/E_{\text{nutz,ges}} \rightarrow \max((E_{\text{nutz,ges}} - E_{\text{nutz,TR}})/E_{\text{nutz,ges}}) = \max(1 - (E_{\text{nutz,TR}}/E_{\text{nutz,ges}})) = \min(E_{\text{nutz,TR}}/E_{\text{nutz,ges}}).$$

Da der Gesamtenergieverbrauch im Beobachtungsraum, $E_{\text{nutz,ges}}$, fix ist, kann dieser aus der Zielfunktion

entfernt werden: $\min E_{\text{nutz,TR}}$. Die Energie ist das Integral der Leistung über die Zeit. Im vorliegenden Fall, in dem die Zeit nicht kontinuierlich, sondern in diskreten Zeitintervallen gemessen wird, ist die Energie also die Summe der Leistungen multipliziert mit der Intervalllänge. Da T wiederum ein Skalar ist, kann es aus der Zielfunktion entfernt werden. Da die Transformatorleistung, im Fall von Einspeisung Erneuerbarer Energien ins übergeordnete Netz, auch negativ werden kann und dies in ungewollter Weise die Zielfunktion verbessern würde, muss der Absolutwert der Transformatorleistung genommen werden. Da überschüssige oder fehlende Leistungen im System über den Transformator ausgeglichen werden, ist die Gesamtleistungsdifferenz im System zu jedem Zeitpunkt t immer gleich null:

$$0 = P_{TR,t} + \sum_{k \in K} (P_{k,peak} * s_t \text{ bzw. } w_t) - \sum_{j \in J} P_{C,j,t} - \sum_{s \in S} (P_{L,s,t}) - \sum_{i \in I} (P_{L,i,t}) \Leftrightarrow$$

$$P_{TR,t} = \sum_{j \in J} P_{C,j,t} + \sum_{s \in S} (P_{L,s,t}) + \sum_{i \in I} (P_{L,i,t}) - \sum_{k \in K} (P_{k,peak} * s_t \text{ bzw. } w_t)$$

Indem nun $P_{TR,t}$ in oben hergeleiteter Zielfunktion ersetzt wird, erhalten wir die endgültige Zielfunktion:

$$\left(\sum_{j \in J} P_{C,j,t} + \sum_{s \in S} (P_{L,s,t}) + \sum_{i \in I} (P_{L,i,t}) - \sum_{k \in K} (P_{k,peak} * s_t \text{ bzw. } w_t) \right)$$

s.t. $\forall i, s, t, n$

$$0 \leq SOC_{i,t} \leq \overline{SOC}_i \quad (1)$$

$$SOC_{i,t_{i,n}^d} \geq \frac{M_{i,n}}{100} * V_i \quad (2)$$

$$Z_{i,t} = \begin{cases} 1 & \exists n: t_{i,n}^a \leq t \leq t_{i,n+1}^d \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases} \quad (3)$$

$$\left| \frac{P_{L,i,t}}{P_{L,i,max}} \right| \leq Z_{i,t} \quad (4)$$

$$SOCE_{init,i} \leq SOCE_{end,i} \quad (5)$$

$$SOCE_{i,t} = SOCE_{init,i} + \underbrace{\sum_t (P_{L,i,t} * \frac{|t|}{60})}_{\text{Ladung zu Hause}} - \underbrace{\sum_{\forall n: t \geq t_{i,n}^d} (\frac{M_{i,n}}{100} * V_i)}_{\text{Entladung bei Fahrt}} \quad (6)$$

Ladung zu Hause Entladung bei Fahrt

$$0 \leq SOCS_{s,t} \leq \overline{SOCS}_s \quad (7)$$

$$SOCS_{s,t} = \sum_{q=0}^t \left(P_{L,s,t} * \frac{|t|}{60} \right) \quad (8)$$

$$SOCS_{init,s} \leq SOCS_{end,s} \quad (9)$$

$$-P_{L,i,max} \leq P_{L,i,t} \leq P_{L,i,max} \quad (10)$$

$$-P_{L,s,max} \leq P_{L,s,t} \leq P_{L,s,max} \quad (11)$$

Die Nebenbedingungen sind im Folgenden erklärt: NB 1 gewährleistet, dass kein Fahrzeug beim Laden unter einen Ladestand von 0 kWh und über den max. SOC kommen kann. NB 2 stellt sicher, dass jedes Fahrzeug bei jeder Abfahrt mindestens die gewünschte Strecke fahren kann. NB 3 setzt den „zu Hause Marker“ auf 1, falls sich das Fahrzeug zwischen einer Ankunft und der nächsten Abfahrt befindet. NB 4 gewährleistet, dass das Fahrzeug nur laden bzw. entladen kann, wenn es zu Hause ist. NB 5 sorgt dafür, dass der SOC jedes Fahrzeugs am Ende des Beobachtungszeitraums mindestens so hoch ist, wie er am Anfang war. NB 6 stellt die Berechnung des SOC jedes Fahrzeugs zu jedem Zeitpunkt t dar. Einfacher könnte man dies per Update-Formel von einem Zeitintervall ins nächste ausdrücken, dafür müsste man aber die Abfahrtszeitpunkte $t_{d,i,n}$ gesondert betrachten oder die gefahrenen Kilometer pro Zeiteinheit kontinuierlich „verbrauchen“. Außerdem besteht bei beschriebener Formel die Möglichkeit, anstelle des $SOCE_{init,i}$ später einen $SOCE_{t_0,i}$ zu wählen und so nur abschnittsweise Updates zu machen. NB7 gewährleistet, dass kein stationärer Speicher beim

Laden bzw. Entladen unter 0 und über den max. SOC kommen kann. NB 8 stellt wiederum die SOC Berechnungsformel für stationäre Speicher dar, wobei NB 9 sicherstellt, dass der Endladestand der stationären Speicher nicht höher ist als der Anfangsladestand. NB 10 und 11 gewährleisten, dass sich die Ladeleistungen von Elektrofahrzeugen und stationären Speichern ausschließlich im erlaubten Intervall befinden. Wie bereits in Annahme 2 am Anfang der Problembeschreibung erwähnt, ist ansonsten eine kontinuierliche Anpassung der Ladeleistung zwischen den Zeitintervallen möglich.

Das vorgestellte Optimierungsproblem geht von perfekten Informationen über Daten im Betrachtungszeitraum und einer darauf aufbauenden zentralen Lösung des Optimierungsproblems aus, wie sie auch von Schuller (2015) durchgeführt wird. Dadurch wird eine gute Qualität der Lösung erreicht. Die Voraussetzungen dafür entsprechen allerdings nicht der Realität. Perfekte Information über Einspeisung erneuerbarer Energien und Fahrprofile von Elektroautobesitzern, sind nicht über einen längeren Zeitraum bekannt. Außerdem benötigt eine zentrale Optimierung eine zentrale Koordinationsstelle, die alle verfügbaren Daten sammelt und Ladeberechtigungen zentral vergibt. Das Ziel des schwarmbasierten Lademanagements ist es allerdings, ohne eine zentrale Optimierungsstelle und ohne die Verfügbarkeit langfristiger Vorhersagen, ein gutes Koordinationsergebnis zu erreichen.

Zu Benchmarkzwecken wird in der Evaluation des Schwarmbasierten Lademanagements das Lineare Programm zur optimalen Lösung des Problems mit dem Solver Gurobi Optimizer gelöst. Hierfür wird das bereits formal beschriebene Problem in eine durch den Solver lösbare Form gebracht. Dafür werden zwei Hilfsvariablen für die Minimierung der Zielfunktion eingeführt. $h_t \in \{R^+\}$ steht für die Zeitintervalle, in denen Leistung aus dem Netz bezogen wird und $g_t \in \{R^-\}$ für jene, in denen Leistung in das Netz eingespeist wird. Durch das Festlegen der Definitionsbereiche der zwei Hilfsvariablen wird sichergestellt, dass die Gleichungen 12 und 13 jeweils nur für Bezug bzw. Einspeisung von Energie anschlagen. In Kombination mit der Ungleichung 16 führt die Zielfunktion dazu, dass möglichst wenig Erneuerbare Energie ins Netz eingespeist wird, auch wenn dadurch der End-SOC den Start-SOC der Fahrzeuge übersteigt. Gleichung 15 stellt eine rekursive Berechnung des SOC jedes Fahrzeugs dar, der sich aus dem SOC des letzten Intervalls zuzüglich der Ladeenergie bzw. abzüglich der Fahrenergie des Intervalls ergibt. Das durch Gurobi optimierbare Problem ohne den Einsatz von Speichern (allerdings mit V2G, das durch Gleichung 17 ermöglicht wird) sieht dann wie folgt aus:

$$\min P_{L,i,t} \sum_{t=0}^T h_t - g_t$$

s.t. $\forall i, s, t, n$

$$h_t \geq \sum_{j \in J} P_{C,j,t} + \sum_{i \in I} (P_{L,i,t}) - \sum_{k \in K} (P_{k,peak} * s_t \text{ bzw. } w_t) \quad (12)$$

$$g_t \leq \sum_{j \in J} P_{C,j,t} + \sum_{i \in I} (P_{L,i,t}) - \sum_{k \in K} (P_{k,peak} * s_t \text{ bzw. } w_t) \quad (13)$$

$$SOCE_{i,0} \leq SOCE_{i,init} \tag{14}$$

Fahrtenenergie falls $t + 1$ Abfahrtsintervall

$$SOCE_{i,t+1} = SOCE_{i,t} + \underbrace{\left(P_{L,i,t} * \frac{|t|}{60} \right)}_{\text{Ladeenergie in t}} - \underbrace{\left(\frac{M_{i,n:t+1=t}^d}{100} * V_i \right)}_{\text{Fahrtenenergie falls } t + 1 \text{ Abfahrtsintervall}} \tag{15}$$

Ladeenergie in t

$$SOCE_{i,end} \geq SOCE_{i,init} \tag{16}$$

$$P_{L,i,t} \in \begin{cases} \{-P_{L,s,max}; P_{L,s,max}\} & \text{falls } z_{i,t} = 1 \\ 0 & \text{falls } z_{i,t} = 0 \end{cases} \tag{17}$$

$$SOCE_{i,t} \in \{0; \overline{SOCE_i}\} \tag{18}$$

Vergleich zentral und schwarmbasiertes Lastmanagement

Das zentrale Problem liefert eine optimale Lösung des linearen Programms und kann daher als Benchmark für das schwarmbasierte Lastmanagement fungieren. In diesem Abschnitt werden zunächst die verschiedenen Architekturalternativen mit Blick auf die optimale Lösung im Basisszenario diskutiert. Anschließend erfolgt eine Sensitivitätsanalyse in der Auswirkungen von verschiedenen Parametern untersucht werden. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind die wichtigsten Parameter des Basisszenarios aufgezeigt. Die ausführliche Beschreibung der Simulation mit einer vollständigen Übersicht aller Parameter und Input Daten ist im Bericht zum AP 100 zu finden.

$N_{\text{Haushalle}}$	400	$EE_{\text{Solar}} / EE_{\text{gesamt}}$	50 %	SOC:	30 kWh
N_{EF}	400	$EE_{\text{gesamt}} / E_{\text{gesamt,benoigt}}$	100 %	$P_{i,max}$	3,6 kW
$N_{\text{EE-Erzeuger}}$	100	SOC_{init}	66%	V_i	15 kWh / 100 km
Mit Lastspitzenabsenkung ($DQ_{\text{Grenzwert}} = 5$, Ladeerlaubnis für niedrigste 7%)					

Tabelle 6: Konfiguration des Basisszenarios der Simulation

Die Bestimmung der allgemeinen Performance des Schwarmbasierten Lademanagement Verfahrens ist mit dem Basisszenario, wie oben beschrieben, durchgeführt worden. Die gemessene Performance, insbesondere im Verhältnis zur maximal erreichbaren optimalen Lösung, wird in diesem Unterkapitel vorgestellt. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Ergebnisse der Simulation des Basisszenarios inkl. optimaler Lösung.

Für die gegebenen Inputdaten konnte im Fall einer optimalen Lösung des linearen Programms durch Gurobi eine Bedarfsdeckung durch EE von 80,31 % erreicht werden. Im gänzlich unkoordinierten Fall (unkoordiniert) wurden 63,04 % erreicht. Durch eine schwarmbasierte Koordination, in der alle Agenten miteinander verbunden sind (Grundverfahren), konnte eine Bedarfsdeckung durch EE von 79,16 % erreicht werden. Dies

bedeutet eine Lösungsgüte von 98,57 % der optimalen Lösung und eine Steigerung von 25,57 % im Gegensatz zum unkoordinierten Fall. Auch die Koordination mit zweistufiger Kommunikation (AHK) erreichte noch 78,68 % Bedarfsdeckung (Lösungsgüte von 97,97 %), das Aufteilen der Agenten auf zehn Pools (ADP) allerdings nur noch 69,91 % (Lösungsgüte von 87,05 %). Alle Bedarfsdeckungen durch EE setzen sich aus der Deckung der unkoordinierten Haushaltsbedarfe und der koordinierbaren Ladebedarfe zusammen. Im Basisszenario wird allerdings alleine durch die Haushaltsbedarfe bereits 52,43 % des Gesamtenergiebedarfs durch EE gedeckt. Durch diese hohe Basisintegration bekommen die Verbesserungen der BD_{EE} durch das Schwarmbasierte Lademanagement ein noch höheres Gewicht.

Koordination	BD_{EE}	$P_{\text{Bezug,max}}$	VK	Lösungsgüte
Unkoordiniert	63,04 %	604 kW	0	78,50 %
Grundverfahren	79,16 %	331 kW	1005	98,57 %
AHK	78,68 %	428 kW	116	97,97 %
ADP	69,91 %	465 kW	105	87,05 %
Optimal	80,31 %	331 kW	-	100 %

Tabelle 7: Ergebnisse der Simulation des Basisszenarios inkl. Optimaler Lösung

Zur Analyse der Sensitivität der BD_{EE} auf die Veränderung einzelner Parameter, werden jeweils die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** vorgestellten Parameterausprägungen einzeln festgehalten und alle weiteren Simulationsparameter über jede Ausprägung variiert. Über die Ergebnisse der Simulationsdurchläufe wird der Durchschnitt gebildet. Im unkoordinierten Fall kommt Variante „unkoordiniert“ zum Einsatz, für die koordinierten Durchläufe wurden für jede Modellkonfiguration sowohl Variante „Grundverfahren“ als auch Variante AHK verwendet.

Variation	N_{EF}	$P_{i,max}$	$EE_{\text{Solar}}/EE_{\text{gesamt}}$	$EE_{\text{gesamt}} / E_{\text{gesamt,benötigt}}$
Niedrig	20	3,6 kW	25 %	25 %
Mitte	100	11 kW	50 %	100 %
Hoch	400	22 kW	75 %	150 %

Tabelle 8: Übersicht der Szenarien für die Sensitivitätsanalyse

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 51 ist die Sensitivität der BD_{EE} auf Variation von Parametern zur EE-Erzeugung zu sehen. Durch den Ausbau der EE-Erzeugung können, wie im linken Teil der Abbildung zu sehen, höhere BD_{EE} erreicht werden und die Bedeutung der Koordination nimmt zu. Die niedrigste Ausbaustufe begrenzt die maximal mögliche BD_{EE} auf 25 %, die auch ohne den Einsatz von Koordination annähernd erreicht werden, was jeweils mindestens einer Lösungsgüte von 95 % entspricht. Der Anstieg von mittlerer zu hoher EE-Verfügbarkeit wird wiederum nur mit einem Anstieg von neun Prozentpunkten BD_{EE} belohnt, das Schwarmbasierte Lademanagement verbessert dabei das Ergebnis nicht mehr. Mit einem steigenden Anteil von Solarenergie an der gesamten EE-Erzeugung sinkt die BD_{EE} , wie im rechten Teil der Abbildung zu sehen, überproportional ab. Durch die volatile Einspeisecharakteristik von Solar- im Gegensatz zur Windkraftanlagen,

geht die kumulierte EE-Erzeugung in bestimmten Zeiträumen, z.B. nachts oder im Winter, mit steigendem Solaranteil deutlich zurück. Auf den Mehrwert, den das Schwarmbasierte Lademanagement gegenüber dem unkoordinierten Fall bietet, hat dieser Parameter allerdings keine Auswirkung.

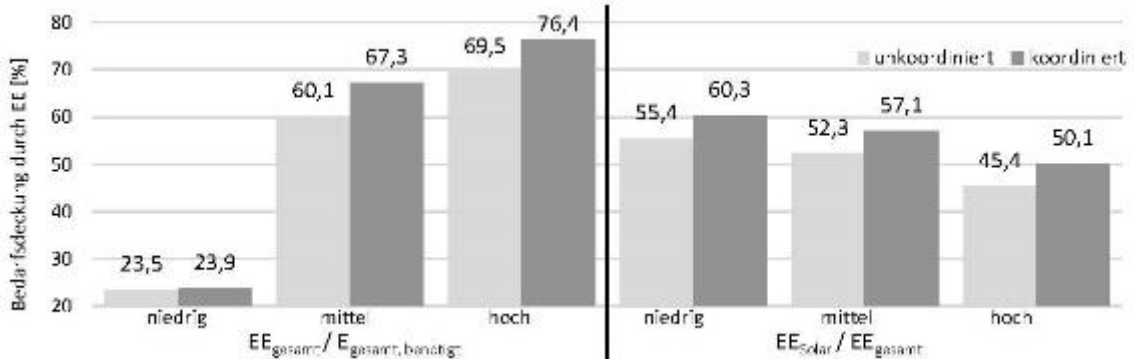


Abbildung 78: Abhängigkeit der BD_{EE} von Koordination und von Variation der EE-Parameter

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die Sensitivität der BD_{EE} auf Variation von Parametern zu den Fahrzeugen dargestellt. Wie im linken Teil der Abbildung zu sehen, steigt die BD_{EE} durch eine Erhöhung der Anzahl steuerbarer Fahrzeuge im Schwarmbasierten Lademanagement an. Der Zusammenhang ist im hier betrachteten Wertebereich geringfügig schwächer als linear. Im Verhältnis zum unkoordinierten Fall kann das Schwarmbasierten Lademanagement hier über die zunehmende Koordination seine Stärken ausspielen, weswegen der Vorsprung mit zunehmender Fahrzeugzahl wächst. Bei einer niedrigen Anzahl an Fahrzeugen beträgt die Lösungsgüte auch ohne Koordination mindestens 95 %, mit Koordination werden sogar schlechtestenfalls 98 % erreicht. Die Wahl der Ladeleistung hat kaum Einfluss auf die BD_{EE} , ist aber maßgeblicher Faktor für die Entstehung von Spitzen im Netzbezug über den Transformator. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind die maximalen Netzbezüge von allen koordinierten Szenarien mit mittlerem oder hohem Ausbau von EE in Abhängigkeit der maximal zulässigen Ladeleistung als Box Plots abgetragen.

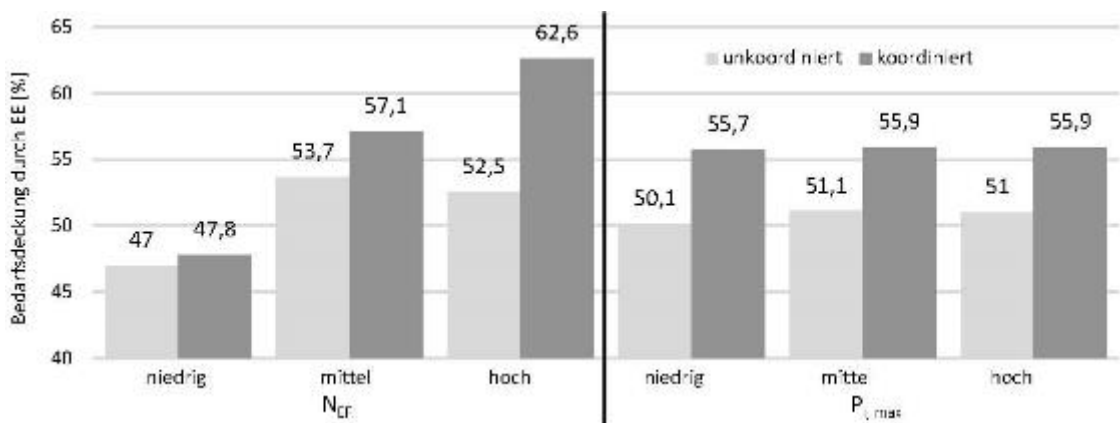


Abbildung 79: Abhängigkeit der BD_{EE} von Koordination und von Variation der Fahrzeug Parameter

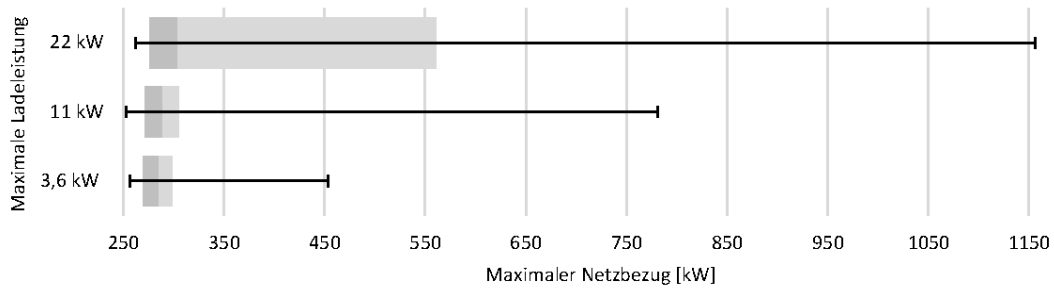


Abbildung 80: Maximale Netzbezüge in Abhängigkeit der Ladeleistung als Boxplot

Unterschiede zwischen den Jahreszeiten sieht man erst bei einem großen Anteil an Solarenergie: Schlüsselt man, die Leistungsbedarfsdeckung durch EE nach Tagen auf, erkennt man in Szenarien mit wenigen Fahrzeugen ein sich herausbildendes Jahreszeitenprofil mit zunehmendem Anteil an Solarenergie. Ein Beispiel hierfür ist im Vergleich von Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.⁵⁴, Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.⁵⁵ und Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.⁵⁶ zu sehen. Im untersuchten Fall macht der Haushaltsleistungsbedarf einen großen Teil des Gesamtleistungsbedarfes aus, da nur 20 Fahrzeuge im Betrachtungsraum existieren. Durch die höhere Sonneneinstrahlung in Frühling und Sommer (Tage 36 bis 105) steigt, mit höherem Anteil von Solarkraft am EE-Ausbau, die in diesen Jahreszeiten im Gesamten erzeugte EE. Die Zunahme der Verfügbarkeit von EE und ein Sinken des Haushaltsbedarfs führen dazu, dass ein größerer Leistungsbedarf in dieser Zeit durch EE gedeckt werden kann. Mit zunehmender Anzahl an Fahrzeugen im Betrachtungsraum steigt die durchschnittliche Koordinationsqualität, die Unterschiede werden teilweise ausgeglichen und eine klare Trennung der Bedarfsdeckung nach Jahreszeiten ist nicht mehr möglich.

Die Verfahrenskomplexität hängt direkt von der Anzahl der Agenten im Betrachtungsraum ab. Da zwischen den Modellkonfigurationen ausschließlich die Anzahl der Fahrzeuge variiert wurde, sinkt die Komplexität mit abnehmender Anzahl, unabhängig von der Wahl des Koordinationsmechanismus, wobei das Grundverfahren prozentual stärker von einer sinkenden Anzahl an Fahrzeugen profitiert.

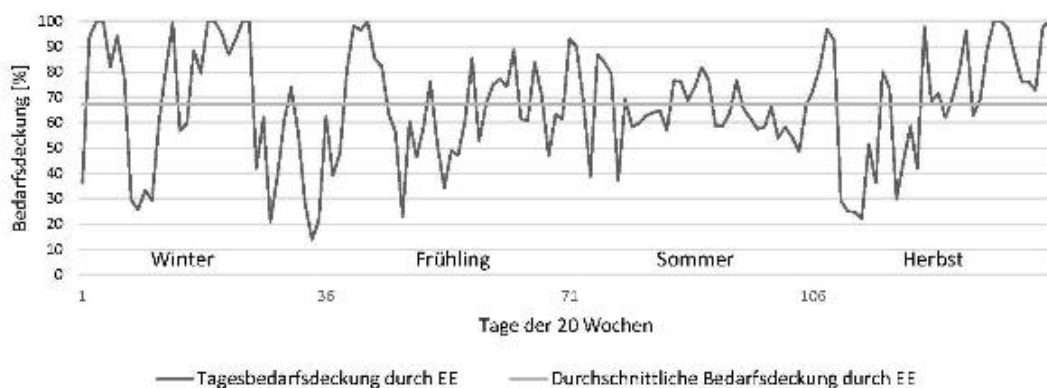


Abbildung 81: Niedriger Anteil an Solarenergie

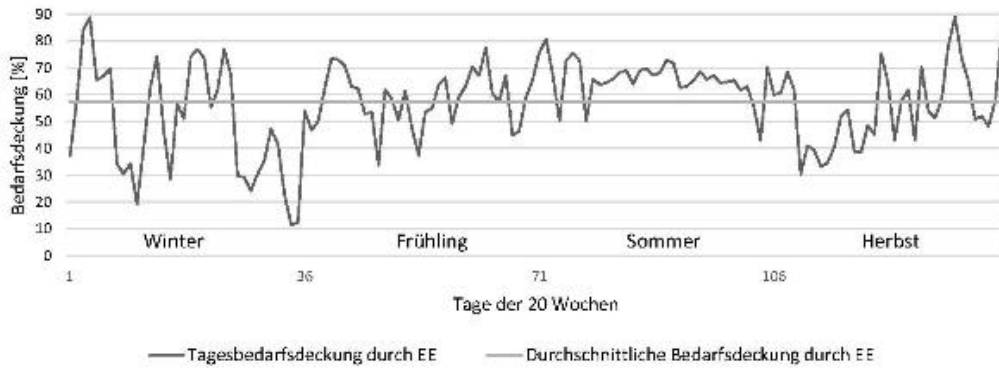


Abbildung 82: Mittlerer Anteil an Solarenergie

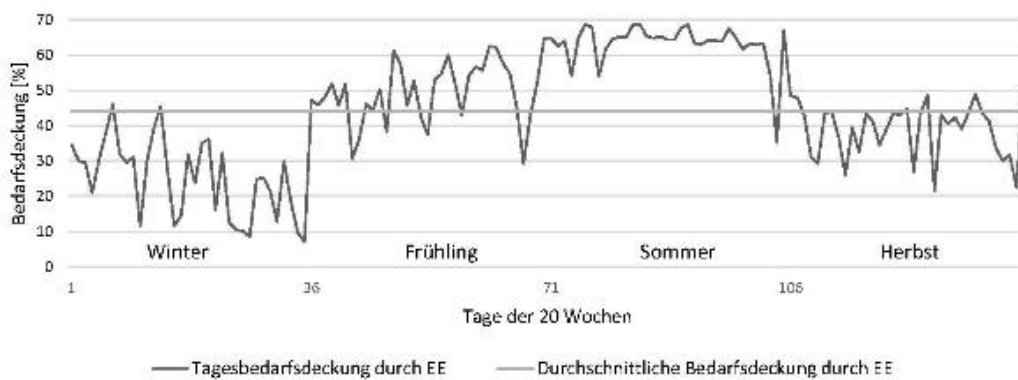


Abbildung 83: Hoher Anteil an Solarenergie

Entwicklung von Ansätzen zur Vernetzung mehrerer Microgrids

Die Beschreibung der Entwicklung verschiedener Ansätze zur Vernetzung von Microgrids wird auf Grund inhaltlicher Zusammenhänge in Kapitel 4.3 verschoben. In diesem Kapitel wird auch auf die Auswirkungen der topologischen Ausrichtung eingegangen.

4.3. AP 320 – Potentiale benachbarter Microgrids

In Arbeitspaket 320 werden Ansätze zur Steuerung benachbarter Microgrids untersucht. Dabei wird deren Potential quantifiziert und Integrationsmöglichkeiten werden mit Blick in die Praxis diskutiert.

Ansatz zur Vernetzung von zentral gesteuerten Microgrids

Um die Potentiale benachbarter Microgrids ausschöpfen zu können, bedarf es einer geeigneten Regelung und passenden topologischen Ausrichtung, wie die Microgrids vernetzt, bzw. geschaltet, werden. In Arbeitspaket 320 wurde somit eine Regelungsarchitektur zur Vernetzung mehrerer Microgrids entwickelt, um in erster Linie die Netzbelastung zu verringern. In der Wissenschaft und Technik gibt es verschiedene Ansätze, die für eine übergeordnete Regelung in Betracht kommen:

Bei der zentralen Regelung werden sämtliche Informationen aus allen Ebenen an zentraler Stelle zusammengeführt und verarbeitet. Die direkten Regelbefehle zu den Komponenten werden ebenfalls zentral abgegeben (Bouhafs, 2012). Es ergibt sich eine einfache Kommunikationsstruktur, jedoch eine umso umfangreichere Programmieraufgabe. Zentrale Fehler können sich extrem auswirken. Je nach Ausgeprägtheit kann die Eingriffsmöglichkeit der Letztverbraucher gefährdet sein. Die stark unterschiedliche Konfiguration von Häusern in Verbindung mit deren Benutzerwünschen erhöht die Komplexität einer zentralen Regelung (Frey, 2013). Bei der dezentralen Regelung ist der Regler lokal platziert und trifft Entscheidungen nur für dieses Microgrid. Für die Koordination von Energieaustauschen kommuniziert er mit Nachbarnetzen (bzw. deren Controllern). Die Herausforderung ist, dass die lokalen Entscheidungen dennoch systemweit konsistent sein müssen – das Verhalten eines Controllers darf nicht die Stabilität des Netzverbands gefährden. Weiterhin ist eine besonders zuverlässige Kommunikationsarchitektur (Gleichzeitigkeit, etc.) erforderlich. Zum einen ergibt sich der Vorteil, dass übergeordneten Strukturen Regelungsentscheidungen abgenommen werden. Dort sind weniger die detaillierten Zustände einzelner Gerätschaften in der Peripherie wichtig, sondern vielmehr der sich ergebende Summenzustand. Zum anderen ist diese Form prinzipiell gut geeignet, im Fall einer Netzabtrennung weiterhin einen stabilen Betrieb des Micro Grids zu gewährleisten, solange das Microgrid eine entsprechende Konfiguration aus Erzeugern und Verbrauchern besitzt (Bouhafs, 2012). Ein weiterer Ansatz ist die Stigmergie als Abwandlung des dezentralen Ansatzes. Dieser Regelansatz funktioniert umso besser, je mehr Teilnehmer es gibt, und ist damit für Netze mit einer großen Anzahl an Geräten geeignet. Globale Ziele, die Status der Geräte in Verbindung mit probabilistischer Verhaltensberechnung führt zu einer Art Ameisenstraße. Jedoch sind die einzelnen Teile des Systems kaum fähig, autonom sinnvoll zu agieren. Dies ist etwa auch der Fall, wenn Ameisen einzeln und weiter entfernt voneinander ausgesetzt werden.

In (Mathieu, 2012) wurden beispielsweise thermische Geräte verwendet, welche es an bestimmten Punkten erlauben, ohne Komfortverlust abgeschaltet zu werden. In der Summe ergibt sich eine große Bandbreite an Regelmöglichkeit. Je kleiner es skaliert wird, desto weniger Effekt zeigt dieser Ansatz. Eine weitere Anwendung findet in (Beal, 2012) statt: hier können Benutzer angeben, welche Flexibilität sie der An- und Abschaltung ihrer Geräte gewähren. Dabei ergibt sich in der Summe eine große Bandbreite an Möglichkeiten für die Regelung. Ein kombinierter Ansatz stellt die **Kompetenzverteilung** dar. Eine übergeordnete Verbundregelung kommuniziert mit den untergeordneten Micro Grids. In diesen sind

ebenfalls Regler vorhanden. Die Gesamtregelung erfasst die untergeordneten Netze nicht im Detail auf Komponentenebene, sondern hat vielmehr ein Monitoring für den Netzzustand, und führt die Teilnetze beispielsweise durch Fehlerzustände (Hatziargyriou, 2013). Die Teilnetze haben Detailkenntnis über die angeschlossenen Komponenten und kommunizieren direkt. Die Komplexität des Verbundreglers verringert sich, da die detaillierte Komponentenregelung entfällt. Die Regelung kann modularisiert aufgebaut werden. Jedoch ist auch hier eine zuverlässige Kommunikationsarchitektur wichtig. Eine Variante der Kompetenzverteilung bilden **Holare Netze**, gebildet aus mehreren Holonen. Diese verfolgt jedoch eine andere Denkweise bezüglich Hierarchien. In (Frey, 2013) wird die Anwendung auf der Ebene eines Microgrids untersucht. Das Microgrid stellt das holare Netz dar, gebildet aus mehreren Häusern (Holone). Jedes Haus besitzt einen Regler, welcher in Verbindung mit den Erzeugern, Verbrauchern als auch mit der nächsthöheren Ebene steht. Die Regler sind dabei immer gleich aufgebaut, haben also die Fähigkeit, prinzipiell jede Rolle in der Hierarchie zu übernehmen. Dennoch werden Regelziele vom obersten Regler ausgegeben und Stück für Stück durch die Hierarchie versucht, durchzusetzen. Global gesetzte Ziele haben somit Einfluss auch auf die kleinsten Ebenen und werden Stück für Stück durchgesetzt.

Für die in AP 320 umgesetzte Simulation (Vernetzung mehrerer Microgrids) wurde der kombinierte Ansatz, die Kompetenzverteilung gewählt. Bezogen auf den vorliegenden Fall erhält damit das Smart Grid einen eigenen, übergeordneten Regler. Dieser trifft gemäß verschiedener Informationen entsprechende Entscheidungen und gibt Signale an alle ihm untergeordneten Microgrids weiter (vgl. Abb. 57). Dort wird überprüft, inwiefern die Soll-Werte von den Microgrids eingehalten werden können. Auf Geräteebene der Microgrids können die Batteriespeicher und die PV-Anlagen angesteuert werden. Vorteil dieser Strategie ist die klare Kompetenzverteilung, welche programmatisch gut strukturierbar ist. Durch einen modularen Aufbau bleibt das System auch für größere Topologieänderungen flexibel.

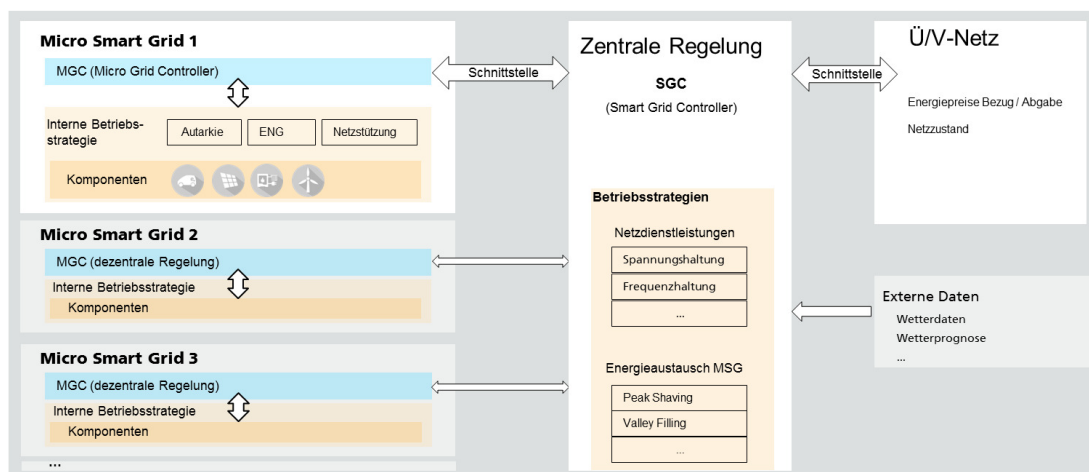


Abbildung 84: Regelarchitektur bei der Vernetzung mehrerer Microgrids

Um genauere Einblicke in die Regelung des Smart Grid-Verbunds zu bekommen wird im Folgenden der Smart Grid Controller (SGC) und der Micro Grid Controller (MGC) näher beschrieben.

Die Funktion des SGCs besteht darin, die Gesamt-Leistungsbilanz (P_{SG}), welche sich aus den drei Microgrids (MG) ergibt, zu überwachen und je nach Betriebsstrategie zu regeln. Dies

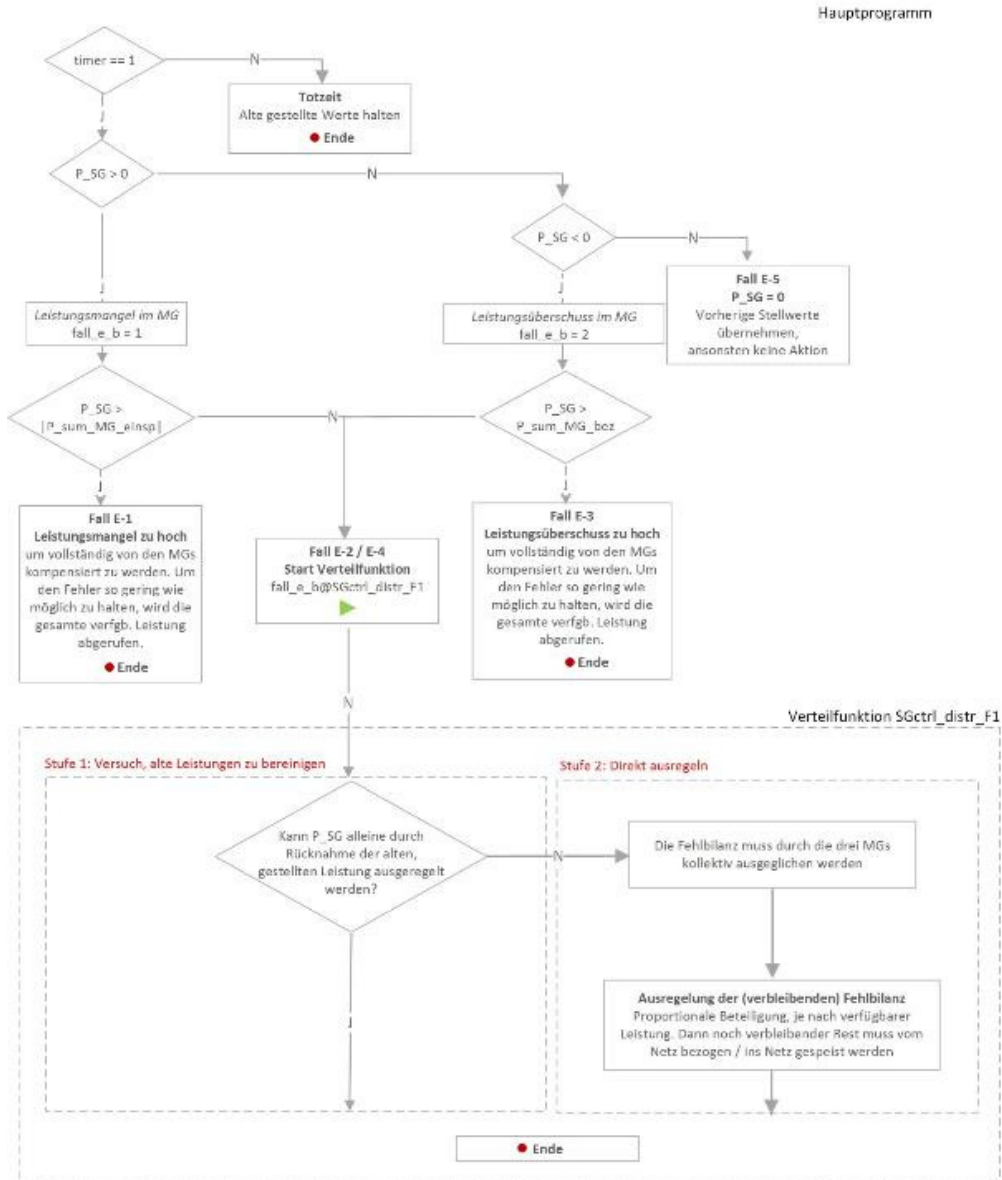


Abbildung 85: Ablaufdiagramm des Smart Grid Controller Algorithmus

geschieht durch aktives Verschieben von Leistungen zwischen den MGs, welche stets Informationen über den internen Leistungszustand bereitstellen. Dafür erfasst der SGC neben P_{SG} die Messwerte aus den MGs und kann seine Entscheidung etwa nach dem aktuellen Zustand der MGs zur Leistungsaufnahme- oder Abgabe gewichten. Die berechneten Werte werden anschließend weiter an die MGs gegeben. Folgendes Ablaufdiagramm zeigt die Entscheidungsfindung des SGC.

Je nach Vorzeichen von P_{SG} entscheidet der Algorithmus zunächst, mit welcher Maßnahme gegenzusteuern ist (Einspeisung, Bezug von Leistung, oder Neutralität). Entsprechend wird überprüft, welches MG aktuell welche Ressourcen ($P_{MG_verfügbar}$) für das Gegensteuern

zur Verfügung hat. Um die MGs möglichst gleichmäßig zu beteiligen, wird die beizusteuende Leistung abhängig von der jeweils verfügbaren MG-Leistung berechnet:

$$P_{stell_{MG}} = \frac{P_{SG}}{P_{MG_{verfügbar}}}$$

Der Micro Grid Controller (MGC) ist das Bindeglied zwischen dem übergeordneten Smart Grid Controller und den Komponenten innerhalb des Microgrids. Je MG ist ein MGC vorgesehen. Im Prinzip ist der MGC dafür zuständig, die vom SGC angeforderte Leistung auf seine Komponenten aufzuteilen.

Im vorliegenden Fall besitzt MG1 eine Zusammensetzung aus 20 Einheiten („Wohnhäuser“) mit je einem Speicher, PV-Anlage und Lasten. In MG2 gibt es eine Einheit, bestehend aus drei PV-Anlagen, einem Speicher, einem BHKW und den Lasten. Im dritten MG befindet sich ebenfalls eine Einheit mit einer PV-Anlage, einem Speicher und den Lasten (siehe auch Kapitel 4.2).

Simulation der Vernetzung von zentral gesteuerten Microgrids

Um die Potentiale einer Vernetzung mehrerer Microgrids aufzuzeigen und die beschriebene Regelung der Kompetenzverteilung zu testen, wurde ein Gesamtmodell mit drei Microgrids verschiedener Nutzungsformen aufgebaut. Das Gesamtmodell wird in Abbildung 59 veranschaulicht.

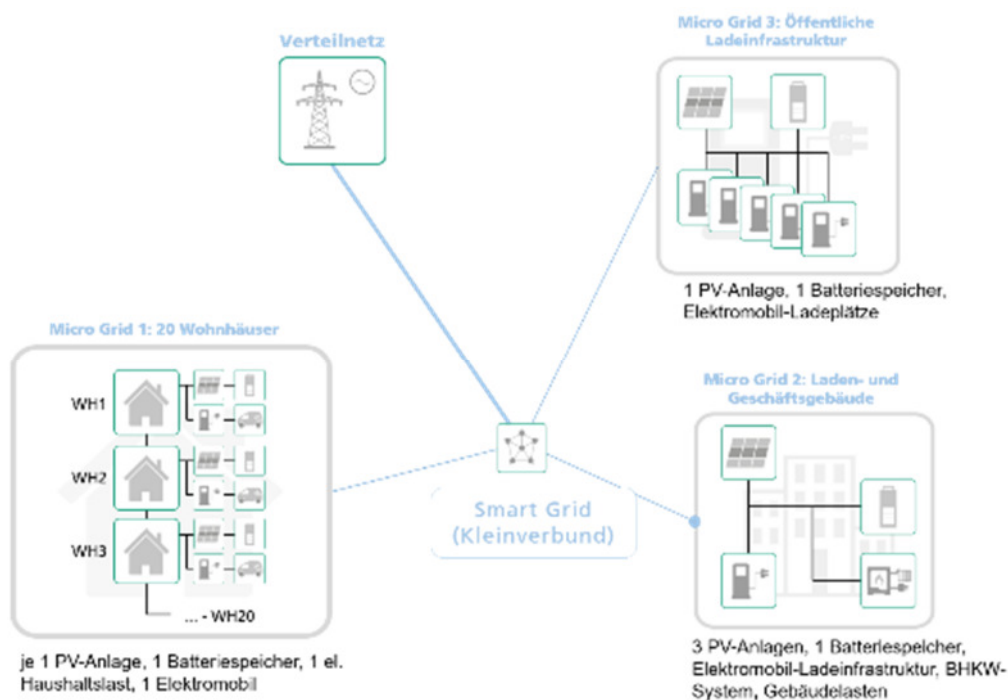


Abbildung 86: Veranschaulichung des Gesamtmodells

Die Komponenten der drei Microgrids wurden mit Hilfe eines Dimensionierungstools ausgelegt. Somit konnte bereits vor der Simulation eine erste Grobplanung erfolgen, um die energetische Machbarkeit sicherzustellen.

Eine Übersicht der Komponentenzusammenstellungen der einzelnen Microgrids kann Tabelle 8 entnommen werden.

<i>Parameter</i>	Photovoltaik	BHKW (el.)	Speicherkapazität	Lade/Entladeleistung Speicher*
<i>MG1 (Wohnhäuser)</i>	81,5 kWp	-	100 kWh	100 kW
<i>MG2 (Laden- und Geschäftsgebäude)</i>	50 kWp	13 kW	58,3 kWh	18.5 kW
<i>MG3 (öffentliche Ladestation)</i>	25 kWp	-	14,6 kWh	3.5 kW
<i>Summe</i>	156,5 kWp	13 kW	172,9 kWh	122 kW
	max. Summe Leistungen	Erzeuger-	Summe Speicherkapazität	Max.Lade-/Entladeleistung
	169,5 kW		172,9 kWh	122 kW / 122 kW

Tabelle 9: Übersicht der Anlagendaten (Erzeugung und Speicher) der Microgrids

Hierbei handelt es sich um die Summenleistungen der Microgrids. MG1 besteht aus 20 Wohnhäusern. Jedes Wohnhaus hat eine bedarfsgerecht ausgelegte PV-Anlage und ist mit einem Batteriespeicher mit 5 kWh ausgestattet.

Die Regelung der einzelnen Microgrids wurde bereits in Kapitel 4.1 beschrieben. In diese Regelung können nun verschiedene Betriebsstrategien integriert werden. Im Zuge dieses Projektes wurden 2 Regelungen miteinander verglichen. Im „ungeregelten“ Fall sind die MGs zwar miteinander vernetzt, jedoch werden keine Informationen ausgetauscht, um den Eigenverbrauch des Smart-Grid-Verbunds zu erhöhen oder die Netzbelastung des übergeordneten Netzes zu reduzieren. Im „geregelten“ Fall wird über die Information der Leistungszustände der einzelnen MGs die Gesamtbilanz des Smart Grids möglichst auf 0 W optimiert.

Sobald also eine Leistung vom Micro Grid Controller gefordert wird, regelt die Batterie ihre Lade/Entladeleistung so, dass die geforderte Leistung möglichst exakt am Netzanschlusspunkt einer Einheit (z.B. einem Wohnhaus) anliegt. Dies kann jedoch nicht eingehalten werden, wenn die Batterie voll bzw. leer, die Leistungen zu hoch sind, oder innerhalb der MGs große Leistungen fluktuieren. Im Falle der Nichteinhaltung wird das Netz beansprucht. Zu beachten dabei ist, dass eine dauerhafte überschüssige Erzeugungsleistung zu einem dauerhaft vollen Speicher führt. Abbildung 60 zeigt einen Einblick in die Simulation der beiden Microgrids, um die beiden Regelungen zu veranschaulichen.

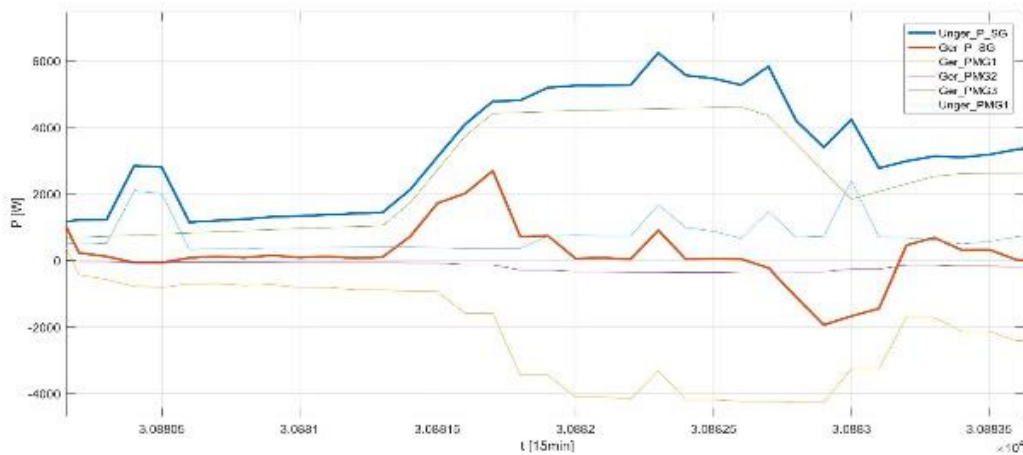


Abbildung 87: Auszug aus der Simulation: Zusammenspiel des Smart Grid Controllers mit den Micro Grid Controllern

Der direkte Vergleich von geregelter zu ungeregelter Bilanz zeigt die Wirksamkeit des Regelalgorithmus. Der Verlauf der unregulierten Gesamtbilanz (dunkelblau) verläuft ausschließlich im positiven Bereich (Leistungsbezug). Durch die Aktionen des SGC in Zusammenarbeit mit den MGCs kann die Gesamtbilanz hier in allen Bereichen verbessert werden. Zur Visualisierung der Wirksamkeit des MG1-Controllers, welcher die vom SGC angeforderte Leistung auf 20 Wohnhäuser verteilen muss, ist zusätzlich die Kurve des unregulierten MG1 (Unger_PMG1) eingezeichnet. Aktiv geregelt, weist er einen deutlich anderen Verlauf im Vergleich zum geregelten Fall (Ger_PMG1) auf, um die Gesamtbilanz (vgl. rote Linie) auszugleichen.

Das Demand-Side-Management wurde in Form einer Verschiebung von Lastspitzen durch den Einsatz von Batteriespeicher durchgeführt. Eine technische Auswertung ist in Kapitel 5.2. zu finden. Weitere Potenziale zur Lastspitzenbegrenzung und Erhöhung des Eigennutzungsgrads durch Demand-Side-Management könnten beispielsweise durch die Verschiebung von Ladevorgängen der Elektrofahrzeuge ausgeschöpft werden.

Architekturen für schwarmbasiertes Laden in topologisch benachbarten Microgrids

In Arbeitspaket 100 wurden bereits verschiedene Architekturalternativen für schwarmbasiertes Lastmanagement vorgestellt. Motivation dabei war die hohe Anzahl an Kommunikationsvorgängen, die im Basisszenario für größere Pools erforderlich ist. Zwei dieser Derivate der Interagentenarchitektur sind auch für die Vernetzung topologisch benachbarter Microgrids geeignete. Diese beiden Architekturen (ADP und AHK) werden nachfolgend mit Schwerpunkt auf die Vernetzung beschrieben.

Eine grafische Darstellung der Alternativen ist in Abbildung 61 zu sehen. Alternative 1, Disjunkte Pools (ADP), verfolgt den Ansatz, das durch den Betrachtungsraum definierte Koordinationsproblem in kleinere Teilprobleme zu zerlegen und diese getrennt voneinander zu lösen. In jedem der Sub-Pools würden sich dann eine ähnliche Anzahl an Fahrzeugen, EE-Erzeugern und Haushalten befinden, die sich untereinander koordinieren. Jeder Sub-Pool entspricht dabei einem Microgrid und kann die lokalen Charakteristika bei der Ladesteuerung berücksichtigen. Microgrids können sich beispielsweise in der Anzahl und Zusammensetzung der Verbrauch und Erzeugungseinheiten oder in der Anschlussleistung des Trafos unterscheiden. Es gilt auch hier, dass die zeitliche Komplexität im Gegensatz zur

Koordination in einem einzelnen Pool sinkt, da die Koordinationsverfahren der einzelnen Sub-Pools parallel ablaufen können. Die Wahrscheinlichkeit, dass in einem Zeitintervall gleichzeitig Pools mit Überschuss-, sowie solche mit Fehlmengen an EE-Leistung ihre Koordination beenden, ist hoch. Insgesamt führt diese Architekturalternative zu einer Verschlechterung der Lösungsqualität im Gegensatz zur Koordination in einem einzelnen großen Pool, da die Austauschkapazitäten zwischen einzelnen Pools nicht berücksichtigt werden.

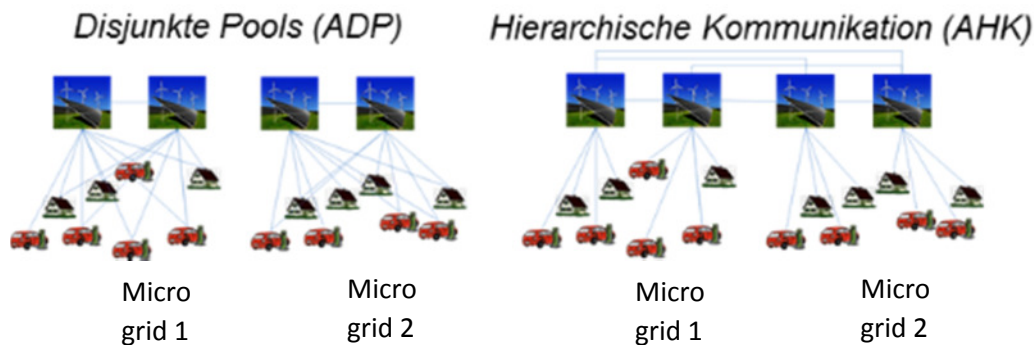


Abbildung 88: Architekturen für schwarmbasiertes Lastmanagement in topologisch benachbarten Microgrids

Alternative 2, Hierarchische Kommunikation (AHK), führt eine Kommunikation auf zwei hierarchischen Ebenen ein. Dafür ist jedes Fahrzeug und jeder Haushalt fix einem EE-Erzeuger zugeordnet. Dieser sendet nun seine Leistungsprognose an die ihm zugeordneten Fahrzeuge, welche wiederum dem Erzeuger ihren DQ mit zugehöriger Ladeleistung sichtbar machen. Alle Erzeuger leiten nun, nach Erhalt der Leistungsanforderungen der Fahrzeuge und Haushalte, alle nicht selbstständig abdeckbaren Anforderungen inklusive der DQ an alle anderen Erzeuger weiter. Dasselbe geschieht mit überschüssigen Leistungen, die noch durch kein Fahrzeug nachgefragt wurden. Nun, da alle ungedeckten Bedarfe und überschüssigen Leistungen allen Erzeugern zugänglich sind, werden wieder bei jedem Erzeuger zwei Listen sortiert, wie im Grundverfahren beschrieben. Anschließend bestimmt jeder EE-Erzeuger, ob, nach Abzug der Haushaltsbedarfe, im vorliegenden Fall weitere ihm zugeordnete Fahrzeuge eine Ladeerlaubnis von Systemseite bekommen können. Abschließend vergibt jeder Erzeuger an die ihm durch die Koordination zugeordneten Fahrzeuge die Ladegenehmigungen. Bei der Anwendung der Architekturalternative „Hierarchische Kommunikation“ muß zusätzlich die Trafo- und Leistungskapazität zwischen den topologisch benachbarten Microgrids berücksichtigt werden. Insgesamt kann durch den Austausch der überschüssigen verfügbaren Leistung und den Ladebedarfen ein besseres Koordinationsergebnis erzielt werden. Vergleiche hierzu die Untersuchungen in Arbeitspaket 100 und 310. Als Bemerkung zum Schluss sei noch darauf hingewiesen, dass es in dieser Alternative zu einem ungewollten Effekt bei der Leistungsverteilung kommen kann: Fahrzeuge mit hohem DQ können durch die Zuordnung zu einem EE-Erzeuger eine Befriedigung des Ladebedarfs erfahren und Fahrzeuge mit niedrigerem DQ, die allerdings Erzeugern mit weniger Erzeugungsleistung zugeordnet sind, dabei nicht zum Zuge kommen.

Integration von schwarmbasiertem Laden in die deutsche Übertragungs- und Verteilnetzstruktur

Das Schwarmbasierte Lademanagement optimiert die Deckung des lokalen Leistungsbedarfs durch lokal erzeugte EE. Dafür wird eine Kommunikationsarchitektur eingesetzt, die lokal alle Agenten zu einem Schwarmsystem verbindet. Effekte für das übergeordnete Mittelspannungsnetz und die Übertragungs- und Verteilnetzstruktur werden dabei allerdings nicht in der Stimulation evaluiert. Auswirkungen und Chancen für diese Bereiche sind im Folgenden kurz skizziert.

Durch das Schwarmbasierte Lademanagement wird eine starke Reduktion der über den Transformator bezogenen Energie erreicht. Gleichzeitig werden Leistungsspitzen im Bezug abgebaut. Das durch ein Schwarmsystem koordinierte Niederspannungsnetz stellt also reduzierte Leistungsanforderungen an das Mittelspannungsnetz. Sofern man das im Basisszenario betrachtete Wohnviertel auf ganz Deutschland (ca. 40 Mio. Haushalte (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung, 2015)) hoch skaliert, kann eine Gesamtsitzenlast von $(604\text{kW} - 331\text{kW}) * (40.000.000/400) = 27,3\text{GW}$ vermieden werden, was mehr als einem Drittel der heute installierten Nettoleistung zur fossilen Stromerzeugung entspricht (Fraunhofer ISE, 2015). Diese Reduktion der Spitzenlast kann zu einem Abbau von Reservekraftwerken bzw. der Vermeidung eines Neubaus von Reservekraftwerken führen. Zusätzlich reduziert sich auch die Belastung der Netze und Transformatoren im Gegensatz zum Basisszenario ohne Koordination. Dadurch wird die Lebensdauer der Infrastruktur erhöht und Neuinstallationen können kleiner dimensioniert werden.

Durch eine zusätzliche Koordination der einzelnen Niederspannungsnetze auf Mittelspannungsebene kann die regionale Integration von EE noch weiter gesteigert und der Bedarf nach Regelleistung noch weiter verringert werden. Dabei werden Leistungsbedarfe und EE- Überschüsse aus den einzelnen Wohnvierteln miteinander verrechnet. Um Leistungsbedarfe und -deckungen aktiv miteinander zu koordinieren, wäre ein Austausch von DQ aus den Niederspannungsnetzen notwendig, der im Verfahren bisher nicht vorgesehen ist.

Aufgrund der Reduktion des Energiebezugs aus den Hoch- und Mittelspannungsnetzen wird ein verändertes Umlageverfahren für Netzentgelte benötigt. Die Kostendeckung für Betrieb und Erhaltung von notwendigen Übertragungs- und Verteilnetzen geschieht heutzutage teilweise über einen Aufschlag auf den Arbeitspreis (siehe Kapitel 2.2.1). Dies wäre z.B. über eine Netzanschlussgrundgebühr der Haushalte abbildbar.

Sofern das Schwarmbasierte Lademanagement in mehr als einem Niederspannungsnetz genutzt wird, kann eine ad-hoc Einbindung von Elektrofahrzeugen bei Ankunft in einem anderen Niederspannungsnetz mit gleicher Koordination stattfinden. Falls Kommunikations- und Koordinationsmodul für das Schwarmbasierte Lademanagement an der Ladestation installiert ist, muss dafür lediglich eine an der Koordination teilnehmende Ladestation angefahren werden. Alle benötigten Daten werden der Ladesäule bei Ladebeginn bereitgestellt und diese übernimmt die Funktion des Observers und Controllers. Falls Observer und Controller in der technischen Umsetzung direkt im Fahrzeug sitzen, muss die ad-hoc Einbindung über eine automatische Registrierung im vorhandenen Kommunikationsnetzwerk erfolgen. Durch die ad-hoc Einbindung in bestehende Netzwerke wird die Möglichkeit geschaffen, ortsunabhängig bei jedem Ladevorgang durch das

Schwarmbasierte Lademanagement einen möglichst hohen Anteil EE im Fahrzeug zu integrieren.

4.4. AP 330 – Technische und ökonomische Bewertung

In Arbeitspaket 330 findet eine technische und ökonomische Bewertung der Netzunterstützung durch Elektrofahrzeuge statt.

Geschäftsmodelle zur Vernetzung

Die wirtschaftliche Betrachtung wird anhand der „Netzrollen-Methode“ vorgenommen. Der von (Brand, 2015) entwickelte Ansatz ermöglicht es, Rollen und Akteure in netzwerkorientierten Geschäftsmodellen zu untersuchen. In einem sogenannten NeRo-Schaubild können die Wertströme zwischen beteiligten Akteuren übersichtlich dargestellt werden. Abbildung 62 zeigt ein beispielhaftes NeRo-Schaubild.

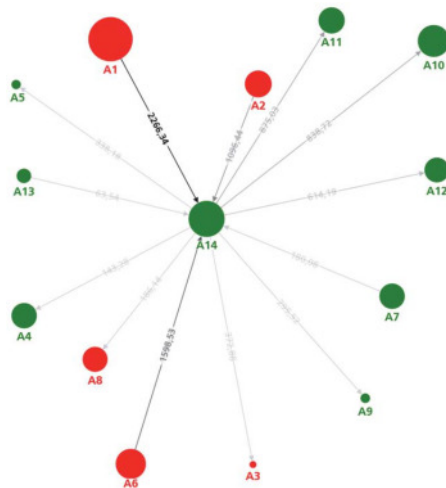


Abbildung 89: Beispielhaftes NeRo-Schaubild (Brand, 2015)

Die Bedeutung der Elemente in der Visualisierung wird in Tabelle 9 erläutert.

	Bedeutung
Größe des Knoten	Höhe des Betrags des Akteur-Saldos, relativ zum höchsten im Netzwerk
Farbe des Knoten	Grün: der Akteur hat einen positiven Saldo Rot: der Akteur hat einen negativen Saldo Schwarz: der Saldo des Akteurs beträgt 0
Beschriftung des Knoten	Akteursbezeichnung
Opazität der Kante	Die Opazität steigt mit der Höhe des Wertstroms, relativ zum höchsten im Netzwerk
Beschriftung der Kante	Die Zahl entspricht dem Saldo aller bilateralen Wertströme (in Pfeilrichtung)

Tabelle 10: Eigenschaften der Visualisierung (Quelle: Brand, 2015; eigene Darstellung)

Nachdem alle Akteure und die Wertströme definiert wurden, ordnet der „Fruchterman-Raingold“ Algorithmus den zentralen Akteur nach Anzahl der ein- und ausgehenden Verbindungen in der Mitte des Schaubildes an. (Brand, 2015) Die Wertströme geben die jährlichen Zahlungen an. Mit der Abschreibungsdauer werden aus einmaligen Zahlungen jährliche Wertströme berechnet.

Für das hier zu untersuchende Vernetzungsmodell wurden mehrere Geschäftsmodelle erstellt. Der einfachste und in der Praxis am häufigsten anzutreffende Fall kann Abbildung 63 entnommen werden. Der Endnutzer hat ein Tarifvertrag bei einem Stromlieferanten und bezieht dort direkt seine Energie. Die Wertströme fließen indirekt an Energieversorgungsunternehmen, Netzbetreiber und Staat.

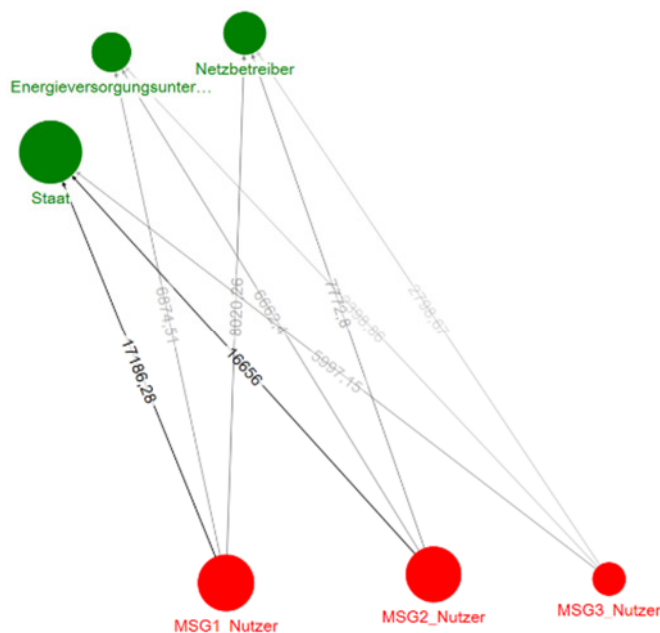


Abbildung 90: Netzrollenmodell für den Fall „keine Vernetzung“

Für die durchgeführte Simulation eignet sich besonders folgender Ansatz: Der Endnutzer bezieht seine verbrauchte Energie vom MSG-Betreiber. Der MSG-Betreiber betreibt das lokale Energiesystem (inkl. PV-Anlage, Batteriespeicher, Ladeinfrastruktur und BHKW) und verkauft den Strom und die Wärme (hier nicht betrachtet) an den Endnutzer. Er wiederum bezieht den Strom aus dem Smart Grid-Verbund, dieser wird von dem SG-Betreiber betrieben. Der SG-Betreiber bildet die Kuppelstelle zum übergelagerten Netz. Dieses Modell eignet sich vor allem zur Vernetzung und Energieaustausch innerhalb der Microgrids. Folgende Abbildung 64 zeigt die Wertströme des hier beschriebenen Geschäftsmodells.

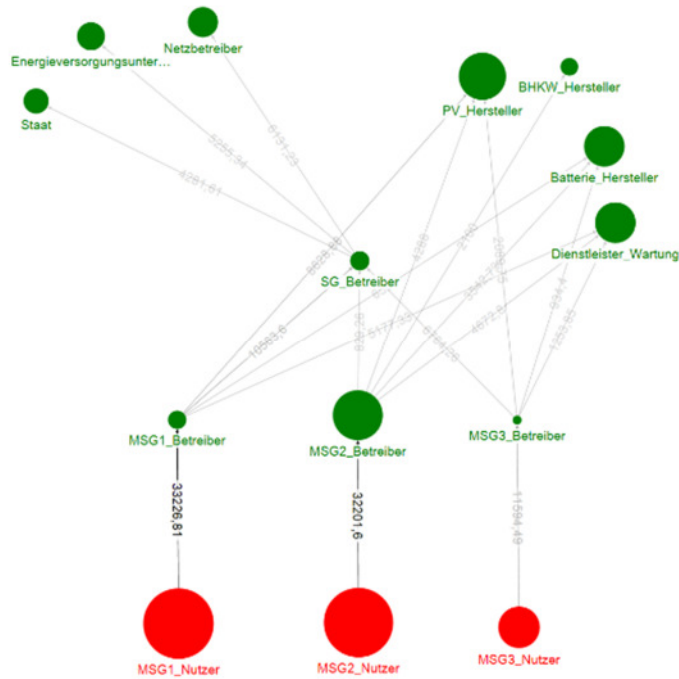


Abbildung 91:Netzrollenmodell für die Vernetzung mehrerer Microgrids („ungeregelter Fall“)

Wird das Netzrollenmodell auf den in 4.2 simulierten geregelten Fall angewendet, können verschiedene Veränderungen beobachtet werden:

Vor allem MG2-Betreiber kann von der Regelung (Reduzierung der Netzbelastung) profitieren, da dieser durch das BHKW im Winter den überschüssigen Strom an die benachbarten Microgrids über den SG-Betreiber verkaufen kann. Auch der SG-Betreiber kann vom geregelten Fall profitieren, da dieser weniger Strom aus dem übergelagerten Netz beziehen muss und auch weniger Strom in dieses einspeist.

Die Veränderung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Akteure hängt stark von der Höhe der Einspeisevergütung und Strombezugspreises innerhalb des Smart-Grid-Verbundes ab.

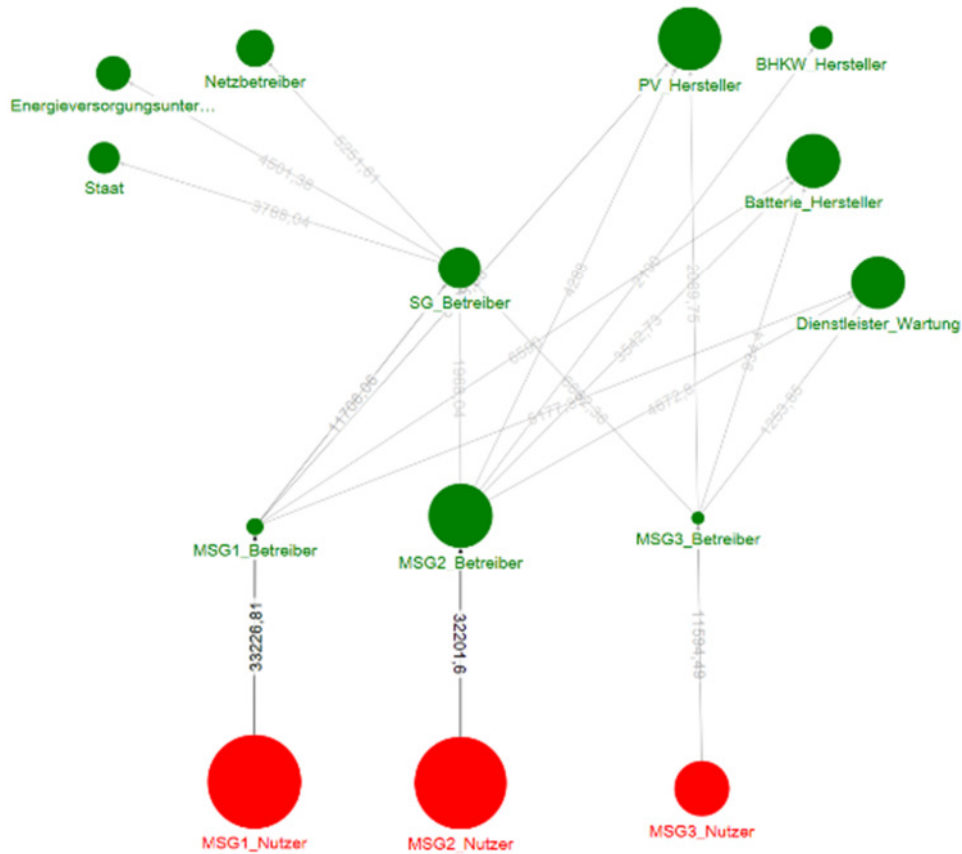


Abbildung 92: Netzrollenmodell für die Vernetzung mehrerer Microgrids („geregelter Fall“)

Technische Auswertung – Vernetzung mehrerer Microgrids

Vergleich der Leistungsbilanz

Um die Auswirkungen der Regelung innerhalb des Smart-Grid Verbunds darzustellen, wurde ein Histogramm der Leistungen erstellt (vgl. Abb. 66).

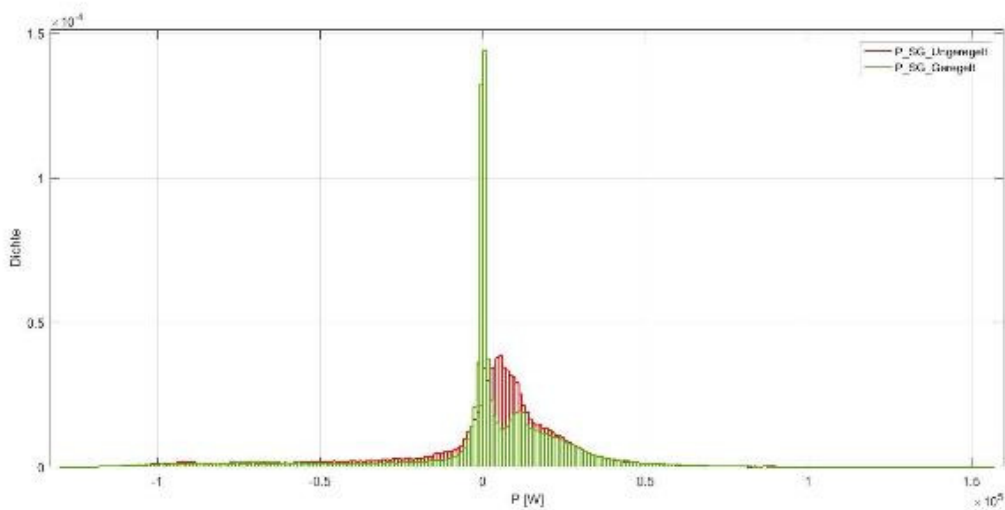


Abbildung 93:Leistungs-Histogramm zum Vergleich der Leistungen für den Modus geregelt und unregelt. $P_{SG} > 0$: Netzbezug, $P_{SG} < 0$: Netzeinspeisung

Die aktive Regelung soll die Gesamtbilanz P_{SG} auf 0 W optimieren, sodass das Smart Grid so wenig Leistungsspitzen wie möglich auf das übergeordnete Netz auslöst. Diese Reduzierung der Netzbelastung ist auch im Hinblick auf die Integration einer größeren Anzahl von Elektrofahrzeugen von großer Bedeutung. Die Auswirkungen dieser Betriebsstrategie werden in Abb. 16 deutlich, in der Kategorie „0 W“ ist ein signifikanter Ausschlag zu erkennen. Durch diese aktive Regelung werden die Leistungen von 0 bis ca. 25 kW teilweise sehr deutlich kompensiert. Im Bereich des Leistungsüberschusses ($P_{SG} < 0$) zeigt sich die Kompensation weniger deutlich, wobei sie dennoch bis zu einem Bereich von fast -50 kW zu Verbesserungen führt.

Vergleich der ausgetauschten Energiemengen zwischen Smart Grid-Verbund und überlagertem Netz

Durch die eingesetzte Regelung können deutliche Energieeinsparung von 15,4 % (Einspeisung) bzw. 13,95 % (Bezug) im Vergleich zu „ungeregelten“ Fall beobachtet werden (vgl. Tabelle 10).

Betriebsweise	Energieeinspeisung	Energiebezug
Ungeregelt (EV)	82,69 MWh	87,59 MWh
Geregelt	70,01 MWh	75,37 MWh
Einsparung	12,68 MWh (15,4 %)	12,22 MWh (13,95 %)

Tabelle 11: Vergleich der Energiemengen für den Modus geregelt und ungeregelt

Die Anteile der einzelnen MGs der Gesamtbilanz sind in Abb. 67 dargestellt. MG3 weist demnach weder bei Bezug noch Einspeisung große Änderungen vom geregelten zum ungeregelten Fall auf. Bei MG2 kann sogar eine leichte Erhöhung der Einspeisung und des Bezugs beobachtet werden. An dieser Stelle ist eine lokale Optimierung des Microgrids vorzuziehen. Betrachtete man jedoch den Smart Grid-Verbund als Einheit, so kann eine Verbesserung der Gesamtbilanz erreicht werden. Dies ist auf die Verbesserung der Bilanz in MG1 zurückzuführen. Durch die gezielte, kollektiv gleichmäßige Belastung durch den MGC1-Algorithmus kann hier die Netzbelastung deutlich verringert werden.

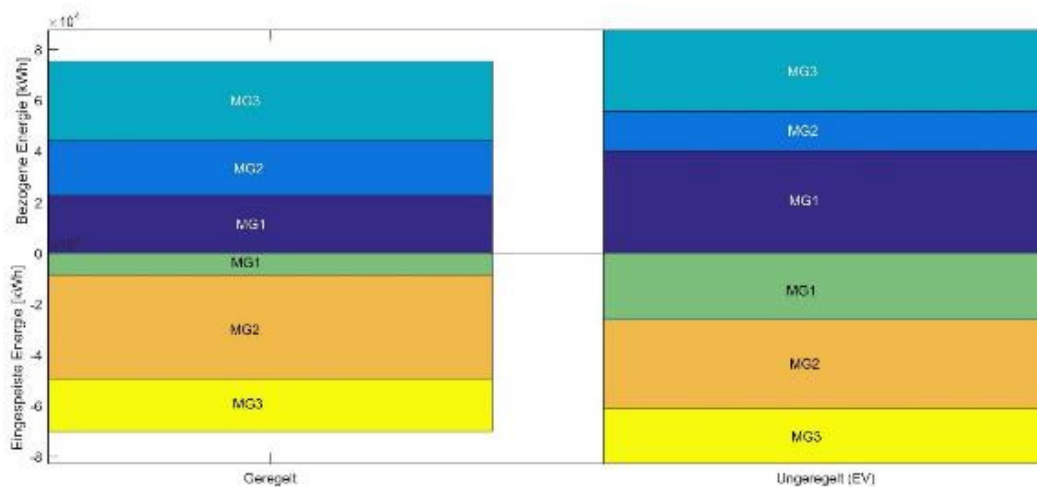


Abbildung 94: Vergleich der Anteile Energiebezüge und -abgaben der einzelnen MGs

Vergleich der Zyklenanzahl pro Batteriespeicher

Ein weiterer Faktor zur Beurteilung des Gesamtsystems ist die Anzahl der Zyklenanzahl der einzelnen Batteriespeicher der Microgrids. Die Auswertung zeigt eine bessere Verteilung der Zyklen der einzelnen Speicher im geregelten Fall. Ein weiteres Ergebnis des „geregelten“ Falls ist eine höhere Zyklenanzahl aller Speicher (vgl. Abb. 68). Bezieht man die Zyklen auf die Datenblätter der Hersteller, ergibt sich folgende prognostizierte Lebensdauer für die Speicher der Microgrids: MG1 (durchschnittlich 7000 Zyklen) eine Laufzeit von 20,7 Jahren, für den Speicher in MG2 (5000 Zyklen) 21,93 Jahre und den Speicher in MG3 (5000 Zyklen) 21,19 Jahre.

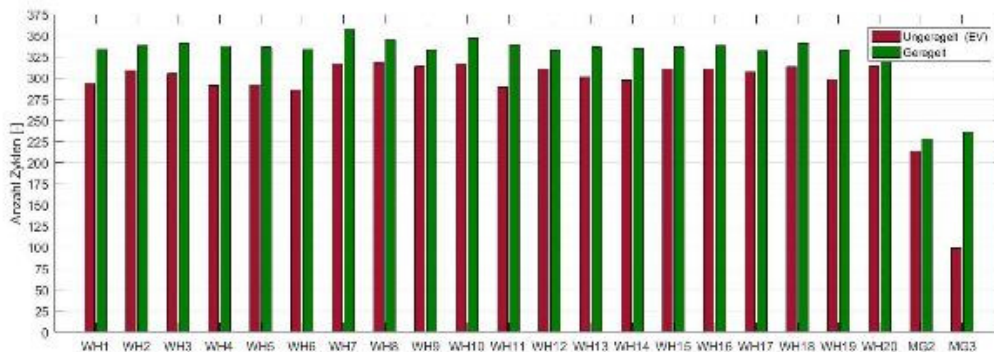


Abbildung 95: Vergleich der Zyklenzahlen der Batteriespeicher für den geregelten und ungeregelten Fall

Ökonomische Implikation aus dem schwarmbasierten Lademanagement

In den bisherigen Untersuchungen wurden die Nutzung erneuerbarer Energien und die maximale Leistung am Transformator als Parameter zur Bewertung herangezogen. Ziel des Arbeitspakets 330 ist es zudem zusätzlich die ökonomische Implikation des schwarmbasierten Lademanagements zu untersuchen.

Für diesen Zweck wird weiterhin das Basisszenario betrachtet: schwarmbasiertes Lastmanagement für Elektrofahrzeuge wird in einem Microgrid genutzt, welches über einen Transformator an die höheren Netzebenen gekoppelt ist. Die nicht durch EE gedeckte, benötigte Energie muss aus dem Netz bezogen, überschüssige Energie ins Netz eingespeist werden. Die dadurch entstehende Transformatorbelastung unterscheidet sich zwischen unkoordiniertem und koordiniertem Szenario erheblich. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die Belastungsdifferenz auf Tagesbasis zu sehen. Werte über null stellen dabei Vorteile des koordinierten Szenarios dar, Werte unter null, Tage, an denen das unkoordinierte Szenario geringere Netzbelastung hervorgerufen hat. Hierbei wurden nicht nur Netzbezüge, sondern auch Netzeinspeisungen über den Transformator betrachtet. Für diesen Zweck wurden die Absolutwerte der Belastungen verglichen. Aufgrund dessen, dass im Basisszenario über den Betrachtungshorizont exakt so viel EE vorhanden ist, wie im Gesamten an Energie verbraucht wird, sinkt, bei Einsatz des Schwarmbasierten Lademanagements, die Gesamteinspeisung von EE ins übergeordnete Mittelspannungsnetz proportional zur Reduktion des Gesamtenergiebezugs über den Transformator.

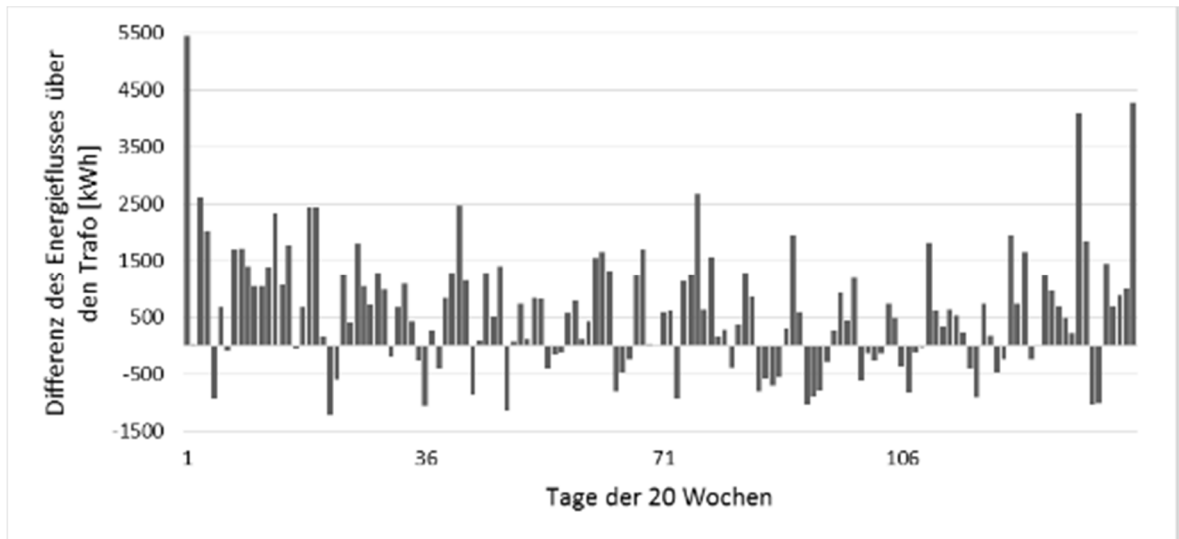


Abbildung 96: Differenz im Energiefluss über den Transformator zwischen unkoordiniertem und koordiniertem Szenario auf Tagesbasis

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. 70 zeigt die Verteilung der Lasten am Transformator über den Simulationshorizont mit und ohne Ladesteuerung. Zwei Effekte können in diesem Diagramm beobachtet werden. Zum einen ist zu sehen, dass durch Ladesteuerung die Einspeisung am Transformator zurückgeht (siehe Reduktion der Häufigkeit im negativen Bereich der y-Achse). Dies deckt sich mit den Beobachtungen in den bisherigen Untersuchungen. Durch schwarmbasiertes Lastmanagement steigt die Nutzung von lokaler Erzeugung aus erneuerbaren Energien. Zum anderen zeigt der Vergleich der beiden Histogramme, dass die Zeiten mit hohem Netzbezug deutlich reduziert werden können.

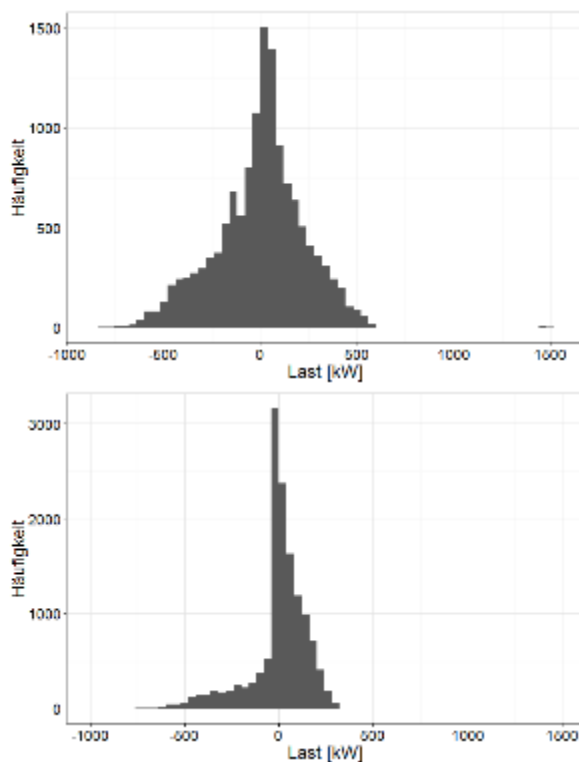


Abbildung 97: Verteilung der Trafolasten ohne Ladesteuerung (links) und mit schwarmbasierter Koordination (rechts)

Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt auf Einsparungen bei den variablen Kosten. Für eine umfassende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung müssen zusätzlich noch die Investitionen in Erzeugungsanlagen und weitere Komponenten (z.B. Kommunikationsinfrastruktur) berücksichtigt werden. Im Microgrid entstehen Kosten durch den Bezug von Strom aus dem Netz, Erlöse können durch die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien ins Netz generiert werden. Als Bewertungsgrundlage für den Bezug bzw. die Einspeisung von Strom werden in dieser Untersuchung die Preise am Day-Ahead Markt der European Power Exchange (EPEX1)¹⁷ genutzt. Am Day-Ahead Markt werden über Gebote der Marktteilnehmer Preise für jede Stunde des nächsten Tages festgelegt. Diese Preise werden am Vortag veröffentlicht und senden aufgrund der hohen Liquidität an der EPEX ein Preissignal für den Stromhandel in ganz Europa aus. Für Privathaushalte stellen die Erzeugungskosten jedoch nur einen Preisbestandteil dar. Es fallen darüber hinaus Kosten für Verteilung, sowie Steuern und Gebühren an. Um diesen weiteren Preisbestandteilen Rechnung zu tragen werden für unsere Untersuchungen die EPEX Spotpreise skaliert, so dass der Mittelwert der Preiszeitreihe für unsere Untersuchung dem durchschnittlichen Strompreis in Deutschland für das Jahr 2015 entspricht. Dieser betrug für Privathaushalte etwa 29 Eurocent¹⁸. Für die Einspeisung aus erneuerbare Energien wird von einer Direktvermarktung ausgegangen, so dass der EPEX Day-Ahead Preis die erzielbaren Erlöse pro kWh widerspiegelt. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**²¹ zeigt für eine Beispielwoche die Kosten für den Strombezug sowie die Vergütung für Einspeisung aus erneuerbaren Energien. Es wird davon ausgegangen, dass keine zusätzlichen Vergütungen durch Eigenstromnutzung erzielt werden können. Die erhöhte Nutzung von erneuerbaren Energien durch schwarmbasiertes Lademanagement im Microgrid bringt also Ersparnisse durch die weiteren Kostenbestandteile (Stromverteilung, Steuern und Gebühren), gleichzeitig kann Strombezug in Zeiten mit hohen Preisen an der Strombörse reduziert werden.

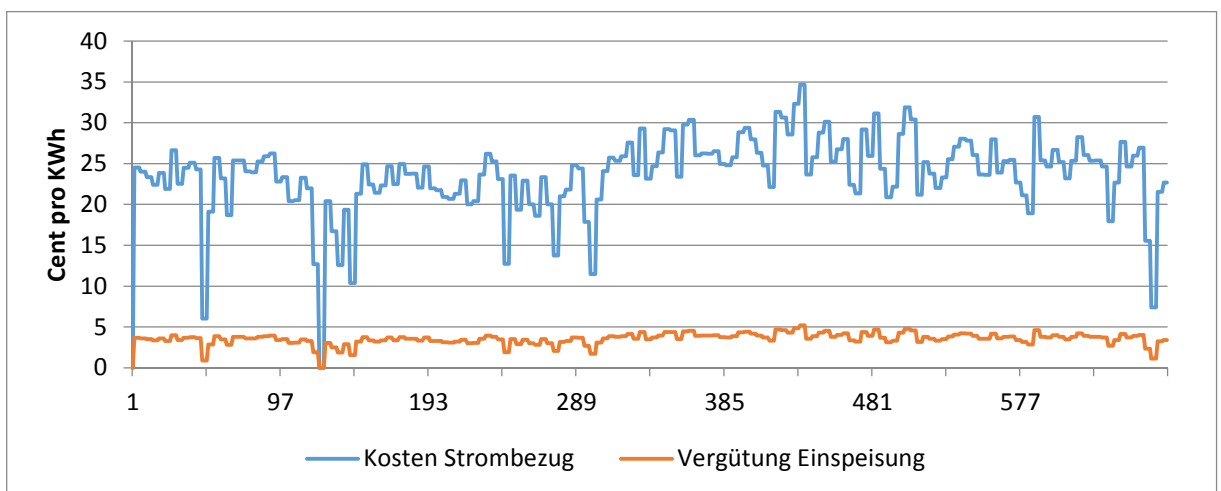


Abbildung 98: Kosten für den Strombezug und Vergütung für Einspeisung für eine Beispielwoche

¹⁷ <https://www.epexspot.com/en/>

¹⁸ <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiemarkt-und-Verbraucherinformationen/preise.html>

Für die Ermittlung der ökonomischen Kenngrößen bildet der Energiebezug bzw. Energieeinspeisung am Transformator die Grundlage. Diese Werte stammen aus der zuvor durchgeführten Simulation des schwarmbasierten Lastmanagements im Basisszenario. Eine detaillierte Beschreibung der Simulation und der entsprechenden Parameter sind im Arbeitspaket 100 zu finden. Die Lasten am Transformator werden dann mit den im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Kosten bzw. Vergütungen bewertet.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. 72 zeigt die Verteilung der Erlöse durch Netzeinspeisung der erneuerbaren Energien (negative Werte auf der y-Achse), sowie die Verteilung der Kosten durch den Bezug von Strom ohne Ladesteuerung (positive Werte auf der y-Achse) ohne Ladesteuerung und mit schwarmbasierter Koordination. Die Beobachtungen hier decken sich mit der Verteilung der Transformatorlasten in Abbildung 20. Durch schwarmbasiertes Lastmanagement gehen die Erlöse durch Einspeisung der erneuerbaren Energien leicht zurück. Die größte Veränderung findet aber beim Strombezug statt. Hier kann insbesondere die Häufigkeit von Zeiten mit hohen Bezugskosten deutlich reduziert werden. Über den Simulationszeitraum entstehen ohne Ladekoordination insgesamt Kosten (Kosten Strombezug minus Kosten Erlöse durch Einspeisung) von rund 69000 Euro, mit schwarmbasierter Ladekoordination können diese Kosten auf 41000 Euro gesenkt werden. Diese Einsparung sind darauf zurückzuführen, dass weniger Strom am Markt beschafft werden muss und stattdessen durch Strom aus lokaler PV- und Winderzeugung substituiert wird.

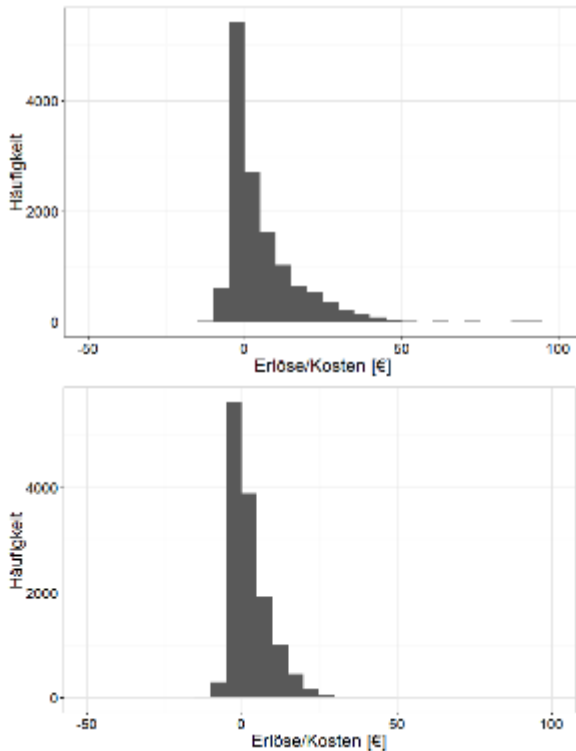


Abbildung 99: Verteilung der Erlöse durch Netzeinspeisung der Erneuerbaren Energien sowie der Kosten durch den Bezug von Strom ohne Ladesteuerung (links) und mit schwarmbasierter Koordination (rechts)

Ein Treiber für die Ersparnisse ist die Reduktion von Strombezug in Stunden mit hohen Preisen. Die Preisunterschiede zwischen einzelnen Stunden führen im betrachteten Szenario zu zusätzliche Einsparungen. Die hier ermittelten Potentiale sind nur bei Einführung von dynamischen Tarifen auf Endkundenebene realisierbar und werden durch die Spreizung der Preisstufen zwischen den einzelnen Stunden beeinflusst. Bei einem flachen Stromtarif sind die Einsparungen auf die Preisunterschiede zwischen Bezug und Einspeisung beschränkt und werden somit stark durch Steuern und Gebühren getrieben.

5. AP 400 – IKT Dienste für integrierte Systeme

Management Summary

Das Projekt IMEI setzt sich damit auseinander, wie die steigende Anzahl von Elektroautos sowohl in Form von betrieblichen Flotten als auch in schwarmbasierter Form eines Zusammenschlusses von Einzelfahrzeugen so an das dezentrale Energiesystem angebunden werden kann, dass domänenübergreifende Funktionen erfüllt werden. Dazu gehören insbesondere die kostengünstige Nutzung von E-Autos für die Endkunden, die Kapitalisierung von Überkapazität durch Marktteilnehmer und die Nutzung des von Elektroautos als dezentrale Speicherkapazität zur Stabilisierung des Energiesystems für die Netzbetreiber. Der breitere Rahmen des Projektes sind die mittel- und langfristigen Treibhausgasreduktionsziele der Bundesregierung, welche die drastische CO₂-Reduktion durch die Elektrifizierung von Mobilität bei gleichzeitig stark ansteigendem Anteil erneuerbarer Energien am Strom-Mix voraussetzt. Bis zum Jahre 2020 soll sich der Anteil von Erneuerbaren Energien am Strom-Mix auf 35% erhöht haben und bis zum Jahr 2050 sollen 80% des Stromverbrauchs aus EE gedeckt werden. Zur Unterstützung dieses Ziels soll der Stromverbrauch bis 2020 um 10% sinken, bis 2050 sogar um 25%. Zur Umsetzung dieser Zahlen müssen beim weiteren Ausbau erneuerbarer Energien konventionelle Kraftwerke deutlich runtergefahren werden. Dies bedeutet den Übergang von einem Energiesystem, in dem Energie bedarfsabhängig produziert wurde zu einem System, das bedarfsunabhängig produzierte Energie in den Fokus stellt und Nachfrage entsprechend anpassen muss. Voraussetzung dafür ist eine Informations- und Kommunikationstechnik, die eine bedarfsunabhängige Stromproduktion aus erneuerbaren Energien mit dem Verbrauch unter den physikalischen Gegebenheiten der Netzinfrastruktur sowie der Nachfragesituation in Einklang bringt. E-Mobilität könnte dabei eine wichtige Rolle spielen.

5.1. AP 410 – Konzeption von IT-Diensten für Nutzer von eFlotten

Verantwortliche Partner: Ametras, ENERGY4U und Fraunhofer IAO

Begriffsbestimmung

eFlotten

Elektroautos verfügen mittlerweile über viele digitale Fähigkeiten wie z.B. die genau Positionsbestimmung und Navigation über GPS. Dadurch ist eine genau Überwachung und Steuerung der Flotte möglich. Darum spricht man bei Flotten von Elektrofahrzeugen auch von eFlotten.

Unter dem Begriff Flotte versteht man die Gesamtheit aller Fahrzeuge einer organisatorischen Einheit (vgl. Krieger). Eine eFlotte beschreibt eine Fahrzeugflotte bestehend ausschließlich aus Elektrofahrzeugen. Die kurzen Reichweiten und nutzungsabhängigen Ladezeiten stellen besondere Herausforderungen an das Flottenmanagement. Die erforderliche Ladeinfrastruktur (Ladesäulen für Elektrofahrzeuge) und einzelnen Ladevorgänge müssen genauestens geplant werden, damit Ladespitzen und eine damit verbundene Überlastung des Netzes verhindert werden können (elektromobilität süd-west, 2012).

Der angebotene Wert für den Kunden ist beim Carsharing die Mobilität. Dazu bietet der Flottenbetreiber (Carsharing-Anbieter) Fahrzeuge für die Nutzung durch den Kunden an (vgl. Bach *et al.*, 2012, S. 5ff.). Um diesen Wert zu erreichen sind mehre Rollen nötig

Anbieter

Der Anbieter hat die Grundlegende Aufgabe die Fahrzeuge zu erwerben und zu Warten. Zudem wird durch den Anbieter der gesamte Kundenkontakt verwaltet. Der Fuhrpark wird von hier aus überwacht und bei Bedarf Reparaturen angeordnet. Der Anbieter stellt die Rechnungen an den Kunden aus und Managend Umsatz und Kosten. Außerdem arbeiten Vertrieb und Marketing an neuen Angeboten. Die Funktionen und Aufgaben des Anbieters sind:

- Fahrzeuge bereitstellen
- Abrechnung erstellen
- Kundenbetreuung
- Kunden verwalten
- Angebot optimieren
- Fuhrpark überwachen
- Wartung und Reparatur koordinieren

Ladesäulenbetreiber

Die Zusammenarbeit mit einem oder mehreren Ladesäulenanbietern ist nötig um den Mehrwert der freien Mobilität für den Kunden zu erreichen. Da die Kosten für eine eigene Ladeinfrastruktur zu hoch sind wird auf die bereits bestehende Infrastruktur zurückgegriffen. Dabei muss der Betreiber Daten über die Verfügbarkeit seiner Ladesäulen an den Carsharing-Anbieter senden. Daraufhin muss er das angeschlossene Fahrzeug laden. Zuletzt werden die Daten über die geladene Strommenge und der damit verbundene Preis an den Anbieter geschickt. Die Funktionen und Aufgaben des Ladesäulenbetreibers sind:

- Ladesäulen errichten
- Beladung der Fahrzeuge
- Daten über Verfügbarkeit senden
- Ladevorgang abrechnen
- Datenschutz gewährleisten

Nutzer

Der Nutzer ist der eigentliche Empfänger der Leistung. Er benutzt das Fahrzeug und erhält damit den Mehrwert der Mobilität. Die Aufgaben und Funktionen des Nutzers sind:

- Fahrzeug fahren
- Fahrzeug buchen
- Bewegungsdaten senden

IT Plattform

Die IT Plattform dient als zentrale Verwaltungseinheit. Sie gibt dem Benutzer die Möglichkeit ein Fahrzeug für einen bestimmten Zeitpunkt zu reservieren. Das System sucht daraufhin ein passendes Fahrzeug aus und berechnet eine Energiesparende Route für den Nutzer. Zudem dient die Plattform zur digitalen Speicherung aller Nutzer, Kunden und Fahrzeuge. Auch die Abrechnung erfolgt über das System. Die Aufgaben der IT Plattform sind:

- Kundendaten verwalten
- Fahrzeugdaten verwalten
- Buchungen verwalten
- Rechnungen verwalten
- Standorte und Reservierungen der Fahrzeuge verwalten
- Routen planen
- Ladesäulendaten verwalten
- Prognosen erstellen

Kunde

Da es sich in diesem Konzept um eine Corporate Carsharing handelt ist der Kunde nicht gleich dem Nutzer. Der Kunde ist hier ein Unternehmen, welches die Dienstleistung für seine Mitarbeiter (Nutzer) erwirbt. Der Kunde hat folgende Aufgaben:

- Erwirbt Nutzungsrecht für seine Arbeitnehmer
- Schließt Vertrag ab
- Beahlt die Dienstleistung

Wertschöpfungsarchitektur

Die Interaktion der einzelnen Rollen untereinander kann aus folgender Abbildung entnommen werden. In der Abbildung werden die Datenflüsse ersichtlich. Zudem werden der Fluss der Vergütung und der Dienstleistung deutlich.

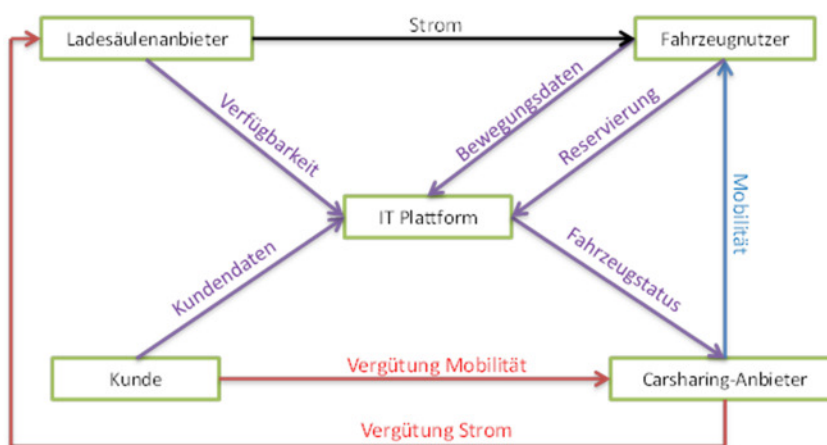


Abbildung 100: Wertschöpfungsarchitektur (eigene Abbildung)

Ertragsmodell

Ein Ertragsmodell beschreibt auf welche Weise und aus welcher Quelle der Umsatz in einem Unternehmen erzielt wird. Das Ertragsmodell setzt sich zusammen aus einer einmaligen Anmeldegebühr. Diese wird für jedes neue Mitglied bei der Anmeldung erhoben. Dabei handelt es sich jedoch um einen recht kleinen Beitrag, welcher im Ertragsmodell außeracht gelassen wird. Der hauptsächliche Teil des Ertrages soll aus einem Mitgliedsbeitrag und einem Nutzerentgelt pro gefahrene Minute erzeugt werden. Der Mitgliedsbeitrag wird jährlich von allen registrierten Nutzern eingezogen. Dadurch wird es ermöglicht die Kosten für jede gefahrene Minute zu senken. Besonders für Vielfahrer wird das Konzept so interessant. Aber auch kleine Firmen, für die sich ein firmeneigenes Fahrzeug nicht leisten können soll dieses Konzept ansprechen, da die Gebühr wesentlich geringer ausfällt als eine Leasing-Gebühr.

Durch zusätzliche, neuartige IT-Dienste könnte die Nutzung von eFlotten nicht nur interessanter gemacht werden. Sie könnte es den Betreibern von eFlotten auch ermöglichen, zusätzliche Einnahmen von bisher unbeachteten Marktteilnehmern zu generieren und damit auch die Minutenpreise weiter zu senken. Ein solcher IT-Dienst könnte beispielsweise In-Car Advertising sein: So könnten durch standortindividuelle und nutzerindividuelle Werbung im Auto einer eFlotte zusätzliche Einnahmen generiert werden. Durch IT-Dienste, welche einen Mehrwert für die Nutzer von eFlotten darstellen, zum Beispiel indem sie mehr Komfort bieten, können auch Anreize zur Nutzung von eFlotten gesetzt werden. Hierdurch kann die Anzahl der Nutzer gesteigert werden.

IT-Dienst

Nach ITIL ist ein IT Dienst¹⁹ ein Dienst, der von einem IT Service Provider bereitgestellt wird. Dieser Dienst soll einen Mehrwert durch das Herbeiführen eines angestrebten Ergebnisses für einen Kunden bzw. Anwender zu liefern. Ein IT Dienst wird durch eine Kombination von Informationstechnologie, Menschen und Prozessen gebildet. Dabei trägt der Kunde und Anwender keine Verantwortung für Risiken oder Wartung des Dienstes. Für den Kunden bzw. Anwender fallen üblicher Weise nur Kosten für die Nutzung des IT-Dienst an (vgl. Cannon, 2012, S. 15).

Die Automobilindustrie setzt IKT- und IT-Technologie für Fahrzeuge ein, um verschiedene Anwendungen und Dienstleistungen rund um die Fahrzeuge ermöglichen können. Diese Dienste können weiter kategorisiert werden. Im Verlauf dieser Arbeit soll ein Mehrwert-Service entworfen werden, der die Mobilitätskonzepte weiter verändern soll.

IT-Dienste in der Automobilbranche, die auch als Automotive Services bezeichnet werden, werden dazu eingesetzt intelligente Fahrzeuge zu entwickeln. Ziel ist es durch diese Technologien autonome Fahrzeuge in den Straßenverkehr zu integrieren (vgl. Williams et al. 2007, S. 6). Diese Dienste sollen zudem personalisierbar sein, um dem Anwender ein individuelles und auf seine Wünsche abgestimmtes Fahren zu ermöglichen. So werden in diesem Bereich neue Dienste konzipiert (vgl. Reichwald et al. 2007, S. 3f.). Für die Entwicklung von mobilen Diensten für Fahrzeuge sollten folgende Anforderungen

¹⁹ Im Wortlaut der ITIL Definition wird ein „IT-Service“ definiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurde „Service“ mit dem Begriff Dienst übersetzt, da in späteren Kapiteln in weiteren Zusammenhängen von Diensten gesprochen wird.

berücksichtigt werden: starke Nutzerorientierung, Profitabilität, Dienste mittels Kooperation von Partnern erbringen und die Benutzbarkeit der Dienste (vgl. Hoffmann et al. 2007b, S. 130).

Automotive Services können unterschiedlich kategorisiert werden. Im Folgenden wird die Kategorisierung nach dem Spektrum mobiler Dienstleistungen vorgestellt. Hierbei werden die Dienste in die Kategorien Fahrzeugdienste, Mobilitätsdienste und Personenbezogene Dienste eingegliedert. Fahrzeugdienste sind Dienste wie Softwareupdates, Fernwartung oder Diebstahlschutz. Weiterführend folgen Mobilitätsdienste wie Navigation, Parkplatzreservierungen oder Notruffunktionen bei bestimmten Ereignissen. Diese Dienste ermöglichen dem Nutzer seine Mobilität flexibel zu gestalten. Zuletzt folgt die Integration von personenbezogenen Diensten in Fahrzeuge. Diese lassen sich weiter kategorisieren in die Klassen Information, wie Nachrichten über das Radio oder den Bordcomputer, Unterhaltung, wie Radio und Fernsehen, Kommunikation, wie E-Mail Dienste und Chat, und Konsum, wie Buchung von Hotels oder Events. Die folgende Abbildung stellt das Spektrum der Automotive Services dar. (vgl. auch Grafik Hoffmann et al. 2007b, S. 171).



Abbildung 101- Spektrum mobiler Dienstleistungen

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein IT-Dienst der Kategorie Mobilitätsdienste entwickelt werden, um Mobilitätskonzepte für die eFlottennutzung zu verbessern.

eRoaming als Beispiel für bereits vorhandene IT-Dienste

Eine Problematik, die sich IT-Dienst-Plattformen im Bereich Elektromobilität bisher gewidmet haben, ist die Abrechnung von Strom an Ladesäulen von unterschiedlichen Anbietern, die Verträge mit verschiedenen Stromlieferanten abgeschlossen haben. Um dieses Problem zu lösen, sind sogenannte eRoaming Plattformen entwickelt worden. Diese ermöglichen das Laden eines Elektrofahrzeugs an Ladestationen von Ladesäulenbetreibern, die keinen Vertrag mit den Mobilitätsdienstleistern besitzen, bei dem das Elektrofahrzeug gebucht worden ist. Dieses Prinzip basiert auf dem der Nutzung unterschiedlicher Netze in der Telekommunikation. Den Nutzern von Elektrofahrzeugen wird so ein anbieterübergreifendes Abrechnungsverfahren für die Energie der Ladesäule angeboten. eRoaming beschreibt die Vertragsbeziehungen der Marktteilnehmer der Elektromobilität untereinander. Das Ziel von eRoaming-Initiativen ist es ein barrierefreies Laden und bezahlen

an Ladesäulen zu ermöglichen. Eine erste paneuropäische Initiative startete im März 2015 von verschiedenen eRoamingplattformen, sodass die Ladeprozesse vereinheitlicht werden, um eine barrierefreie Nutzung von Elektrofahrzeugen in Europa zu ermöglichen (vgl. NPE, 2015, S. 16–17). Eine eRoamingplattform ist HUBJECT. HUBJECT verbindet Ladeinfrastrukturen in Europa durch eine branchenübergreifende Business- und IT-Plattform, um Nutzern einen einfachen Zugang zu Ladestationen zu ermöglichen. HUBJECT wurde von führenden Unternehmen der Energie-, Technologie- und Automobilbranche gegründet und ist auch Mitglied der Nationalen Plattform Elektromobilität. Als IT-Unternehmen und Spezialist im Bereich Smart Energy ist auch Atos Worldgrid ein Partner von HUBJECT, um die Entwicklung im Bereich Elektromobilität weiter voran zu fördern (vgl. HUBJECT GmbH, 2016b).

Welche Akteure mittels einer Plattformlösung wie HUBJECT miteinander verbunden werden, veranschaulicht die folgende Abbildung.

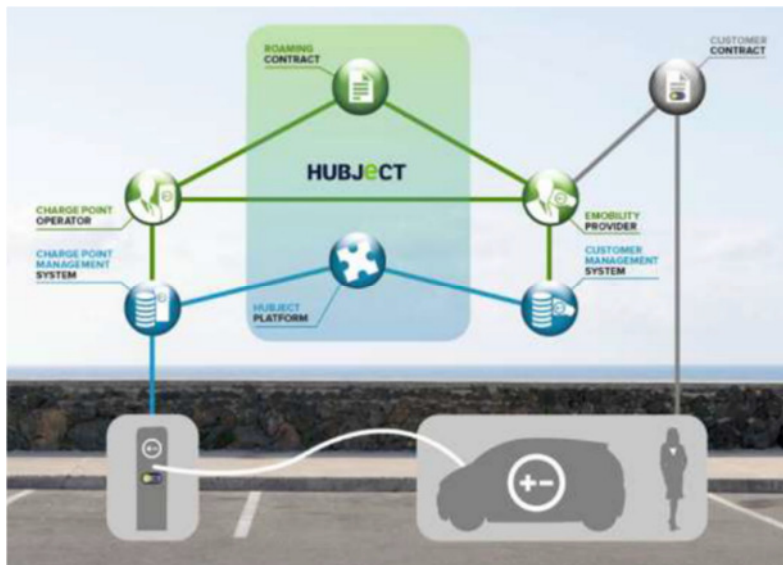


Abbildung 102: Verbindung mittels einer Plattformlösung wie HUBJECT

Der Nutzer hat bei diesem Abrechnungsmodell einen Vertrag mit einem Elektromobilitätsserviceprovider. Der Elektromobilitätsserviceprovider ist ein Anbieter von Ladeservices. Dabei bietet dieser den Nutzern Zugang zu Ladestationen mittels Ladekarten, mobilen Applikationen oder anderen Verfahren. Schließt sich ein Elektromobilitätsserviceprovider an das Netzwerk der HUBJECT Plattform an, ist es Nutzern von unterschiedlichen Ladesationsbetreibern möglich auch an diesen Ladesäulen ihr Elektrofahrzeug zu laden. Um solch ein Netzwerk herzustellen ist es notwendig, dass der Elektromobilitätsserviceprovider und der Ladestationsbetreiber einen Roaming-Vertrag abschließen. Der Ladestationsbetreiber ist für die Installation, den Betrieb und die Wartung einer Ladestation verantwortlich. Da der Ladestrom nicht notwendiger Weise durch den Ladesationsbetreiber geliefert wird ist es wichtig, dass dieser an das Ladepunkte-Backendsystem angeschlossen ist, sodass eine korrekte Abrechnung des Stroms erfolgen kann und auch Kunden anderer Elektromobilitätsserviceprovidern an dieser Ladestation ihr Fahrzeug laden können (vgl. HUBJECT GmbH, 2016a, S. 5).

Durch eRoaming-Plattformen werden neue Möglichkeiten für Betreiber von Ladestationen, Hersteller von Elektroautos, Energieversorger, Fahrstromanbieter, Hersteller von Ladestationen, Flottenbetreiber, CarSharing-Unternehmen und IT-Dienstleister eröffnet

(vgl. Hsubject GmbH, 2016a, S. 5). Besonders für Betreiber von Ladestationen, Energieversorger, Fahrstromanbieter, Flottenbetreiber, CarSharing-Unternehmen und Nutzer von Elektromobilitätsangeboten ist das eRoaming Verfahren von Vorteil, da Nutzer an beliebigen Ladesäulen, unter der Voraussetzung dass diese dem Netzwerk angeschlossen sind, ihr Fahrzeug laden können. Für die restlichen Marktteilnehmer wird das Abrechnungsverfahren an den richtigen Vertragspartner vereinfacht.

Allgemeinen Anforderungen an einen IT-Dienst für eFlotten

Da sich Elektrofahrzeuge noch nicht flächendeckend auf dem Markt befinden, sind die Anforderungen an einen Mobilitätsdienst für Elektrofahrzeuge schwierig zu ermitteln. Folglich können nur begrenzt Aussagen über die Bedürfnisse der Nutzer getroffen werden (vgl. Fraunhofer ISI, 2011, S. 22f.).

Grundsätzlich werden Elektrofahrzeuge nicht nur durch das Fahrzeug, sondern durch Leistungsaspekte, wie die Reichweite, und Mobilitätsdienste definiert (vgl. Proff, 2014, S. 53).

Das Auto wird von den meisten Nutzern primär als Fortbewegungsmittel genutzt. Jedoch wird stetig mehr Wert auf die Ausstattung des Fahrzeugs hinsichtlich Design und Komfort gelegt und weiteren Komfort durch zusätzliche Services wie Apps und weitere Dienste, die die CarSharing-Dienstleistung ergänzen. Auch die Aspekte Flexibilität und Ungebundenheit, sowie eine sehr hohe Verfügbarkeit der Fahrzeuge im Umfeld gewinnen weiterhin an Geltung für CarSharing-Angebote (vgl. Behrendt, 2000, S. 34).

PKW Nutzer erkennen oft die ökologischen und ökonomischen Vorteile des CarSharing nicht, da die eingespielten Routinen keine Option für eine Veränderung des Mobilitätsverhaltens bieten. Der IT-Dienst für die Nutzer von eCarSharing muss folglich einen Komfort bieten, der gegenüber dem eigenen PKW keinen großen Komfort- und Flexibilitätsverlust bietet (vgl. Fazel, 2014, S. 42).

Die Mobilitätskonzepte des (e)CarSharing werden immer individueller an die Nutzer angepasst. So wird es Nutzern ermöglicht das optimale Fahrzeug für die Bedürfnisse der jeweiligen Fahrt auszuwählen. Dazu ist es wichtig, dass der Nutzer Start- und Zielpunkt der von ihm geplanten Strecke für die Navigation angibt und ein Fahrzeug auswählen kann, welches seinen Anforderungen an Komfort und Ausstattung entspricht (vgl. VDE, 2013, S. 120f.).

Um die Fahrzeugnutzung persönlicher und komfortabler zu gestalten bietet der CarSharing-Dienstleister DriveNow eine Option zur Vorab-Konfiguration der Route an. Bei dieser Option kann vor Fahrtbeginn das Ziel der Route über eine mobile Applikation eingestellt werden. Dabei wird auch das Fahrzeug lokalisiert und reserviert. Außerdem startet bei Fahrtbeginn automatisch die Navigation zum gewünschten Ziel (vgl. DriveNow GmbH, 2015b). Für zusätzlichen Komfort ist es außerdem möglich bei bestimmten Fahrzeugen vor Fahrtantritt die Standheizung über die Applikation zu aktivieren (vgl. DriveNow GmbH, 2015a).

Nach einer Studie spielen sich im Durchschnitt die zurückgelegten Strecken pro Tag der potenziellen Nutzer für Mobilitätsdienstleistungen zum Arbeitsplatz, zu Einkaufsmöglichkeiten und zu Freizeitaktivitäten von Entfernungen zwischen 100 Metern bis 100 Kilometern ab. Durch flexible Arbeitsplätze sind Distanzen bis 80 Kilometern zum Arbeitsplatz häufiger geworden. Im Durchschnitt werden pro Tag jedoch nur rund 15 Kilometer mit einem PKW zurückgelegt (**Quelle: Grundlagen Zukunfts.. MiD 2008**). Zum

heutigen Standpunkt ist es schon möglich diese Distanzen mit Elektrofahrzeugen zurückzugulegen²⁰. Um dem Nutzer eine Sicherheit zu verschaffen, dass für die Rückstrecke genug Ladekapazität zur Verfügung steht, z.B. wenn ein unerwartetes Ereignis wie ein Umweg auf Grund einer Umleitung oder ein Stau entsteht, sollte das Fahrzeug zwischengeladen werden können.

Eine Auswertung von PKW-Nutzungsprofilen hat gezeigt, dass alle Wochenfahrten von 60% der PKW Nutzer mit Elektrofahrzeugen zurück gelegt werden können, selbst unter der Bedingung, dass diese nur an Schuko-Steckern in Haushalten aufgeladen werden (vgl. Fraunhofer ISI, 2011, S. 25).

Die Studie Future Mobility, die vom Land Baden-Württemberg im Rahmen des Projektes Energy for future Mobility gefördert wurde, gibt Aufschluss über die Anforderungen an das Laden von Elektrofahrzeugen. Das Laden Zuhause wird gegenüber dem Laden an anderen, öffentlichen Orten stark bevorzugt, da die Ladung des Fahrzeugs so über Nacht ablaufen kann, ohne dass diese die befragten Nutzer am Tag in ihrem Mobilitätsverhalten einschränkt (vgl. Bozem *et al.*, 2013, S. 56–58). Die lange Ladedauer ist eine Begründung für die geringe Nutzungsbereitschaft der Befragten der Studie in Bezug auf die Alltagstauglichkeit der Fahrzeuge. Dadurch sehen sie sich in der Reichweite und Flexibilität eingeschränkt. Nach einer Untersuchung des BMI sind die Batteriekapazitäten technisch gesehen ausgereizt und werden zum heutigen Standpunkt nicht die Reichweiten der klassischen Verbrennungsmotoren erzielen können. Jedoch ist es technisch realisierbar die Ladezeiten von mehreren Stunden auf wenige Minuten zu reduzieren. Deshalb ist es wichtig intelligente Mobilitätslösungen zu entwickeln, um die Nutzungseigenschaften von Elektrofahrzeugen an die von herkömmlich angetrieben Fahrzeugen anzunähern (vgl. Bozem *et al.*, 2013, S. 60f.). Die Nutzer des Elektromobilitätsangebots möchten zudem Echtzeitinformationen zur Verfügbarkeit der Ladepunkte erhalten. Außerdem sollen zusätzlich Angebote zu Aufenthaltsmöglichkeiten während der Ladung mit in diesen Informationen enthalten sein (vgl. NPE, 2015, S. 9).

Durch die Studie Future Mobility wurde festgestellt, dass die Nutzer einen automatischen Ladevorgang bevorzugen. Dies bedeutet, dass das Fahrzeug aufgeladen werden soll, wenn der Strompreis am Markt am günstigsten ist. Außerdem ist es den Befragten wichtig, dass aktuelle Informationen über die Strompreise mobil über ein Smartphone abrufbar sind.

Für Nutzer spielt auch die einfache Bezahlung der Mobilitätsdienstleistung eine zentrale Rolle (vgl. Kampker *et al.*, 2013, S. 71). Es wird präferiert den Ladestrom mit einer EC- oder Kreditkarte zu bezahlen. Jedoch würden viele Nutzer auch einer Abrechnung über die Haushaltsstromrechnung oder eine Fahrstromflatrate zustimmen. Eine integrierte Bezahlungsfunktion innerhalb einer Mobilitätsapplikation auf einem Smartphone wird aktuell noch nicht präferiert, lediglich die Lokalisierung eines Fahrzeugs und die Möglichkeit dieses über die Applikation zu öffnen und verriegeln (vgl. Bozem *et al.*, 2013, S. 68–73). Außerdem ist es Nutzern wichtig, dass nur die tatsächliche Nutzung des Fahrzeugs, inklusive des Ladestroms, bezahlen müssen, sodass der gesamte Service möglichst günstig ausfällt (vgl. Fraunhofer ISI, 2011, S. 11).

²⁰ siehe Abschnitt 2.1.1

Die Fraunhofer Studie zur Gesellschaftspolitischen Fragestellung zur Elektromobilität kommt zu dem Schluss, dass der Einsatz von eFlotten im Privatkundensegment realistisch erscheint, aber dass dieser in der nächsten Zeit immer noch nicht selbstverständlich wird. Um diesen Aspekt zu fördern ist es notwendig, dass intelligente IKT Konzepte entwickelt werden, welche den Nutzern einen einfachen Zugang und eine einfache Nutzung von Elektrofahrzeugen mit einer flexiblen und ohne Bedenken, z.B. bezüglich der Kapazität und Reichweite der Batterie, behaftetes Nutzungserlebnis bieten (vgl. Fraunhofer ISI, 2011, S. 28).

Ein Wechsel von Mobilitätskonzepten bedeutet für die Nutzer, dass sie ihr Mobilitätsverhalten verändern müssen. Besonders bei Elektrofahrzeugen muss der Ladeprozess berücksichtigt werden, wie rechtzeitige Ladung und das Auffinden von passender Ladeinfrastruktur. Die Nutzung von Elektrofahrzeugen hängt bei Nutzern davon ab in wie weit sich diese in den Alltag und die Gewohnheiten einbinden lässt. Deshalb ist es wichtig, dass ein IT-Dienst einer Plattform diesen Gewohnheiten entgegen kommt und sich einfach in den Alltag mit einbinden lässt. Den Nutzern ist es wichtig, dass alle Mobilitätsbedürfnisse ohne Einschränkungen und zusätzlichen Aufwand erfüllt werden können, sodass diese annähernd mit dem Mobilitätsverhalten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren mithalten können. So sollten Ladevorgänge in der Routenplanung automatisch berücksichtigt werden können (vgl. Fraunhofer ISI, 2011, S. 23).

Grundlagen Multi-Sided Markets

Eine der ersten Definition stammt von den Volkswirtschaftsprofessoren Jean-Charles Rochet und Jean Tirole aus dem Jahr 2003. Sie definieren Zweiseitige Märkte als Märkte, die eine Interaktion zwischen Endnutzern über eine oder mehrere Plattformen ermöglichen. Dabei versuchen beide Seiten durch angemessene Rechnungsstellung eine Marktbinding herzustellen. So werden beide Seiten auf über die Plattform umworben während sie versuchen einen Gewinn zu generieren. Ein Zweiseitiger Markt zeichnet sich dadurch aus, dass das Transaktionsvolumen zwischen den Endnutzern von der Struktur der Plattform abhängt und nicht von den zu zahlenden Gebühren für die Plattform. Die Nutzung der Plattform oder die variablen Nutzungskosten beeinflussten das Verhalten beider Seiten im Sinne ihrer Bereitschaft auf dem Markt bzw. der Plattform zu handeln und nicht nur die zu zahlenden Gebühren. Die Mitgliedschaft auf der Plattform oder feste Nutzungskosten bestimmen wiederum die Präsenz der Endnutzer auf der Plattform. Die Struktur der variablen und festen Kosten der Plattform ist nur dann relevant, wenn nicht beide Seiten die entsprechende Nutzung und die Externalitäten der Mitgliedschaft verhandeln (vgl. Rochet/Tirole, 2006, S. 645f.).

Nach einer zweiten Definition des Volkswirtschaftlers David Evans kann von einer zweiseitigen Plattform gesprochen werden, wenn die drei folgenden Bedingungen erfüllt sind: Die erste Bedingung ist, dass mindestens zwei unterschiedliche Kundengruppen vorliegen. Diese beiden Kundengruppen sollen eindeutig unterscheidbar sein oder unterschiedliche Absichten verfolgen. Auf der Plattform eBay z.B. möchte ein Verkäufer Produkte verkaufen. Auf der anderen Seite steht ein Käufer, der dieses Produkt kaufen möchte. Als zweite Bedingung müssen zwischen diesen unterschiedlichen Kundengruppen indirekte Netzwerkeffekte vorliegen. Diese liegen z.B. vor, wenn Geschäfte das Bezahlen per Kreditkarte akzeptieren. Als eine dritte Bedingung ist es notwendig, dass ein Vermittler, eine

Plattform, besteht, um die Netzwerkeffekte herstellen zu können (vgl. Dewenter/Rösch, 2015, S. 133).

Eine dritte, auch häufig vertretene Definition, stammt vom Ökonomen Marc Rysmann aus dem Jahr 2009. Nach Rysmanns Definition müssen zweiseitige Märkte zwei Kriterien erfüllen: Zwei Marktseiten kommunizieren bzw. interagieren über eine Plattform und die zwei Marktseiten haben Einfluss auf die jeweils andere Marktseite (vgl. Dewenter/Rösch, 2015, S. 134).

Anhand der Theorie der Zweiseitigen Märkte lassen sich Märkte mit indirekten Netzwerkeffekten analysieren. Bekannte Ideen und Konzepte sollen so weiterentwickelt werden können. Dabei spielen auch zweiseitige Plattformen eine Rolle, da durch diese Geschäftsmodelle neu strukturiert werden können und Kunden an Netzwerke binden können (vgl. Dewenter/Rösch, 2015, S. 118).

Auf zweiseitigen Märkten kommt es zu direkten und indirekten Netzwerkeffekten. Die folgende Grafik zeigt die Verbindung zweier Märkte durch indirekte Netzwerkeffekte. Je mehr Teilnehmer es auf Markt 2 gibt, desto größer ist der Nutzen für die Teilnehmer auf Markt 1. Der zweiseitige Markt entsteht durch die Verbindung von zwei Märkten über die Plattform (vgl. Dewenter/Rösch, 2015, S. 118).

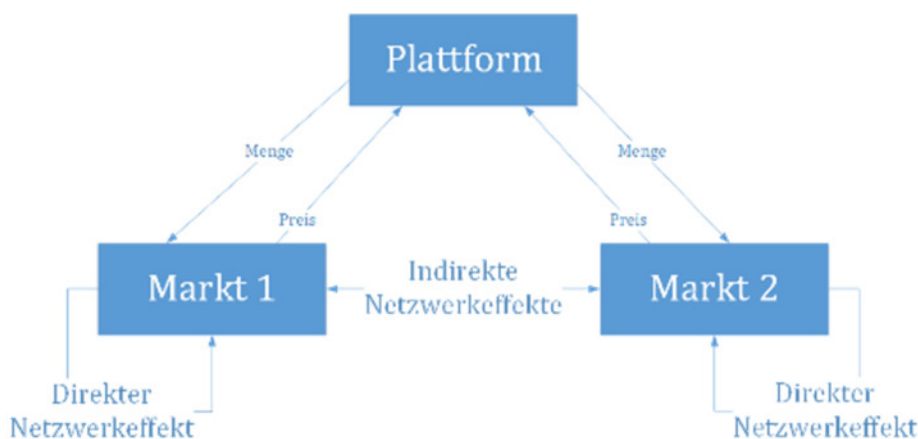


Abbildung 103 -Netzwerkeffekte innerhalb Zweiseitiger Märkte

Plattformen für zweiseitige Märkte stehen vor dem Problem, dass diese nur erfolgreich sein können, wenn sie auf einem Markt erfolgreich sind, wenn sie für den anderen Markt interessant sind und auch auf diesem erfolgreich werden (vgl. Dewenter/Rösch, 2015, S. 123). Dieses Problem lässt sich durch die Subventionierung einer Marktseite lösen. Dabei werden Teilnehmer über ein günstiges Angebot gewonnen, die ebenso weitere Teilnehmer für die zweite Marktseite gewinnen. Es kann sich gewinnoptimal auf die Plattform auswirken, wenn auf einer Marktseite Verluste eingefahren werden. Dafür werden auf der zweiten Marktseite umso größere Gewinne eingefahren (vgl. Dewenter/Rösch, 2015, S. 123).

Eine Plattform zur Verbindung von Märkten zu zweiseitigen Märkten, stellt die Verbindung zwischen den spezifischen Anbieter und Nachfrager her, die voneinander abhängig sind. Die Plattform ermöglicht die Interaktion zwischen Anbieter und Nachfrager.

Beispiel für einen Zweiseitigen Markt in der Elektromobilität

Im Folgenden wird ein Beispiel für einen Zweiseitigen Markt in der Elektromobilität aufgezeigt. Damit dieser entstehen kann ist es notwendig, dass die Teilnehmer aus der neuen Wertschöpfungskette eng zusammenarbeiten.

Das folgende Beispiel zeigt einen Zweiseitigen Markt in der zu einem ortsbasierten Werbedienst, bei dem den Nutzern des Mobilitätsdienstes personalisierte Angebote der umliegenden Anbieter im Fahrzeug angezeigt werden.

Dabei steht der Anbieter der Mobilitätsdienstleistung im Mittelpunkt. Dieser ist in diesem Beispiel auch der Betreiber der zweiseitigen IT-Plattform. Er stellt dem Nutzer die Dienstleistung, die Nutzung eines Elektrofahrzeugs, zur Verfügung. Der Nutzer zahlt eine Gebühr für die Nutzung. Außerdem wird ein Mobilitätsprofil des Nutzers erstellt und an die Plattform übermittelt. Auch seitens des Anbieters wird eine Gebühr entrichtet. Im Gegenzug erhält dieser anonymisierte Mobilitätsprofile der Nutzer des eCarSharing-Angebots, um so ihre Produkte an die Nutzer anpassen und zielgruppengerechte Werbung im Fahrzeug schalten zu können. Außerdem können die Anbieter den Kunden des eCarSharing-Dienstes bei der Wahrnehmung ihres Angebots, Rabatte oder spezielle Angebote einräumen, um die Nutzer für ihr Waren- oder Dienstleistungsangebot zu gewinnen (vgl. Hodam et al., 2014, S. 12). Die

folgende Abbildung stellt das zuvor genannte Beispiel graphisch dar.

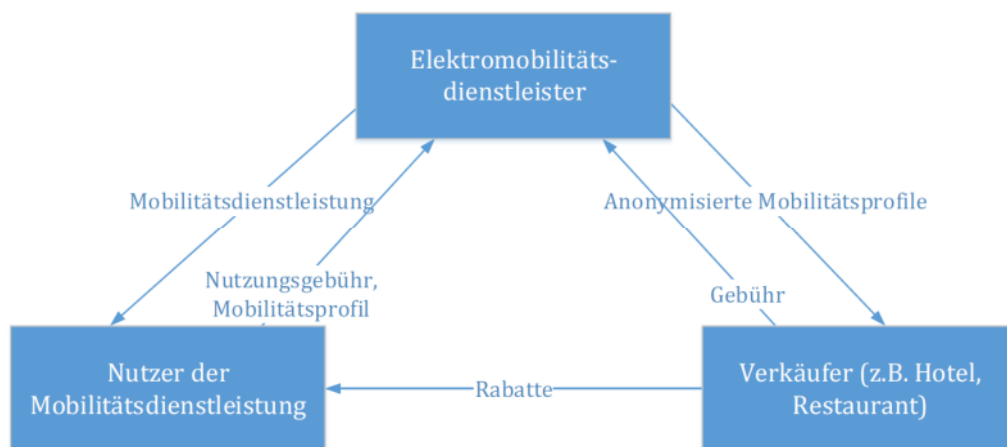


Abbildung 104 -Beispiel für einen zweiseitigen Markt in der Elektromobilität (angelehnt

an Hodam et al., 2014, S. 12)

Konzeption eines IT-Dienstes für Ticketverkaufsportale als Plattform für eCarsharing

Wenn Veranstaltungstickets auf einer Onlineplattform gekauft werden, ist bei diesen die An- und Abreise zum und vom Veranstaltungsort mit inbegriffen. Als praktisches Beispiel soll hierbei die Plattform eventim.de dienen. Eventim ist europäischer Marktführer im Bereich Ticketing und hat sich auf die Bereiche E-Tickets und Zugangskontrollsysteme spezialisiert (Quelle).

Eine Buchung der Anreise erfolgt bisher bei solchen Veranstaltungen gesondert und Nutzer müssen auf dritte Plattformen zurückgreifen.

Sollzustand

Der IT-Dienst soll es ermöglichen, bei einem Ticketkauf automatisch ein Elektrofahrzeug für die An- und Abreise zu buchen, ohne dass ein signifikanter zusätzlicher Aufwand für den Kunden entsteht. Dabei besteht jedoch die Voraussetzung, dass die einmalige Registrierung, bei der die persönlichen Daten wie z.B. die Führerscheinnummer, beim CarSharing-Dienstleister hinterlegt worden sind.

Der Nutzer einer Veranstaltungsticket-Plattform soll die Möglichkeit bekommen als Option auszuwählen, dass er mit einem Elektrofahrzeug einer Flotte eines Dienstleisters anreisen möchte. Bei der Auswahl dieser Option soll automatisch ein Fahrzeug der Flotte für einen bestimmten Zeitraum vor der Veranstaltung und einen bestimmten Zeitraum nach der Veranstaltung für den Nutzer reserviert werden. Zur Kapazitätsplanung soll der Nutzer eine Rückmeldung erhalten, in welchem Zeitraum vor Veranstaltungsbeginn ihm das Fahrzeug zur Verfügung steht, damit die Kapazitätsplanung bedarfsgerecht erfolgen kann. Durch die Eingrenzung eines Abhol- und Abstellzeitraums wird die Sicherheit erhöht, dass der Nutzer bei einer Buchung ein ausreichend geladenes Fahrzeug zum Buchungsstart erhalten kann. In diesem Zuge wird auch die Strecke berechnet, die zurückgelegt werden soll, um anhand dieser zu berechnen, welche Ladekapazität die Batterie des Fahrzeugs mindestens benötigt. Da während der Fahrt auch ein unerwartetes Ereignis eintreten kann, muss ein zusätzlicher Puffer bei der Kapazität der Batterie eingeplant sein. Ein unerwartetes Ereignis kann einen Stau oder eine Umleitung darstellen oder im Extremfall eine Notfallfahrt wie eine Fahrt ins Krankenhaus oder in eine Apotheke. Auf Grundlage der Strecken und Kapazitätsplanung soll ein Parkplatz auf dem Veranstaltungsgelände reserviert werden mit einer entsprechenden Ladeinfrastruktur. Dies setzt voraus, dass eine Ladeinfrastruktur in unmittelbarer Nähe zum Veranstaltungsort vorhanden ist. Werden die Ladesäulen unmittelbar neben den Eingängen der Veranstaltungsorte platziert, wird der Anreiz mit einem Elektrofahrzeug anzureisen weiter erhöht. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Komfort, wenn der Weg zum Eingang der Veranstaltung nur eine geringe Entfernung vom Stellplatz des Fahrzeugs aufweist. Das Fahrzeug unmittelbar neben dem Eingang zu parken bietet Nutzern einen hohen Komfort und stellt einen größeren Anreiz das neue Mobilitätsangebot wahrzunehmen.

Während der Parkzeit über die Veranstaltungsdauer kann ein gesteuerter Ladevorgang erfolgen. Wenn der Ladestand der Batterie niedrig ist, ist es möglich in einem Zeitraum von 90 Minuten das Fahrzeug zu ca. 80% aufzuladen. Bei einer kurzen An- und Abreise kann auch der Fall eintreten, dass das Elektrofahrzeug nicht zwangsweise geladen werden muss. Wird jedoch ein Smart Grid in das System eingebunden, kann ein Ladevorgang gestartet werden, wenn der Strompreis unter eine gesetzte Grenze fällt. Ist also ein ausreichender Puffer für die Abreise von der Veranstaltung vorhanden und das Fahrzeug muss nicht zwangsweise geladen werden und der Strompreis ist zu einem Zeitpunkt günstig, wird das Fahrzeug günstig geladen und die Ladezeit bei einem späteren Zwischenladen wird verkürzt. Durch die Ladung des Fahrzeugs während der Veranstaltung ist die Zwischenladung in den Tag des Nutzers insoweit integriert, dass diesem kein zusätzlicher Aufwand durch den Ladevorgang entsteht.

Zur Authentifizierung der Nutzer an der Ladesäule und zur Sicherstellung der korrekten Abrechnung, soll das eRoaming-Konzept, wie durch die Plattform Hubeject erfolgen. Dies setzt voraus, dass der Mobilitätsanbieter Mitglied im eRoaming-Netzwerk ist.

Dieses Konzept stellt ein stationsbasiertes Zwei-Wege CarSharing-Modell dar, da eine An- und Abreise mittels Elektrofahrzeug erfolgt. Bei einem Ein-Wege-CarSharing-Modell kann das Fahrzeug abgeholt und an einem beliebigen Punkt stehen gelassen werden²¹.

Die Bezahlung der Mobilitätsdienstleistung soll, um den Nutzern einen einfachen Zugang zur Mobilität zu bieten, zusammen mit der Ticketbezahlung über die Ticketplattform ablaufen. Dabei sollen die gängigen Zahlungsmethoden wie Zahlung per Bankeinzug, per Online Direktüberweisung und per Kreditkarte zur Verfügung stehen. Der zusätzliche Mobilitätsdienst soll dabei zu einem Festpreis abgerechnet werden. Der Festpreis soll wie auch für das klassische CarSharing Positionen wie eine Grundgebühr für die Nutzung des Fahrzeugs enthalten und einen Betrag für den Versicherungsschutz (**Quelle**). Zusätzlich zu diesen Komponenten soll bei dem Konzept für den Dienst dieser Arbeit der Preis für die verbrauchte Energie berechnet werden. Diese Daten, werden vom Reichweiteninformationsdienst²² berechnet. Diese Berechnung beinhaltet einen Pufferbereich, da es bei größeren Veranstaltungen zu einem höheren Verkehrsaufkommen kommt und somit der Energiebedarf ansteigt. Wird die berechnete Strecke jedoch überschritten und mehr Energie verbraucht, erfolgt eine nachträgliche Abbuchung des Betrags für die zusätzlich verbrauchte Energie mittels der hinterlegten Zahlungsinformationen des Kunden. So wird sichergestellt, dass die von den Nutzern verbrauchte Energie an den Nutzer verrechnet wird.

Um die Nutzer längerfristig an den Mobilitätsdienst zu binden, soll es zusätzlich ein Bonusprogramm für die Nutzer geben, da diese Art von Programmen ein Instrument der Kundenbindung sind (vgl. Musiol/Kühling, 2009, S. 6). Ein Bonusprogramm für diesen Anwendungsfall kann in der Form realisiert werden, dass der Nutzer beim Erwerb eines Tickets auf der Plattform einen Rabattgutschein erhält. Dieser soll bei der nächsten Buchung der Mobilitätsdienstleistung auf diese oder auch in Kombination des Mobilitätsangebots mit einem Ticket angewendet werden können. Die Rabattierung soll sich dabei auf die Mobilitätsdienstleistung beziehen, um den Nutzern weitere Anreize zu bieten diese Mobilitätsdienstleistung häufiger zu nutzen und in ihren Alltag integrieren, sodass sich ihre Mobilitätsverhalten verändern. Dadurch, dass der Rabatt nicht sofort auf die aktuelle Buchung eingelöst werden kann, wird der Nutzer mit einer höheren Wahrscheinlichkeit den Dienst wieder in Anspruch nehmen (vgl. Musiol/Kühling, 2009, S. 6). Um die Attraktivität des Dienstes durch die Rabattgutscheine zu steigern, sollten die Rabattsätze in der Einführungsphase des Dienstes hoch angesetzt werden, um die weitere Nutzung auch für jüngere Veranstaltungsbesucher attraktiv zu gestalten.

²¹ siehe Abschnitt 2.2.1

²² siehe Abschnitt 4.2.4

Mögliche Prozessgestaltung

Der in Kapitel 4.2.3 beschriebene Anwendungsfall soll durch ein Sequenzdiagramm in diesem Kapitel näher erläutert und veranschaulicht werden. Die Abbildung zeigt, dass durch die Ticketauswahl des Nutzers eine Anfrage von der Ticketplattform an das Buchungssystem des eCarSharing-Dienstleisters gestellt wird. Damit die Verbuchung eines Fahrzeugs der eFlotte vorgenommen werden kann, ist eine Berechnung der geplanten zurückzulegenden Strecke notwendig. So kann auch bestimmt werden, ob und für welche Zeit während sich der Nutzer bei der Veranstaltung befindet eine Ladung erfolgen muss. Zur Streckenberechnung, bzw. zur Routenanfrage sind eine Reihe an Input-Daten erforderlich. Dazu muss zuerst ein Startpunkt der Route angegeben werden mit Längen- und Breitengrad, um ein möglichst genaues Ergebnis für die optimale Route und weiterführenden Kalkulationen zu erhalten. Es wird die Voraussetzung für den Startpunkt gegeben, dass dieser IT-Dienst für ein stationsbasiertes CarSharing-Konzept mit einer Flotte von mehreren Fahrzeugen eines Typs konzipiert ist. Der Nutzer kann so gegebenenfalls eine Kategorie der Fahrzeuge angeben, ohne ein spezielles Fahrzeug mit besonderer Ausstattung auszuwählen. So lässt sich vermeiden, dass ein Nutzer ein Fahrzeug länger als eingeplant nutzt oder ein Fahrzeug mit fast ungeladener Batterie übergibt und das Fahrzeug unmittelbar von einem nächsten Nutzer gebucht ist. So würde diese Folgebuchung nicht stattfinden können. Durch eine eFlotte mit identischen Fahrzeugen kann in dem zuvor beschriebenen Fall im Notfall die Buchung einfach umdisponiert werden und der Nutzer erhält ein anderes, aber baugleiches Fahrzeug. Neben dem Startpunkt, muss auch der Zielpunkt mit genauen Koordinaten an den Reichweiteninformationsdienst übermittelt werden. Diese Information kann direkt durch die Ticketplattform übermittelt werden, da Informationen zum Veranstaltungsort auf dieser Plattform hinterlegt sind. Als weitere Information benötigt der Reichweiteninformationsdienst einen Fahrzeugtyp. Über die maximale Batteriekapazität und Reichweite des Fahrzeugs lassen sich die Ladedauer für die Zwischenladung während der Veranstaltung und die An- und Abreise kalkulieren. Dabei ist die Batterie des Fahrzeugs im Idealfall vor dem Buchungsbeginn vollständig geladen.

Die folgende Tabelle zeigt die vom Reichweiteninformationsdienst benötigten Informationen mit Beispielen.

Routenanfrage		
		Beispieldaten
Startpunkt	Breitengrad	53°35'18.8"N
	Längengrad	10°05'59.2"E
Zielpunkt	Breitengrad	53°35'21.8"N
	Längengrad	9°53'56.6"E
Fahrzeugtyp		BMW i3

Tabelle 12 -Beispieldaten Routenanfrage (eigene Tabelle)

Die folgende Tabelle zeigt, welche Informationen durch die Berechnungen des Reichweiteninformationsdienstes an das Buchungstool zurückgegeben werden.

Routenausgabe	
	Beispieldaten
Startpunkt	53°35'18.8"N 10°05'59.2"E
Zielpunkt	53°35'21.8"N 9°53'56.6"E
Distanz	16,2 km pro Strecke
Zeit	30 Minuten ohne Verkehr
benötigte Energie für die Strecke	2,089 kWh ²³
min. Ladezeit Zwischenladen während Veranstaltung	
min. Ladezeit Laden nach Buchung	

Tabelle 13-Beispieldaten Routenausgabe (eigene Tabelle)

Neben der gesamten Distanz und der Zeit pro Strecke, Informationen die in der heutigen Zeit jeder handelsübliche Navigationsdienst bereitstellt, ist besonders die Berechnung der benötigten Energie der geplanten zurückzulegenden Strecke von Bedeutung. Als weitere Parameter sollen Informationen über die mindestens benötigte Zwischenladung der Batterie vom Reichweiteninformationsdienst an das Buchungssystem übergeben werden, um sicherzustellen, dass eine Rückfahrt zum Ausgangspunkt problemlos stattfinden kann. Als letzte Information spielt die Mindestladezeit nach der Buchung eine Rolle, wenn nach der Nutzung durch eine Anschlussbuchung vorliegt. Diese kann niedriger oder höher sein als zuvor kalkuliert. Bei einem niedrigeren Ladestand muss das Fahrzeug im Anschluss länger geladen wird, was eine mögliche Folgebuchung verzögern kann. Bei einer Flotte mit vielen Fahrzeugen kann möglicherweise auch auf ein anderes Fahrzeug zurückgegriffen werden.

Durch die Berechnungen des Reichweiteninformationsdienstes lassen sich Ladeprofile für die einzelnen Fahrzeuge generieren. Die Daten, die in einem Ladeprofil gespeichert werden, sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

²³ Die Berechnung der Angabe erfolgte über die Angaben des Herstellers zur Reichweite vgl. BMW AG (2016).

Daten eines Ladeprofiles
Geplanter Abfahrtszeitpunkt
Geplanter Ankunftszeitpunkt
Reichweite
aktueller Ladestand
Ladestrategie
Fahrzeugzuordnung

Tabelle 14 - Beispieldaten Ladeprofil (eigene Tabelle)

Der geplante Abfahrtszeitpunkt und der geplante Ankunftszeitpunkt können anhand der optimalen Route vom Reichweiteninformationsdienst berechnet werden. Die Reichweite richtet sich nach dem Fahrzeugtyp. Anhand des aktuellen Ladestands lässt sich die restliche Reichweite des Fahrzeugs bestimmen. Unter Ladestrategie wird angegeben über welche Methode das Fahrzeug aufgeladen werden kann. Wird das Fahrzeug mit Wechselstrom aufgeladen ist die Ladezeit deutlich länger im Vergleich zur Ladung mit Gleichstrom²⁴. Ladeprofile tragen so zur Vorausplanung bei. Bei ausreichendem Puffer der Reichweite kann so gesteuert werden, dass das Fahrzeug nur geladen wird, wenn der Strompreis unter eine gewünschte Grenze fällt. Außerdem können Buchungen besser aufeinander abgestimmt werden, wenn die Ladezeit nach einem Buchungsende eines Fahrzeugs prognostiziert werden kann. So kann das Fahrzeug nach dem bestimmten Ladezeitraum für eine weitere Buchung eingeplant werden. Dies trägt insgesamt zu einer effizienteren Auslastung einer eFlotte bei. Die Auswertung von Ladeprofilen trägt außerdem dazu bei, dass eine zeitgleiche Ladung von zu vielen Fahrzeugen vermieden wird, um eine zu hohe Belastung des Stromnetzes zu verhindern, sodass keine Netzengpässe entstehen.

²⁴ siehe 2.2.2

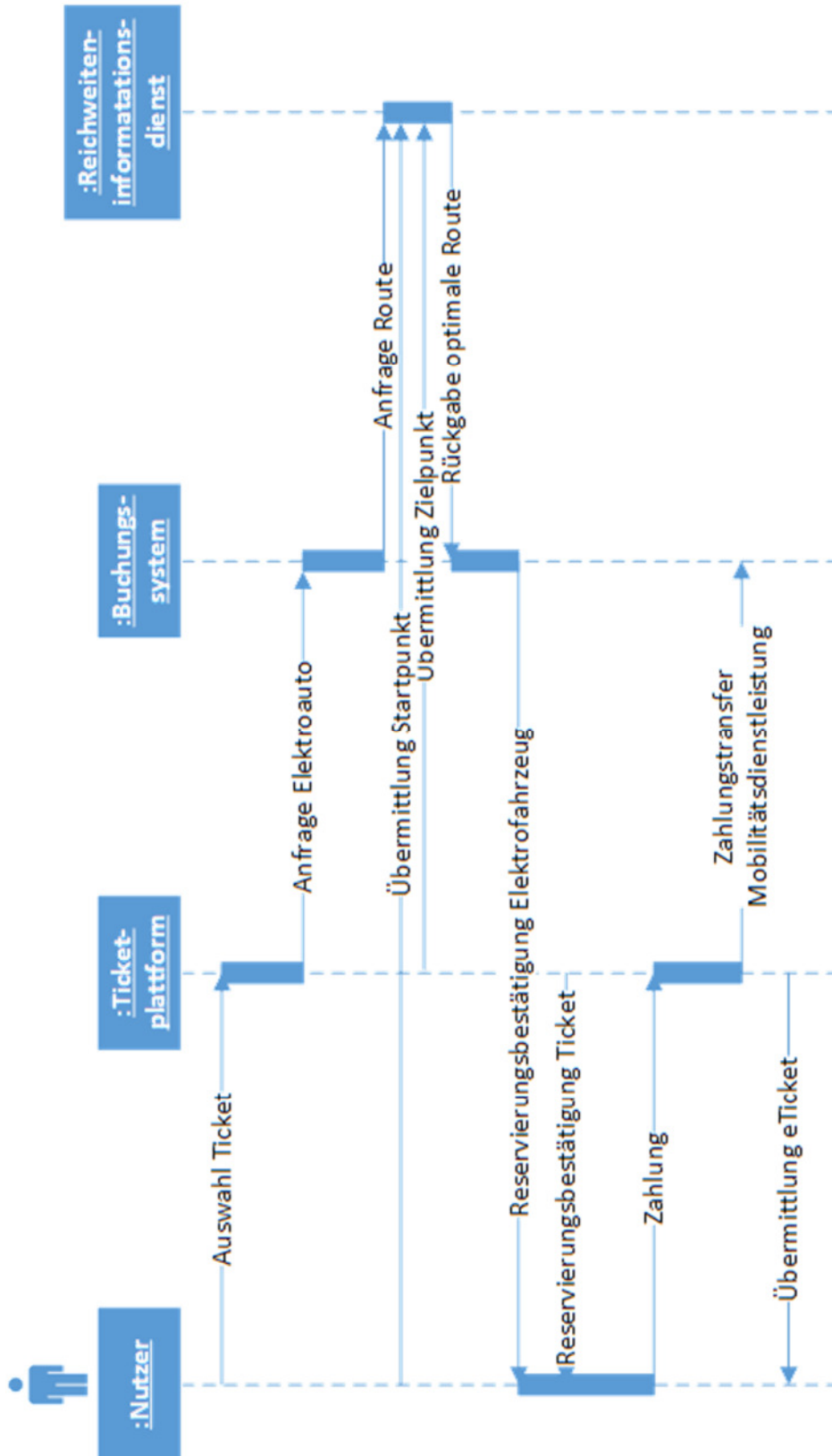


Abbildung 105 -Sequenzdiagramm zur Buchung (eigene Abbildung)

Nach einer erfolgreichen Onlinebuchung und Bezahlung des Tickets und des Betrags für die Mobilitätsdienstleistung kann der Nutzungsprozess beginnen. Dieser unterscheidet sich in einigen Aspekten vom klassischen CarSharing-Prozess. Wie beim klassischen CarSharing-

Prozess es notwendig sich zu authentifizieren, um das Fahrzeug öffnen und nutzen zu können. Die Information welcher Nutzer bei einer Reservierung das Fahrzeug öffnen darf, erfolgt wie beim klassischen CarSharing und wird an die Telematikbox gesendet, die sich im Fahrzeug befindet. Da der Einsatz von elektronischen Tickets ansteigt (**Quelle**) und die Kunden die mobile Anwendung der Ticketplattform zur Einlasskontrolle verwenden können, ist es sinnvoll den Zugang zum Fahrzeug ebenfalls zu integrieren. Eine Möglichkeit für die Umsetzung ist die Authentifizierung über einen digitalen Schlüssel, der zusammen mit dem Ticket an das Smartphone gesendet wird. Wenn das entsprechende Smartphone des Nutzers die NFC-Technologie unterstützt, kann, wie beim Verfahren mittels NFC Chip in einer Mitgliedskarte²⁵, das Fahrzeug geöffnet werden. Wenn das elektronische Ticket und der digitale Schlüssel mittels der Ticket-Applikation an den Nutzer gesendet werden, kann dieser von dem Komfort profitieren, dass nur noch eine Applikation notwendig ist, in der alle Daten gebündelt vorliegen. Eine alternative Möglichkeit stellt das Öffnen des Fahrzeugs mittels der Applikation als digitalen Schlüssel, wie in der vorgestellten DriveNow-Lösung dar²⁶. Während der Fahrt gibt es auf Grund der Antriebstechnologie der Fahrzeuge Unterschiede zum CarSharing mit Verbrennungsmotorfahrzeugflotten. Die Fahrt während der Fahrzeugmiete kann durch eine Zwischenladung oder eine Störmeldung unterbrochen werden. Störungen können unter anderem durch technische Probleme entstehen, sodass z.B. Nutzer nach einem Zwischenstopp das Fahrzeug nicht wieder öffnen können, obwohl die Buchung noch aktiv ist. Nachdem die Störung beseitigt ist oder das Zwischenladen beendet wurde, kann die Fahrt fortgesetzt werden. Eine Störmeldung wird außerdem gesendet, wenn ein Fahrzeug für eine Folgebuchung verplant ist und nicht rechtzeitig zurückgegeben wird, sodass die Folgebuchung nicht stattfinden kann²⁷. Nach dem Endpunkt der Miete sollte das Fahrzeug im optimalen Fall vollständig aufgeladen werden, um für eine Folgebuchung mit maximaler Kapazität zur Verfügung zu stehen. Alternativ kann nach dem Ende der Miete auch eine Servicefahrt, z.B. zur Schadensregulierung anstehen. Diese ist auch beim herkömmlichen CarSharing ein Prozessschritt, der auftreten kann. Eine Servicefahrt kann beim eCarSharing auch eine Ladefahrt darstellen. Eine Ladefahrt kommt bei einem One-Way-CarSharing-Konzept in Betracht, wenn das Fahrzeug nicht an einer Flottenstation des Anbieters abgegeben wird. Ein weiterer Grund für eine Ladefahrt ist, dass alle Ladepunkte an der Flottenstation des Anbieters besetzt sind und Fahrzeuge geladen werden.

²⁵ siehe Abschnitt 2.2.2

²⁶ siehe Abschnitt 2.2.1

²⁷ siehe Abbildung 10 und Abbildung 11

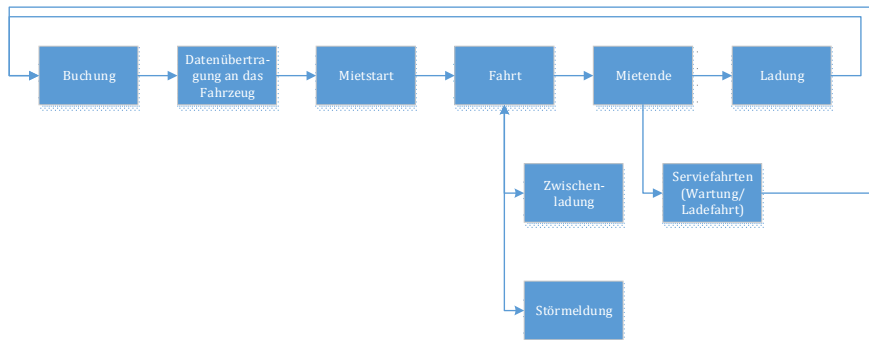


Abbildung 106 -Prozess eCarSharing (eigene Abbildung)

Der Buchungs- und Nutzungsprozess lässt sich grafisch in einem Koordinatensystem darstellen. Die folgende Grafik zeigt beispielhaft den Ladestand bei voranschreitender Uhrzeit für ein Fahrzeug. Findet eine Buchung statt wird die Verfügbarkeit eines Fahrzeugs und dessen Ladestand überprüft. Bei ausreichendem Ladestand für eine Fahrt, kann das Fahrzeug freigegeben werden. Die Grafik zeigt, dass das Fahrzeug vor der ersten Fahrt aufgeladen wurde. Auf die erste Fahrt erfolgt direkt eine zweite Buchung. Da die Kapazität für die geplante Fahrt noch ausreichend ist, wird das Fahrzeug nicht Zwischengeladen. Nach der zweiten Fahrt, bei der die Batteriekapazität des Fahrzeugs beinahe die Pufferzone erreicht, wird dieses für eine dritte und letzte Buchung zwischengeladen. Nach dieser Fahrt, mit einer kurzen Standzeit des Fahrzeugs, kann dieses wieder auf eine Kapazität von 100 Prozent geladen werden.

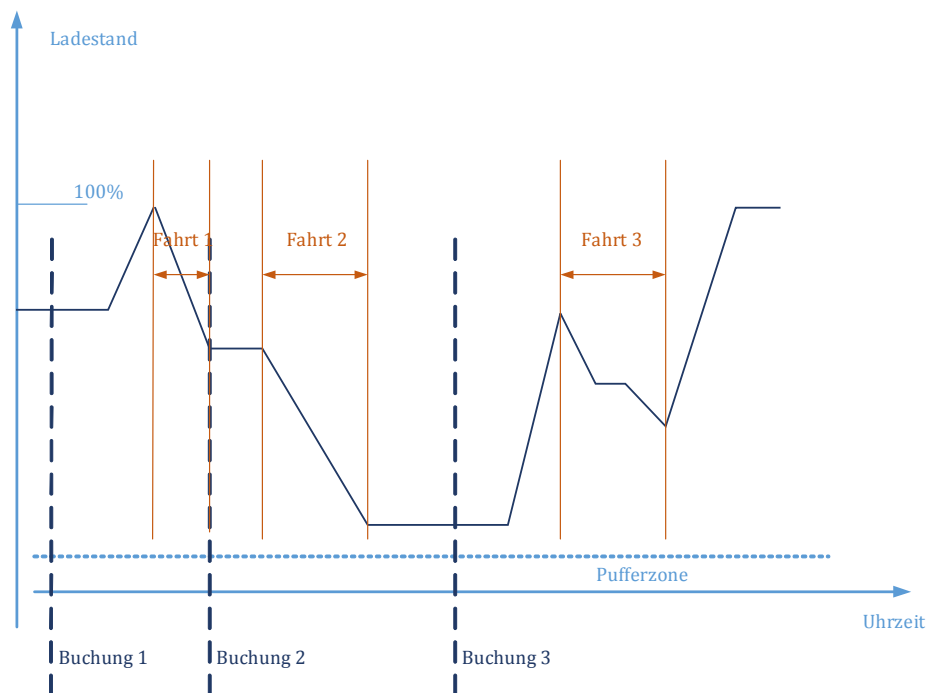


Abbildung 107 -Beispielhafter Buchungs- und Ladevorgang (angelehnt an Anthrakidis S. 116)

Dieses Szenario stellt einen optimalen Buchungs- und Nutzungsvorgang dar. In der Praxis tritt es allerdings häufig auf, dass die gefahrenen Strecken länger als geplant sind, sodass die Kapazität des Fahrzeugs die Pufferzone erreicht. Wenn eine Fahrt zusätzlich bis in den Zeitraum einer Folgebuchung andauert und die Kapazität des Fahrzeugs für die geplante

Strecke nicht mehr ausreicht, kann diese Buchung nicht stattfinden. Dieses Szenario stellt die folgende Abbildung dar.

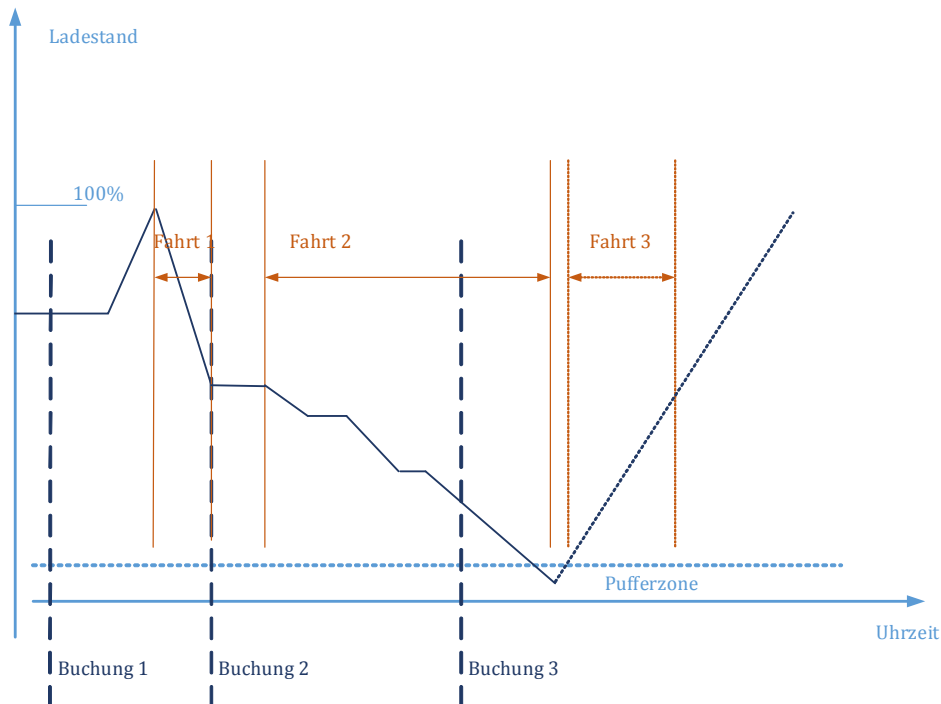


Abbildung 108 -Beispielhafter Buchungs- und Ladevorgang mit Problemen

Folglich ist es sinnvoll eine eFlotte einzusetzen, um so vermeiden zu können, dass Fahrten von Buchungen nicht durchgeführt werden können. Bei einer größeren Flotte kann auf andere Fahrzeuge zurückgegriffen werden, die sich in einer Ladephase befinden oder aus einer Buchung mit einem höheren Ladestand zurückgegeben werden. Dieses Vorhaben kann umgesetzt werden, indem dem Nutzer ein Fahrzeug einer Fahrzeugklasse zugesichert wird. So kann durch das Buchungssystem z.B. 15 Minuten vor dem Start der Buchung ein Fahrzeug aus der Flotte fest zugeordnet werden.

Bewertung des IT-Dienstes

Im Folgenden soll bewertet werden, inwiefern der IT-Dienst die Kriterien der Nutzer erfüllt. Dazu werden zunächst die analysierten Anforderungen von potenziellen Nutzern mit der Umsetzung aus dem Konzept gegenübergestellt.

analysiertes Kriterium		Umsetzung
Sicherstellung der Reichweite	der ✓	Kalkulation der Reichweite und benötigten Energie durch den Reichweiteninformationsdienst
Sicherstellung der Verfügbarkeit Ladesäule	einer ✓	Parkplatz mit Ladesäule auf dem Veranstaltungsgelände wird über das Buchungstool reserviert
Individualität	✓	Nutzerindividuelle Routen werden berechnet und auf diese Ladezeiten abgestimmt
Flexibilität und Komfort	✓	Kauf des Tickets, Buchung des Elektrofahrzeugs und Bezahlung aus Sicht des Nutzers über eine Plattform
hohe Verfügbarkeit der Fahrzeuge	der ✓	Verplanung der Fahrzeuge aus der Flotte durch das Buchungssystem
einfache Bezahlung	✓	Bezahlung der Mobilitätsdienstleistung zusammen mit dem Ticket mittels gängiger Online-Zahlungsmethoden

Tabelle 15 -Gegenüberstellung der Anforderungen mit der Umsetzung aus dem Konzept (eigene Tabelle)

Die Sicherstellung der Reichweite wird im Konzept für den IT-Dienst wird durch die Einbindung eines Reichweiteninformationsdienstes realisiert. Der Reichweiteninformationsdienst bestimmt die geplante gefahrene Strecke und die geplante verbrauchte Energie mit einer Pufferzone.

Durch die Reservierung einer Ladesäule auf dem Parkplatz des Veranstaltungsgeländes mit einer Reservierungsbestätigung mit der Parkplatznummer wird sichergestellt, dass dem Nutzer während der Veranstaltung eine Ladesäulen zum Laden des Fahrzeugs zur Verfügung steht. Durch die Übermittlung der Parkplatznummer und der Navigation zu diesem wird der Komfort, der dem Nutzer durch Inanspruchnahme dieses Dienstes zusätzlicher Komfort ermöglicht. Durch den Reichweiteninformationsdienst wird außerdem ein Maß an Individualität gegeben, da die Routen spezielle auf den Nutzer abgestimmt sind und individuelle Ladezeiten berechnet werden können, um diese reibungslos in die geplante Aktivität des Nutzers einzubinden.

Die Verfügbarkeit der Fahrzeuge der Flotte des CarSharing-Dienstleisters wird durch das Buchungstool gehandhabt. Hierbei ist es auch wichtig, dass die vom Reichweiteninformationsdienst ermittelten Daten berücksichtigt werden, da so die Kapazität eines Fahrzeugs nach jeder Fahrt prognostiziert werden kann. Die tatsächlichen Ladestände werden von diesen Prognosen jedoch abweichen, da Einflussfaktoren wie z.B. Temperatur und Fahrstil der Nutzer nicht genau mit in die Prognose einbezogen werden können.

Eine einfache Bezahlung des Dienstes erfolgt zusammen mit dem Erwerb eines Veranstaltungstickets über die Ticketplattform. Dies erspart dem Nutzer eine weitere Anmeldung bzw. einen weiteren Bezahlvorgang an der Ladesäule.

Die in der Tabelle aufgezählten Kriterien, die ein IT-Dienst einer Plattform aus der Sicht von potenziellen Nutzern werden prototypisch durch die Persona Martin vertreten. Das beschriebene Konzept ermöglicht es ihm nun über die Ticketplattform oder auch deren mobile Applikation erwerben und auch die Mobilitätsdienstleistung nutzen in der Form, dass sich das Auto über die Applikation ver- und entriegeln lässt. Durch die Kalkulation der Verbrauchten Energie wird die Mindestladezeit während Martins Konzertbesuch berechnet und automatisch eine Ladesäule zugewiesen, die sich in unmittelbarer Nähe vom Veranstaltungsort befindet. Da Martin nur gelegentlich ein Fahrzeug benötigt und auf CarSharing Angebote zurückgreift, ist dieser Dienst eine Möglichkeit eine Generation an die Elektromobilität heranzuführen. Durch die Rabattierung wird außerdem die Aussicht erhöht, dass er beim nächsten Veranstaltungsbesuch oder auch bei der nächsten Fahrt mit einem Fahrzeug aus einer CarSharing-Flotte auf ein Elektroauto zurückgreift.

Durch die Verbindung der Ticketplattform und der Plattform eines Elektromobilitätsdienstleisters sollen die beiden Kundengruppen sich gegenseitig in ihrem Nachfrageverhalten beeinflussen. Durch die Buchung eines Elektrofahrzeugs zur An- und Abreise einer Abendveranstaltung und damit angeknüpfte Rabatte sollen dafür sorgen die Nutzerzahlen auf Seiten des eCarSharing dauerhaft zu steigern. Je mehr Teilnehmer das eCarSharing-Angebot wahrnehmen werden, desto mehr Nutzen kann die Plattform den Kunden bringen in Form von vermehrten Mobilitätsangeboten und preislichen Nachlässen.

5.2. AP 420 – Entwicklungskonzept einer IT-Diensteplattform

Verantwortliche Partner: BridgingIT

Ziele

In AP 420 werden parallel zu AP 410 bestehende Ansätze wie Hsubject und Green eMotion analysiert. Die Analyseergebnisse fließen anschließend mit ein bei der Erstellung eines Entwicklungskonzeptes für Dienste-Plattformen.

Innerhalb eines im Arbeitspaket 400 zu konzipierenden Gesamtsystems liegt der Schwerpunkt des Arbeitspakets 420 in der Definition der Dienste-Plattform. Ziel ist es eine praxisorientierte Plattform zu designen. Daher wird auf bestehende Ansätze wie z.B. Hsubject, Green E-Motion in Verbindung mit innovativen Konzepten wie eines DAM (Data Access Point Management) zurückgegriffen.

Auf Basis der Analyse gilt es ein Standard-Entwicklungskonzept für eine E-Mobilitäts-Diensteplattform zu Erarbeiten, auf den künftige Projekte aufsetzen können. Der Standard muss die Möglichkeit bieten, nicht nur den Scope des jeweiligen Projektes abdecken zu können, sondern soll auch erweiterbar sein für zukünftige Dienste und Geschäftsprozesse, die sich aus dem bestehenden Scope entwickeln. Ebenso soll der Standard für die Dienste-Plattform auch neuen Geschäftsprozessen die Möglichkeit bieten, sich einfach und schnell in die bestehende Infrastruktur einzuklinken, so dass alle Partner davon partizipieren können ohne einen hohen Changeaufwand zu generieren und so die bestehende Infrastruktur stabil zu halten.

Analyse klassischer Vernetzter Architektur

Systeme, die eine Buchung und Verwaltung einer umfangreichen, nutzerfreundlichen Flotte von Elektrofahrzeugen unterstützen, gliedern sich in wenige zentrale Elemente einer vernetzten IT-Architektur.

Die Basis bietet die physische Infrastruktur, die zum Betrieb des Systems notwendig ist. Auf der anderen Seite wird dem Nutzer ein Portal zur Buchung und Verwaltung verschiedener Dienste bereitgestellt. Dieses Portal wird meist in Form von Webapplikationen, aber auch mobilen Apps für Smartphones zur Verfügung gestellt.

Die meisten bisherigen Architekturen verknüpfen einzelne Systeme mit separaten Datenbanken via Servicebus. Der Servicebus hat hierbei zwei zentrale Funktionen. Auf der einen Seite steuert er den Nutzer zu dem jeweiligen Serviceprovider und gibt ihm Zugriff auf den jeweiligen Service, auf der anderen Seite integriert er den Service mittels aufwändiger Algorithmen in die Webapplikation.

Der Servicebus ist in dieser Architektur der zentrale Knoten. Hier müssen Schnittstellen und Algorithmen angepasst werden, sofern Serviceprovider hinzukommen oder sich deren Schnittstellen ändern. Jeder Provider generiert seinen Service nur auf Basis seiner Daten. Zur Generierung weiterer Nährwerte und Services ist ein Datenzugriff von Serviceprovider A auf Serviceprovider B nicht ohne weiteres möglich. Dies muss über den Servicebus gesteuert werden. Hierbei ist die Schnittstelle zu erweitern. Eine Übersicht der Daten, die allen Systembeteiligten zur Verfügung stehen könnte, ist nicht transparent.

Hier ein Beispiel einer solchen Architektur:

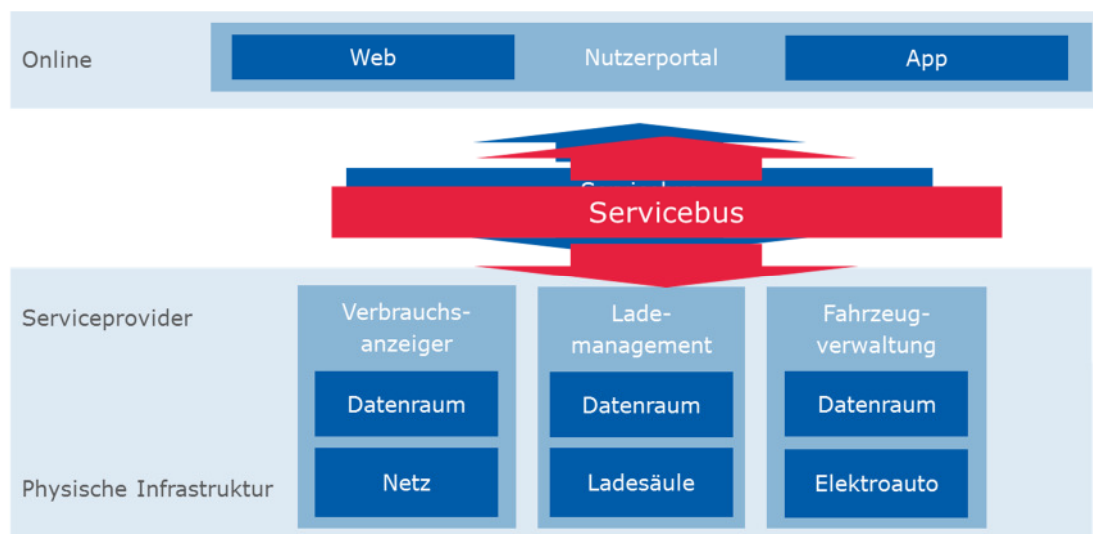


Abbildung 109: Klassisch vernetzte Architektur

Ein anderer Architekturansatz kann auf die Herausforderungen einer wachsenden Infrastruktur mit sich ändernden Services agiler reagieren und bietet dennoch die Sicherheit und Zuverlässigkeit einer standardisierten IT-Architektur. Hier bietet das Konzept Cyber-Physische-Systeme (CPS) eine Lösung, die im weiteren Verlauf näher beschrieben wird.

Cyber-Physische-Systeme (CPS)

Die heutige Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) muss sich an die wachsenden und oft wechselnden Anforderungen der Märkte anpassen können. Insbesondere die Energiebranche steht hinsichtlich einer steigenden Anzahl von Marktteilnehmern und dem Bedarf an flexiblen Tarifen vor neuen Herausforderungen, die mit der notwendigen IKT unterstützt werden muss.

Die IT-Architektur, die auf diese wachsenden Anforderungen einfach und flexibel eingehen kann, ist das so genannte Cyber-Physische-System (CPS), welches Daten der physischen Infrastruktur sammelt, speichert und durch Algorithmen definierte Betriebsanweisungen ableitet. Cyber-Physischen-Systemen sind Systeme, „in denen Objekte der realen Welt über an sie gebundene IT-Systeme mit entfernten Softwaresystemen kommunizieren. Dabei wird i.d.R. über Sensorik und Aktorik auf der Seite der realen Objekte und Regelungslogik in den abgesetzten Softwaresystemen ein Regelkreis realisiert.“ (Holtkamp et al. 2014)

Erste Anwendung finden Cyber-Physische-Systeme bereits über die Industrie 4.0 im Umfeld vernetzter Fertigungsanlagen. Hier bietet ein CPS die Chance einer intelligenten Automation und einer anwender- und prozessorientierten Mensch-Maschine-Kommunikation.

Im Arbeitspaket 520 werden detaillierter die aktuellen fachlichen Herausforderungen für die Energiebranche beschrieben und welche Potentiale sich für die einzelnen Akteure am Markt durch die Integration eines CPS ergeben können.

Die weiteren Kapitel beschreiben die Komponenten eines CPS und die Abgrenzung zu anderen vernetzten Architekturmodellen, die über einen zentralen Servicebus gesteuert werden.

Architekturmodell eines CPS

Der zentrale Unterschied zur klassischen IT-Architektur liegt darin, dass es keinen zentralen Servicebus gibt, der als Vermittler zwischen Nutzerportal und Serviceprovider agiert. Darüber hinaus verlagern sich Logik und Algorithmen auf die dezentralen Serviceprovider. Jeder Service ist einzeln über die Nutzerplattform direkt für den Kunden erreichbar.

Ebenso liegen alle Daten, die aus dem Physical-Layer generiert werden, zentral in einem großen, für alle nutzbaren Datenraum im Cyber-Layer zur Verfügung. Der Physical-Layer enthält alle notwendigen Bestandteile (Betriebssystem, Sensorik, Aktorik), die notwendig sind um die servicerelevanten Daten aus der Infrastruktur zu erhalten. Ebenso bedarf es hier einer Kommunikationsmöglichkeit mit den Elementen des Cyber-Layers. Diese Kommunikation kann in ihrer Art innerhalb der physischen Infrastruktur unterschiedlich sein. Die Kommunikation kann über mobiles Internet, Funk, GPS, Kabelnetzwerk u.v.m. stattfinden. Auch der Zeitpunkt, wann die Daten in den Cyber-Layer übertragen werden, kann unterschiedlich sein. Der darauf aufsetzende Service sollte nur die Aktualität der Daten berücksichtigen und sicherstellen, ob er Daten in Echtzeit benötigt oder ob eine zyklische Datenübertragung ausreichend ist. Im Sinne der Wartbarkeit sollte die Schnittstelle seitens des Cyber-Layers möglichst einheitlich sein, sodass man auf Weiterentwicklungen des Systems schnell und einfach eingehen kann.

Die Infrastrukturdaten werden im Cyber-Layer als virtuelles Objekt abgebildet. Informationen werden hier über einen zentralen Data Accesspoint Manager (DAM) so organisiert, dass sich intelligente Produktanwendungen ergeben können. Ziel ist es, Daten

und Funktionen der physikalischen Elemente so über Algorithmen zu definieren, dass Serviceprovider auf deren Basis Services generieren, die sich auch auf sich verändernde Gegebenheiten anpassen können.

Damit diese Daten sicher und im Interesse des Gesamtsystems genutzt werden können, steht der Data Accesspoint Manager (DAM) auch als Gateway vor dem Cyber-Layer. Der DAM definiert, welcher Serviceprovider wann welche Daten nutzen darf.

Provider, die für dieses System Services generieren wollen, wird eine Übersicht der möglichen, verwertbaren Daten bereitgestellt. Eine allgemeine Schnittstellenbeschreibung definiert nicht nur welche Daten, sondern auch wie der Serviceprovider darauf zugreifen kann. Der Provider definiert seinen Service und stellt diesen dem DAM vor, um so den Zugriff auf die hierzu benötigten Daten zu erhalten. Der DAM lässt dem Serviceprovider nur den Zugriff auf die benötigten Daten zu.

Das Serviceportfolio muss zur Nutzung des Gesamtsystems auch organisatorische Services zur Verfügung stellen, die dem User den Einstieg ermöglichen. So sind neben den rein funktionalen Services, wie die Fahrzeugverwaltung, Lademanagement usw., auch allgemeine Services zur Abrechnung und zur grundsätzlichen Nutzerverwaltung notwendig.

Die Serviceprovider stehen in der Verantwortung ihre Services an das Nutzerportal anzubinden. Das Portal hat den Zugriff auf die Services sicherzustellen. Damit obliegt hier die Gestaltung des User-Interfaces. Dies kann neben einer grundsätzlich prozessorientierten Darstellung auch Themen der Barriere armen oder auch eine browserunabhängige Darstellung berücksichtigen. Da neben den Webapplikationen mobile Devices zunehmende Verbreitung erfahren, empfiehlt es sich auch das Nutzerportal über eine App bereit zu stellen. Hierbei ist zu beachten, dass bei Smartphone-Apps die Usability stärker im Vordergrund steht und die Displays in der Regel kleiner sind. Daraus folgt, dass man bei der Gestaltung der App und des Funktionsumfangs klären muss, ob man die gleichen Funktionalitäten, wie in der Webapplikation anbietet, oder ob man sich nur auf die wesentlichen, zentralen Funktionen konzentriert.

Exemplarische IT-Architektur zur Integration eines Cyber-Physical-Systems:

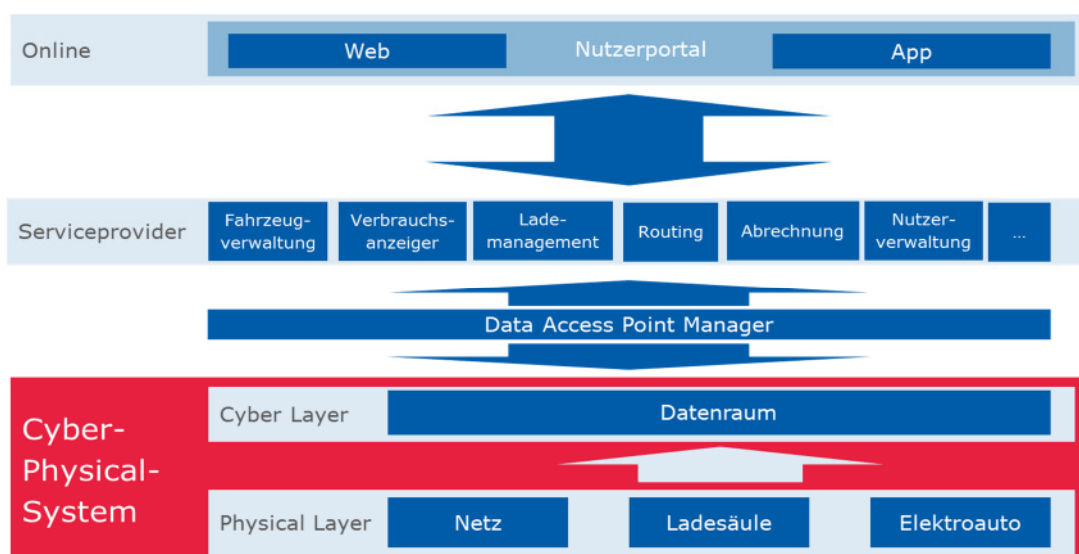


Abbildung 110: Cyber-Physical System

Diese Architektur funktioniert, solange das Portfolio an angebotenen Services überschaubar ist und die Serviceprovider keine Überschneidungen in Ihren angebotenen Services haben. Wenn dies nicht mehr der Fall ist, wären das Wachstum und die Weiterentwicklung des Systems blockiert. Deswegen braucht es einen erweiterten Architekturansatz.

Wachstum des Cyber-Physical-Systems und der Mobility Services Provider

Es liegt in der Natur erfolgreicher, innovativer Projekte, dass diese mit der Zeit mehr und mehr Verbreitung finden und so in einem stetigen Wandel und vor allem Wachstum sind. Somit steigt auch die Zahl der Serviceprovider, die ihre Chancen sehen, sich hier am Markt einzubringen. Jeder neue Serviceprovider hat, wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben, seinen Dienst beim DAM anzumelden und seine gewünschten Daten über das DAM-Gateway abzurufen.

Mit wachsender Anzahl an Service Providern steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass sich Services in ihrem Angebot überschneiden. Auf der einen Seite bietet das Wachstum die Möglichkeit, dass sich bestehende Services weiterentwickeln und innovative Ideen in das Gesamtsystem Einzug finden. Im Rahmen einer diskriminierungsfreien Architektur muss auch berücksichtigt werden, dass sich ähnliche Serviceprovider in das Gesamtsystem integrieren können. Der Nutzer soll auch weiter die Möglichkeit haben, den für ihn besten Service zu wählen. Auf der anderen Seite wird mit steigender Zahl der ähnlichen Serviceprovider das Gesamtsystem für den Gelegenheitsnutzer zunehmend unübersichtlich. Hier kann ihm ein sogenannter Mobility Serviceprovider (MSP) beratend zur Seite stehen. Der MSP kann auf Grund von Vorbedingungen Empfehlungen ausgeben, welchen Serviceprovider der User in Betracht ziehen sollte. Diese Vorbedingungen ergeben sich aus Präferenzen des Nutzerprofils. Beispiel hierfür kann die präferierte Fahrzeugklasse sein, die dafür sorgt, dass der MSP den User mit dem Serviceprovider für Langstreckentauglichere Fahrzeuge verknüpft. Eine andere Vorbedingung ergibt sich womöglich aus dem angegebenen Wohnort des Users, so dass der MSP auf Basis eines Regionalitätsprinzips den entsprechenden Serviceprovider empfiehlt.

Im Aufbau und der Weiterentwicklung des Gesamtsystems sind die Vorbedingungen zur Entscheidungsfindung für den MSP klar zu definieren, um auf der einen Seite insbesondere den Gelegenheitsbenutzer schnell und einfach zum richtigen Service zu führen, aber auf der anderen Seite auch die Diskriminierungsfreiheit des Gesamtsystems sicher zu stellen.

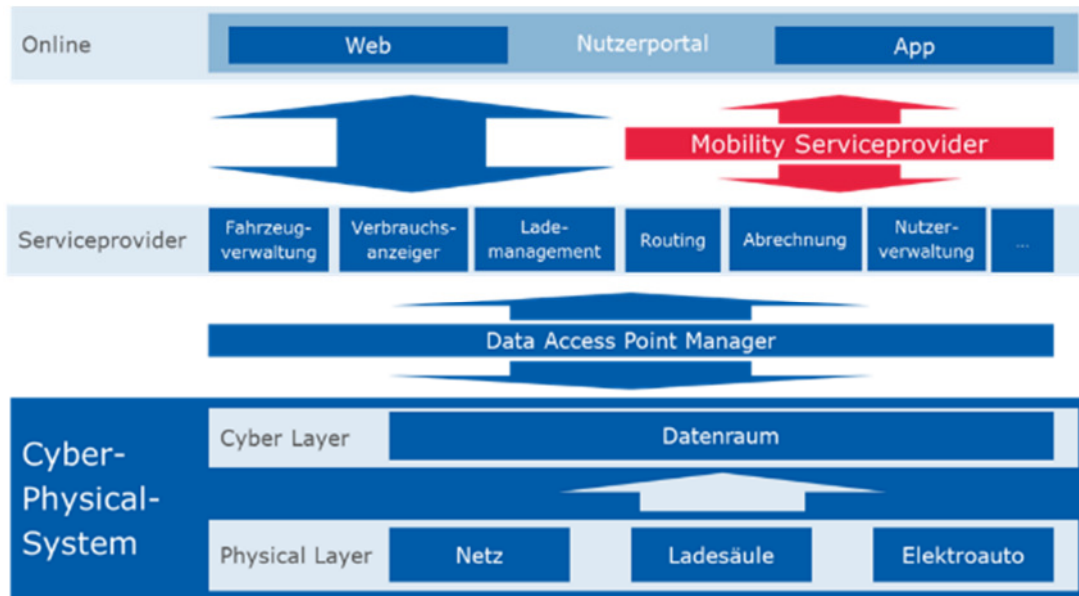


Abbildung 111: Cyber Physical System mit MSP

Fazit: Cyber-Physical-Systems unterstützen zukunftsorientierte IT-Architekturen

Insbesondere innovative Projekte, die sich mit neuen Technologien und neuen Prozessen beschäftigen, entwickeln sich schnell weiter. Man startet meist mit einem kleinen Prototyp, der nach und nach wächst. Es entstehen neue Use Cases, es kommen neue Partner hinzu, man generiert weitere Services. Und die physische Infrastruktur wächst ebenso mit den steigenden Anforderungen an das System.

Hierzu muss auch die IKT eine Antwort bieten, um ein schnelles und agiles Wachstum zu ermöglichen. Das CPS bietet hier die ideale Chance, die Stabilität und Sicherheit einer standardisierten Architektur mit den fachlichen Bedürfnissen und der Geschwindigkeit eines innovativen Projektes zu verbinden.

Wächst z.B. die physische Infrastruktur und gibt somit mehr Daten in den Cyber-Layer, so ist der DAM darüber zu informieren und auf Basis der bisherigen Schnittstellendefinition das Datenmodell zu erweitern. Die Art des Datenzugriffs und die bisher übertragenen Daten bleiben für den Serviceprovider bestehen. Es erweitert sich lediglich das „Datenportfolio“, das der DAM den Service Providern auf Anfrage zur Verfügung stellen kann.

Bei komplexen, innovativen Projekten entwickelt sich der Umfang der Serviceprovider oft auch erst im Laufe der Zeit. Kommt nun ein neuer Serviceprovider hinzu, erhält er Einblick in die Daten, die man ihm zur Verfügung stellen könnte und die bereits definierte Schnittstellenbeschreibung. Daraus definiert er seinen Service. Ist der Service für das gesamte System interessant, lässt der DAM den Provider auf die für seinen Service notwendigen Daten zugreifen.

Somit lässt sich das System um beliebig viele weitere physische Infrastrukturelemente und Serviceprovider erweitern. Der Aufwand hierbei hält sich im Vergleich zum Nutzen in Grenzen.

Die CPS-Infrastruktur hat mit dem DAM zwar auch ein zentrales Element, jedoch ist das dort verankerte Know-how überschaubar. Darüber hinaus ist die Funktion wenig komplex. Von daher ist die Ausfallsicherheit leichter zu gewährleisten. Sollten sich im Rahmen eines

Projektes andere Partner für die Erbringung der Leistung als DAM herausstellen, ist dieser auch einfach ersetzt.

In Folge dessen bietet das Gesamtsystem zwar die Stabilität einer guten Standardisierung, ist aber flexibel hinsichtlich der Dienstleister innerhalb des Systems und lässt eine schnelle Skalierbarkeit und ein Wachstum der Infrastruktur zu.

5.3. AP 430 – Prototypische Implementierung der IT-Dienste in einem Abrechnungssystem

Verantwortlicher Partner: ENERGY4U

Ziel / geplante Arbeitsinhalte

In diesem Arbeitspaket bringt ENERGY4U Expertise bei der Konzeption und prototypischen Implementierung der IT-Dienste in einem Abrechnungssystem ein. Dabei sollen neben den klassischen Elektromobilitätsdiensten, wie dem Ladevorgang oder der Ladesäulenreservierung auch andere Mobilitätsdienste abgerechnet werden können, wie zum Beispiel Bahnfahrten, das eCarSharing oder sonstige IT-Dienste. Damit soll u.a. eine abrechnungstechnische Integration von Elektrofahrzeugen in intermodalen Reiseketten ermöglicht werden.

Motivation

Um heutzutage optimal von A nach B zu kommen, ist häufig das sog. intermodale Reisen - die Nutzung mehrerer Verkehrsmittel während einer Reise von Vorteil. Beispielsweise ist es insbesondere bei längeren Geschäftsreisen eher vorteilhaft diese in einer Kombination aus Auto und Zug/Flugzeug durchzuführen, als zum Beispiel monomodal nur mit dem Auto. Ein Grund für die Kombination von Auto und Zug wäre u.a., dass die Zeit während der intermodalen Reise besser genutzt werden kann und eine Zugfahrt in einigen Fällen ökologischer, sowie ökonomischer ist.

Folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen Mobilitäts-Nutzer, Mobilitäts-Anbieter und der intermodalen Plattform (IMP), sowie deren Funktion.

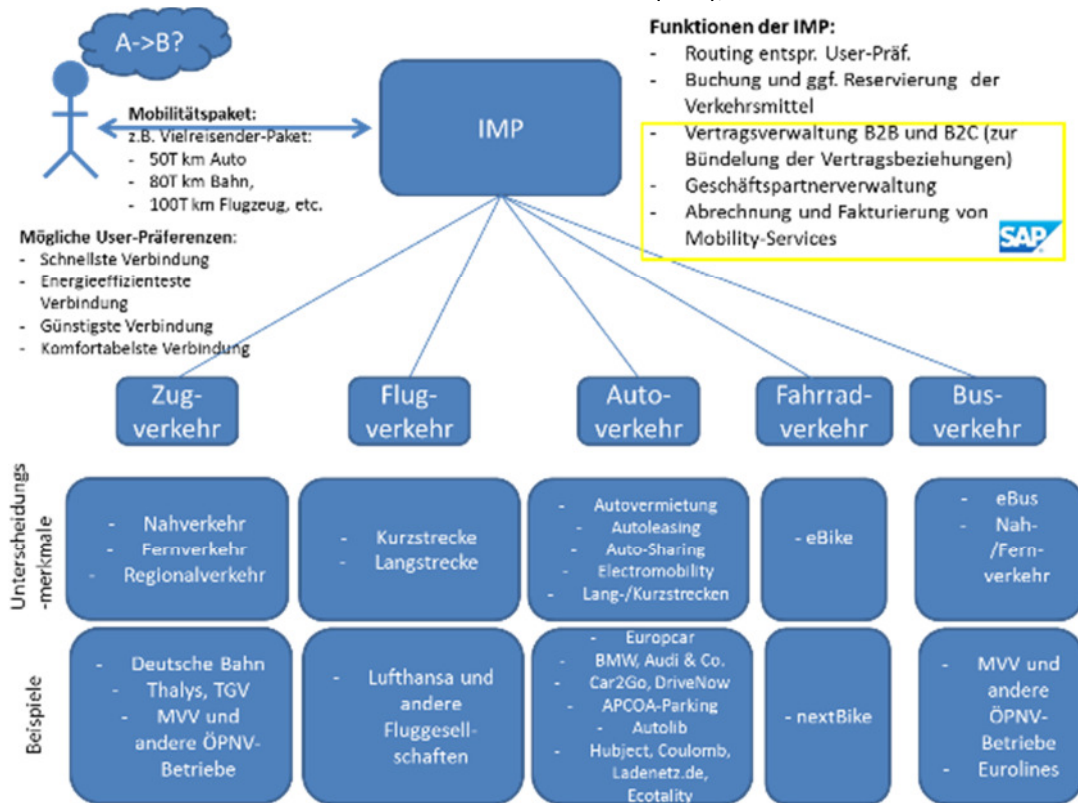


Abbildung 112 - Zusammenhang zwischen Mobilitäts-Nutzer, Anbieter und IMP (eigene Darstellung)

Zur Unterstützung der intermodalen Mobilität gibt es bereits heute einige Apps, wie „Moovel“ oder „DB Navigator“. Die Apps sind im allgemeinen Teil einer sog. „intermodalen Mobilitäts-Plattformen“ (IMP) und stellen einen Mehrwert bei der Planung und Durchführung der intermodalen Reise dar.

Die Anzahl der Nutzer von Mobilitäts-Services, welche auch Mehrwerte einer IMP, wie die der App „DB Navigator“ nutzen liegt nach [3] in Deutschland bei ca. 5 Mio. In Deutschland gibt es mehr als 70 Verkehrsverbünde [1], ca. 150 Car-Sharing-Anbieter [2] und weitere Anbieter für Langstrecken, wie Air Berlin, Condor, Lufthansa oder die Deutsche Bahn. Die hohe Anzahl an Anbieter und Nutzer führt ohne eine IMP zu einer enormen Anzahl an Vertragsbeziehungen, da ein Nutzer mit mehreren Anbietern und umgekehrt jeweils einen Vertrag schließen muss. Die maximale Anzahl der möglichen Vertragsbeziehungen ergibt sich aus der Multiplikation der Anzahl der Anbieter mit der Anzahl der Nutzer. Beispielsweise ergibt sich aus 5 Mio. Nutzer und 200 Anbieter eine Anzahl von maximal 1×10^9 möglichen Vertragsbeziehungen. Hier wäre zu berücksichtigen, dass in der Realität nicht jeder Anbieter mit jedem Nutzer ein Vertragsverhältnis pflegt und die tatsächliche Anzahl der Vertragsbeziehungen daher erheblich von der maximalen Anzahl abweicht. Unter der Annahme, dass ca. 20% der IMP-Nutzer im Durchschnitt mit 3 Anbietern und die restlichen 80% der IMP-Nutzer hauptsächlich mit einem Anbieter ein Vertragsverhältnis halten, ergeben sich ca. 7 Mio. Vertragsbeziehungen.

Klassische Funktionen einer IMP sind u.a. die Buchung (siehe Buchungs-Dienst für eCarSharing Kapitel 0), das Routing, die Vertrags- und Geschäftspartnerverwaltung und die Abrechnung. Im Folgenden soll näher auf die Abrechnung eingegangen werden.

Der Abrechnungs-Dienst unterstützt den Reisenden bei der Bezahlung von Mobilitäts-Services, wie zum Beispiel einer Bahn-/Busfahrt oder auch einer Car-Sharing-Nutzung. Nach einer einmaligen Hinterlegung der Zahlungsinformationen für die Bezahlung per Lastschrift oder Kreditkarte, werden alle Mobilitäts-Services über den hinterlegten Zahlungsweg abgerechnet. Zudem bekommt der Reisende am Ende eine Sammelabrechnung über die während einer intermodalen Reise genutzten Mobilitäts-Services. Die IMP ermöglicht dadurch eine einfache Bezahlung, da nicht jeder Mobilitäts-Service einzeln bezahlt werden muss.

Abrechnungsszenario

Der Abrechnungsprozess startet damit, dass sog. Event Data Records von Mobilitäts-Anbietern wie z.B. der Deutschen Bahn oder eines CarSharing-Anbieters (z.B: DriveNow) an die IMP gesendet werden (siehe 1. EDR's senden).

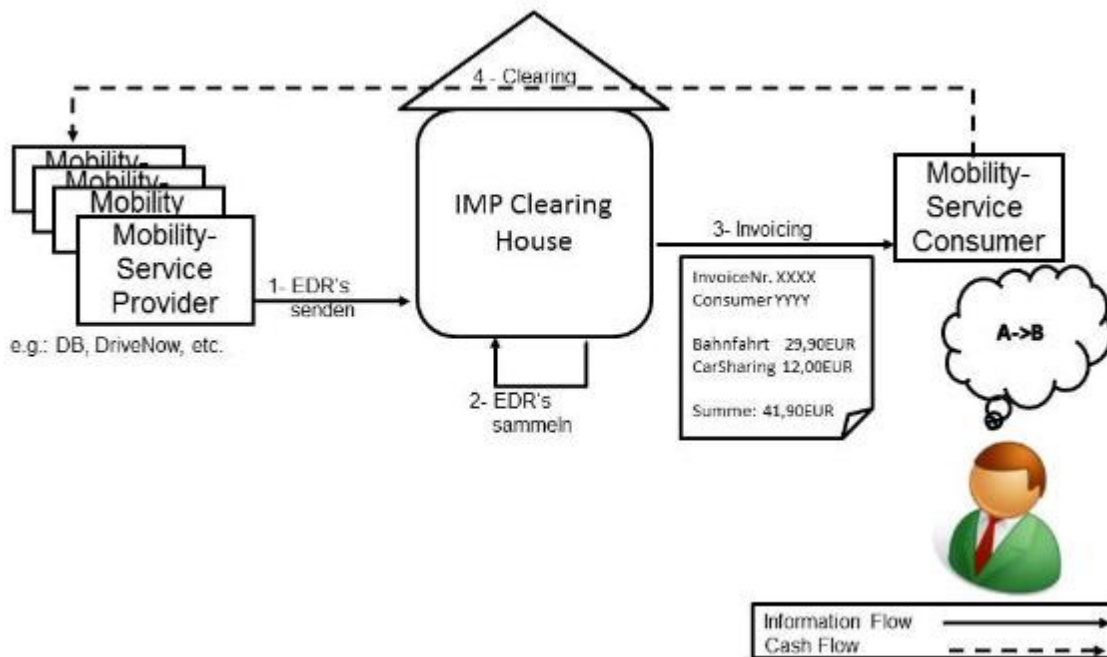


Abbildung 113 - Abrechnungsszenario (eigene Darstellung)

Ein EDR enthält beispielsweise u.a. die Mobilitätsvertrags-ID, den genutzten Mobilitäts-Service, die ID des Nutzers und des Anbieters. Anschließend werden die Event Data Records von der IMP gesammelt (siehe 2. EDR's sammeln), tarifiert und dem Nutzer in Rechnung gestellt (siehe 3. Invoicing). Abschließend muss das vom Nutzer an die IMP überwiesene Geld wieder an die jeweiligen Anbieter weiterzuleiten (siehe 4. Clearing). Für das Clearing muss dem Anbieter zusätzlich eine entsprechende „Clearing-Gebühr“ für die Teilnahme an der IMP in Rechnung gestellt werden.

Prototypische Umsetzung

Überblick

Eine prototypische Umsetzung erfolgt im SAP System „E17“ von ENERGY4U. Das System ist in der Lage einzelne Event Data Records von verschiedensten Providern und Consumern abzurechnen. Der Prototyp arbeitet nach folgendem Schema:

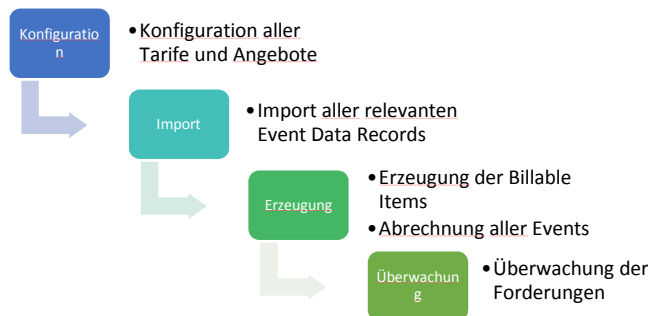


Abbildung 114: Prototypenschema

Das Datenmodell war wie folgt vorgesehen:

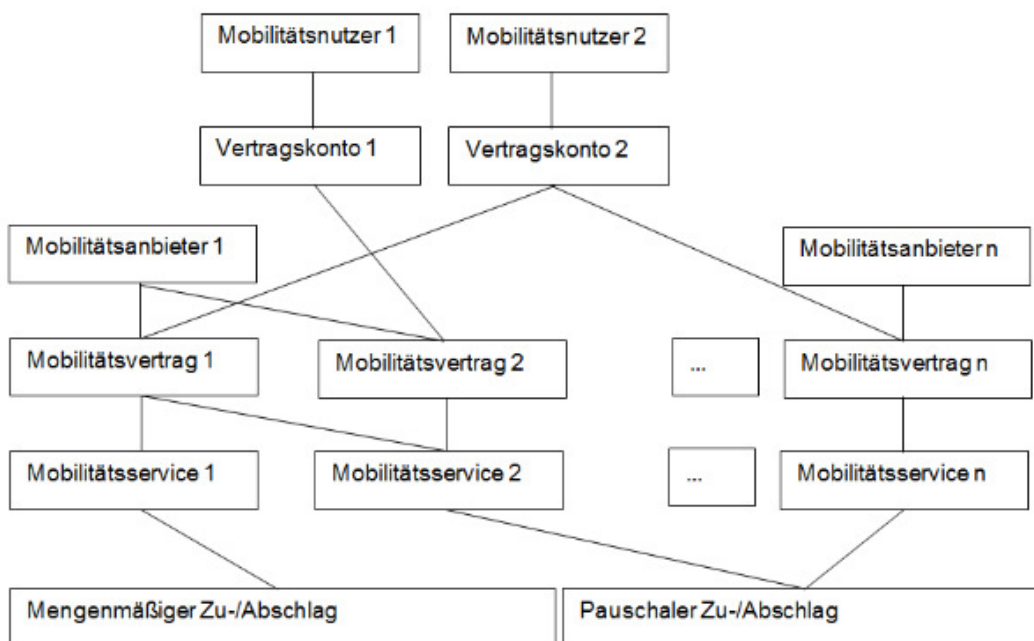


Abbildung 115 - Datenmodell zur Abrechnung von Mobilitäts-Services im Rahmen vom Prototyp

Konfiguration

Zur Konfiguration gibt es im Rahmen des Prototyps folgende Funktionen:

- Mobilitäts-Anbieter und Mobilitäts-Nutzer anlegen
- Vertrag und Vertragskonto anlegen
- Mobilitäts-Services anlegen inkl. Tarif

Mobilitäts-Anbieter und Mobilitäts-Nutzer anlegen

Über die Transaktion „BP“ können im SAP System Geschäftspartner, wie Mobilitäts-Anbieter und Mobilitäts-Nutzer angelegt werden. Der Geschäftspartner beinhaltet Informationen u.a.

zu Name, Adresse und Kontoverbindung. Der Geschäftspartner ist einem oder mehreren Vertragskonten zugeordnet

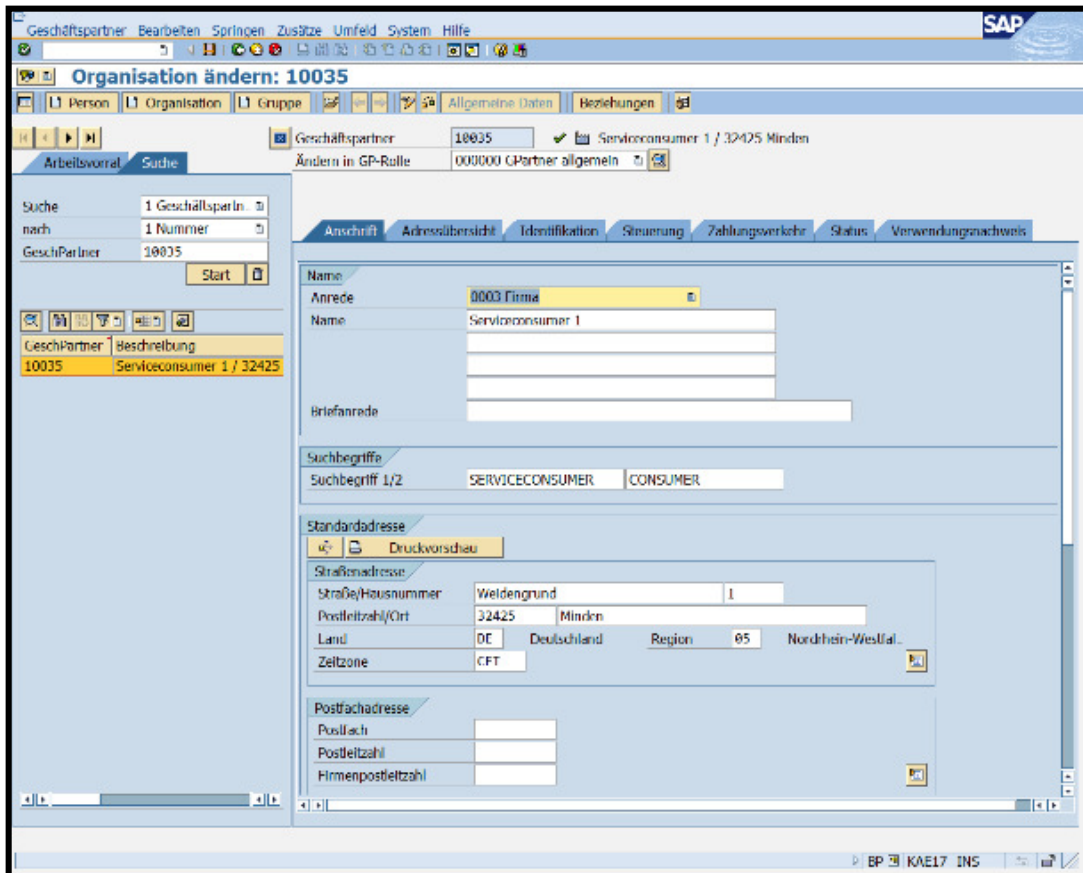


Abbildung 116: SAP Mobilitäts-anbieter und Mobilitätsnutzer anlegen

Vertragskonto anlegen

Ein Vertragskonto dient zur Zuordnung verschiedener Verträge zu dem Geschäftspartner. Dem Vertragskonto können mehrere Verträge zugeordnet werden. (Transaktion CAA3)

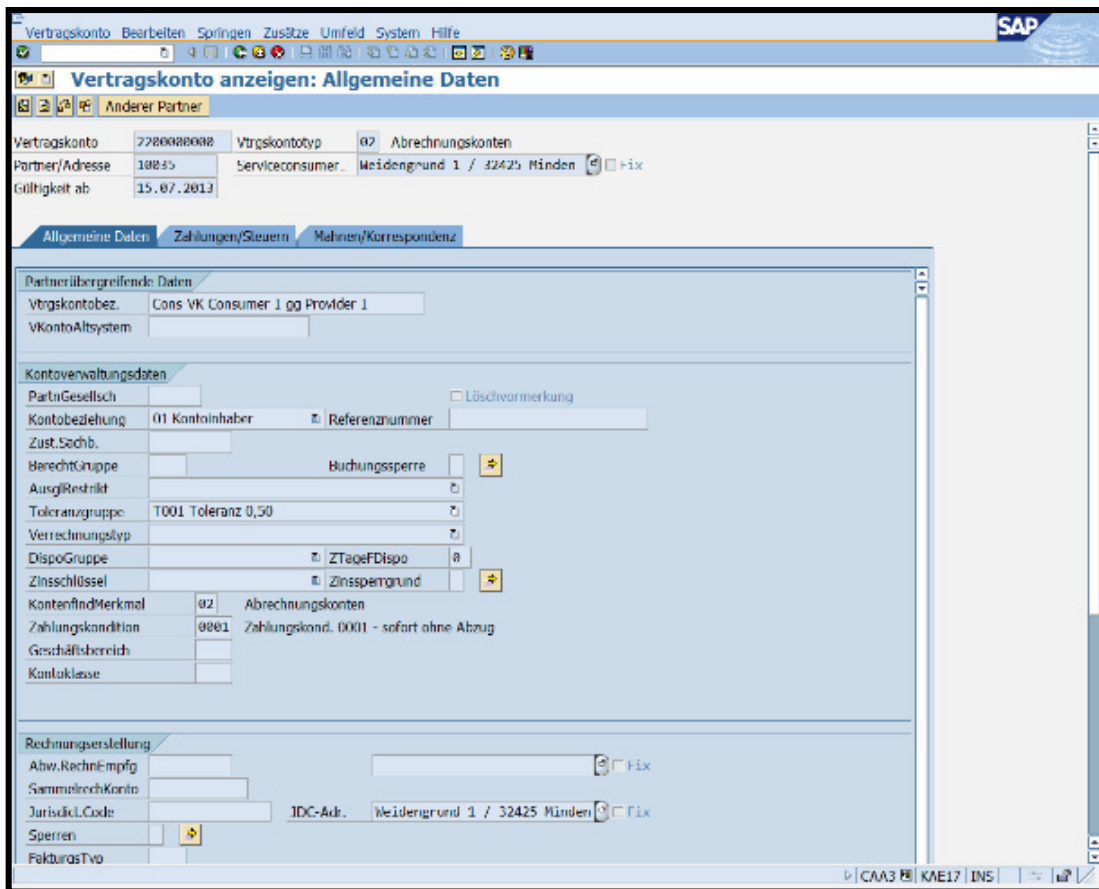


Abbildung 117: Vertragskonto anlegen

Vertrag anlegen

Ein Vertrag ist einem Vertragskonto zugeordnet und enthält u.a. allgemeine Vertragsdaten sowie die Leistungsvereinbarung, inkl. der abrechnungsrelevanten Informationen. Im Beispiel siehe Screenshot unten liegt der Vertrag „32000001“ vor vom Mobilitäts-Anbieter (Serviceprovider) „10032“ mit dem Mobilitäts-Nutzer (Serviceconsumer) „10035“. Im Beispiel unten beinhaltet der Vertrag lediglich die Leistung „Ladevorgang“. Damit können dem Mobilitäts-Nutzer vom Mobilitäts-Anbieter z.B. EnBW Ladevorgänge in Rechnung gestellt werden (hier zu 20 Cent pro kWh). Außerdem wird bei dem Vertrag die sog. „Clearing-Gebühr“ mit verrechnet.

Verträge können über die Transaktion /E4U/VTG_EVER_DISPLA angezeigt werden.

The screenshot shows the SAP EMobility 'Vertrag anzeigen' (View Contract) screen. The contract number is 0032000001. The contract type is Consumer-Vertrag. The contract includes two services: 'Billing Ladevorgang' and 'Clearing Ladevorgang', both with a unit price of 0,20 EUR.

Service	Bezeichnung	Beginn	Ende	Stel.	Betrag	Wrg	Angelegt von
0002	Billing Ladevorgang	04.02.2013	31.12.9999	000	0,20	EUR	BREITG
0002	Clearing Ladevorgang	04.02.2013	31.12.9999	000	0,20	EUR	BREITG

Abbildung 118: Vertrag anlegen

Mobilitäts-Services anlegen inkl. Tarif

Vorab können außerdem die im Vertrag hinterlegten Services im Customizing verändert oder erweitert werden.

Einem Service kann direkt eine Abrechnungs-Regel zugeordnet werden, welche die Art der Abrechnung festlegt, also z.B. Abschlag auf Menge oder Abschlag pauschal. Außerdem wird ein Abrechnungs-Betrag festgelegt. (hier 20 cent) Services können über das View-Cluster /E4U/SIN_VC_CUST angelegt werden.

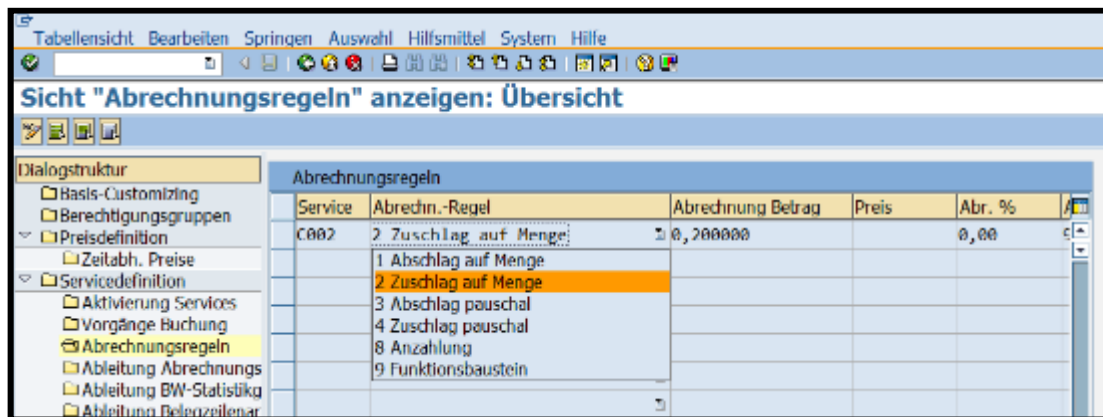


Abbildung 119 -Hinzufügen einer Abrechnungsregel für einen Mobility-Service

Es wurden 6 Mobilitäts-Services angelegt:

- Ladesäulen-Informationen versenden
- Elektrofahrzeug laden
- Ladesäule reservieren
- CarSharing-Fahrt buchen
- Bahn-Fahrt buchen
- Flug buchen

Folgender Screenshot zeigt eine entsprechende Tabelle in E17 mit den 6 Mobilitäts-Services:

Cont.Type	SP	Service	Service	Beschreibung
E1	E1	B001	C001	Ladesäulen Info
E2	E2	B002	C002	Ladevorgang
E3	E3	B003	C003	Reservierung
M1	E2	B002	M001	CarSharing
M2	E2	B002	M002	Bahn
M3	E2	B002	M003	Flug

Abbildung 120: Tabelle E17 im SAP

Import von Event Data Records

Event-Data-Records können über eine Webservice-Schnittstelle auf Basis des Netzwerkprotokolls SOAP vom Abrechnungssystem empfangen werden.

Eine eingehende XML-Nachricht mit Event-Data-Records kann wie folgt aufgebaut sein (siehe Beispiel unten für eingehenden XML-Nachricht mit einem Ladevorgang).

```

1  <soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/" xmlns:urn-
   "urn:sap-com:document:sap:soap:functions:mc-style">
2    <soapenv:Header/>
3    <soapenv:Body>
4      <urn:_e4u_chKommSetEd>
5        <IEventDataRecordsTable>
6          <item>
7            <ContractId>0032000001</ContractId>
8            <ProviderId>0000010032</ProviderId>
9            <ChargePointAddress>
10             <Street>Hörster Straße</Street>
11             <Housenumber>42</Housenumber>
12             <Postcode>33829</Postcode>
13             <City>Borgholzhausen</City>
14             <Country>D</Country>
15             <Longitude>8.252856</Longitude>
16             <Latitude>52.057056</Latitude>
17           </ChargePointAddress>
18           <ConsumedServiceType>E2</ConsumedServiceType>
19           <ChargeStartDate>2013-04-18T10:30:00</ChargeStartDate>
20           <ChargeEndDate>2013-04-18T13:30:00</ChargeEndDate>
21           <Amount>10</Amount>
22           <Unit>kWh</Unit>
23           <RfidId>0047114711</RfidId>
24           <ConsumerId>0000010035</ConsumerId>
25         </item>
26       </IEventDataRecordsTable>
27     </urn:_e4u_chKommSetEd>
28   </soapenv:Body>
29 </soapenv:Envelope>

```

Abbildung 121 -Eingehender Event Data Record

Bei Empfang eines Event-Data-Records wird dieser in einer entsprechenden Tabelle (/E4U/CH_ED) im SAP vom Funktionsbaustein /E4U/CH_KOMM_SET_ED hinzugefügt.

Erzeugung von Billable Items und Abrechnung

Über ein eigens entwickeltes Programm (Transaktion Z_EMOB_BILL) werden aus den Event Data Records sog. „Billable Items“ erzeugt, welche die Grundlage für die spätere Abrechnung und Fakturierung mit SAP Convergent Invoicing darstellen.

Billable Item

Ein Datensatz, der einen bewerteten Geschäftsvorfall darstellt. Enthält die Abrechnungsgrundlagen eines Quellsystems. Wird von SAP Convergent Invoicing als Basis für die Abrechnung herangezogen. Wird im Verlauf zu einem „Billed Item“ und dient somit als Grundlage für eine Rechnung an einen Kunden. [4]

Wird das Programm gestartet erscheint das folgende Eingabefenster.

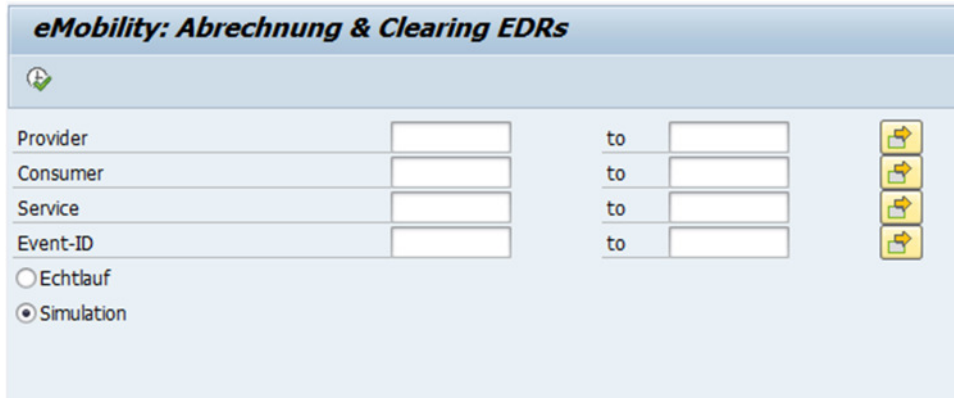


Abbildung 122: SAP Eingabefenster eMobility

Das Programm kann per Simulation oder per Echtlauf gestartet werden. Als Eingabe erwartet das Programm entweder den Mobilitäts-Anbieter (Provider), Mobilitäts-Nutzer (Consumer), Service oder die Event-ID. Je nach Eingabe werden die entsprechenden Event Data Records selektiert.

Nach der Erzeugung von Billable Items wird SAP Convergent Invoicing gestartet über TA FKKINV_MON.

SAP Convergent Invoicing

SAP Convergent Invoicing besteht aus den Komponenten Abrechnung und Fakturierung im Vertragskontokorrent.

Die Abrechnung im Vertragskontokorrent übernimmt die abrechnungsrelevanten Daten und verarbeitet diese. Dabei fasst die Abrechnung die abrechenbaren Positionen („billable Items“) des Kunden zusammen und verdichtet diese zu einem Abrechnungsbeleg. Das heißt, es erfolgt eine Voraggregation strukturierter Datensätze nach technischen und betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Auf der Basis des Abrechnungsbelegs und gegebenenfalls zusätzlicher Quellbelege aus anderen Systemen erstellt die Fakturierung im Vertragskontokorrent eine Rechnung für den Kunden über den monatlichen Gesamtbetrag und bucht diesen Gesamtbetrag auf dem Vertragskonto des Geschäftspartners als Forderung.

Bei SAP Convergent Invoicing können mehrere Abrechnungsbelege zu einer Faktura zusammengefasst werden. Damit können einem Nutzer mehrere Mobilitäts-Services unterschiedlicher Mobilitätsprovider in einer Sammelabrechnung in Rechnung gestellt werden. Bei der Fakturierung mehrerer Abrechnungsbelege können zudem Service-übergreifende Abschläge angewandt werden. Folgende Abbildung zeigt beispielhaft die abrechenbaren Positionen, welche durch SAP Convergent Invoicing zu einem Abrechnungsbeleg verdichtet werden.

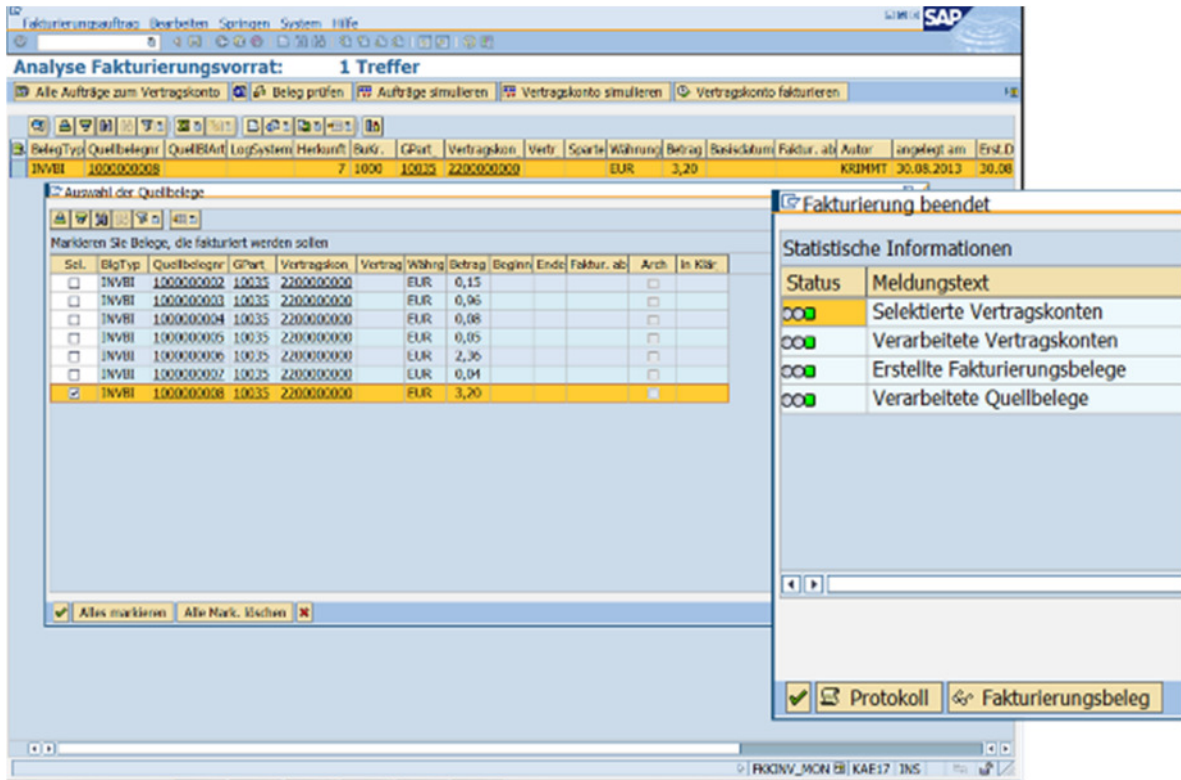


Abbildung 123: SAP Convergent Invoicing

Außerdem könnte im Anschluss an die Abrechnung und Fakturierung eine Rechnung gedruckt und an den Nutzer versendet werden.

Überwachung des Zahlungseingangs

Für die Nachverfolgung der offenen Forderungen (Transaktion FPL9) besteht eine Schnittstelle zum Modul SAP Revenue Management and Contract Accounting (SAP RM-CA). Dort werden die offenen Rechnungspositionen automatisch in den Kontenstand mit übernommen. Damit kann der Status der Forderungen an den Nutzer verfolgt werden.

Fazit

Es sollte neben den klassischen Elektromobilitätsdiensten, wie dem Ladevorgang oder der Ladesäulenreservierung auch andere Mobilitätsdienste abgerechnet werden können, wie zum Beispiel Bahnfahrten, das eCarSharing oder sonstige IT-Dienste. Mit dem vorliegenden Prototyp im SAP Demosystem E17 von ENERGY4U können nicht nur Ladevorgänge sondern sämtliche Mobilitätsdienste, wie z.B. auch eCarSharing-Dienste abgerechnet werden. Das Ziel von dem Arbeitspaket wurde demnach erreicht.

Eine Erkenntnis für folgende Arbeiten ist, dass für eine reibungslose Abrechnung eine Integration des zentralen Abrechnungssystems mit den Umsystemen der Mobilitäts-Anbietern von entscheidender Bedeutung ist. Da aktuell keine einheitliche Schnittstelle zur Übermittlung von „Event Data Records“ bekannt ist, wäre an der Stelle tendenziell die Standardisierung der Schnittstelle für Mobilitäts-Services sinnvoll.

5.4. AP 440 – Prototypische Entwicklung einer IT-Diensteplattform auf Basis eines „Registry-Ansatzes“

Verantwortliche Partner: BridgingIT

Einleitung

Diese Dokumentation des Arbeitspaketes (AP) 440 beschreibt einen Lösungsansatz für eine Software-Architektur, die dabei unterstützen soll, Elektroautos an das dezentrale Energiesystem anzubinden und so den Erfordernissen aus beiden Domänen genüge zu tun.

Es hat sich bewährt, die Struktur einer solchen Dokumentation an den Vorschlägen der Website arc42.org²⁸ auszurichten. Mit Hilfe des dort publizierten Templates werden alle Aspekte einer Software-Architektur behandelt und so die Lösungsfindung unterstützt:

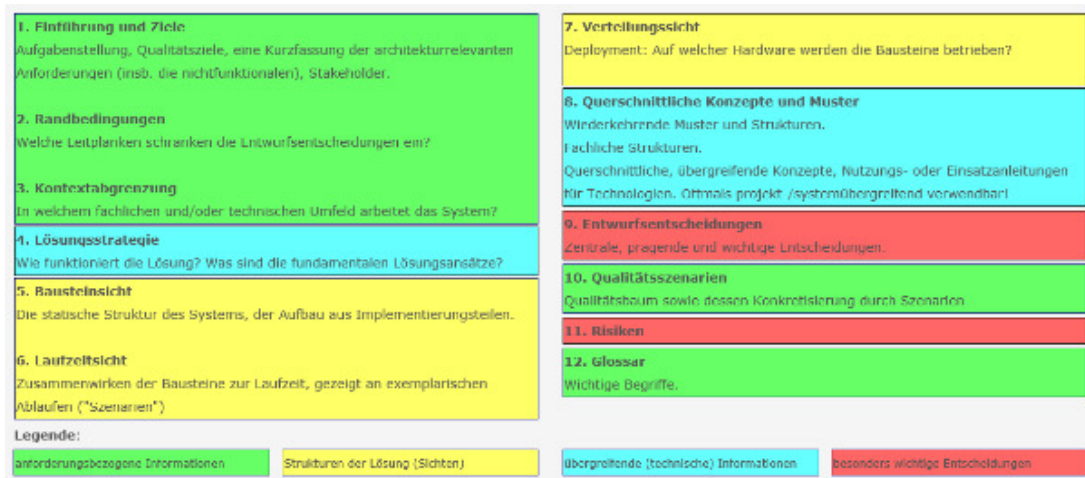


Abbildung 124: Struktur des arc42-Templates

Durch diese generelle Aufstellung ist es möglich, jeden für eine Software-Architektur relevanten Aspekt zu betrachten. Der Architekt entscheidet im konkreten Fall die Höhe der Relevanz und dokumentiert entsprechend der Struktur. Es wurde sich für Übernahme folgender Abschnitte des Templates entschieden:

- Ziele
- Randbedingungen
- Lösungsstrategie
- Bausteinsicht
- Konzepte
- Entwurfsentscheidungen
- Risiken
- Glossar

²⁸ <http://confluence.arc42.org/display/templateDE/Das+arc42+Template> ; abgerufen am 13.12.2016

Aufgabenstellung

Es ist eine IT-Dienste-Plattform zu entwerfen, die den Anforderungen aus dem Projekt IMEI zu untersuchenden Szenarien gerecht wird. Das erste Szenario beschreibt das gesteuerte Laden von Elektrofahrzeugen aus Privathaushalten und kleinen Gewerbeunternehmen mit einem schwarmbasierten Ansatz und dem lokalen Informationsaustausch. Das zweite Szenario handelt über die besonderen Herausforderungen bei dem Betrieb von Elektrofahrzeugflotten bei Industriekunden.

In beiden Fällen soll die Ladesteuerung optimal im Sinn der Beteiligten (Stakeholder) wie Endkunden, Flottenbetreiber und Energieerzeuger sein. Neben dem reinen Datenaustausch zur Entscheidungsfindung bei der Ladesteuerung sind u.a. auch Abrechnungs-, Datenschutz- und Datensicherheitsaspekte zu berücksichtigen.

Es wurde festgestellt, dass eine sehr spezifische Anforderungserhebung durch den nicht flächendeckenden Markt noch nicht möglich ist. Deswegen ist es erforderlich, die Anforderungen aufgrund von Schlußfolgerungen aus den Rahmenbedingungen, Erfahrungen aus der Software-Technik und den Qualitätszielen abzuleiten.

Qualitätsziele

Typische Qualitätsziele nach ISO25010 in der Software-Technik sind Verfügbarkeit, Security, Safety, Zuverlässigkeit, Performance und Usability. Aus den gedachten Nutzungsszenarien ergeben sich diese Ziele:

Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit der Daten muss hoch sein, weil das Gesamtsystem mit den Verteilungszielen und Abrechnungserfordernissen nur dann funktioniert, wenn alle benötigten Daten stets verfügbar sind.

Security und Safety

Datenschutz ist wichtig, weil personenbezogene Daten im System verarbeitet werden.

Datensicherheit muss gewährleistet sein, weil Abrechnungsdaten im System verarbeitet werden. Ausreichende Datensicherheit ist eine notwendige Voraussetzung für Datenschutz.

Zuverlässigkeit

Hohe Zugriffssicherheit und Zuverlässigkeit muss gegeben sein, da andernfalls

Performance

Das System muss auch mit einer hohen Anzahl von Nutzern umgehen können. Mindestens die im Ausgangsaspekt der anvisierten Anzahl von einer Million Elektrofahrzeuge als potentielle Daten- und Verarbeitungsnutzer ist auszugehen.

Usability

Schwächen in der Benutzbarkeit (Usability) können zu mangelnder Nutzerakzeptanz führen. Bei unserem Entwurf geht es aber in erste Linie um die Basis, das Rückgrat einer Plattform. Benutzerspezifische Anwendungsprogramme und somit deren Benutzbarkeit stehen nicht im Vordergrund.

Domänenübergreifende Ziele

Entwurfsziele für die IKT-Dienstplattform können aber auch domänenübergreifend gefunden werden. Diese Ziel betreffen also nicht die direkten Eigenschaften und Funktionen eines Elektrofahrzeugs.

Somit ist z.B. die Nutzung des Fahrzeugs nicht nur als Fortbewegungsmittel im bisherigen Sinne und damit als reiner Energieverbraucher zu betrachten, sondern auch eine quasi Zweitnutzung als mobiler, dezentraler Energiespeicher. Die Berücksichtigung dieses Zieles kann zur Erreichung eines weiteren domänenübergreifenden Zieles führen: Die kostengünstige Nutzung von E-Autos. Durch intelligente Kapitalisierung von Überkapazitäten in der Stromerzeugung oder der Speicherkapazität könnte die Akzeptanz des Gesamtsystems bei mehreren Stakeholdern gesteigert werden.

Stakeholder

Aus dem AP 410 sind folgende Akteure (Stakeholder) identifiziert und für die Dienstplattform relevant:

- eFlotten-Anbieter
- Ladesäulenbetreiber
- Fahrzeugnutzer
- Kunden

Lösungsstrategie

Für die Entwicklung einer Dienstplattform auf Basis eines Registry-Ansatzes wurden zunächst einmal die beiden Aspekte Dienstplattform und Registry-Ansatz voneinander getrennt. Der Registry-Ansatz folgt den Konzepten, wie sie durch das kurz vor der Einführung stehende Marktstammdatenregister (MaStR) der Bundesnetzagentur und dem durch die Expert Group 3 der SMART GRID TASK FORCE beschriebenen DAM-Konzepts bereits beschrieben wurde.

Bei der Definition der Dienstplattform steht der Aspekt der flexiblen Datenintegration aus heterogenen und sich verändernden Datenquellen im Fokus. Der Prozess der Datenintegration und der immer bedeutender werdenden Rolle von Metadaten wird hierbei genauer betrachtet und detailliert erläutert.

Bausteinsicht

Datenintegration

Praktisch geht es bei der Integration von Daten darum eine einheitliche Sicht auf die unterschiedlichen nativen Daten herzustellen und über eine einzelne Schnittstelle zugänglich zu machen. Ohne diesen einzelnen, einheitlichen Zugriffspunkt wäre es nicht möglich multiple Quellen zu integrieren, Daten anzureichern und sie schnell und effizient für Datenverwender verfügbar zu machen. (Pasupuleti & Salome, 2015)

Wichtige Funktionen bei der Integration von Rohdaten sehen (Pasupuleti & Salome, 2015) vor allem in der Verwendung loser gekoppelter Systeme, die einfach sind in der Anwendung vor allem für Nichtexperten. Neben Data Scientists und Data Wranglers sind es gerade die gewöhnlichen Benutzer bzw. Experten der jeweiligen Fachdomänen, die mit ihrer jeweiligen speziellen Fachsicht ein neues Licht auf die Zusammenhänge in den Rohdaten werfen

können. Gerade für diese Business-Anwender ist eine einfach zu bedienende und flexible Schnittstelle von großer Bedeutung.

Datensicherheit und Datenintegrität können dabei auf einer allgemeinen Dienstplattform durch das DAM Konzept erreicht und gewährleistet werden.

Die Integration von sehr heterogenen Datenquellen in eine Dienstplattform erfordert eine hohe Qualität der Rohdaten um sinnvollen Mehrwert aus den Daten ziehen zu können. Um diese Qualität zu erreichen und sicherzustellen, ist es notwendig stringente Datenqualitätsparameter zu definieren, die Rohdaten bzw. deren Quellen erfüllen müssen, um integriert werden zu können. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden Techniken wie Ontology-Embedded Schemas und OWL-RDFs vorgestellt, die zur Sicherstellung der Datenqualität, die eine Quelle liefert, eingesetzt werden können.

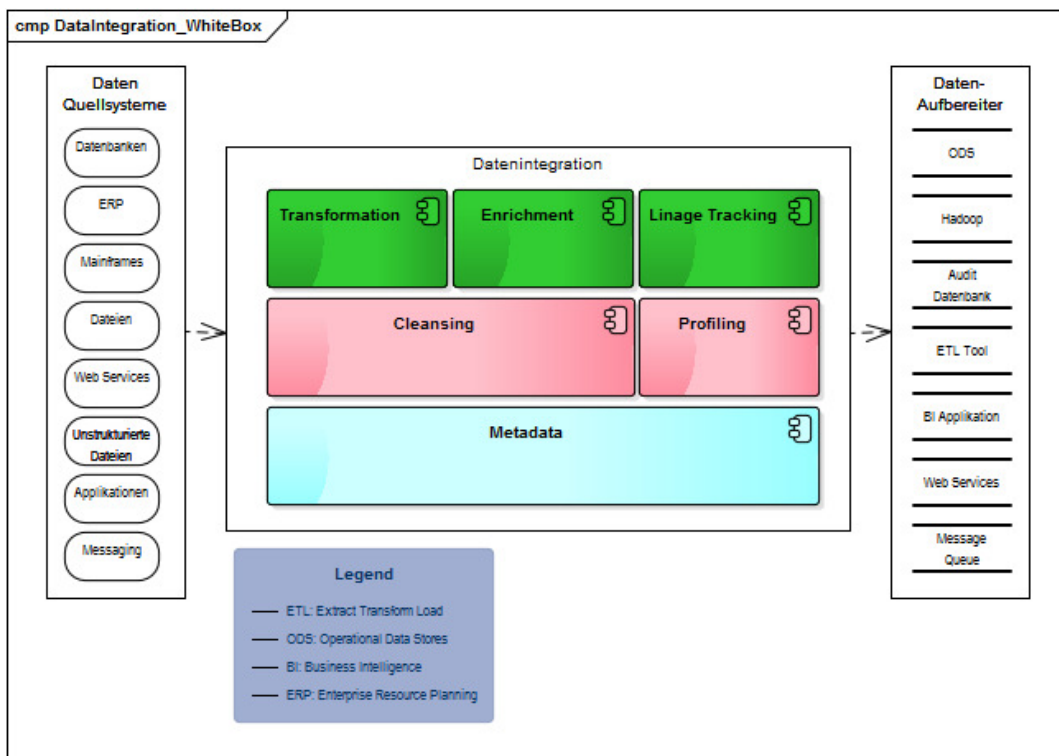


Abbildung 125 Schematische Darstellung einer Datenintegration (Pasupuleti & Salome, 2015)

Prozess der Datenintegration

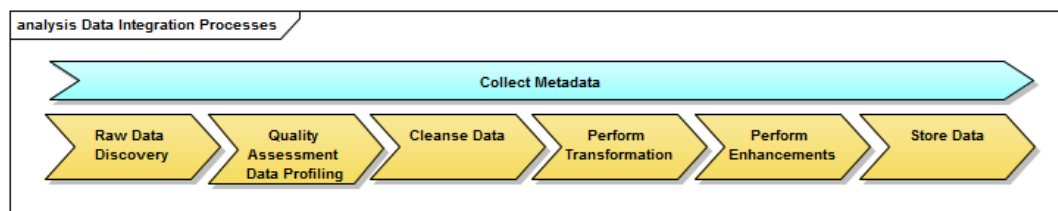


Abbildung 126 Einzelschritte im Prozess der Datenintegration (Pasupuleti & Salome, 2015)

Rohdaten untersuchen (Raw Data Discovery)

Im ersten Schritt beim integrieren der Rohdaten wird erst mal nur untersucht welche Rohdatendaten überhaupt vorhanden sind. Daraufhin wird ein Subset der Daten für die weitere Integration gewählt. Die Auswahl der Daten kann dabei entweder direkt über die Daten erfolgen oder, wie bei unstrukturierten Daten, über Metadaten.

Im Folgenden wird auf den selektierten Daten eine Qualitätsbewertung und ein Profiling durchgeführt.

Qualitätsbewertung / Datenprofilierung (Quality Assessment / Data Profiling)

Um die folgenden Phasen der Datenbereinigung und der Datenanreicherung erfolgreich durchlaufen zu können, ist es notwendig ein bestimmtes Maß an Qualität auf dem Rohdatenmaterial zu gewährleisten.

Bei der Profilierung wird eine kurze Analyse durchgeführt um festzustellen wie geeignet die ausgewählten Daten für die weitere Verarbeitung sind. Daraufhin wird ein Profil der Daten anhand von Metadaten zu Vollständigkeit, Korrektheit und Kohärenz erstellt.

Metadaten zur Vollständigkeit:

- Enthalten die Daten alle Werte um bestimmte Fachliche Fragestellungen zu beantworten?
- Gibt es fehlende Werte?
- Sind Attribute mit null-Werten belegt?
- Existieren unbekannte, irrelevante Werte in den Daten?
- Was sind bei unstrukturierten Daten die relevanten Elemente für eine weitere Datenanalyse?

Metadaten zur Korrektheit bezogen auf den fachlichen Kontext:

- Gibt es nicht eindeutige Elemente?
- Gibt es in unstrukturierten Daten Strings mit untypischen Längen?
- Gibt es bei kontinuierlichen Werten, Werte die über oder unter eines erlaubten Limits liegen?

Metadaten zur Kohärenz der Daten:

- Sind die Daten in Relation zu sich selbst sinnvoll?
- Haben die Daten eine referentielle Integrität über Tabellen hinweg?
- Haben die Daten eine Werteintegrität über die Werte einer einzelnen Tabelle hinweg?

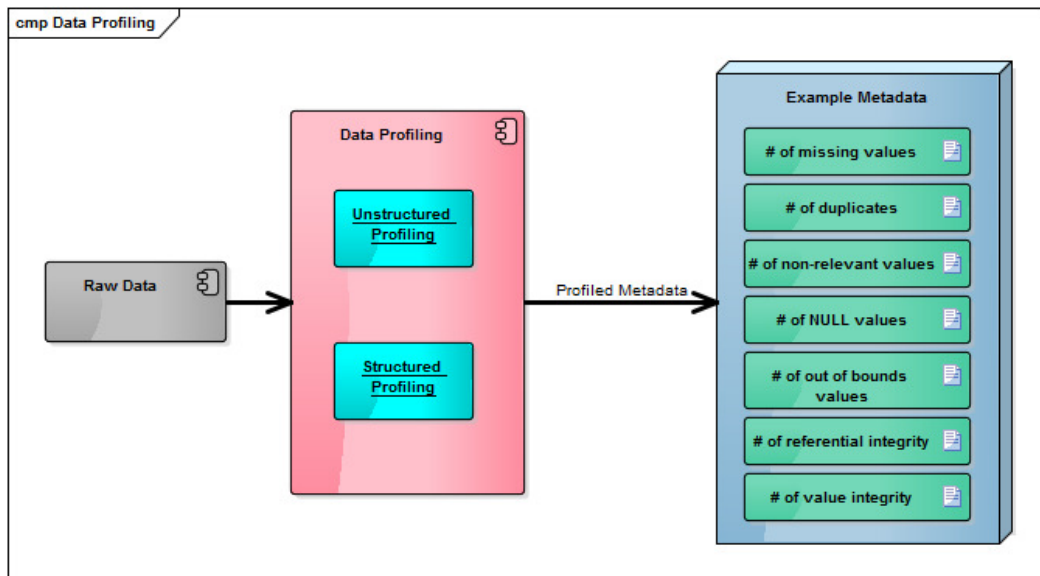


Abbildung 127 Datenprofilierung (Pasupuleti & Salome, 2015)

Datenbereinigung (Data cleansing)

Mit der Bereinigung der Daten sollen mögliche Inkonsistenzen beseitigt werden. Die Phase liefert als Ergebnis einen bereinigten Datenbestand zusammen mit den eingesetzten Bereinigungsoperationen. Solche Operationen können bspw. die Behandlung von fehlenden Werten, die Beseitigung von statistischen Ausreißern oder die Behandlung von NULL-Werten sein.

Für diese Bereinigungsoperationen stehen zwei Methoden aus dem Bereich der Missing-Data Techniken²⁹ zur Verfügung.

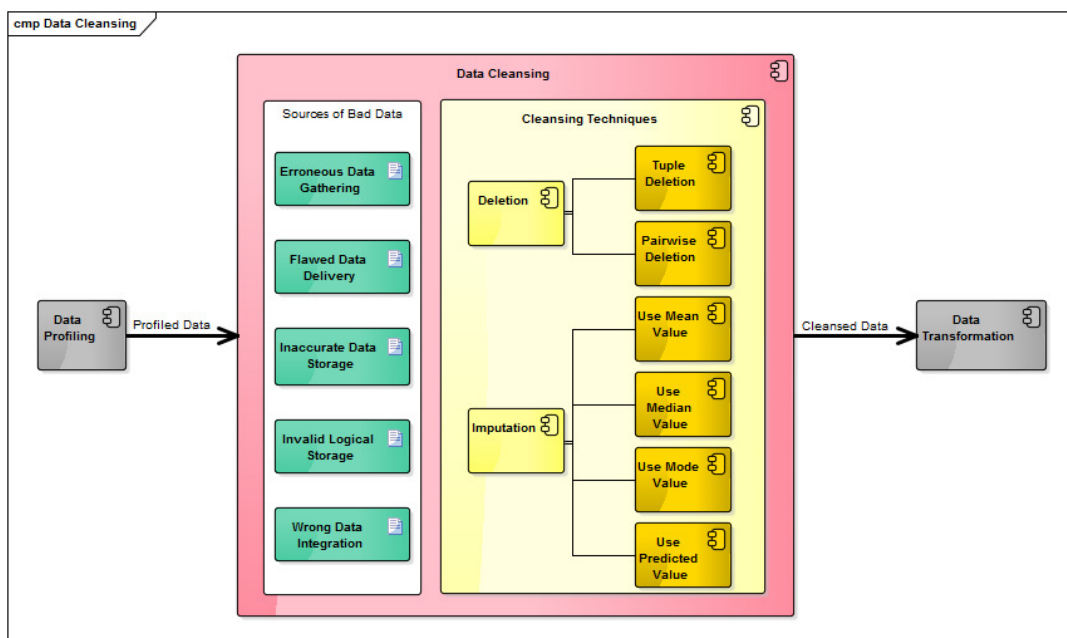


Abbildung 128 Wichtige Elemente der Datenbereinigung (Pasupuleti & Salome, 2015)

²⁹ Missing-Data Techniken beschreiben die Analyse von Daten mit fehlenden Werten. (Spieß, 2008)

Die erste Möglichkeit, bei der Daten listen- oder paarweise gelöscht werden gehört zu den am häufigsten eingesetzten Methoden (Peugh & Enders, 2004) mit der fehlende, ungültige und NULL-Werte gelöscht werden. Die zweite Möglichkeit besteht in der Imputation, bei der die fehlenden Werte mit Hilfe von unterschiedlichen mathematischer Verfahren vervollständigt werden.

Daten transformieren (Data Transformations)

Die Datentransformation operiert auf den bereinigten Daten der vorhergehenden Phase und ist ein iterativer Prozess. Erst durch die Transformation erhalten Daten die eigentliche Qualität, die für weitere analytische Operationen notwendig ist.

Bei der Transformation von Daten unterscheidet man, mit strukturierten und unstrukturierten Daten, zwei Arten von Datentöpfen, die jeweils mit anderen Techniken bearbeitet werden.

Unstrukturierte Daten können auf Dokumenten- oder auf Wortebene transformiert werden. Auf Dokumentenebene wird der Text des Dokuments als ganzes zerlegt, transformiert und für die Weiterverarbeitung angepasst.

Auf Wortebene wird jede Wortentität auf deren Kontextrelevanz untersucht. Informationen zu als relevant erkannte Kontexte wird pro Wortentität indexiert und persistiert.

Häufig verwendete Techniken auf Wortebene sind:

- Named Entity Lookup und Named Entity Resolution (Named Entity) – Technik um Entitäten wie bspw. der Name einer Stadt, eines Landes oder einer Region, zu ermitteln und zu extrahieren.
- Häufigkeitsanalyse und Häufigkeitszuordnung (Frequency) – Technik um zu ermitteln, wie häufig ein Wort in einem Set von Dokumenten vorkommt um daraus eine Frequenzmatrix abzuleiten.
- Näherungsanalyse (Proximity) – Technik um zu ermitteln, welche Wörter wie oft gemeinsam auftreten und wie diese in Verbindung zueinander stehen.
- Homonym³⁰ Extraktion (Homonyms) – Technik um zu ermitteln, welche Wörter mehrdeutig sind und wie viele davon im Text jeweils enthalten sind.

³⁰ Wiktionary: <https://de.wiktionary.org/wiki/Homonym>

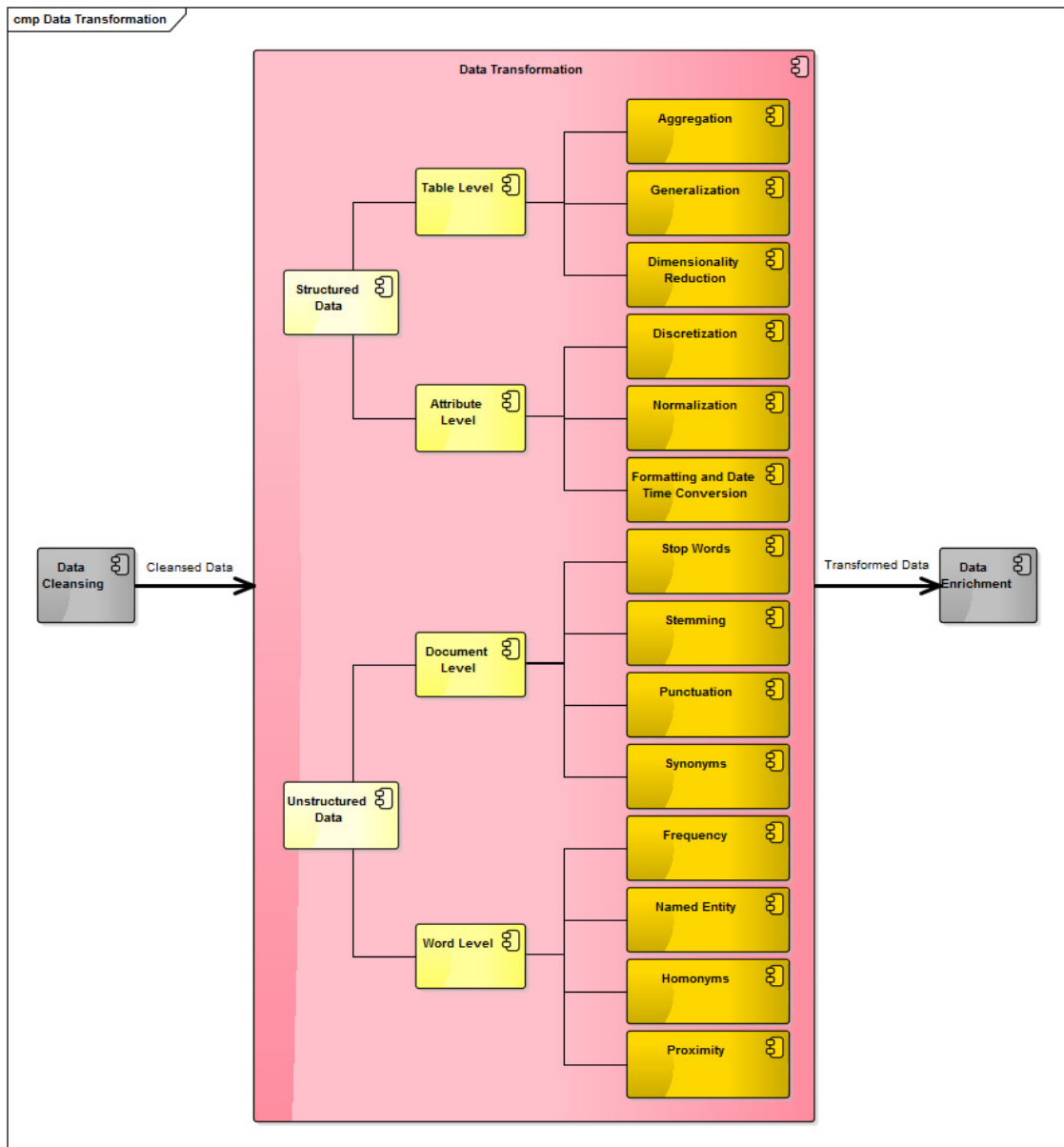


Abbildung 129 Wichtige Bestandteile der Datentransformation (Pasupuleti & Salome, 2015)

Häufig verwendete Techniken auf Dokumentenebene sind:

- Entfernung von Stop-Wörtern (Stop Words) im gesamten Dokument
- Dokumente in Bezug auf Groß-/Kleinschreibung vereinheitlichen
- Entfernung von Satzzeichen (Punctuation)
- Stemming (Stemming) – Technik um Wörter in ihre Grundform zu überführen.
- Ersetzung von Synonymen (Synonyms)
- Ersetzung von alternativen Schreibweisen

- Auflösung von Homographen³¹ (Homonym) – Technik um Abkürzungen in ihre ausgeschriebene Form zu überführen.
- Negationsausschluss – Technik zur Behandlung von Fällen, bei denen es nicht notwendig ist eine Aussage mit negativer Bedeutung zu parsen oder zu transformieren.

Die Transformation von strukturierten Daten ist bedeutend einfacher und findet auf zwei unterschiedlichen Ebenen statt, der Tabellen- und der Attribut-Ebene statt.

Häufig verwendete Techniken auf Attribut-Ebene sind:

- Binning (Discretization) – Technik zur Diskretisierung numerischer Attribute durch die Gruppierung in bestimmte Intervalle. Dies wird erreicht durch die Aufteilung der Daten in sog. Bins (Eimer) mit jeweils gleicher Tiefe oder Breite. Bei kategorisierbaren Daten richtet sich die Gruppierung nach den einzelnen Kategorien.
- Datenskalierung oder –Normalisierung (Normalization) – Technik um alle numerischen Werte eines Attributs in ein Intervall von 0 bis 1 zu bringen. Darunter fällt ebenso die Anpassung von Daten unterschiedlicher Messskalen in ein gemeinsames Intervall. Dadurch sollen positive wie negative Ausreißer beseitigt werden.
- Datums- und Zeit-Konvertierung (Formatting and Date Time Conversion) – Technik um über alle zu integrierenden Daten hinweg, eine einheitliche Datums- und Zeit-Darstellung zu erhalten.

Auf Tabellen-Ebene kommen häufig folgende Techniken zum Einsatz:

- Aggregation (Aggregation) – Technik um Daten zusammenzufassen, bspw. werden Werte auf jährlicher, monatlicher oder täglicher Basis zusammengefasst. Diese Zusammenfassungen ermöglichen es mehrere Attribute zu einem einzelnen Attribut zu verbinden, um so die gesamte Datenbasis in unterschiedlichen Dimensionen und Granularitäten zu betrachten.
- Generalisierung (Generalization) – Technik, um High-Level Zusammenfassungen, sog. Conceptual Hierarchies, zu erstellen. Eine solche Zusammenfassung wäre bspw. alle Personen im Alter von 11, 13 und 15 Jahren können als Jugendliche bezeichnet werden und solche im Alter zwischen 20-22 Jahren, können als Erwachsene bezeichnet werden. Diese Hierarchien können so recursiv weiter zu höheren Konzepten gruppiert werden, so lange, bis ein bestimmtes deskriptives Detaillevel erreicht wurde. Durch eine solche Generalisierung kann die durchaus komplexe Detailtiefe der Daten auf eine ausdrucksstarke Weise erfassbar und verstehbar gestaltet werden.

Daten anreichern (Data enhancement)

Beim Anreichern von Daten geht es darum, die Rohdaten um neuere Attribute zu erweitern und dadurch eine starke Verbesserung der Analysierbarkeit der Rohdaten zu erhalten.

Welche Attribute die richtigen sind um eine solche Verbesserung zu erzielen, ist von der jeweiligen Ursprungsdatenquelle oder den Rohdaten selbst abhängig und muss demnach auch immer individuell entwickelt und bestimmt werden.

³¹ Ein Homograph ist ein Wort, das sich in der Aussprache von einem anderen gleichgechriebenen Wort unterscheidet. Z.B. Tenor – „Haltung“ vs. Tenor – „hohe Männerstimme“. Vgl. Homonym

Bei strukturierten Daten werden häufig mehr als zwei Attribute zusammen aggregiert und kombiniert, um dann durch ein Zerlegen und Splitten neu Funktionen zu kreieren.

Bei unstrukturierten Daten wird der relevante Text extrahiert, Named Entities werden aufgelöst und verlinkt, die Entities werden getagged und zu Hierarchien geclustert.

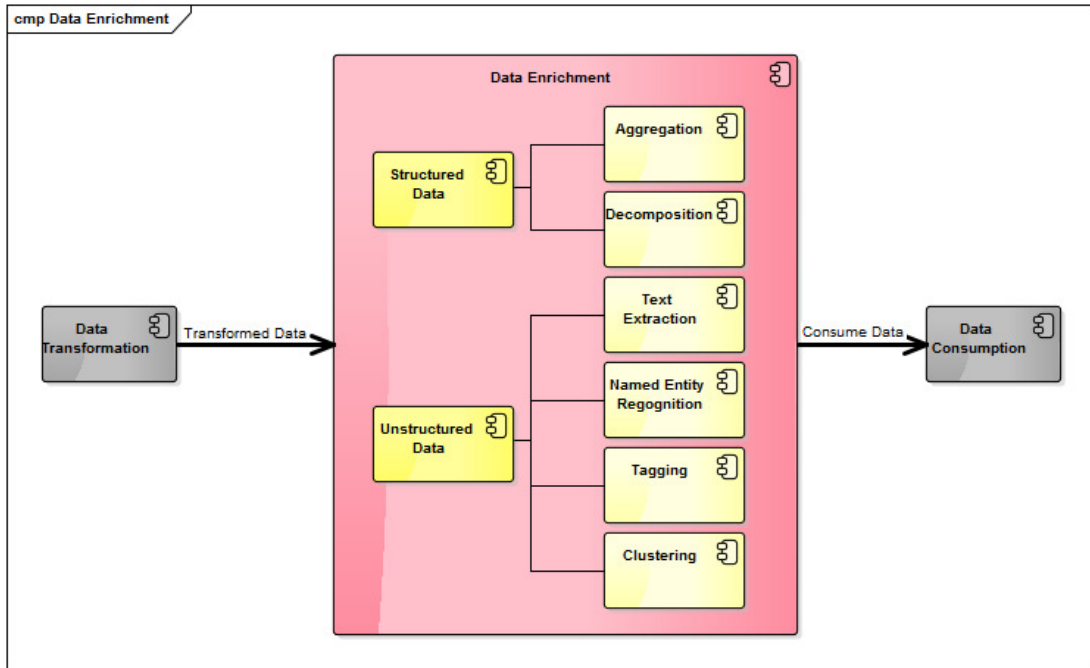


Abbildung 130 Übersicht der Datenanreicherung (Pasupuleti & Salome, 2015)

Die Anreicherung von Daten kann an einem einfachen Beispiel verdeutlicht werden. Die Kundenadresse des Anwenders aus Kapitel 5.3 soll durch die Integration von weiteren Datenquellen um weitere Daten ergänzt werden.

Datenermittlung und Metadata Management

Um nun die integrierten und vorverarbeiteten Daten nutzbringend weiter zu verwenden, ist es notwendig weitere Prozessschritte auf den Daten anzuwenden um den Inhalt der Daten verstehen zu können. So erhalten die Daten von der Datenklassifikation über die Extraktion von Relationen bis hin zur Indizierung durch semantische Metadaten eine Kontext, der eine effiziente Datenermittlung möglich macht.

Datenklassifikation

Mit der Erstellung und dem Sammeln von semantische Metadaten können die Daten klassifiziert werden. Die

Named Entity Recognition als Teilgebiet des Information Retrieval, ermöglicht es Entitäten in unstrukturierten Texten zu erkennen und auf Basis von Entitätstypen zu klassifizieren. Ein Match von Entitäten zu Entitätstypen findet dabei nicht auf einem reinen Stringvergleich statt, sondern betrachtet ebenso dessen Kontext um eine Verbindung zu einem Entitätstyp herzustellen.

Mit Hilfe des Topic Modelings können einem Text aufgrund dessen Inhalts und semantischem Kontext, Themen zugeordnet werden.

Durch Text Clustering schließlich, werden ähnliche Objekte zu einem Cluster zusammengefasst und dadurch gruppiert. Ähnlich wie in einer Bücherei, in der Bücher nach deren Inhalt zu Themengebieten wie EDV, Geschichte oder Science Fiction zusammengefasst und getagged werden, können so auch Dokumente in Clustern gruppiert werden

Extraktion von Relationen

Die Extraktion von Relationen aus unstrukturierten Daten ermöglichte es erst die Daten zu organisieren und abfragbar zu machen. Semantische Technologien können eingesetzt werden, um Relationen innerhalb der Daten zu erkennen und diese dann über standardisierte Methoden zu beschreiben. Semantischen Technologien stellen ein Framework dar, mit dem Metadaten über verschiedenen Datensets hinweg verbunden werden können.

Der Kern dieses Werkzeugkastens stellen dabei Ontologien dar. Konzepte und Beziehungen zwischen Entitäten die verwendet und die Domäne repräsentieren können durchgängig und einheitlich über Ontologien beschrieben werden. Darüberhinaus können mit dem selben Sprachmittel die Struktur der Domäne, mögliche Relationen und Restriktionen der Domäne beschrieben werden. Ontologien werden verwendet um ein gemeinsames Verständnis eines spezifischen Fachthemas übergreifend zu teilen und für Außenstehende zugänglich zu machen.

So könnte beispielsweise ein zentrales Marktstammdatenregister (s. Kapitel 0), was sich derzeit in der Entstehung befindet, seine Geo-Informationen mit der W3C Geospatial Ontology³² beschreiben und diese mit Personenbezogenen Daten zu verknüpfen, die wiederum mit der Friend Of A Friend (FOAF) Ontology³³ beschrieben werden kann. Diese Verknüpften Ontologien könnten über Vererbungsmechanismen dann um spezielle Aspekte des Marktstammdatenregisters erweitert werden, so dass am Ende die gesamte Domäne der Marktstammdaten mit einer Ontologie beschrieben wird.

Zu den semantischen Technologien zählen im Wesentlichen das Resource Description Framework (RDF)³⁴, als Beschreibungssprache mit der Beziehungen zwischen Dingen in form von Graphen beschrieben werden.

Mit der Web Ontology Language (OWL) werden Ontologien gebaut und kann als Aufsatz auf RDF verstanden werden. Es erweitert RDF um weitere Sprachkonstrukte. Mit RDF wird das „Wie“ und mit OWL das „Was“ einer Domäne beschrieben. Ein wichtiges Feature dieser Sprachkonstrukte ist die Fähigkeit der Bildung von Inferenzen und dadurch der Möglichkeit neues Wissen aus verknüpften Daten zu generieren³⁵.

Als Abfragesprache in der Semantik kommt SPARQL Protocol And RDF Query Language (SPARQL) zum Einsatz. SPARQL basiert auf RDF und eignet sich eben besonders zur Abfrage von RDF Datenbanken.

³² <https://www.w3.org/2005/Incubator/geo/XGR-geo-ont-20071023/>

³³ <http://www.foaf-project.org/>

³⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/Resource_Description_Framework

³⁵ <https://www.w3.org/standards/semanticweb/inference>

Konzepte

Data Access Point Manager (DAM)

Ergänzend zu dem in AP420 bereits betrachteten DAM-Konzept sieht die Einführung des DAMs zwei Komponenten vor:

1. Eine standardisierte (DAM-)Schnittstellen zum Austausch von Daten zwischen etablierten und neuen Akteuren des Energiesystems. Diese Schnittstellen müssen bei den Systemen von Datennutzern und Datenbereitstellern umgesetzt werden.
2. Eine Vermittlung im Sinne eines automatisierten Telefonbuchs (DAM-Vermittlung), mit dem datenanfragende Systeme ermitteln können, an welche datenbereitstellende Systeme sie sich auf welche Art (über welche Schnittstellen) wenden müssen, um auf die gesuchten Daten zuzugreifen. (Strüker, Stadler, Mayer, & Terzidis, 2016)

DAM Vermittlung (Registry)

Eine DAM-konforme Systemgestaltung umfasst zum Einen standardisierte Schnittstellen für einen DAM-konformen Datenaustausch und zum Anderen die Vermittlung von Datenanfragen. Diese beiden Systemkomponenten werden durch Energiedatennutzer und Energiedatenquelle ergänzt, die sich des Systems bedienen und dessen Datenaustausch koordinieren. (Strüker, Stadler, Mayer, & Terzidis, 2016)

Energiedatenquellen sind dabei technische Systeme wie Dienste- oder Kommunikationsplattformen, die Energiedatennutzern auf Anfrage Daten bereitstellen.

Eine Dienstplattform registriert sich bei der DAM-Vermittlung und kann fortan automatisiert Daten an Energiedatennutzer liefern. Der Energiedatennutzer kann dann Anfragen an die DAM-Vermittlung stellen und erhält

- Adress-
- Protokoll-
- Formatinformationen

der Energiedatenquelle. Der weiterer Datenaustausch zwischen Nutzer und Quelle erfolgt bilateral analog der etablierten Marktkommunikation.

Direkter und standardisierter Datenaustausch zwischen Energiedatenquelle und Energiedatennutzer

Die primäre Aufgabenstellung eines DAM-Konzepts ist es, eine Vermittlungsfunktion zwischen Energiedatennutzern und Energiedatenquellen bereitzustellen und eine Übertragungsfunktion zu unterstützen. Als Datennutzer gelten generell alle Empfänger, die ein berechtigtes Interesse an Informationen haben. Der jeweilige Informationsursprung wird dabei als Energiedatenquelle bezeichnet. Die Vermittlung, Anfrage und Übertragung von Daten etwa zwischen regionalen Kommunikations- und Dienstplattformen (Datendrehscheiben der VNB) und einem, von Energiedatennutzern aufgebauten anwendungsfallspezifischen überregionalen IT-System für marktgetriebene Anwendungsfälle, soll über standardisierte Schnittstellen sicher und effizient möglich sein. Dabei ist jeweils das System führend, welches die Anfrage stellt.

Um die Umsetzungs- und Ausbaurkosten des DAM-Konzepts zu minimieren, müssen die verschiedenen Komponenten interoperabel sein. Dies fördert den Wettbewerb zwischen

Herstellern, schafft Investitionssicherheit und führt in der Folge zu günstigerer Software. Als weiterer Aspekt sollten die Daten, die Nutzern an Schnittstellen angeboten werden, eindeutig interpretierbar sein. Voraussetzung hierfür sind einerseits standardisierte Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle (OCPP oder IEC61850) und andererseits standardisierte semantische Datenmodelle (Ontologien s. Kapitel 0). (Strüker, Stadler, Mayer, & Terzidis, 2016)

Informations- und Betriebsicherheit

Der Datenschutz, die Informations- und Betriebssicherheit sind für die Zukunftsfähigkeit des Energienetzes und damit auch deren Marktakteure von zentraler Bedeutung. So muss durch entsprechende Rollen-/Rechtekonzepte der Zugriff auf Funktionen und Daten nur für dafür berechnete Akteure möglich sein. Das MaStR unterscheidet für seine Daten bspw. zwei Arten. Öffentliche Daten sind allen Nutzern der Plattform zugänglich.

Eine mögliche Zugriffsschnittstelle könnte bspw. ähnlich wie bei Open Linked Data Ansätzen über einen SPARQL Endpoint realisieren.

Daten die bspw. Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse enthalten sind aus Sicht des MaStR als vertraulich einzustufen und müssen über entsprechende Zugriffsrechte geschützt werden.

Einheitliche Sicherheitsstandards, Datenformate und Regeln für die verwendete Verfahren sollten bereits bekannte Anforderungen und Lösungen aus dem BSI Schutzprofil und entsprechende EU-Richtlinien berücksichtigen.

Datenaustausch bei der Marktkommunikation

Für einen automatisierten Datenaustausch zwischen den Akteuren der Marktkommunikation sollte auf bestehende und etablierte Prozesse und Datenformate zurückgegriffen werden. So sollten bspw. bewährte Datenaustauschformate aus den Prozessen GPKE³⁶, MPES³⁷ oder MaBiS³⁸ eingesetzt werden, da diese bereits von den meisten Marktakteuren angewendet werden.

In den folgenden beiden Abbildungen werden die Datenflussbeziehungen zwischen bereits existierenden Konzepten und dem DAM-Konzept dargestellt.

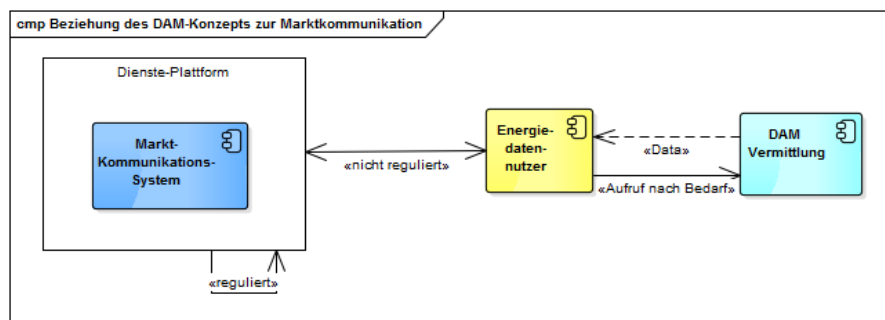


Abbildung 131 Beziehung des DAM-Konzepts zur Marktkommunikation (Strüker, Stadler, Mayer, & Terzidis, 2016)

³⁶ GPKE - Geschäftsprozesse zur Kundenbelieferung mit Elektrizität

³⁷ MPES - Marktprozesse für Einspeisestellen (Strom)

³⁸ MaBiS - Marktregeln für die Durchführung der Bilanzkreisabrechnung Strom

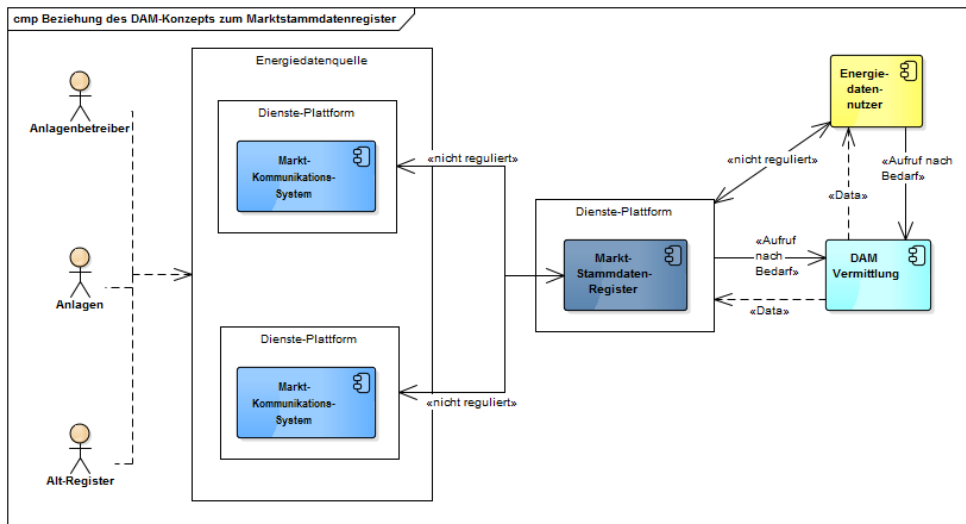


Abbildung 132 Beziehung des DAM-Konzepts zum Marktstammdatenregister (Strüker, Stadler, Mayer, & Terzidis, 2016)

Marktstammdatenregister

Das Marktstammdatenregister (MaStR), dessen Einführung 2017 erwartet wird, soll nach Absicht der BNetzA der zentrale Speicherort für alle Anlagenstammdaten nach Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sowie Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) werden. Mit seiner Einrichtung sollen bestehende Register gebündelt und die Ausübung von Meldepflichten potentiell vereinfacht werden. Die Möglichkeit, qualitätsgesicherte Stammdaten jederzeit von einer zentralen Stelle abzurufen und mit eigenen Informationen abzugleichen, soll alle Marktakteure bei der Abwicklung ihrer energiewirtschaftlichen Aufgaben unterstützen und entlasten. Das DAM-Konzept wird das Marktstammdatenregister bei der Abfrage von Daten aus Datenquellen unterstützen. Die standardisierten Schnittstellen von Kommunikations- und Dienstplattformen können die Plausibilisierung von Daten übernehmen sowie die Kommunikation mit dem Marktstammdatenregister erleichtern. (Strüker, Stadler, Mayer, & Terzidis, 2016)

- [1] Liste von Verkehrsverbänden in Deutschland <http://www.personenverkehr.eu/verkehrsverbunde/verkehrsverbunde-liste-von-verkehrsverbunden-in-deutschland/>
- [2] <http://carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen>
- [3] 5 Mio. = 29,5 Mio. (Anzahl der Smartphone-Nutzer Gesamt in Deutschland Oktober 2012) x 17% (Anteil der Smartphone-Nutzer in Deutschland die DB-Navigator im Oktober 2012 nutzten)

6. AP 500 – Sozio-ökonomische Rahmenbedingungen

6.1. Management Summary

[Hier sollen die Ziele und Ergebnisse des AP komprimiert dargestellt werden.]

Ein wichtiger Punkt ist die Herangehensweise im AP 500. Während in den vorhergegangenen APs eine sehr technische Betrachtung der Problemstellung und Lösungskonzepte erfolgte, wird im AP 500 eine sozio-ökonomische Perspektive eingenommen. Dies führt mitunter dazu, dass Konzepte die technisch valide und spannend sind im AP 500 anders bewertet werden.

6.2. AP 510 – Metastudie und GAP Analyse

Metastudie über Mobilitätstrends bedingt durch den demographischen Wandel, das Wohnen in Ballungsräumen und die Nutzerakzeptanz in Deutschland, Europa und außerhalb Europas.

Einleitung

Welche Trends beeinflussen langfristig die Mobilität in Deutschland, in Europa und der Welt? Wie wirken sich Entwicklungen - wie zum Beispiel der demographische Wandel - auf die Automobilbranche im heimischen Markt und im Ausland aus? Inwieweit wird der asiatische Kontinent die Automobilindustrie dominieren?³⁹ Wird die Elektromobilität, wie von vielen prognostiziert, an Relevanz gewinnen⁴⁰ und wenn ja, wie gehen Nutzer damit um? Gibt es für den Automobilmarkt überhaupt noch ein Wachstumspotenzial oder muss sich die Branche – zumindest in Europa - auf eine Stagnation einstellen?⁴¹ Wandelt sich das gesamte Portfolio; werden sich klassische Automobilhersteller hin zu Anbietern von Mobilitätsprodukten und -dienstleistungen entwickeln? Was bedeuten all diese Fragen für die Automobilindustrie und wie können baden-württembergische Hersteller schon heute auf Entwicklungen adäquat reagieren, um sich ihre Marktanteile zu sichern?

Mobilitätstrends sind sehr dynamisch und es ist nie zu früh, die richtigen Weichen für zukünftige Entscheidungen zu stellen, damit die Firmen konkurrenzfähig bleiben. Es ist sehr wichtig, den Kundenbedarf richtig einzuschätzen und - wo nötig - vorhandene Strategien zu korrigieren. Um dem Leser einen besseren Überblick über neue Mobilitäts-Bedürfnisse zu bieten, untersucht die vorliegende Studie im ersten Teil Einflüsse auf das Mobilitätsverhalten und Trends (2.) die durch den demographischen Wandel (2.1), durch das Wohnen in Ballungsräumen (2.2) und durch das Akzeptanzverhalten der Nutzer (2.3) in Deutschland, Europa und außerhalb Europas bedingt sind. Die daraus entstehenden Resultate sollen dann zusammengefasst und für die Erstellung einer GAP-Analyse verwendet werden. Hierfür

³⁹ Vgl.: Niemeyer, Jörg. Deloitte: „Die Automobilindustrie befindet sich im Strukturwandel. Dieser ist von der Dynamik der asiatischen Märkte geprägt. Die europäischen OEMs und Zulieferer können davon nur profitieren, wenn sie ihre Internationalisierung weiter vorantreiben.“ (Stand: 17.11.2014). <http://www.umweltdialog.de/de/wirtschaft/mobilitaet/2014/Automobilindustrie-konzentriert-sich-auf-Asien.php>

⁴⁰ Vgl.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2008): *Deutschland soll Leitmarkt für Elektromobilität werden*. Pressemitteilung Nr. 274/08.

⁴¹ Vgl.: Little, Arthur D. (2009): *Zukunft der Mobilität 2020*. S. 3

widmet sich die Autorin vorerst den aktuellen Geschäftsmodellen der Automobilindustrie (3.1) sowie den zukünftigen Herausforderungen (3.2), um anschließend Handlungsempfehlungen (3.3) auszusprechen.

Einflüsse auf das Mobilitätsverhalten und Trends

Die Megatrends im Mobilitätsbereich sind vielfältig und von diversen Faktoren beeinflusst. Um korrekte Marktprognosen zu erstellen, muss man zahlreiche Komponenten in Betracht ziehen. Beispielsweise könnte man – wie Mitarbeiter von Arthur D. Little - das Konsumentenverhalten analysieren, auf die zunehmende Individualisierung verweisen und so verschiedene Marktszenarien entwickeln⁴². Auch wäre es möglich, konsumbedingte Mobilitätstypen herauskristallisieren und diese im europäischen und außereuropäischem Umfeld zu untersuchen⁴³. Um den Rahmen der Arbeit nicht zu sprengen, haben sich die Autoren der Teilvorhabenbeschreibung des Projekts *Integrierte Mobilitäts- und Energieinfrastrukturen* bei der Ausarbeitung des Arbeitspakets 510 auf folgende Megatrends beschränkt:

- Den demographischen Wandel
- Das Wohnen in Ballungsräumen
- Das Akzeptanzverhalten der Nutzer

Im Folgenden soll auf die Einflüsse auf das Mobilitätsverhalten durch den demographischen Wandel (2.1) in Deutschland (2.1.1), in Europa (2.1.2) und außerhalb Europas (2.1.3) eingegangen werden.

Durch den demographischen Wandel in Deutschland

Der demographische Wandel ist in Deutschland in aller Munde. Die Gesellschaft wird nicht nur immer älter, sie schrumpft aufgrund der niedrigen Geburtenrate auch zunehmend. Selbst eine Zuwanderung von rund 100.000 Einwohnern jährlich⁴⁴ und die höhere Lebenserwartung können den Trend nicht aufhalten. Laut dem statistischen Bundesamt hat Deutschland derzeit eine Gesamtbevölkerung von 80,8 Millionen Menschen (Stand: 2013)⁴⁵ bei einer Geburtenrate von 1,4 Kindern pro Frau⁴⁶. Durchschnittlich werden Männer 78 Jahre

⁴² Vgl.: Little, Arthur D. (2009): *Zukunft der Mobilität 2020*. S. 14-15

⁴³ Vgl.: Institute for Mobility Research (2013): 'Mobility Y' – The Emerging Travel Patterns of Generation Y. S. 20-26

⁴⁴ Vgl.: Institut für Mobilitätsforschung (2010): „*Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030*“. S.16. Bemerkung der Autorin: 2013 hatte Deutschland – laut Statistischem Bundesamt - einen Wanderungsüberschuss von 437 000 Personen; der Trend entwickelt sich also in den letzten Jahren positiver als in vielen Szenarien erwartet. Da es sich hierbei um ein kurzfristiges Hoch handeln kann, fußt die Studie auf den generellen Standardannahmen.

⁴⁵ Vgl.: Statistisches Bundesamt (Stand: 17.11.2014): <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerung.html>

⁴⁶ Vgl.: Statistisches Bundesamt (Stand: 17.11.2014): <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Geburten/Geburten.html>

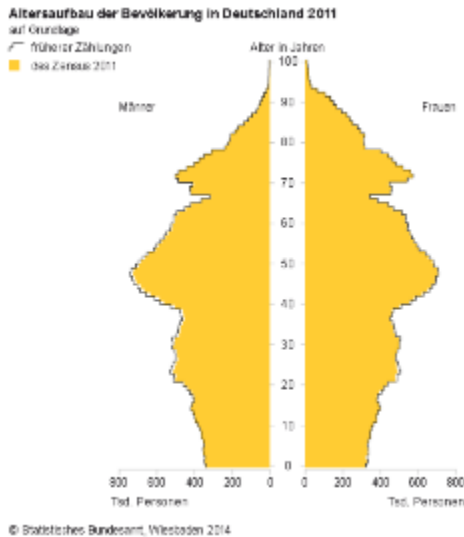


Abbildung 133: Altersaufbau der Bevölkerung

starkem Medikamenteneinfluss. Dennoch besitzen immer mehr Männer und Frauen über 70 einen Führerschein und setzen sich hinterm Steuer, obwohl sie kaum noch laufen können. Ursprünglich sollten digitale Systeme vor allem das junge Klientel anziehen; mittlerweile profitieren vorwiegend Senioren von modernen Fahrassistenten. Sie interessieren sich nicht für das Design eines Autos, sondern für eine gute Sicht, übersichtliche Armaturenbretter und Einsteigerhilfen.

Fast alle Massenhersteller wie Mercedes, Audi, Volkswagen oder Toyota bieten schon Einparkhilfen, Spurhalter, Totwinkel-Warner und Notbremsysteme an, die zum Beispiel verhindern sollen, auf ein Stauende zu krachen.⁵⁰

Hilfen, wie Rundum-Kameras, ersetzen den Schulterblick oder Wärmebildkameras verbessern die Nachtsicht. Doch obwohl die Systeme viele Unfälle verhindern können, lässt sich gegen einen Schwächeanfall oder Demenz nicht viel ausrichten. Da es vor allem auf befahrenen Kreuzungen zu Problemen kommt, empfehlen Forscher schon „Oma-Navis“, die ältere Bürger um Unfallschwerpunkte herum lotsen sollen.⁵¹

Nicht nur der Anspruch an das digitale Auto wird im Alter höher; auch die Erwartungen an den öffentlichen Nahverkehr steigen. Senioren, die sich nicht mehr so sicher fühlen und auf das Autofahren verzichten, sind über Jahre ein hohes Mobilitätsniveau gewohnt und stellen diese Ansprüche auch an den ÖPNV. Sie wollen in ihrer Bewegungsfreiheit aufgrund des Alters nicht eingeschränkt werden und benötigen barrierefreie Verkehrsmittel und seniorengeeignete Angebote. Zudem sollen diese natürlich erschwinglich und dem Rentner-

alt, während Frauen 83 Jahre lang leben⁴⁷. Betrachtet man Zukunftsszenarien, so werden in Deutschland bis 2050 weniger als 70 Millionen Menschen wohnen, von denen rund 28 Millionen über 60 Jahre alt sind⁴⁸. Dies wird signifikante Konsequenzen für die Mobilität und somit auch für die Automobilbranche mit sich führen.

Wenn Menschen über 75 in einen Unfall verwickelt sind, tragen sie in drei Vierteln der Fälle die Hauptschuld.⁴⁹

Schon jetzt zeichnet sich ab, dass Senioren immer mehr zur Gefahr auf der Straße werden. Sie fühlen sich durch den Verkehr gestresst, ihre Reaktionsfähigkeit ist verlangsamt und häufig stehen sie unter

⁴⁷ Vgl.: Central Intelligence Agency. *The World Factbook*. (Stand: 17.11.2014): <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/gm.html>

⁴⁸ Vgl.: Statistisches Bundesamt. (Stand 17.11.2014): <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/ZahlenFakten.html>; Excel Tabelle mit Vorausberechnung.

⁴⁹ Der Spiegel (2014): *Wissen*. Ausgabe Nummer 4/ 2014. S. 32

⁵⁰ ebda, S. 34

⁵¹ ebda, S. 35

Geldbeutel angepasst sein. Schon im Jahr 2012 hat das Bundesverkehrsministerium in der Broschüre *Mobilitätssicherung in Zeiten des demografischen Wandels* auf diesen Umstand verwiesen und auf die daraus entstehenden großen Herausforderungen an die Politik aufmerksam gemacht.⁵²

Mit zunehmendem Alter nehmen die körperlichen Einschränkungen zu, die geistige Beweglichkeit hingegen nimmt ab. Die Teilnahme am täglichen Leben wird für ältere Menschen somit immer schwieriger. Umso wichtiger wird es sein, die Nutzung von Mobilitätsangeboten so einfach wie möglich zu machen. Barrierefreie und seniorengerechte Angebote gehören unbedingt dazu.⁵³

Deutsche Politiker sehen hier dringlichen Handlungsbedarf für die Zukunft. Für sie ist Mobilität die Grundlage der Daseinsvorsorge, der Pflege sozialer Kontakte und der Teilnahme am gesellschaftlichen Leben, die es zu erhalten gilt. Der demographische Wandel ist aber kein rein landesspezifisches Problem. Zwar hat Deutschland die niedrigste Geburtenrate Europas⁵⁴, aber die Gesellschaft in der gesamten Europäischen Union überaltert.

in der Europäischen Union

Laut der Statistiken sieht es in den Nachbarländern ähnlich aus. Immerhin ist die Geburtenrate in Frankreich durch gute Familienpolitik, zahlreiche Kinderkrippenplätze und Mütter, die relativ schnell wieder in den Job einsteigen, mit 2 Kindern pro Frau verhältnismäßig hoch.⁵⁵ Doch selbst südliche Länder, wie Italien⁵⁶ oder Griechenland⁵⁷, die man klassischer Weise mit der „Mama“ und ihrer Großfamilie verbindet, weisen ebenfalls nur Geburtenraten von rund 1,4 Kindern pro Frau auf. Generell liegt die Geburtenrate in der Europäischen Union derzeit bei rund 1,6 Kindern pro Frau⁵⁸ und Hochrechnungen von Eurostat, dem Statistikamt der Europäischen Union, gehen davon aus, dass ab dem Jahr 2015 mehr Menschen sterben als geboren werden⁵⁹. Dieser Negativtrend wird voraussichtlich bis 2035 durch Migration aufgehalten, doch dann schrumpft die europäische Bevölkerung langfristig. Neben dem Mangel an Nachwuchs lässt sich auch auf EU-Ebene ein stetiges

⁵² Vgl.: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2012): *Mobilitätssicherung in Zeiten des demografischen Wandels*. S. 9-10

⁵³ ebda, S. 10

⁵⁴ Vgl.: Europäische Kommission. *Eurostat: Deutschland hat niedrigste Geburtenrate*. (Stand: 18.11.2014): http://ec.europa.eu/deutschland/press/pr_releases/11839_de.htm

⁵⁵ Vgl.: Central Intelligence Agency. *The Worlds Factbook: France*. (Stand: 18.11.2014): <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/fr.html>

⁵⁶ Vgl.: Central Intelligence Agency. *The Worlds Factbook: Italy*. (Stand: 18.11.2014): <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/it.html>

⁵⁷ Vgl.: Central Intelligence Agency. *The Worlds Factbook: Greece*. (Stand: 18.11.2014): <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/gr.html>

⁵⁸ Vgl.: Europäische Kommission. Eurostat (Stand: 18.11.2014): <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tssde220>

⁵⁹ Vgl.: Europäische Kommission. Eurostat (Stand: 18.11.2014): http://europa.eu/rapid/press-release_STAT-08-119_en.htm

Älterwerden beobachten. Ein gesunder Lebenswandel, der technische Fortschritt und eine hervorragende medizinische Versorgung ermöglichen ein lebenswertes Leben bis ins hohe Alter.

The EU27 population is also projected to continue to grow older, with the share of the population aged 65 years and over rising from 17.1% in 2008 to 30.0% in 2060, and those aged 80 and over rising from 4.4% to 12.1% over the same period.⁶⁰

Bis zum Jahr 2060 werden voraussichtlich 30 Prozent der Bevölkerung über 65 Jahre alt sein und 12 Prozent über 80 Jahre. Diese demographischen Entwicklungen haben Auswirkungen auf alle Lebensbereiche wie z.B. die Zahl der Haushalte, das verfügbare Einkommen und die Mobilität.⁶¹

Die erwartete Zunahme der Single-Haushalte wird alle Altersgruppen betreffen, aber aus sehr unterschiedlichen Gründen erfolgen und damit auch mit unterschiedlichen Mobilitätskonsequenzen verbunden sein⁶².

Trotz eines Rückgangs der Gesamtbevölkerung wird die Zahl der Haushalte nur leicht zurückgehen, da immer mehr Menschen in Einpersonenhaushalten leben⁶³. Jüngere werden häufiger überhaupt nicht heiraten bzw. sich schneller scheiden lassen oder haben aufgrund einer hochqualifizierten Tätigkeit einen Doppelhaushalt. Auch Ältere entscheiden sich für das Single-Dasein oder führen zunehmend Fernbeziehungen⁶⁴. Da private Haushalte wichtige Konsumenten sind und in der Regel die Entscheidung für die Anschaffung eines Autos tragen, ist diese Entwicklung ein nicht zu vernachlässigender Faktor.

Weniger Menschen in Europa werden - laut Hochrechnungen - in Zukunft mehr Autos fahren. Betrachtet man die Graphik der European Environment Agency, so wird deutlich, dass der Autobesitz in Europa bis 2050 – trotz des Schrumpfens der Bevölkerung - geringfügig ansteigt.⁶⁵ Bemerkenswert ist, dass gerade jüngere Männer zunehmend auf ein eigenes Auto verzichten, während Frauen immer mobiler werden. (...) car availability has in most countries declined much more strongly among men than among women. Compared to women, men were much more likely to have a car available to them in the 1970s/80s. This gender gap has

⁶⁰ Vgl.: Europäische Kommission. Eurostat (Stand: 18.11.2014): http://europa.eu/rapid/press-release_STAT-08-119_en.htm

⁶¹ Anmerkung der Autorin: Da ich bereits im Teil über Deutschland auf die Gefahren durch ältere Verkehrsteilnehmer hingewiesen habe und ich diese Aussagen nicht wiederholen möchte, gehe ich an dieser Stelle auf andere relevante Faktoren ein.

⁶² Shell Deutschland Oil GmbH (2009): *Shell PWK Szenarien bis 2030*. S. 27

⁶³ OECD. The Future to Families to 2030. (Stand: 19.11.2014): <http://www.oecd.org/futures/49093502.pdf>

⁶⁴ Vgl.: Institut für Mobilitätsforschung (2010): „Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030“. S.16

⁶⁵ Vgl.: European Environment Agency. (Stand: 19.11.2014): <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/car-ownership-rates-projections>

diminished considerably, not only because women have caught up but also because car availability for men has decreased.⁶⁶



Abbildung 134: Car ownership rates projections

Der PKW-Besitz der über 65 Jährigen wird weiter ansteigen, da beispielsweise die heute 50-jährigen Autobesitzer auch in 15 Jahren als „Golden Ager“ noch fahren werden – man spricht hier von einem Kohorteneffekt. Dieser Kundenstamm ist ans Autofahren gewöhnt und möchte sich auch im Rentenalter nicht einschränken. Dennoch ist und bleibt der Autobesitz ein einkommensabhängiger Kostenfaktor. Hochaltrige, die von einer kleinen Pension leben und aufgrund körperlicher Gebrechen nicht mehr so viel Wert auf Mobilität legen, geben lange nicht so viel Geld für ein Auto aus, wie jüngere und mittlere Altersklassen.⁶⁷

außerhalb Europas

Die Zukunft der Automobilbranche wird sich allerdings nicht in Europa abspielen. Mit dem globalen Bevölkerungswachstum und steigendem Wohlstand wächst auch die weltweite Energienachfrage. Experten rechnen bis Mitte des Jahrhunderts mit einer Verdopplung des Energiebedarfs. Da neben der Energie die Mobilität ein entscheidender Faktor für das Wirtschaftswachstum ist, wird auch das Auto eine immer wichtigere Rolle einnehmen. Bis zum Jahr 2030 wird mit zweimal so vielen PKWs weltweit gerechnet; bis 2050 könnte der PKW-Bestand, bei circa 9 Milliarden Menschen, auf mehr als zwei Milliarden ansteigen. Treiber sind hier vor allem die bevölkerungsstärksten Länder der Welt - China und Indien.⁶⁸

Im Jahr 2013 lebten in China rund 1,36 Milliarden Menschen⁶⁹. Trotz der Ein-Kind-Politik ist es somit das bevölkerungsreichste Land der Welt. Aufgrund des enormen Wirtschaftswachstums wird es einer der stärksten Konsumenten der Zukunft werden. Das

⁶⁶ Institute for Mobility Research (2013): 'Mobility Y' - the Emerging Travel Patterns of Generation Y. S. 11

⁶⁷ Vgl.: Shell Deutschland Oil GmbH (2014): *Shell PKW Szenarien bis 2040*. S. 32

⁶⁸ Vgl.: Shell Deutschland Oil GmbH (2009): *Shell PKW Szenarien bis 2030*. S. 11

⁶⁹ Vgl.: statista. (Stand: 19.11.2014): <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1722/umfrage/bevoelkerungsreichste-laender-der-welt/>

Einkommen der Bevölkerung steigt und immer mehr Menschen schaffen den Sprung in die Mittelklasse.

Globally, the size of the middle class could increase from 1.8 billion people to 3.2 billion by 2020 and to 4.9 billion by 2030. Almost all of this growth (85 per cent) comes from Asia.⁷⁰

Mit dieser neugewonnenen Wirtschaftskraft wollen sich viele Menschen langersehnte Wünsche erfüllen; ein Auto nach westlichem Vorbild steht häufig ganz oben auf der Liste. So ist es nicht weiter verwunderlich, dass China als der größte Automobilmarkt gilt und am schnellsten wächst.⁷¹ Im Jahr 2013 gab es einen Anstieg der Neuzulassungen um 16 Prozent auf rund 17,5 Millionen. Laut dem Kreditversicherer Euler Hermes werden dort 2014 bereits 19 Millionen Autos zugelassen.⁷² Von dieser Entwicklung profitieren vor allem deutsche Hersteller, deren Marktanteil bei 20 Prozent liegt.⁷³ Wenn man nun berücksichtigt, dass erst

jeder 20igste Chinese ein Auto besitzt, während in Europa mehr als jeder zweite einen PKW sein Eigen nennt, dann bekommt man ein Gefühl für das Potenzial, das noch im Markt steckt.

Auch in Indien boomt das Bevölkerungswachstum und es wird nicht mehr lange dauern, bis das Land mit seinen 1,25 Milliarden Menschen den nordöstlichen Nachbarn eingeholt hat. Während China mit einer derzeitigen Bevölkerungswachstumsrate von 0,44 Prozent⁷⁴ fast stagniert, wächst Indien mit 1,25 Prozent⁷⁵ weiter. Dies hat bei der Bevölkerungsdichte enorme Auswirkungen auf den Energiebedarf und die Mobilitätsnachfrage. Doch obwohl das Land der sechstgrößte Automobilmarkt der Welt ist und – laut Prognosen – das Potenzial hat, zum

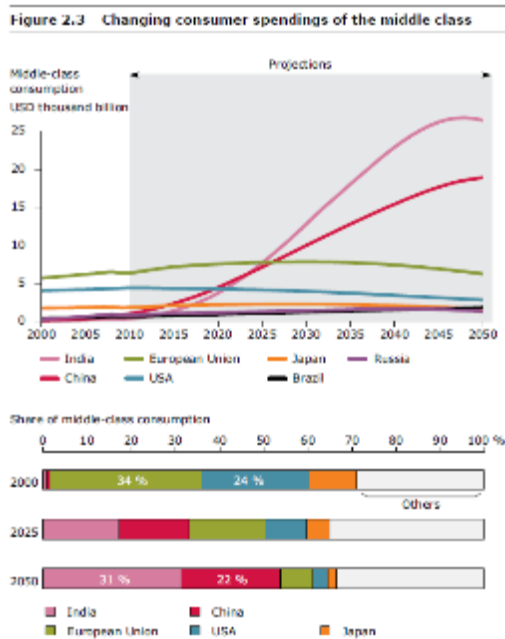


Abbildung 135: Changing consumer spendings of the middle class

⁷⁰ OECD Development Center (2010): The Emerging Middle Class in Developing Countries. S. 27

⁷¹ Vgl.: Price Waterhouse Coopers (2011): Growth reimagined. Automotive Industry Summery. S. 3

⁷² Vgl.: Euler Hermes Economic Research (2014): *Automobilbranche China*. S. 2

⁷³ Vgl.: Markt und Mittelstand (2014): *Automobilmarkt China. Jeder fünfte Euro an Deutschland* (Stand: 20.11.2014) <http://www.marktundmittelstand.de/nachrichten/kundenmaerkte/automobilmarkt-china-jeder-fuenfte-euro-an-deutschland/>

⁷⁴ Vgl.: Central Intelligence Agency. *The Worlds Factbook*. (Stand: 20.11.2014) <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2002rank.html?countryname=India&countrycode=in®ionCode=sas&rank=94#in>

⁷⁵ Vgl.: ebda

Drittgrößten bis 2020 zu werden⁷⁶, reagiert die Branche derzeit zurückhaltender als erwartet⁷⁷. Die Mittelschicht kämpft mit einem verlangsamten BIP-Wachstum und auch die Währung sank auf ein Rekordtief. Weiter stellen große westliche Limousinen in Indien kein erstrebenswertes Statussymbol dar, wie es in China der Fall ist. In der interessieren sich mehr für preiswerte, kleinere Autos und sehen keinen Sinn darin, sich in den engen, vollen Straßen indischer Großstädte einen SUV anzuschaffen.

In Indien werden kleinere und günstigere Autos den teureren Limousinen und Geländefahrzeugen vorgezogen, die in anderen Märkten beliebt sind.⁷⁸

Westlichen Automobilherstellern fällt es in Indien deutlich schwerer, sich Marktanteile zu verschaffen. Die vier größten Automobilriesen, Toyota, Volkswagen, General Motors und Ford, schaffen es nicht, Fuß zu fassen; keine der Firmen hat auch nur einen Anteil von 5 Prozent. Maruti Suzuki India, im Mehrheitsbesitz von Suzuki Japan, verkauft hingegen zahlreiche Kleinwagen; rund ein Fünftel aller verkauften PKWs entfallen auf die Marke.⁷⁹

Wenn man auf Mobilitätstrends außerhalb Europas eingeht, sollte man auch die Vereinigten Staaten berücksichtigen. Die USA hat knapp 320 Millionen Einwohner, eine Wachstumsrate von 0,77 Prozent und eine ausgewogenere Bevölkerungspyramide als die Europäische Union. Grund hierfür ist die Zuwanderung junger, hispanischer Migranten. Während Europa langfristig schrumpft, gehen Wissenschaftler davon aus, dass die amerikanische Bevölkerung bis 2050 wachsen wird.⁸⁰ Weiter sind die Einkommensstruktur hoch, die Benzinpreise niedrig und die räumlichen Distanzen im Land sehr weitläufig. Obwohl Japaner und Amerikaner eine ähnliche Kaufkraft haben, fahren Amerikaner fast dreimal so viele Kilometer im Jahr⁸¹ was sicherlich auch der Grundeinstellung zur Mobilität geschuldet ist. Das eigene Auto, als Zeichen des Individualismus und der Unabhängigkeit, ist Teil des *American Way of Life*, der schon in den 50'ger und 60'ger Jahren durch zahlreiche Kultfilme geprägt wurde.

The United States has a reputation as a country where cars and driving are very important to personal identity.⁸²

Selbst die Krise im Jahr 2009 hat der US-amerikanische Automobilmarkt relativ schnell überwunden. Die Wachstumsraten im Automobilabsatz lagen in den vergangenen drei Jahren bei über 10 Prozent; eine Entwicklung von der auch deutsche Automobilhersteller

⁷⁶ Vgl.: Burgmann, Dieter im Asien Kurier (10/2014): *Das ungenutzte Potenzial des indischen Automarkts*. (Stand: 20.11.2014) <http://www.asienkurier.com/article/indien/2014/ak141002-Indien-Das-ungenutzte-Potenzial-des-Automarkts.html>

⁷⁷ Vgl.: Verband der Automobilindustrie (Stand: 20.11.2014): <https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/20141118.html>

⁷⁸ Burgmann, Dieter im Asien Kurier (10/2014): *Das ungenutzte Potenzial des indischen Automarkts*. (Stand: 20.11.2014) <http://www.asienkurier.com/article/indien/2014/ak141002-Indien-Das-ungenutzte-Potenzial-des-Automarkts.html>

⁷⁹ Vgl.: ebda

⁸⁰ Vgl.: Berlin Institut für Bevölkerung und Entwicklung (Stand: 20.11.2014). http://www.berlininstitut.org/newsletter/Ausgabe_28.10.2011.html.html

⁸¹ Vgl.: Institute for Mobility Research (2013): 'Mobility Y' - the Emerging Travel Patterns of Generation Y. S. XII

⁸² ebda, S. 55

stark profitieren. Vor allem im Premiumsegment dominieren die deutschen Hersteller den Markt. Laut einer Studie von Price Waterhouse Coopers konnten sie von 2009 bis 2012 ihren Marktanteil von 45,8 Prozent auf 55,6 Prozent ausbauen⁸³. Ebenfalls Germany Trade and Invest prognostiziert ein starkes Wachstum der Branche.⁸⁴

Generell lässt sich also festhalten, dass aufgrund des Bevölkerungswachstums der deutsche Automobilmarkt langfristig stagniert⁸⁵, der europäische Markt – besonders aufgrund des Interesses osteuropäischer Länder – leicht weiter wächst⁸⁶ und der außereuropäische in Schwellenländern wie China und Indien ein exponentielles Wachstum verzeichnet⁸⁷. Selbst ein Land wie die USA – in dem fast alle Bürger bereits ein Auto fahren – werden auch in Zukunft wichtige Konsumenten bleiben, da die Bevölkerungsrate langfristig ansteigt und ein hohes Interesse an Premiumprodukten aus Deutschland besteht.

Dennoch ist nur das Bevölkerungswachstum und die steigende Wirtschaftskraft kein ausschließliches Kriterium für Zukunftsprognosen im Markt. Wie wir am Beispiel Europas gesehen haben, verändert sich die Einstellung der Jugendlichen zum Autobesitz und auch in den entstehenden asiatischen Megacities gibt es neue Tendenzen des Mobilitätsverhaltens aufgrund der fortschreitenden Urbanisierung. Um ein umfassenderes Bild über die zukünftigen Trends zu erhalten, empfiehlt es sich deshalb, auch die Einflüsse auf das Mobilitätsverhalten durch das Wohnen in Ballungsräumen (2.2) in Deutschland (2.2.1), in Europa (2.2.2) und außerhalb Europas (2.2.3) zu untersuchen.

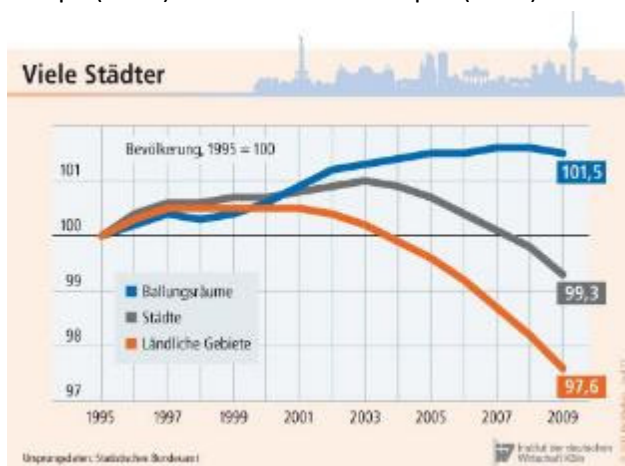


Abbildung 136: Wohnen in Ballungsräumen

⁸³ Price Waterhouse Coopers. *Der US-Automobilmarkt kommt schneller wieder in Fahrt, als der europäische.* (Stand: 24.11.2014): <http://www.pwc.de/de/automobilindustrie/der-us-automobilmarkt-kommt-schneller-wieder-in-fahrt-als-der-europaeische.jhtml>

⁸⁴ Germany Trade and Invest (2014): *Branchenbarometer Amerika* (Stand: 24.11.2014): http://www.gtai.de/GTAI/Content/DE/Trade/_SharedDocs/Pdf/Maerkte/Branchen/amerika-automobilindustrie.pdf

⁸⁵ Vgl.: Shell Deutschland Oil GmbH (2009): *Shell PWK Szenarien bis 2030*. S. 25

⁸⁶ Vgl.: European Environment Agency. (Stand: 24.11.2014): <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/car-ownership-rates-projections>

⁸⁷ ebda.

Durch das Wohnen in Ballungsräumen

in Deutschland

Großstädte und Ballungsräume wie Berlin, München, Hamburg, Stuttgart oder das Rhein-Main-Gebiet gehören zu den wirtschaftsstärksten Regionen Deutschlands und haben eine hohe Anziehungskraft für Zuwanderer aus dem In- und Ausland. Ihre Bevölkerungszahl steigt kontinuierlich und auch Unternehmen siedeln sich – aufgrund der gestiegenen Nachfrage nach wissensintensiven Dienstleistungen – gerne in den prosperierenden Zentren an.⁸⁸

Seit dem Jahr 2000 melden die Ballungsräume fast ununterbrochen steigende Einwohnerzahlen, während ländliche Gegenden permanent an Bevölkerung verlieren.⁸⁹

Der Trend der Verstädterung wirkt sich stark auf die Mobilität aus. Immer mehr Erwerbstätige fahren zu Stoßzeiten von den „Speckgürteln“ in die Stadtkerne und sorgen so für ein erhöhtes Verkehrsaufkommen. Der motorisierte Individualverkehr (MIV) überlastet die Straßen und Pendler leiden unter häufig auftretenden Staus. Zeitliche und räumliche Flexibilisierungen der Arbeitszeiten führen zwar zu leichten Entzerrungen im Berufsverkehr, können aber die Spitzenbelastungen nur geringfügig reduzieren. Da generell mehr Menschen auf kleinerem Raum leben, spiegelt sich das gestiegene Aufkommen auch im Freizeitverkehr wider.

Das gestiegene Aufkommen im Freizeitverkehr führte zu einer höheren Kapazitätsauslastung der Verkehrssysteme (...).⁹⁰

Ebenfalls der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) wird durch die wachsenden Einwohnerzahlen in Städten stärker beansprucht⁹¹. Entlang wichtiger Verkehrsverbindungen siedeln sich Berufstätige an, die mit U- und S-Bahn und ggf. auch mit dem Zug zu ihrem Arbeitsplatz fahren. Es kommt zum Ausbau der Nahverkehrsnetze, um Siedlungsgebiete mit den Stadtzentren zu verbinden. Auch wird der ÖPNV durch separate Bus- und Taxilinien bevorteilt und steigert so seine Attraktivität zu Spitzenverkehrszeiten.⁹²

Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) mit Bussen und Bahnen in Deutschland ist ein unverzichtbarer Bestandteil unserer Mobilitäts- und Alltagskultur. Die Lebensqualität und

⁸⁸ Vgl.: Institut für Mobilitätsforschung (2010): *Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030*. S.18

⁸⁹ Vgl.: Institut der deutschen Wirtschaft Köln. *Zurück in die Stadt*. (Stand: 13.01.2015): http://www.google.de/imgres?imgurl=http://www.iwkoeln.de/_storage/asset/27782/storage/iwm:image-zoom/file/187114/181611.jpg&imgrefurl=http://www.iwkoeln.de/de/infodienste/iwd/archiv/beitrag/27780&h=368&w=500&tbid=aA6tOJSfUrYCHM:&zoom=1&tbnh=92&tbnw=125&usq=__855IPN5iv0nNCT3RJcrzoaYEU34=&docid=gGilPV0soJXZ7M&sa=X&ei=WsOOVIGTI4qvPivUgKAP&sqi=2&ved=0CDgQ9QEwBA&dur=399

⁹⁰ Vgl.: Institut für Mobilitätsforschung (2010): *Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030*. S. 56

⁹¹ Vgl.: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: „Von 2000 bis 2008 sind die Fahrgastzahlen im ÖPNV um rund 8% gestiegen“. (Stand: 12.01.2015): <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/oeffentlicher-personennahverkehr.html>

⁹² Vgl.: Institut für Mobilitätsforschung (2010): „*Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030*“. S. 58

Urbanität deutscher Städte ist unmittelbar verbunden mit einem attraktiven und leistungsfähigen ÖPNV.⁹³

Zudem wächst die Nutzung intermodaler Angebote in Großstädten. Auf Hauptpendlerachsen werden Park- und Ride-Parkplätze geschaffen, um den Stadtverkehr auf die Schiene zu verlagern. Berufstätige aus dem Umland können so problemlos an Bahnhöfen am Stadtrand parken und dann ihre Fahrt mit der Bahn fortsetzen. Generell entwickeln die Menschen einen stärkeren Pragmatismus, was die Wahl der Verkehrsmittel angeht. Es ist nicht mehr selbstverständlich, jede Strecke von A nach B mit einem einzigen Fahrzeug zurückzulegen. Man entscheidet situationsbedingt, ob der ÖPNV, der eigene PKW, das Fahrrad oder auch ein Carsharing-Angebot im Moment das Richtige ist. Unterstützt werden die Nutzer intermodaler Angebote durch zahlreiche Apps, verkehrsträgerübergreifende Fahrplaninformationen und Navigationssysteme, die ihnen die schnellste Route anzeigen.

In Ballungsräumen wird das Verkehrsmittel benutzt, das einfach am pragmatischsten zur Verfügung steht.⁹⁴

Neben dem motorisierten Individualverkehr (MIV) und dem ÖPNV werden auch die Güter- und Verteilverkehre in den Städten deutlich ansteigen. Warenhäuser, Lebensmittelmärkte, Einkaufshallen, ja sogar jeder Bäcker oder Kiosk im Zentrum will mit Gütern beliefert werden. Die Preise für gut gelegene Gewerbeflächen erhöhen sich kontinuierlich und so ist es nicht weiter verwunderlich, dass man Waren auslagert und kurzfristig herbeischafft. Doch nicht nur die Warenbelieferung großer Einkaufszentren erhöht das Verkehrsaufkommen im Stadtkern, auch die Fokussierung auf den Internethandel wirft Probleme auf. Es ist selbstverständlich geworden, Konsumgüter im Internet zu bestellen, die jedem Endkunden einzeln zugestellt werden. Dies stellt vor allem Logistkdienstleister, die die Kunden häufig während der Arbeitszeiten nicht antreffen, vor große Herausforderungen.⁹⁵

⁹³ Umweltbundesamt. *Öffentlicher Personennahverkehr*. (Stand: 13.01.2015): <http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/oeffentlicher-personennahverkehr>

⁹⁴ Knie, Andreas in Little, Arthur D. (2009). *Zukunft der Mobilität 2020*. S. 41

⁹⁵Vgl.: Jacobi, Christian. *Versorgung von Ballungszentren*. (Stand: 13.01.2015): „Wir brauchen gebündelte Logistikleistungen: Dass der Paketdienst neben dem Pizzalieferanten und dem Apothekenlieferservice in der zweiten Reihe parkt, aber alle drei zum selben Kunden liefern, soll (...) nicht mehr vorkommen.“

in der Europäischen Union

Deutschland steht im internationalen Vergleich mit der Entwicklung nicht alleine da. Ballungsräume spielen überall eine wichtige Rolle, da rund 85 Prozent des Bruttoinlandsprodukts der Europäischen Union in Städten erwirtschaftet wird. Mehr als 74 Prozent der Bevölkerung der EU-Staaten leben in urbanen Regionen, in denen man leichter Arbeit findet und das kulturelle Freizeitangebot höher ist. Die UN geht davon aus, dass schon im Jahr 2030 über 80 Prozent der Bürger in Städten wohnen werden. Aus diesem Grund konzentriert sich der Personen- und Lieferverkehr vermehrt in den Stadtkernen.

Eins der größten Probleme ist die Überlastung der Verkehrsinfrastruktur, insbesondere auf den Straßen (...).⁹⁶

Obwohl generell ein Anstieg des Verkehrs zu verzeichnen ist, gibt es sehr große Unterschiede innerhalb der EU. Während die PKW-Nutzung beispielsweise in den alten Mitgliedsstaaten fast stagniert, herrscht in den neuen Mitgliedsstaaten ein großer Nachholbedarf und viele, die sich ein Auto leisten können, kaufen es sich. Ähnliche Differenzen gibt es im Zug- und Busverkehr. Zwischen den Jahren 2000 und 2011 stieg der Zugverkehr in den alten Mitgliedsstaaten um 17 Prozent an und vor allem Frankreich und Großbritannien investierten intensiv in die Schiene. Zeitgleich verringerte sich der öffentliche Transport in den neuen Mitgliedsstaaten um 27 Prozent zugunsten des eigenen PKWs.⁹⁷

Between 2000 and 2011, passenger transport growth was almost 32 % in EU-13 states — more than five times greater than that for the EU-15 Member States (6 %). This was driven by increases in car pkm which grew 53 % while bus and rail use declined.⁹⁸

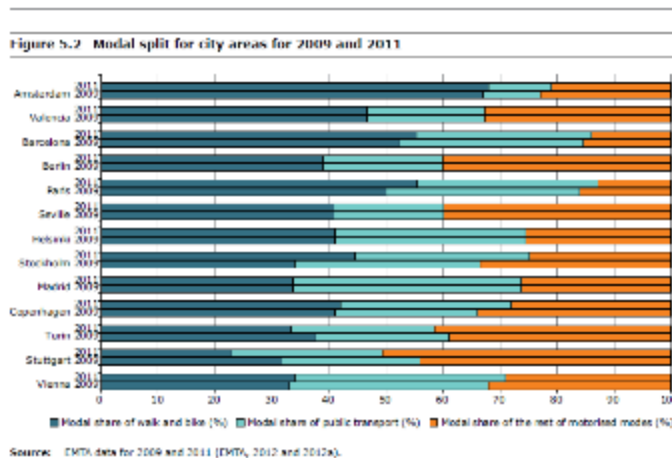


Abbildung 137: Modal split

Trotz dieser lokalen Differenzen vertrauen die Städte tendenziell zunehmend dem öffentlichen Nahverkehr, um möglichen Staus oder der Parkplatzsuche zu entgehen. Auch ein ausgedehnter Fußmarsch

⁹⁶ Europäische Kommission (2014). *Verkehr*. S. 18

⁹⁷ Vgl.: European Environment Agency (2013). *A closer look at urban transport*. S. 33

⁹⁸ Ebda, S. 34

oder Fahrradfahrten sind Fortbewegungsmöglichkeiten, die sich immer weiter etablieren. Stadtplaner, die Fahrradwege ausbauen oder Fußgängerzonen ins Leben rufen, können so einen großen Einfluss auf das Stadtbild und auch die Lebensqualität der Bewohner ausüben. In großen Zentren nutzen rund 60 Prozent der Verkehrsteilnehmer diese nachhaltigen Transportformen. Vereinzelt kann der Modalsplit – wie in Barcelona (86,1%) oder Paris (87,2%) - auch bei über 80 Prozent liegen. Eine Auswertung der European Environment Agency zeigt die Entwicklungen in ausgewählten europäischen Städten und vergleicht hierbei Fußgänger & Fahrradfahrer, den öffentlichen Transport und sonstigen motorisierten Verkehr in den Jahren 2009 und 2011. Der Trend zur Nachhaltigkeit im Verkehr ist deutlich zu erkennen. -

Neben dem Personenverkehr spielt auch der Lieferverkehr in der EU eine wichtige Rolle. Bisher wurde ihm in der Verkehrsplanung nur wenig Beachtung geschenkt, doch aufgrund erhöhter Stauaufkommen, der Luftverschmutzung und der Lärmbelastung integriert man ihn zunehmend in die Stadtkonzepte.

Despite the relationship with land use and urban development, freight transport is poorly represented in planning policies at the urban level.⁹⁹

Historische Zentren werden geschützt, indem man Fußgängerzonen einführt, die Ausmaße und das Gewicht der Lastwagen kontrolliert oder Sonderauflagen für das Parken und Beladen verhängt. Mögliche Ladezeitfenster können aber auch kontraproduktiv wirken, wenn plötzlich mehr Wagen benötigt werden, um alle Ladepunkte anzusteuern und sich somit der Lastverkehr zu Spitzenzeiten in den Zentren konzentriert. Auch Einschränkungen der Größe und des Gewichts können dazu führen, dass mehr LKWs die gleiche Ladung verteilen und so mehr Lärm und mehr Emissionen entstehen. Es gibt hier keine goldene Regel und die Städte haben ganz verschiedene Lösungsansätze. Während London beispielsweise den Nachtverkehr verbietet, um die Bewohner vor Lärmbelästigung zu schützen, fördert Paris ihn, um Staus am Werktag zu vermeiden.

Managing these potential conflicts through a consideration of freight transport in the planning process and engagement with the freight community is key to their successful introduction.¹⁰⁰

Für die EU-Mitgliedsstaaten ist auch das rasante Wachstum des e-Commerce ein wichtiges Thema. Die Anzahl der im Internet bestellten Waren hat sich in Europa in den letzten 10 Jahren mehr als verdoppelt. Besonders nordeuropäische Länder wie Großbritannien oder Schweden nutzen diese Einkaufsmöglichkeiten. Zwar verringern sich dadurch die Einkaufswege der Kunden; allerdings fahren die Logistikdienstleister vermehrt Wohngebiete an, bei denen während der Arbeitszeiten häufig niemand anzutreffen ist.

⁹⁹ European Environment Agency (2013). *A closer look at urban transport*. S. 54

¹⁰⁰ Ebda. S. 56

außerhalb Europas

Betrachtet man nun die Entwicklung der Ballungsräume auf globaler Ebene, so stellt man fest, dass über dreißig, der fünfzig weltweit größten Metropolregionen in Asien liegen. Das Gebiet Tokios führt mit rund 37 Millionen Einwohnern, Delhi ist mit 24 Millionen ebenfalls unter den TOP 3 und Shanghai (22,6 Millionen) und New York (20,6 Millionen) bringen es immerhin in die TOP 10. Der größte Ballungsraum in der Europäischen Union ist Paris/ Ile de France, mit 12,2 Millionen.¹⁰¹ Wie im Kapitel zum demographischen Wandel soll an dieser Stelle der Untersuchung eine Fokussierung auf die ausgewählten Zielländer China, Indien und USA stattfinden, da sie für den Automobilmarkt von besonderer Relevanz sind.

Bis zum Jahr 2025 wird es in China voraussichtlich acht Megastädte mit mehr als zehn Millionen Einwohnern geben und 221 Riesenstädte, in denen mehr als eine Million Menschen leben.¹⁰² Die größten urbanen Zentren sind derzeit Shanghai, Peking und Guangzhou und sie sollen nach einem Plan der chinesischen Regierung bis 2020 weiter wachsen.

Premier Li Keqiang's State Council and the central committee of the Communist Party released the "[National New-type Urbanization Plan \(2014-2020\)](#)," which sets clear targets: By 2020 the country will have 60 percent of its people living in cities, up from 53.7 percent now.¹⁰³

Dies wird die bereits angespannte Verkehrssituation vor neue Herausforderungen stellen. In Peking sind rund 5,4 Millionen Fahrzeuge unterwegs. Wenn sich die derzeitige Wachstumsrate fortsetzt, werden es im Jahr 2016 mehr als 6 Millionen sein. Da das Leben in der Hauptstadt für Normalverdienende nicht finanzierbar ist, pendeln beispielsweise rund 300.000 Berufstätige täglich aus der Satellitenstadt Yanqiao 80 Kilometer ins Zentrum. Bereits jetzt fehlen 4,5 Millionen Parkplätze¹⁰⁴, hinzukommen Smog, Umweltbelastungen und ewige Staus. Selbst die Bild-Zeitung schreibt über die verheerenden Verhältnisse:

Dauer-Staus gehören im Großraum Peking zum Alltag. Doch dieser Monster-Stau schlägt hier alles! Seit nunmehr zehn Tagen geht auf einem 100 Kilometer langen Teilstück des Peking-Tibet Express [Highway](#) von Jining nach Richtung Peking nichts mehr. Nur noch im Schnecken tempo kommen die Fahrzeuge vorwärts.¹⁰⁵

¹⁰¹ Demographia World Urban Areas: 10th Edition (2015). S. 20

¹⁰² Der Spiegel. *Größte Metropole der Welt.* (Stand: 20.01.2015): <http://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/groesste-metropole-der-welt-china-plant-42-millionen-stadt-a-741994.html>

¹⁰³ Bloomberg Businessweek. *China wants its people in the cities.* (Stand: 20.01.2015): <http://www.businessweek.com/articles/2014-03-20/china-wants-its-people-in-the-cities>

¹⁰⁴ Siehe Strittmatter, Kai. *Der Schwarm.* Süddeutsche Zeitung. "Lieber auf dem Rücksitz eines BMW weinen, als auf dem Fahrrad lachen", sagen die Chinesen. Deswegen stehen sie meist im Stau. Unser Korrespondent in Peking ist mitten unter ihnen. Und kämpft mit 5,5 Millionen Autos um einen der 800.000 Parkplätze." (Stand: 20.01.2015): <http://www.sueddeutsche.de/auto/verkehrswahnsinn-in-peking-der-schwarm-1.1814544>

¹⁰⁵ BILD (2010). *Monsterstau in China.* (Stand: 20.01.2015): <http://www.bild.de/auto/2010/nahe-peking-13728666.bild.html>

Doch nicht nur der PKW-Verkehr ist besorgniserregend, auch die Zahlen des öffentlichen Nahverkehrs stimmen nachdenklich. Mehr als 30.000 Busse in Peking bringen rund 13,4 Millionen Menschen pro Tag an ihr Ziel. Das U-Bahnnetz mit seinen 277 Stationen und einer Länge von 465 Kilometern befördert knapp 10 Millionen Fahrgäste.¹⁰⁶ Trotz intensiven Ausbaus der Systeme und zahlreichen Verbesserungsversuchen scheinen die Behörden das Verkehrschaos nicht in den Griff zu bekommen. Auch hohe Parkgebühren, Zulassungsbeschränkungen und das seit 2011 eingeführte Losverfahren für Nummernschilder reduzieren nicht die ungebremste Nachfrage.¹⁰⁷

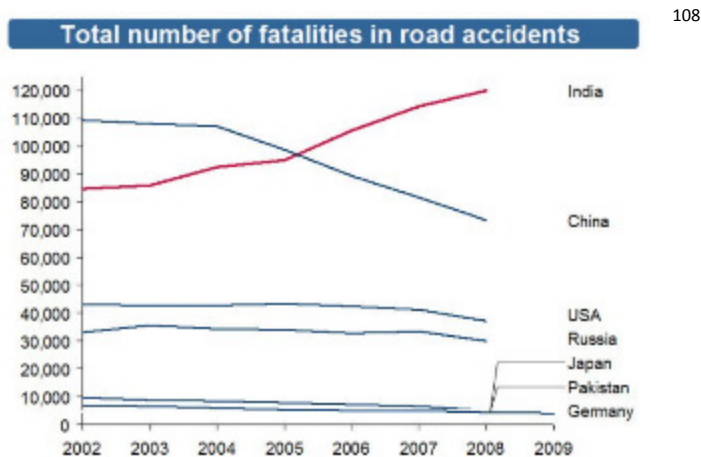


Abbildung 138 Total number of fatalities in road accidents

Ebenfalls in Indien setzt sich der Trend der Urbanisierung fort. Zwar leben derzeit nur 31 Prozent der indischen Bevölkerung in urbanen Zentren und laut der Vereinten Nationen wird die Anzahl der Städter bis 2030 nur auf rund 40 Prozent anwachsen.¹⁰⁹ Dennoch werden dann zusätzlich 225 Millionen Menschen die Verkehrslage in den Megacities verschärfen. Indien ist nicht nur für Staus durch Kühe auf der Straße, handgezogene Rikschas oder hupende Dreiräder bekannt.¹¹⁰ Die Metropolen leiden – ähnlich wie China – unter enormen Smog, der die deutschen Grenzwerte an manchen Tagen um ein Vielfaches übersteigt. Indische Großstädte melden dramatische Feinstaub Werte: Dunkler Smog verpestet die

¹⁰⁶ China Observer. *Die Notwendigkeit innovativer Verkehrskonzepte in China*. (Stand: 20.01.2015): <http://www.china-observer.de/index.php/2014/12/05/die-notwendigkeit-innovativer-mobilitatskonzepte-fur-china/>

¹⁰⁷ Vgl.: Viehmann, Sebastian. Fokus (28.08.2012): *Chinesen müssen für neue Autos Lotto spielen*: „Eine Million Chinesen wollen ein neues Auto, doch nur 20 000 dürfen eins kaufen: Peking versucht verzweifelt, mit einer Lotterie das Verkehrschaos in den Griff zu kriegen.“

¹⁰⁸ Vgl.: TCW, 2011TC

¹⁰⁹ Vgl.: New Geography. *Urbanizing India. The 2011 census shows slowing growth*. (Stand 16.02.2015): <http://www.newgeography.com/content/002537-urbanizing-india-the-2011-census-shows-slowing-growth>

¹¹⁰ Die Autorin möchte an dieser Stelle anmerken, dass es sehr schwierig ist, für Indien aktuelles Material aus anerkannten Quellen wie der Weltbank o. ä. zu erhalten. Die Entwicklungen sind so rasant, dass ältere Studien nicht verwendet werden können.

Metropolen des Landes - die Luftverschmutzung ist sogar schlimmer als in China. Deutsche Grenzwerte werden um mehr als das 20fache überschritten¹¹¹.

Zusätzlich zum dramatischen Feinstaub, weist das Land auch mit die höchste Rate von Verkehrstoten auf. Jede Minute passiert statistisch ein Unfall, rund 145.000 Menschen sterben dabei¹¹², das sind alle vier Minuten ein Toter. Die Gründe hierfür sind zahlreich. Zu wenig Ampeln regeln den Verkehr, Lastwagen haben häufig keine Rückspiegel, gebremst wird durch Schlaglöcher oder Barrikaden, Gurte und Airbags gelten als purer Luxus und eine Instanz wie den TÜV gibt es nicht.¹¹³

India's transport system--especially surface transport--is seriously deficient, and its services are highly inefficient by international standards.¹¹⁴

Nicht nur die Situation des Individualverkehrs ist bedenklich. Auch der öffentliche Personennahverkehr, der sich meist auf veraltete Busse beschränkt, ist überlastet und ineffizient. U-Bahnen gibt es nur in Delhi, Mumbai und Kolkata – und ausschließlich die Metro in Delhi entspricht internationalen Standards.¹¹⁵ Im Finanzzentrum Mumbai existieren zwar Nahverkehrszüge, die täglich rund 5 Millionen Menschen transportieren. Allerdings darf jeder Zug theoretisch nur 1.750 Fahrgäste mitnehmen, statt der 4.500 Passagiere pro Fahrt, die er tatsächlich befördert. Bisher waren die zuständigen politischen Institutionen nicht in der Lage auf die zahlreichen Herausforderungen adäquat zu reagieren. Mittlerweile arbeiten größere indische Städte aber an integrierten Stadtentwicklungsprogrammen wie dem „Delhi Masterplan 2021“ oder dem „Mumbai Urban Transport Project“, die die Verkehrssituation umfassend betrachten.¹¹⁶

Obwohl der Verkehr in den USA wesentlich zivilisierter ist, ringt man doch tendenziell mit ähnlichen Problemen. In den Vereinigten Staaten gibt es rund 50 Metropolregionen, in denen mehr als die Hälfte der US-Bürger leben.¹¹⁷ Zu den größten Zentren gehören New York, Los Angeles und Chicago. Vor allem Bewohner aus dem Süden des Landes ziehen in die Städte.

¹¹¹ Der Spiegel. *Indien: Smog in Neu-Delhi ist schlimmer als in Peking.* (Stand: 16.02.2015): <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/luftverschmutzung-smog-in-neu-delhi-indien-schlimmer-als-pekking-china-a-945770.html>

¹¹² Vgl.: Süddeutsche Zeitung. *Außenspiegel eingeklappt - und los! Autofahren in Indien.* (Stand: 16.02.2015): <http://jetzt.sueddeutsche.de/texte/anzeigen/502159/Aussenspiegel-eingeklappt-und-los-Autofahren-in-Indien>

¹¹³ Vgl.: Sächsische Zeitung. *Indiens mörderischer Verkehr.* (Stand: 16.02.2015): <http://www.sz-online.de/nachrichten/indiens-moerderischer-verkehr-949469.html>

¹¹⁴ The World Bank. *India – India's transport sector.* (Stand: 16.02.2015): <http://documents.worldbank.org/curated/en/2002/05/1937501/india-indias-transport-sector-challenges-ahead-vol-1-2-main-report>

¹¹⁵ Vgl.: Asienkurier. *Verkehrsinfarkt oder integrierte Konzepte.* (Stand: 16.02.2015): <http://www.asienkurier.com/texte/ak090210.html>

¹¹⁶ Vgl.: ebda

¹¹⁷ Vgl.: Current results. *Largest cities in the United States.* (Stand: 16.02.2015): <http://www.currentresults.com/Weather-Extremes/US/largest-cities-list.php>

The 2013 annual metropolitan area population estimates by the US Census Bureau indicate a continuing and persistent dominance of population growth and domestic migration by the South.¹¹⁸

Urbane Regionen kämpfen zunehmend mit Stau, Luftverschmutzung und der Tatsache, dass die Verkehrsinfrastruktur nicht für die Menschenmassen ausgelegt ist, die sie mittlerweile nutzen. Die New Yorker haben beispielsweise die längsten Anfahrten in den USA. Studien belegen, dass der Stau die Stadt rund 13 Milliarden Euro pro Jahr kostet. Schätzungen gehen davon aus, dass bis 2030 eine weitere Million Bürger und Millionen von Touristen die Stadt bevölkern, sodass sich die „Rush Hour“ auf 12 Stunden täglich verlängern könnte.¹¹⁹ Vor diesem Hintergrund hat man bereits in den '80er Jahren begonnen, das 1904 erbaute, heruntergekommene U-Bahn System wieder Instand zu setzen. Auch wird der öffentliche Nahverkehr in New York - im Vergleich zu anderen amerikanischen Städten – relativ gut von der Bevölkerung angenommen. 32 Prozent der Bürger nutzen die U-Bahn auf ihrem Weg zur Arbeit, 25 Prozent fahren alleine mit dem Auto, 14 Prozent nehmen den Bus, 8 Prozent fahren mit der Bahn, 6 Prozent schließen sich zu Fahrgemeinschaften zusammen, 1 Prozent ruft sich ein Taxi, 0,4 Prozent fahren mit dem Fahrrad und 0,4 Prozent nutzen die Fähre.

54% of households in New York City do not own a car, and rely on public transportation.¹²⁰

Zudem hat der ehemalige Bürgermeister Michael Bloomberg im Jahr 2007 die Initiative PlaNYC ins Leben gerufen, die sich mit zukünftigen Herausforderungen wie der steigenden Bevölkerungszahl, dem Klimawandel, der wirtschaftlichen Entwicklung und der alternden Infrastruktur der Stadt beschäftigt¹²¹.

Es kristallisiert sich heraus, dass die Ballungszentren in Deutschland, Europa und der Welt mit zunehmender Bevölkerungsdichte Transport- und Logistikprobleme bekommen, die das Wirtschaftswachstum negativ beeinflussen. Aus diesem Grund werden vielerorts innovative Mobilitätskonzepte entwickelt, die beispielsweise emissionsfreie Elektroautos im Fokus haben. Nachdem nun in der Studie Einflüsse auf das Mobilitätsverhalten durch den demographischen Wandel (2.1) und durch das Wohnen in Ballungsräumen (2.2) untersucht wurden, widmet sich die Autorin der Frage, inwieweit Nutzer neue Verkehrsmittel akzeptieren (2.3).

¹¹⁸ Vgl.: New Geography. *Special report. 2013 Metropolitan area population estimates*. (Stand: 16.02.2015): <http://www.newgeography.com/content/004240-special-report-2013-metropolitan-area-population-estimates>

¹¹⁹ Vgl.: Edwards, Tom and Smith, Steward: *Transport Problems Facing Large Cities*. (Stand: 16.02.2015): [http://www.parliament.nsw.gov.au/prod/parliament/publications.nsf/key/TransportProblemsFacingLargeCities/\\$File/TransportFINALindex.pdf](http://www.parliament.nsw.gov.au/prod/parliament/publications.nsf/key/TransportProblemsFacingLargeCities/$File/TransportFINALindex.pdf), S. 23

¹²⁰ ebda

¹²¹ Vgl.: PlaNYC. (Stand: 17.02.2015): <http://www.nyc.gov/html/planyc/html/home/home.shtml>

Durch das Akzeptanzverhalten der Nutzer

in Deutschland

Die Bundesregierung hat es sich zum Ziel gesetzt, Leitmarkt im Bereich Elektromobilität zu werden. Aus diesem Grund hat sie die vier „Schaufenster der Elektromobilität“ ins Leben gerufen, die die Elektromobilität für die Bürger erlebbar und erfahrbar machen¹²². Hier sollen die Bewohner in Carsharing-Flotten Elektroautos testen, sich an elektrische Lieferfahrzeuge im Stadtverkehr gewöhnen oder dazu ermuntert werden, auf Pedelecs umzusteigen, denn ohne die Nutzerakzeptanz werden sich neue Mobilitätsformen nicht durchsetzen. –

Die Marktdurchdringung der Elektromobilität wird erst dann möglich, wenn die Nutzer die neue Technologie akzeptieren und als gleichwertig gegenüber anderen, konventionellen und alternativen Antriebstechnologien wahrnehmen.¹²³

Ein wichtiger Treiber für die Elektromobilität ist das hohe Umweltbewusstsein in der Gesellschaft. Elektromobilität ist emissionsarm, schont die Ressourcen und wird mit erneuerbaren Energien betrieben. Umweltengagierte, die dem konventionellen PKW skeptisch gegenüber stehen, nutzen oft lieber den öffentlichen Nahverkehr, die Bahn oder das Fahrrad. Für sie ist ein Elektroauto eine willkommene Alternative für längere Strecken.¹²⁴ Eine weitere wichtige Zielgruppe sind Technikbegeisterte. Sie sind fasziniert von der neuen Technologie, dem Image und dem Fahrgefühl. Häufig sind es Männer, die sich ein Elektrofahrzeug als Zweitwagen zulegen.

Insbesondere ein hohes Umweltbewusstsein und/oder ein hohes Interesse an neuer Technologie könnten demnach zur Nutzung von Elektrofahrzeugen motivieren.¹²⁵

Auch Wohlstuierte tendieren zum Kauf eines Elektrowagens. Sie besitzen weitere Autos und wollen sich durch den Luxusgegenstand von der Masse im Straßenverkehr abheben. Zudem passen elektrische Fahrzeuge ins Lebenskonzept von urbanen Individualisten. Sie leben in der Stadt, wünschen sich viel Flexibilität und eine umweltverträgliche Form der Mobilität. Häufig bewegen sie sich intermodal und ergänzen Elektromobilität mit anderen Verkehrsmitteln, z.B. im Car-Sharing. Wichtig ist ihnen nur, dass sich die Nutzung durch Informations- und Kommunikationstechnologien unkompliziert gestaltet. -

Neben diesen *Early Adoptern*, die der Technologie sehr aufgeschlossen gegenüberstehen, gibt es aber auch kritische Faktoren für die Elektromobilität.

¹²² Vgl.: Schaufenster Elektromobilität. (Stand: 17.02.2015): <http://schaufenster-elektromobilitaet.org/de/content/index.html>

¹²³ Teichmann, Georg. Price Waterhouse Coopers. (Stand: 17.02.2015): <http://www.pwc.de/de/offentliche-unternehmen/elektromobilitaet-auf-kundenwuensche-gehen.jhtml>

¹²⁴ Vgl.: Peters, Anja und Hoffmann, Jana (2011). Fraunhofer ISI. *Nutzerakzeptanz von Elektromobilität*. S. 14

¹²⁵ ebda, S. 13



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Abbildung 139 kritische Faktoren der Elektromobilität

Häufig verhindern die hohen Batteriekosten und deren beschränkte Lebensdauer den Kauf eines E-Mobils. Elektrofahrzeuge sind oft mehrere Tausend Euro teurer, als ein äquivalentes Modell mit Verbrennungsmotor und so entscheiden sich viele Kunden gegen die Zusatzinvestition. Ein weiterer ernstzunehmender Faktor ist die sogenannte „Reichweitenangst“. Obwohl die meisten Nutzer täglich im Schnitt nicht mehr als 35 Kilometer zur Arbeit fahren¹²⁶, haben sie oft Bedenken, irgendwann auf freier Strecke stehenzubleiben. Zudem kommt das viel diskutierte Problem der öffentlichen Ladeinfrastruktur. Zwar laden rund 80 Prozent der Fahrer ihr Elektroauto zu Hause, doch wollen sie natürlich die Gewissheit haben, dass sie auch bei längeren Strecken überall leicht an Strom kommen. Hier ist vor allem wichtig, einheitliche Ladesysteme und eRoaming-Plattformen voranzutreiben, die ein deutschland- und europaweites Laden ermöglichen. Ebenfalls Bedenken bezüglich der Sicherheit und der Zuverlässigkeit spielen bei der Nutzerakzeptanz eine Rolle. Was passiert bei einem Unfall, wenn die Batterie zu brennen anfängt? Bringt mich das Fahrzeug ans Ziel, auch wenn ich die Heizung und das Autoradio anschalte? –

Zum Schutz aller Beteiligten im Straßenverkehr und zur Schaffung von Akzeptanz für Elektrofahrzeuge muss der Staat sicherstellen, dass die angebotenen Fahrzeuge im Falle eines Unfalls einen ausreichenden Schutz vor Unfallfolgen bieten.¹²⁷

Die Akzeptanz der Nutzer lässt sich gewiss gewinnen, wenn man Geschäftsmodelle entwickelt, die die Vor- und Nachteile der Elektromobilität berücksichtigen und auf die Bedürfnisse der Kunden konkret eingehen. Des Weiteren spielt besonders bei den Punkten „Kosten“, „Reichweite“ und „Ladeinfrastruktur“ die Zeit eine wesentliche Rolle. Die Forschung schreitet voran und Batterien werden langfristig effizienter und billiger.

Recently, the cost of batteries has been steadily decreasing as a result of both public and private sector advances and will likely drop even further in the next five years due to pack

¹²⁶Vgl.: ADAC (2010). Mobilität in Deutschland. S. 7

¹²⁷ VDI (2013). Positionspapier. *Elektromobilität und Sicherheit*. S. 3

design optimisation and cell count reduction, lower cost of cell materials, economies of scale, and improved manufacturing processes.¹²⁸

Außerdem werden mit zunehmenden Marktanteil der Elektroautos auch Kommunen bereit sein, ihre öffentliche Ladeinfrastruktur auszuweiten.

in der Europäischen Union

Ähnlich wie Deutschland kämpfen alle Länder der Europäischen Union mit den genannten Vor- und Nachteilen der Elektromobilität. Allerdings gibt es in den EU-Mitgliedsstaaten unterschiedliche Anreizsysteme, mögliche Kaufbarrieren zu überwinden. In **Belgien** zahlen die Besitzer von Elektroautos beispielsweise eine sehr niedrige KFZ-Steuer und für Bewohner von Flandern fällt auch die Zulassungsgebühr weg.¹²⁹ In **Dänemark** entfällt für Käufer von EVs (electric vehicles) die Registrierungs- und Straßensteuer. Außerdem stellt die Regierung 70 Millionen dänische Kronen für die Entwicklung von Ladeinfrastruktur bereit.¹³⁰ **Finn** zahlen für Elektroautos nur die Mindeststeuer, da sich der Steuersatz nach dem CO₂-Ausstoß richtet. **Frankreich** hat ein sogenanntes Bonus-Malus-System, bei dem Spritfresser mehr Steuern zahlen und so die Förderung von Autos mit wenig CO₂-Ausstoß finanzieren. Bei 20 Gramm CO₂ pro Kilometer liegt die Fördersumme bei 6300 Euro, bei bis zu 60 Gramm CO₂ sind es noch 4000 Euro.

The introduction of various incentives is part of this approach, with in particular the environmental bonus created in 2008 aimed at rewarding those who purchase new cars with the lowest CO₂ emissions. The bonus currently amounts to €6,300, irrespective of the purchaser, company, community or individual.¹³¹

Großbritannien stellt Nutzern von elektrischen Fahrzeugen - je nach Auto - Prämien von bis zu 6200 Euro in Aussicht. Außerdem sparen sie die KFZ-Steuer. Bei den **Iren** entfällt beim Kauf eines Elektroautos bis zu 5000 Euro Zulassungssteuer und **Italiener** müssen die ersten fünf Jahre keine KFZ-Steuer zahlen; nach Ablauf der Frist sind es 75 Prozent des üblichen Satzes. **Luxemburg** hat für E-Autos mit bis zu 60 Gramm CO₂-Ausstoß pro Kilometer, deren Strom aus erneuerbaren Energien stammt, eine Kaufprämie von 5000 Euro. In den **Niederlanden** hat sich der Marktanteil von Elektroautos (PHEV) von 2012 auf 2013 verfünffacht, was sicherlich auch den politischen Zielen der Regierung und der vorhergegangenen Förderpolitik zu verdanken ist. Derzeit entfällt noch die Zulassungssteuer und Autos, die maximal 50 Gramm CO₂ ausstoßen, sparen die KFZ-Steuer.

¹²⁸ International Energy Agency (2013). *Global EV Outlook*. S. 26

¹²⁹ Vgl.: ADAC (2014): *Elektroförderung in Europa*. (Stand: 18.02.2015): <https://adacemobility.wordpress.com/2014/08/14/elektro-forderung-in-europa/>

¹³⁰ Vgl.: International Energy Agency (2013). *Global EV Outlook*. S. 20

¹³¹ France Diplomatie (2015). *France is the largest electric vehicle market in Europe*. (Stand: 18.02.2015): <http://www.diplomatie.gouv.fr/en/french-foreign-policy-1/economic-diplomacy/facts-about-france/one-figure-one-fact/article/france-is-the-largest-electric>

The Dutch government has set an ambitious target of 15,000 electric vehicles in 2015, which should be scaled upwards to 200,000 vehicles in 2020 and even one million vehicles in 2025.¹³²

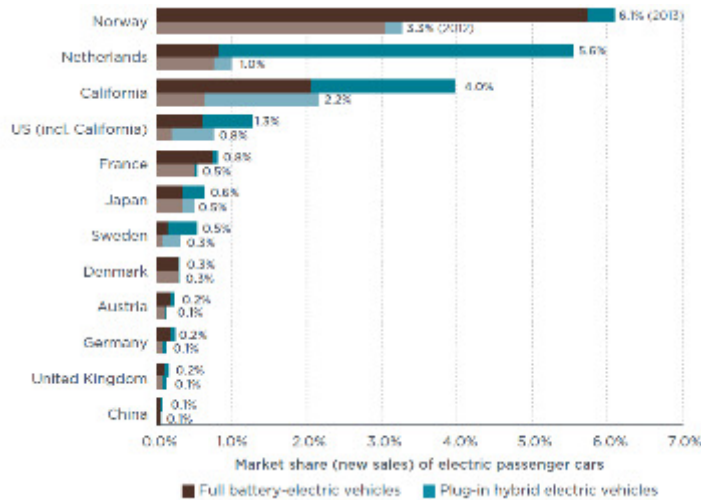


Abbildung 140: Marktanteile bei Elektroautos

Norwegen – geographisch in der EU – ist absoluter Spitzenreiter beim Thema Elektromobilität.¹³³ Da die Zulassungssteuer und die Mehrwertsteuer erlassen werden, was rund ein Drittel des Anschaffungspreises ausmacht, entscheiden sich immer mehr Kaufwillige für ein E-Fahrzeug. Auch im Nachbarland Schweden werden die ersten 5000 Elektroautos gefördert. Fünf Jahre muss die KFZ-Steuer nicht bezahlt werden, außerdem winken 4500 Euro Prämie pro Auto mit bis zu 50 Gramm CO₂-Ausstoß pro Kilometer. Die spanische Regierung bezuschusst EVs mit 6500 Euro und in Österreich sind E-Autos von der Steuer befreit. Außerdem gibt es – je nach Bundesland – Zuschüsse bis zu 5000 Euro¹³⁴.

Wenn man die obenstehende Graphik betrachtet, wird klar, wie stark politische Kaufanreize den Markt und die Nutzerakzeptanz in Europa beeinflussen. Zudem sollte man auch berücksichtigen, inwieweit der Markt in den jeweiligen Ländern im Vergleich zum Vorjahr gewachsen ist. Hier führen die Niederlande, mit einer Wachstumsrate von 400 Prozent. Aber auch Deutschland steht mit einem Marktzuwachs von 105 Prozent relativ gut da, während Norwegen, Schweden, Österreich oder Frankreich nur einen Zuwachs von 50-100 Prozent haben.

Comparing the 2012–2013 growth rate for the selected markets, the Netherlands is clearly leading, with more than a 400% relative market share increase, from 1.0% to 5.6%.¹³⁵

¹³² Van der Kuip, Sander (2011). The potential of electric vehicles amongst Dutch lease drivers. S.7

¹³³ Mock, Peter and Zifei Yang (2014). International Council on Clean Transportation. *DRIVING ELECTRIFICATION*. S.3

¹³⁴ Förderschwerpunkt „e-mobil in niederösterreich“. (Stand: 18.02.2015): <http://www.noel.gv.at/Umwelt/Klima/Foerderung-Private/e-PKW-privat.html>

¹³⁵ Mock, Peter and Zifei Yang (2014). International Council on Clean Transportation. *DRIVING ELECTRIFICATION*. S.4

Ebenfalls in Ländern außerhalb Europas finden Elektroautos immer mehr Kaufwillige. Im Fokus des E-Automarkts stehen die vom Feinstaub und Luftverschmutzung stark geplagten asiatischen Länder China und Indien. Aber auch die USA – vor allem der US- Bundesstaat Kalifornien, in dem die Firmen Google und Tesla ansässig sind – sind dankbare Abnehmer der neuen Technologien.

außerhalb Europas

China will die Elektromobilität ausbauen und hat es sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2020 fünf Millionen Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen¹³⁶. Da die Nachfrage bei Privatkunden nicht so stark ist, wie erwartet, beginnt die Regierung mit der Elektrifizierung ihrer eigenen Flotte, die schon 2016 zu 30 Prozent aus Hybridfahrzeugen und reinen Stromern bestehen soll¹³⁷. Der Markt für alternative Antriebe verhält sich vergleichsweise schleppend, nur 16 Prozent der 27.400 Elektrofahrzeuge in China wurden im Jahr 2012 von Privatpersonen gefahren. Auch 2013 blieb der erwartete Durchbruch aus. Aus diesem Grund hat sich die Regierung entschieden, eine neue Kampagne zur Förderung der Technologie aufzusetzen¹³⁸. Unterstützt werden potenzielle Käufer mit Prämien bis zu 17.000 Euro; des Weiteren will man Parkplätze für E-Autos schaffen und langfristig soll auch jede Tankstelle eine Ladesäule bekommen. Der größte Vorteil ist aber die sofortige Zuweisung eines Nummernschilds, das sonst u. a. per Lotterie verlost oder für Preise bis zu 10.000 Euro versteigert wird.

Dafür nimmt die Regierung aktuell umgerechnet zehn Milliarden Euro in die Hand, richtet Ladestationen ein und lockt Kunden mit Geldgeschenken bis zu 17 000 Euro, wenn sie sich zum Kauf eines Elektromobils entschließen¹³⁹.

Es profitiert allerdings nicht jeder Käufer eines Elektroautos von dem Bonussystem, das streng nationalen Kriterien unterliegt. Es werden nur chinesische E-Fahrzeuge gefördert bzw. E-Autos, die in China fabriziert werden. Deutsche Automobilhersteller, die sich Chancen im Markt ausrechnen, reagieren auf die Regierungsvorgabe unterschiedlich. Volkswagen – beispielsweise - rüstet bestehende Modellreihen, die in China produziert werden, auf Elektroautos um. BMW bietet einen X1 mit Elektroantrieb als Zinero 1E an und Daimler lässt in einem Joint Venture den sogenannten Denza bauen, eine elektrisch angetriebene Mercedes B-Klasse mit einem Antriebsstrang von Tesla.

Nicht nur die chinesischen Behörden setzen auf Elektromobilität, auch das Nachbarland Indien will die Technologie bis 2020 fördern. Laut dem „National Electric Mobility Mission Plan“ unterstützt die indische Regierung seit April 2014 die Elektromobilität mit

¹³⁶ Vgl.: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2013). *Strom – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität. Ergebnisse der Forschungsreise China*. S. 7

¹³⁷ Vgl.: Süddeutsche (2015). *Elektromobilität, geräuschlos aber nur in China*. (Stand: 19.02.2015): <http://www.sueddeutsche.de/auto/elektromobilitaet-geraeschlos-aber-nur-in-china-1.2145011>

¹³⁸ Vgl.: Handelsblatt (2014). *China geht bei E-Autos in die Offensive*. (Stand: 19.02.2015): <http://www.handelsblatt.com/politik/international/elektromobilitaet-china-geht-bei-e-autos-in-die-offensive/10193944.html>

¹³⁹ Süddeutsche (2015). *Elektromobilität, geräuschlos aber nur in China*. (Stand: 19.02.2015):

umgerechnet 1,4 Milliarden Euro¹⁴⁰. Im Fokus stehen hier neben den vierrädrigen E-Fahrzeugen vor allem zwei- und dreirädrige E-Mobile, die die Bevölkerung als E-Rikscha oder E-Mofa intensiv nutzt.

Der indische Automobilmarkt unterscheidet sich in einigen Punkten signifikant von den Märkten, die man aus Europa oder auch den USA kennt; ca. dreiviertel der Flotte sowie der Neuwagenverkäufe entfallen auf zweirädrige Fahrzeuge.¹⁴¹

Der Förderplan sieht vor, das im Jahr 2020 1,5 Millionen der verkauften vierrädrigen Fahrzeuge und 4,5 Millionen der verkauften Zweiräder elektrisch betrieben werden, was rund 17 Prozent des gesamten Absatzmarktes in Indien entspräche¹⁴². Um dieses Ziel zu erreichen, sollen in Indien produzierende Fahrzeughersteller zusammenarbeiten. Bereits jetzt planen Tata Motors, Maruti Suzuki und Mahindra neue Elektro- und Hybridfahrzeuge auf den Markt zu bringen. Die Differenz zwischen einem Verbrenner und einem vergleichbaren E-Fahrzeug, die sich auf rund ein Drittel der Kosten beläuft, würden die OEMs nach den derzeitigen Plänen zurückbekommen. Bei Zweirädern liegt die Förderung sogar noch höher.

143



Abbildung 141: Förderplan

Die USA gilt auf internationaler Ebene als Leitanbieter und Leitmarkt der Elektro-mobilität (in absoluten Zahlen gemessen). Obama verkündete 2010 bis zum Jahr 2015 eine Million

¹⁴⁰ Vgl.: CarIT. (2013). *Indien fördert Elektromobilität*. (Stand: 23.02.2015): <http://www.car-it.com/indien-foerdert-elektromobilitaet/id-0038755>

¹⁴¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2013). *Strom – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität*. Ergebnisse der Forschungsreise Indien. S. 6

¹⁴² Vgl.: Oekonews.at. (2013). *Indien: Mehr Förderung für Elektromobilität*. (Stand: 20.02.2015): http://oekonews.com/index.php?mdoc_id=1086116

¹⁴³ Vgl. NPE, 2014

Elektroautos auf Amerikas Straßen zu bringen¹⁴⁴. Zwar wird er dieses ambitionierte Ziel voraussichtlich nicht erreichen, aber laut Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität gab es bereits im Juni 2014 223.600 E-Fahrzeuge und 15.200 Ladestationen in den Vereinigten Staaten (siehe Graphik)¹⁴⁵. Käufer eines Elektroautos erhalten in den USA Steuervergünstigungen bis zu 7.500 US-Dollar. Insgesamt werden 200.000 Fahrzeuge eines Modells unterstützt. Auch für zwei- und dreirädrige EVs bekommt man einen Zuschuss von bis zu 2.500 US-Dollar, wenn sie über eine Batterie von mindestens 2,5 kWh verfügen¹⁴⁶. Neben dieser generellen Förderung vergeben einzelne Bundestaaten – allen voran Kalifornien – weitere Vergünstigungen für Besitzer eines E-Fahrzeugs.

California, there is another subsidy program at the state level, granting BEV purchasers another 2,500 USD (about 1,800 EUR) and PHEV 1,500 USD (about 1,100 EUR) in the form of a one-time bonus payment.¹⁴⁷

Doch nicht nur finanzielle Anreize bewegen potenzielle Kunden zum Kauf eines E-Autos. Nachweislich haben viele Amerikaner, die sich den Tesla Model S kauften, die staatlichen Beihilfen nicht abgerufen. Sie gehören entweder zu den im Unterpunkt 2.3.1 geschilderten wohlhabenden Technikbegeisterten, die sich von der Masse abheben und mit neusten Technologien umgeben wollen und hierfür auch das nötige Kleingeld mitbringen. Oder andere Privilegien, wie die Nutzung von Car-Pool- und HOV-Lanes in verkehrsüberlasteten Ballungsräumen spielten eine wesentliche Rolle für die Kaufentscheidung (High Occupied Vehicle (HOV)-Lanes sind gesonderte Spuren, auf denen Fahrzeuge mit zwei Personen und mehr fahren dürfen). Auch kostenlose Parkplätze sind vielerorts ein Kaufargument.

Man sieht an dieser Stelle, wie Aspekte des demographischen Wandels, das Leben in Ballungsräumen und daraus resultierende Konsequenzen wie stockender Stadtverkehr oder Parkplatzmangel – neben finanziellen Anreizen - zu wesentlichen Kriterien für die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs werden. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, die Lebens- und Verkehrssituation in den verschiedenen Ländern als Ganzes zu betrachten, um aus der Perspektive eines Fahrzeugherstellers Entscheidungen für den jeweiligen Markt zu treffen. Ein Zwischenfazit soll die gewonnenen Erkenntnisse zusammenfassen und zu den Geschäftsmodellen der Automobilhersteller überleiten.

¹⁴⁴ Vgl.: USA Today (14.07.2010). *Obama pushes electric cars, battery power this week*. (Stand: 24.02.2015): <http://content.usatoday.com/communities/driveon/post/2010/07/obama-pushes-electric-cars-battery-power-this-week-/1#.VOtO-rSpqZM>

¹⁴⁵ Vgl.: Nationale Plattform Elektromobilität (2014). Fortschrittsbericht 2014 – Bilanz der Marktvorbereitung. S.9

¹⁴⁶ Vgl.: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2013). Strom – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität. Ergebnisse der Forschungsreise Nordamerika. S.5

¹⁴⁷ Mock, Peter and Zifei Yang (2014). International Council on Clean Transportation. *DRIVING ELECTRIFICATION*. S.7

Zwischenfazit

Die Herausforderungen an heutige Fahrzeughersteller im globalen Automobilmarkt sind enorm. Faktoren wie das weltweite Bevölkerungswachstum, die zunehmende Urbanisierung, aber auch Umweltbelastungen und Energieeffizienz beeinflussen den Markt. Für die Entwicklung wettbewerbsfähiger Fahrzeugmodelle müssen OEMs emissionsarme Autos herstellen, die für die Bedürfnisse zukünftiger Megacities mit veralteten Straßeninfrastrukturen und Parkplatzmangel zugeschnitten sind, der Digitalen Revolution Rechnung tragen und es auch technisch an nichts fehlen lassen. Zudem ändert sich das Nutzerverhalten; in der westlichen Welt verliert das Auto als Statussymbol an Bedeutung, zukünftige Generationen von Stadtbewohnern, die vielleicht nie ein Auto besitzen werden, suchen nach Mobilitätslösungen und Fahrzeughersteller werden zum Mobilitätsdienstleister.

Mobility-as-a-service (MaaS) is starting to make inroads, but with a whole new generation of city inhabitants possibly never owning a car, the sector needs to find ways to satisfy this segment and build brand loyalty.¹⁴⁸

Zeitgleich wächst in den Schwellenländern nicht nur der potenzielle Absatzmarkt. China zum Beispiel, in dem laut *KPMG's Global Automotive Executive Survey 2014* im Jahr 2020 ein Drittel aller Neuwagen verkauft werden, fördert die Elektromobilität nicht primär um mit dem dortigen Braunkohlemix „Emissionen zu reduzieren“. Das Land strebt mit seinen ambitionierten Plänen als Konkurrent zu westlichen Herstellern die Technologieführerschaft an.

GAP-Analyse

Trend I: Demografischer Wandel

Der demografische Wandel in Deutschland ist bereits ein Treiber der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Änderungen. Die Gesellschaft wird nicht nur immer älter, sie schrumpft aufgrund der niedrigen Geburtenrate auch zunehmend. Eine hohe Zuwanderungsrate ist notwendig, um trotz dieses Trends die wirtschaftliche Leistung des Landes zu bewahren.

Voraussichtlicher zukünftiger Stand (beruhend auf technologischen und gesellschaftlichen Trends)

Laut einer jungen Studie der Bertelsmann Stiftung wird sich Deutschlands Bevölkerungsstruktur in den kommenden Jahren spürbar verändern¹⁴⁹. Betrachtet man Zukunftsszenarien, so werden in Deutschland bis 2050 weniger als 70 Millionen Menschen wohnen, von denen rund 28 Millionen über 60 Jahre alt sind¹⁵⁰. Dies wird signifikante Konsequenzen für die Mobilität und somit auch für die Automobilbranche mit sich führen.

¹⁴⁸ KPMG (2014): *KPMG's Global Automotive Executive Survey 2014*. S. 11

¹⁴⁹ Das zeigt eine Bevölkerungsprognose aus dem Datenportal. Für diese Studie für das Portal "Wegweiser Kommune" der Bertelsmann Stiftung wurde die zahlenmäßige Entwicklung der Bevölkerung für Städte und Gemeinden ab 5.000 Einwohnern sowie aller Landkreise berechnet. Für weitere Informationen: <http://www.wegweiser-kommune.de/>

¹⁵⁰ Vgl.: Statistisches Bundesamt. (Stand 17.11.2014): <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/ZahlenFakten.html>; Excel-Tabelle mit Vorausberechnung.

Alterungsprozess und Bevölkerungsrückgang jedoch verteilen sich ungleichmäßig: Während die Städte eher wachsen, dünnt der ländliche Raum weiter aus. Damit entstehen neue, vielfältige Herausforderungen und neue Bereiche mit Handlungsbedarf.

Aktueller Status und GAP-Beschreibung

Mit nachlassenden körperlichen und kognitiven Fähigkeiten sind immer mehr Menschen auf öffentliche Verkehrsmittel angewiesen. Gleichzeitig führt die Alterung der Gesellschaft auch dazu, dass immer mehr Personen kürzere Strecken fahren werden.

Eine besondere Herausforderung ist die Gewährleistung der Mobilität und somit Lebensqualität der älteren Menschen im ländlichen Raum und die dadurch entstehenden Kosten.

Was die persönliche Mobilität angeht, sind die meisten älteren Menschen mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren unterwegs und es gibt industrieseitig kein spezielles Marketing für E-Fahrzeuge für Senioren. Ebenfalls gibt es keine Bemühung, unterstützende Infrastrukturmaßnahmen zu tätigen.

Was aktuell fehlt, sind ökologisch, gesellschaftlich und wirtschaftlich tragfähige Mobilitätskonzepte, Produkte und Dienstleistungen. Die EVs eignen sich für die Bedarfe der alternden Gesellschaft, aber dessen Vorteile werden nur hinlänglich erprobt und kommuniziert.

Vorgeschlagene Maßnahmen

Individuelle Mobilität

Elektrofahrzeuge sind für die Mobilitätsbedarfe der Senioren geeignet. Sie müssen nur entsprechend vermarktet und mit passenden infrastrukturseitigen Maßnahmenpaketen unterstützt werden. Dies ist u.a. die Förderung und entsprechende Regulierung der Ladeinfrastruktur im nicht-öffentlichen und halb-öffentlichen Raum. Insbesondere bei den verstärkt erkennbaren Wohnprojekten für Senioren sollte Ladeninfrastruktur ein Bestandteil sein.

Öffentlicher Nahverkehr

Im Kontext des IMEI-Projektes ist dieser Bedarf an Neugestaltung des öffentlichen Nahverkehrs eine Chance, Elektromobilität als Bestandteil neuer, bedarfsorientierter Ansätze zu initiieren. Ein erstes Beispiel ist im Großraum Stuttgart im Einsatz in Schorndorf. Ein durchdigitalisiertes Buskonzept, das ohne feste Haltestellen auskommt und den Nahverkehr an die individuellen Ansprüche der Nutzer anpasst, wird im Rahmen des Projektes Reallabor Schorndorf getestet¹⁵¹. In diesem individuell abrufbaren Bussystem werden die Hauptverkehrsverbindungen in Zeiten schwächerer Nachfrage mit kleineren Fahrzeugen ergänzt, die effizienter und ressourcenschonender sind als große Busse.

Weitere Ausbaustufen dieses Konzeptes könnten Elektromobilität und autonomes Fahren beinhalten. Mit elektrisch betriebenen, kleineren autonomen Fahrzeugen, welche kein geschultes Personal benötigen, können die Menschen „vor der Haustür“ abgeholt und von

¹⁵¹ Für weitere Informationen: http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-16600/#/gallery/21881

dort aus zu Mobilitätsknoten gebracht werden. Hierzu gibt es bereits erste Pilotprojekte wie das Projekt «SmartShuttle» von PostAuto in der Stadt Sitten (Schweiz)¹⁵².

Die neuen elektrifizierten und autonomen Nahverkehrsansätze müssen verstärkt und zügiger pilotiert und getestet werden. Neben dem Erproben der Technologien unter realen Konditionen in „Living Labs“ sollte die Bürgerbeteiligung eine wichtige Rolle spielen. Einmal zur Benutzerakzeptanz der „on-demand“-Mobilitätsdienstleistungen und, noch wichtiger, zu autonomen fahrerlosen Fahrzeugen.

Für die schnelle und breitflächige Überführung dieser neuen Technologien und Ansätze ist es essenziell, die Akteure der ÖPNVs frühzeitig durch die Living-Labs-Projekte einzubinden. Ferner müssen die notwendigen gesetzlichen Regulierungsmaßnahmen frühzeitig definiert und proaktiv kommuniziert werden.

Für den Roll-out-Prozess können Förderinstrumente eingesetzt werden, u.a. welche, die grenzübergreifende Investitionen in Mobilitätsinfrastruktur unterstützen, z.B. das CEF (ehemals TEN-T) Programm der EU¹⁵³.

Trend II: Wohnen in Ballungsräumen

Großstädte und Ballungsräume wie Berlin, München, Hamburg, Stuttgart oder das Rhein-Main-Gebiet gehören zu den wirtschaftsstärksten Regionen Deutschlands und haben eine hohe Anziehungskraft für Zuwanderer aus dem In- und Ausland. Ihre Bevölkerungszahl steigt kontinuierlich und auch Unternehmen siedeln sich – aufgrund der gestiegenen Nachfrage nach wissensintensiven Dienstleistungen – gerne in den prosperierenden Zentren an.¹⁵⁴

Ebenfalls der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) wird durch die wachsenden Einwohnerzahlen in Städten stärker beansprucht¹⁵⁵. Entlang wichtiger Verkehrsverbindungen siedeln sich Berufstätige an, die mit U- und S-Bahn und ggf. auch mit dem Zug zu ihrem Arbeitsplatz fahren. Es kommt zum Ausbau der Nahverkehrsnetze, um Siedlungsgebiete mit den Stadtzentren zu verbinden. Auch wird der ÖPNV durch separate Bus- und Taxilinen bevorteilt und steigert so seine Attraktivität zu Spitzenverkehrszeiten.¹⁵⁶

Voraussichtlicher zukünftiger Stand (beruhend auf technologische und gesellschaftliche Trends)

Immer mehr Personen werden nicht nur in der Stadt arbeiten, sondern auch dort leben – wegen der Attraktivität der städtischen Angebote und um das Pendeln zu vermeiden. Kombiniert mit strengeren Abgasvorschriften für die Städte, werden E-Fahrzeuge einen

¹⁵² Für weitere Informationen: <https://www.postauto.ch/de/projekt-%C2%ABsmartshuttle%C2%BB>

¹⁵³ Für weitere Informationen: https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t-guidelines/project-funding/cef_en

¹⁵⁴ Vgl.: Institut für Mobilitätsforschung (2010): *Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030*. S.18

¹⁵⁵ Vgl.: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: „Von 2000 bis 2008 sind die Fahrgastzahlen im ÖPNV um rund 8% gestiegen“. (Stand: 12.01.2015): <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/oeffentlicher-personennahverkehr.html>

¹⁵⁶ Vgl.: Institut für Mobilitätsforschung (2010): „*Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030*“. S. 58

größeren Anteil haben. Dadurch wird der Bedarf nach Lademöglichkeiten im öffentlichen, halb-öffentlichen und privaten Raum steigen.

Gleichzeitig gehen die Einflussgebiete der Städte über ihre kommunalen Grenzen hinaus und es ist heute öfter von „Stadtregionen“ und „funktionalen Räumen“ bzw. „Regionen“ die Rede. In der Schweiz zum Beispiel ist der Begriff „funktionaler Raum“ eine aktuelle Herausforderung der Planungspraxis. Eine allgemein akzeptierte Beschreibung dieses Begriffs gibt es leider nicht, ein „funktionaler Raum“ oder eine „Region“ steht in der Regel für eine Raumeinheit, in der zwei oder mehrere Orte oder Regionen durch häufige soziale, wirtschaftliche und kulturelle Beziehungen verflochten sind¹⁵⁷. So können beispielsweise kommunale oder wirtschaftliche Entscheidungen in einem Standort Auswirkungen auf eine andere Gemeinde haben.

Diese Entwicklung wird von verstärkten Verkehrsströmen zwischen Stadtkern und „Speckgürteln“ durch Erwerbstätige begleitet, insbesondere in Stoßzeiten. Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) und die intermodalen Angebote werden ebenfalls durch die wachsenden Einwohnerzahlen in Städten stärker beansprucht als die Straßeninfrastruktur.

Mit den Änderungen im Konsumverhalten und wachsendem Anteil des Onlinehandels steigen auch die Güter- und Verteilverkehre in den Städten deutlich an. Zwar verringern sich dadurch die Einkaufswege der Kunden; allerdings steigen die Güter- und Verteilverkehre in den Städten deutlich an, fahren die Logistikdienstleister vermehrt Wohngebiete an.

Aktueller Status und GAP-Beschreibung

Im Einklang mit dem Ziel der Bundesregierung, ein Leitmarkt im Bereich Elektromobilität zu werden, gab und gibt es zahlreiche Pilot- und Demoversuche, bei denen die Elektromobilität bzw. nachhaltige Mobilität für die Bürger insbesondere in den Städten erlebbar und erfahrbar gemacht wird.

Trotzdem bietet sich in Deutschland in Sachen nachhaltige Mobilität ein diversifiziertes Bild. Es gibt städtische Räume, in denen neue Ansätze bereits zum Alltag und zur Strategie der Rathäuser gehören, z.B. in Hamburg. Jedoch hat Deutschland in Bezug auf Elektromobilität insgesamt Defizite bei der Ladeinfrastruktur, Produktpalette der angebotenen Elektrofahrzeuge und Vernetzung der Mobilitätsangebote.

Das Beispiel Ladeinfrastruktur: Aktuell gibt es circa 6.500 öffentlich zugängliche Ladestationen, darunter etwa 150 Schnellladungspunkte. Es gibt in Holland, wo viermal so viele Ladepunkte zu finden sind, durchschnittlich alle 7 Kilometer einen Ladepunkt, im Vergleich alle 111 Kilometer in Deutschland. Zusammen mit dem hohen Anschaffungspreis bremst die suboptimale Ladeinfrastruktur das Wachstum des Fuhrparks. Im Umkehrschluss haben es neue Betreibermodelle und innovative Dienstleistungsunternehmen ohne den Fuhrpark bzw. mit dem langsam wachsenden Markt schwerer, zu bestehen.

Es fehlt auch bei Städten und Kommunen an Wissen und Erfahrung, diese neue Infrastrukturfrage in kurzer Zeit zu beantworten. Die rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind aktuell nicht ausreichend, die Industrie und weitere Akteure in

¹⁵⁷ Quelle: http://www.vszgb.ch/handbuch/Raumplanung_Verkehr.htm

eine zügige Erweiterung der Elektromobilität zu bewegen. Die Städte und Kommunen können eine Vorreiterrolle übernehmen, was sie aktuell nicht tun.

Vorgeschlagene Maßnahmen

Elektromobilität befindet sich im Markthochlauf und es bedarf eines Maßnahmenpaketes für die städtischen und kommunalen Akteure, um die Phase noch deutlicher zu forcieren. Im Kern dieses Paketes können unterstützende Maßnahmen zum Sensibilisieren, Informieren und Enablen .

Hierzu sind eine nationale Strategie und dessen Umsetzung notwendig, um ein systematisches Vorankommen zu erreichen. Diese Maßnahmen befassen sich nicht nur mit Elektromobilität, sondern auch mit flankierenden Themen wie Parking, intermodale Mobilität (von Planning in den Rathäusern bis Fahrplanauskunft und Booking der Tickets, Parkplätze oder Ladesäulen). Auch die politische Weichenstellung im Umgang mit innerstädtischer Logistik gehört dazu.

Hierzu sind nicht nur Fördermittel notwendig, was notwendig ist, weil einige Ansätze in der aktuellen Marktphase kommerziell nicht darstellbar sind, sondern auch Dialoge, womit die diversen beteiligten Akteure (z.B. Industrieverbände, Städtetag, Energieversorger, Mobilitätsbetreiber) sich engagieren und einen Momentum für den Standort Deutschland schaffen.

Dabei soll ein Rahmen definiert werden, in dem die Technologien und Lösungskonzepte entwickelt bzw. zusammengeführt werden können. In der Tat mangelt es nicht an Technologien und Ansätzen, sondern eher an marktorientierten Ansätzen. Die Ergebnisse und Learnings von bisherigen Forschungs- und Pilotprojekten müssen dabei vertikal und horizontal verteilt und umgesetzt werden.

Trend III: Akzeptanzverhalten der Nutzer

Ein wichtiger Treiber für die Elektromobilität ist das hohe Umweltbewusstsein in der Gesellschaft. Elektromobilität ist emissionsarm, schont die Ressourcen und wird mit erneuerbaren Energien betrieben. Umweltengagierte, die dem konventionellen PKW skeptisch gegenüber stehen, nutzen oft lieber den öffentlichen Nahverkehr, die Bahn oder das Fahrrad. Eine weitere wichtige Zielgruppe für Elektromobilität sind Technikbegeisterte. Sie sind fasziniert von der neuen Technologie, dem Image und dem Fahrgefühl. Häufig sind es Männer, die sich ein Elektrofahrzeug als Zweitwagen zulegen. Auch Wohlstuierte tendieren zum Kauf eines Elektrowagens. Sie besitzen weitere Autos und wollen sich durch den Luxusgegenstand von der Masse im Straßenverkehr abheben. Zudem passen elektrische Fahrzeuge ins Lebenskonzept von urbanen Individualisten.

Insbesondere ein hohes Umweltbewusstsein und/oder ein hohes Interesse an neuer Technologie könnten demnach zur Nutzung von Elektrofahrzeugen motivieren.

Voraussichtlicher zukünftiger Stand (beruhend auf technologische und gesellschaftliche Trends)

Das Umweltbewusstsein steigt und mit den immer sichtbareren Auswirkungen der Klimaerwärmung wird es auch weiterhin steigen. Die Klimaerwärmung wird sich im Laufe der zweiten Hälfte des Jahrhunderts noch akzentuieren – wie stark, hängt von den Maßnahmen ab, die zur Senkung der Treibhausgasemissionen ergriffen werden. Die steigenden negativen Nebeneffekte des Klimawandels werden die Lage verschärfen und es ist davon ausgehen,

dass das Umweltbewusstsein ihr Folge leisten wird. Es ist auch zu erwarten, dass insbesondere die wohlhabende Bevölkerung bereit ist, höhere Kosten zu akzeptieren.

Aktueller Status und GAP-Beschreibung

Early Adopters sind bereits vorhanden, leider bisher nur in geringer Zahl. Neben diesen *Early Adopters*, die der Technologie sehr aufgeschlossen gegenüberstehen, gibt es aber auch kritische Faktoren für die Elektromobilität.

Häufig verhindern die hohen Batteriekosten und deren beschränkte Lebensdauer den Kauf eines E-Mobils. Elektrofahrzeuge sind oft mehrere Tausend Euro teurer als ein äquivalentes Modell mit Verbrennungsmotor, und so entscheiden sich viele Kunden gegen die Zusatzinvestition. Ein weiterer ernstzunehmender Faktor ist die sogenannte „Reichweitenangst“. Obwohl die meisten Nutzer täglich im Schnitt nicht mehr als 35 Kilometer zur Arbeit fahren¹⁵⁸, haben sie oft Bedenken, irgendwann auf freier Strecke stehenzubleiben. Hinzu kommt das viel diskutierte Problem der öffentlichen Ladeinfrastruktur: Zwar laden rund 80 Prozent der Fahrer ihr Elektroauto zu Hause, doch wollen sie natürlich die Gewissheit haben, dass sie auch bei längeren Strecken überall leicht an Strom kommen. Hier ist vor allem wichtig, einheitliche Ladesysteme und eRoaming-Plattformen voranzutreiben, die ein deutschland- und europaweites Laden ermöglichen. Ebenfalls Bedenken bezüglich der Sicherheit und der Zuverlässigkeit spielen bei der Nutzerakzeptanz eine Rolle.

Die E-Fahrzeuge sind aus unterschiedlichen Gründen, z.B. durch fehlende Infrastruktur, benachteiligt, wodurch das Potenzial der Early Adopter nicht ausgeschöpft wird.

Vorgeschlagene Maßnahmen

Verbesserung der Rahmenbedingungen für E-Fahrzeuge.

Die Akzeptanz der Nutzer braucht auch Geschäftsmodelle, die die Vor- und Nachteile der Elektromobilität berücksichtigen und auf die Bedürfnisse der Kunden konkret eingehen.

Die Akzeptanz der Nutzer lässt sich gewiss gewinnen, wenn man Geschäftsmodelle entwickelt, die die Vor- und Nachteile der Elektromobilität berücksichtigen und auf die Bedürfnisse der Kunden konkret eingehen. Des Weiteren spielt besonders bei den Punkten „Kosten“, „Reichweite“ und „Ladeinfrastruktur“ die Zeit eine wesentliche Rolle.

Weitere Maßnahmen für alle drei Bereiche

Öffentliche Beschaffung:

Nach dem Beispiel der Stadt Hamburg würde die Einführung einer „Beweislastumkehr“ sinnvoll und effektiv sein: Bei der routinemäßigen Ersatzbeschaffung muss der Bedarfsträger nicht mehr begründen, weshalb ein E-Fahrzeug beschafft werden soll, sondern er muss begründen, warum ausnahmsweise kein E-Fahrzeug in Betracht kommt. Neben den direkten Beschaffungseffekten dieser Maßnahme – erhöhte Zahl der zugelassenen Fahrzeuge, schnellere Finanzierung und höhere Auslastung der Ladeinfrastruktur und Erhöhung der Verfügbarkeit der Fahrzeuge für diverse Nutzungszwecke – würde auch die Vorreiterrolle der öffentlichen Hand zur Geltung kommen. Solange Spitzenfiguren der Politik und öffentlichen Hand sich in zwei Tonnen schweren Limousinen chauffieren lassen, bleibt diese Art

¹⁵⁸Vgl.: ADAC (2010). Mobilität in Deutschland. S. 7

Fahrzeuge Symbol der Macht und des Erfolgs; obwohl im Fond mehrheitlich alleine gereist wird und keine speziellen Hochsicherheitsfahrzeuge notwendig sind. Darüber hinaus beinhalten die Infrastrukturmöglichkeiten und Nutzungsprofile der öffentlichen Flotten Impulse für die Kopplung der Elektromobilität mit dezentralen, auf erneuerbaren Quellen basierten Energielösungen. Dieser entscheidende Schritt würde den Einfluss der finanziellen Fördermaßnahmen deutlich erhöhen.

ÖPNV-Finanzierung als Hebel

Der Markt des öffentlichen Verkehrs ist 13 Milliarden groß, vielfältig in seinen Stakeholderstrukturen und entsprechend vielschichtig in seiner Finanzierung¹⁵⁹. Neben der Nutzerfinanzierung über Fahrkartenverkauf und geringfügigere Erträge aus Werbe- und Pachteinnahmen gibt es diverse Wege, wie ÖPNV durch öffentliche Hand mitfinanziert wird, weil die eingenommenen Beträge die tatsächlichen Kosten oft nicht decken. Dazu gibt es Tarifersatzleistungen (z.B. für Schüler, Studenten und Besitzer von Sozialtickets) und Investitionsförderung, bei der sich die öffentliche Hand durch unterschiedliche Arten von Förderung einbringt.

Neue Regulierungen, insbesondere durch EG-Verordnungen, sorgen dafür, dass es mehr Wettbewerb in diesem Markt gibt, und die Ausschreibungen der Beförderungsdienstleistungen sind das primäre Instrument dafür. Es soll untersucht werden, wie die Umweltbelastung der eingesetzten Fahrzeuge als Ausschlagkriterium benutzt und dadurch ein Hebel zu Elektrifizierung der Straßenpersonennahverkehrs (ÖSPV) geschaffen werden kann. Ferner können die zukünftigen Fahrdienstleistungen durch autonome Fahrzeuge ebenso angedacht werden.

Sektorkopplung

Die oben genannten Gaps entstehen durch die Änderungen, die hauptsächlich in anderen Lebensbereichen entstehen, wie demografischer Wandel. In der Handhabung dieser Wirkungen können auch weitere Bereiche berücksichtigt werden, womit ein stärkerer und breiter Effekt erzielt werden kann. Der Ansatz Sektorkopplung, der auch von der Bundesregierung aufgegriffen wird, bietet eine weitere Möglichkeit: Damit können sämtlichen Fragen zu Energieerzeugung, -übertragung/-speicherung und -verbrauch in unterschiedlichen Bereichen (Mobilität, Heizen usw.) gleichzeitig angegangen werden. Somit kann die Energiewende auf lange Sicht höhere Erfolgchancen haben, weil mehrere Bereiche stärker auf die erneuerbaren Energien setzen. Durch die dezentralen Strom-Wärme-Lösungen können die Haushalte ihren Energiebedarf für Mobilität durch eigene Erzeugung abdecken und sich Kostenvorteile verschaffen, sowohl für die Bevölkerung in ländlichen Gebieten als auch für Pendler (siehe Abschnitt 2.3.1. „Demografischer Wandel“ und 2.3.2. „Wohnen in Ballungsräumen“).

¹⁵⁹ Siehe: <http://www.wiwo.de/unternehmen/dienstleister/kommunale-vs-private-betriebe-der-kampf-um-deutschlands-nahverkehr/14853906.html>

6.3. AP 520 – Entwicklung Cyber-Physical Layer

Übersicht und Scope

Im AP 520 wird ein Marktdesign des Strommarktes als konzeptionelle Arbeit vorgenommen. Der Ansatz einer IT-Architektur eines Cyber-Physical-Systems dient als Basishypothese. Darüber hinaus wird eine Prozessbetrachtung in Form der Epics die wesentlichen Abläufe im IMEI Gesamtkontext beschreiben.

Die strukturierte Gegenüberstellung des Hypothese des Nutzens eines CPS mit den Realitäten des Energiemarktes liefert relevante Handlungsempfehlungen sowie eine Beurteilung der wirtschaftlichen Implikationen bzw. Optionen im Rahmen einer Realisierungsstrategie.

Das Projekt IMEI setzt sich damit auseinander, wie die steigende Anzahl von Elektroautos sowohl in Form von betrieblichen Flotten als auch in schwarmbasierter Form eines Zusammenschlusses von Einzelfahrzeugen so an das dezentrale Energiesystem angebunden werden kann, dass domänenübergreifende Funktionen erfüllt werden. Dazu gehören insbesondere die kostengünstige Nutzung von E-Autos für die Endkunden, die Kapitalisierung von Überkapazität durch Marktteilnehmer und die Nutzung des von Elektroautos als dezentrale Speicherkapazität zur Stabilisierung des Energiesystems für die Netzbetreiber. Der breitere Rahmen des Projektes sind die mittel- und langfristigen Treibhausgasreduktionsziele der Bundesregierung, welche die drastische CO₂-Reduktion durch die Elektrifizierung von Mobilität bei gleichzeitig stark ansteigendem Anteil erneuerbarer Energien am Strommix voraussetzt. Bis zum Jahre 2020 soll sich der Anteil von Erneuerbaren Energien am Strommix auf 35% erhöht haben und bis zum Jahr 2050 sollen 80% des Stromverbrauchs aus EE gedeckt werden. Zur Unterstützung dieses Ziels soll der Stromverbrauch bis 2020 um 10% sinken, bis 2050 sogar um 25%. Zur Umsetzung dieser Zahlen müssen beim weiteren Ausbau erneuerbarer Energien konventionelle Kraftwerke deutlich runtergefahren werden. Dies bedeutet den Übergang von einem Energiesystem, in dem Energie bedarfsabhängig produziert wurde zu einem System, das bedarfsunabhängig produzierte Energie in den Fokus stellt und Nachfrage entsprechend anpassen muss. Voraussetzung dafür ist eine Informations- und Kommunikationstechnik, die eine bedarfsunabhängige Stromproduktion aus erneuerbaren Energien mit dem Verbrauch unter den physikalischen Gegebenheiten der Netzinfrastruktur sowie der Nachfragesituation in Einklang bringt. E-Mobilität könnte dabei eine wichtige Rolle spielen.

Flexibilität als Herausforderung bei der Modernisierung von Energiesystemen

Netzstabilität als eine der wichtigsten Verantwortlichkeiten von Verteilungsnetzbetreibern kann in heutigen Energieversorgungssystemen durch dynamischen Lastbetrieb konventioneller Großkraftwerke unkompliziert erreicht werden. Netzbetreiber müssen für die Verlässlichkeit des flächendeckenden Verbundnetzes garantieren indem sie Servicedienstleistungen, wie die Frequenz- und Spannungshaltung, Netzengpassmanagement und Versorgungswiederaufbau in Zusammenarbeit mit den Erzeugern garantieren. Die starke Zunahme des Anteils an Strom im Netz, der aus erneuerbaren Quellen eingespeist wird, bringt jedoch neue Herausforderungen an die Bereitstellung einer verlässlichen Stromversorgung und damit vor allem geforderte neue Systemdienstleistungen für Netzbetreiber mit sich. Strom aus erneuerbaren Energiequellen fließt sowohl unvorhergesehen als auch variabel, was die Anforderungen an die

Modernisierung eines Stromnetzes zur Sicherung von Stabilität deutlich erhöht. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die drastische Zunahme steuernder Eingriffe im Netz. Hier wird insbesondere die Rolle intelligenter IT-Lösungen deutlich.

Momentane und künftige Lösungen für Versorgungssicherheit

Wie notwendig die Modernisierung der Netze im Hinblick auf die Integration erneuerbarer Energien ist, wird durch momentan durchgeführte, zum Teil im Konflikt mit den Zielen der Energiewende stehenden „Zwangsmaßnahmen“ zur Gewährleistung von Versorgungssicherheit deutlich. Damit ist vor allem das Abregeln von Erneuerbarer Energie nach EnWG §14a gemeint, wenn z.B. starker Wind in Norddeutschland so viel Energie entstehen lässt, dass Netzbetreiber zur Sicherung ihrer Netze angeschlossene Kraftwerke drosseln oder sogar abschalten. Dafür muss der Netzbetreiber dem Anlagenbetreiber Entschädigung zahlen, die er wiederum durch erhöhte Netzentgelte auf den Endverbraucher umwälzt. Im Jahre 2013 wurden mit 555 GWh aberegelter Energie 43,7Mio € an Kosten verursacht (Quelle: Next Kraftwerke). Pumpspeicherwerke oder die Umwandlung von Strom in Wärme sind zwar bestehende Konzepte zur sinnvollen Nutzung von Überkapazität, sind jedoch in größerem Maßstab nur auf Hochspannungsebene verfügbar und weniger auf Mittel- und Niederspannungsebene, wo dezentrale Erneuerbare Energien eingespeist werden. Weiterhin reichen aktuelle Speicher auch nicht aus um sämtliche Schwankungen aus zu gleichen. Problematisch ist auch die Überstrapazierung von Netzen, wenn zu viele stromverbrauchende Einheiten angeschlossen sind und somit mehr Strom durch die Netze fließt, als diese eigentlich transportieren können. Dabei erzeugt Widerstand Wärme und riskiert netzschädigende Kurzschlüsse. Der Netzbetreiber muss in einem solchen Fall regelnd eingreifen.

Zentral Steuerung vs. dezentrale Flexibilität

Solche Eingriffe haben wie bereits erwähnt drastisch zugenommen: Netzbetreiber müssen inzwischen mehrmals stündlich regelnd in ihre hochgradig sensibel gewordenen Netze eingreifen, indem sie die Einspeisung reduzieren oder Stromflüsse umleiten. Da Netze zu Zeiten gebaut wurden, in denen nicht an die Besonderheiten einer Stromversorgung aus volatilen und unvorhersehbaren Erneuerbaren Energien gedacht wurde, sind bestehende Optionen zum Ausbalancieren von Angebot und Nachfrage nur begrenzt geeignet. Ungeachtet dessen nimmt die Einspeisung Erneuerbarer Energien zu, sodass die fehlerfreie Steuerung von Netzen immer schwieriger wird und Absicherung der Stromversorgung neu konzipiert werden muss. „Neu“ bedeutet hier von einer zentralen, auf konventionellen Kraftwerken beruhenden Sicherheit zu einer, die sich durch flexible Kleinteiligkeit auszeichnet und damit dezentral organisierten Sicherheit.

Diesem Problem soll verstärkt mit dem Konzept der Flexibilität begegnet werden. Bei erwarteten Abweichungen der prognostizierten Last des Stromnetzes von der Reallast sollen diese flexibel verschiebbar sein. Flexibilität in diesem Kontext meint die Fähigkeit von Einheiten kontrollierbarer Energiesysteme, Energie über variable Zeiträume und unter unterschiedlichen Systembedingungen in verschiedenen Mengen erzeugen und nutzen zu können. Die vermehrte Einspeisung von bedarfsunabhängigen Erneuerbaren auf vor allem Mittel- und Niederspannungsebene bedeutet, dass der Ausbau von Flexibilität als Priorität künftiger Netzentwicklungen mittel- und langfristig gelten muss. Eine Lösung wäre Netzinfrastrukturen einfach auszubauen, was vor allem aufgrund der Kostenintensität und der Beschaffenheit einer von EE abhängigen Stromversorgung unangemessen wäre.

Alternativ bietet sich die Kapitalisierung bestehender Potentiale der momentanen Netzinfrastruktur auf dezentraler Ebene an, die weitaus kostengünstiger erreicht werden kann und die nötigen Bedingungen für ein Netz schaffen würde, welches künftigen Anforderungen an die Stromversorgung gerecht würde. Ein solches Netz verbindet angeschlossene Einheiten und Akteure in Verbrauch und Einspeisung so miteinander, dass sich Angebot und Nachfrage mit der Dynamik eines aus vielen kleinen Teilen bestehenden Systems ausbalancieren. Dabei entsteht ein Smart Grid, das Flexibilität umsetzt, indem unterschiedliche Akteure durch Mess-, Steuer- und Regelmöglichkeiten im Übertragungs- und Verteilnetzmanagement Effizienzen heben, die bisher wenig Bedeutung hatten. Operationalisiert bedeutet Flexibilität das Managen von Angebot und Nachfrage zur Anpassung an die physikalischen Gegebenheiten.

Demand Side Management im flexiblen Energiemarkt

In konventionellen Energiesystemen richtet sich das Angebot nach der Nachfrage. Um der Variabilität und Unvorhersehbarkeit natürlicher Prozesse, von denen die Energieversorgung der Zukunft mehr und mehr abhängen wird, gerecht zu werden, muss sich dieses Paradigma umdrehen: Energie soll demnach dann genutzt werden, wenn sie zur Verfügung steht und Verbraucher müssen zunehmen flexibel auf das fluktuierende Angebot von Strom reagieren können. Dazu müssen Märkte gebildet werden, die neben der Energie selbst das flexible Verschieben von Lasten oder andere domänenübergreifende Funktionen der mit dem Netz verbundenen Einheiten als Wert etablieren und neue Arten von wirtschaftlichen Beziehungen zwischen den Marktakteuren in einer neuen Energiewirtschaft entstehen lassen.

Grundlage eines solchen Marktes sind Geschäftsmodelle, welche Daten der mit dem Netz verbundenen Einheiten anhand von Algorithmen marktwirtschaftlich sinnvoll in Informationen als Grundlage stabilisierender Systemleistungen transformieren

Somit setzt auch Demand Side Management Daten voraus, welche viel differenziertere Einblicke in die Beschaffenheit des Netzes und dessen Situation geben, als es in konventionellen Energiesystemen der Fall ist: deskriptive Daten über die Netzsituation, prognostizierende Daten über die Nachfrage und deren potentielle Elastizität, sowie Daten zum Antizipieren der zur Verfügung stehenden Energie durch Wind und Sonne.

Entsprechendes Nachfrageverhalten muss durch Marktanreize noch ungeklärter Form erfolgen. Sicher ist, dass der Preis für Strom selbst eine wichtige Rolle spielen wird, wobei er als alleinige Steuerungsfunktion durch die zentrale Vermarktung von Strom an der Börse für den Energiemarkt von Morgen nicht ausreichend die physikalischen Gesetze des Stromnetzes reflektiert: Weht in Norddeutschland der Wind und gehen damit die Strompreise runter, steigt der Verbrauch. Und zwar auch in Regionen, die in exakt demselben Moment viel niedrigere Last aufweisen, da beispielsweise gerade die Sonne scheint. Zusätzlich zum Preissignal braucht es also noch einen Parameter, welcher die Notwendigkeit von Flexibilität auf lokaler Ebene anzeigt. Erste Vorschläge von Experten im Deutschen Energiemarkt konzipieren einen sogenannten Flexibilitätsmarkt, der den Wettbewerb von Flexibilitätsoptionen als digitale und automatisiert ablaufende Prozesse etablieren soll. Dazu müsste die Verteilnetzstruktur in Netzcluster geordnet werden, welche als Knotenpunkte für Daten von Einspeisung und Verbrauch „zuständig“ sind, sodass der Bedarf an Flexibilitäten in einer Zelle organisiert werden kann. Ein solches dezentrales und kleinteiligeres System überzeugt durch Effizienz, Sicherheit und Kostenstruktur.

Barrieren zur Effektivität von dezentral gesteuertem Lastmanagement

Viele der hier dargestellten Ansätze werden bereits seit geraumer Zeit zwischen den Experten diskutiert. Da signifikante Interessen ab zu wägen sind, sind Veränderungen in den relevanten Rahmenbedingungen aktuell als kritisch ein zu stufen. Dies betrifft sowohl inhaltliche Aspekte als oder sogar vor allem die Geschwindigkeit mit der die Veränderung voranschreitet. Exemplarisch hier einige der größten Barrieren:

- Kleinteiligkeit ist „smart“, gesetzlich aber noch nicht wirksam umgesetzt
- Keine economies of scale bei Regelleistung auf dezentraler Ebene: man möchte mit großen Mengen regeln, kleinteilig sind die Geschäftsmodelle noch zu schwierig umzusetzen
- Netzentgeltsystematik: aktuelle Fehlanreize von mehr als 100Mio€, die als Anreiz dienen könnten, in die Modernisierung von Netzen zu investieren

IKT als Rückgrat der Energiemärkte von morgen

Einzelne technische Lösungen zur Erhöhung von Flexibilität maximieren ihren wirtschaftlichen Wert erst im Zusammenspiel mit anderen technischen Lösungen. Je höher die Konnektivität und je effektiver Marktakteure mit ihrer Vielzahl an Daten miteinander verbunden sind, desto schneller rechnen sie sich. Deshalb prägen maßgeschneiderte Kommunikations- und Kontrollsysteme, welche die vielen und weit verteilten Einheiten eines Stromnetzes funktional miteinander verbinden, maßgeblich die Struktur eines intelligenten Marktes für Strom und die zahlreichen an die Stromverfügbarkeit gekoppelte Dienstleistungen. Noch wird Flexibilität als Regelleistung in einem dafür vorgesehenen Markt gehandelt, wobei Preise pro MWh eine gewisse Größe der gehandelten Einheiten erfordert, was nach aktueller Rechtslage nur durch große Anlagen sinnvoll zu realisieren ist. Kleine, dezentrale Einheiten erreichen einen solchen Skalierungseffekt aufgrund ihrer beschränkten Kapazität nicht und liefern damit ein Gegenargument zum Ausbau von Smart Grid Systemen, in denen ein lokaler Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage höher liegende Netze entlasten. Der digitale Ausbau solcher Smart Micro Grids könnte diesem Argument aber entgegenwirken, da er für die übergeordneten Ziele einer neuen Energieversorgung und damit systematisch wertvollere Skalierungseffekte ermöglichen könnte, denn der Wert von Daten steigt mit deren Verfügbarkeit exponentiell an. Die dynamischen und kostengünstigen Eigenschaften der Cloud¹⁶⁰ erlauben es Drittanbietern energiebezogene Mehrwertdienste kostengünstig umsetzen zu können, sodass deren Nachfrage skaliert. Innovative Erfassungs- und Prognoseverfahren aus der Einbindung lokaler Sensorik und Aktorik würden in einem virtuellen Marktplatz genutzt, um sowohl lokalen Stromhandel, als auch den Handel mit dazugehörigen Dienstleistungen zu betreiben. Die damit erzeugten Einkommensquellen könnten das Anbieten von Flexibilität für Endverbraucher deutlich attraktiver machen und somit das zentrale Organisieren von Flexibilität ablösen. Dem Entwickeln solcher Systeme stehen allerdings nicht nur die oben angerissene Regulierungssituation im Weg, sondern auch große Herausforderungen im Bereich Datensicherheit. Sichere Zugangskontrollen und jeglicher Schutz vor Missbrauch der Systeme müssen dabei gewährleistet sein. Unter

¹⁶⁰ Quelle Wikipedia: Unter **Cloud Computing** versteht man die Ausführung von Programmen, die nicht auf dem lokalen Rechner installiert sind, sondern auf einem anderen Rechner, der aus der Ferne aufgerufen wird

Berücksichtigung der gerechtfertigten Sensibilität sollte der Hebel Smart Grid für die notwendige Stabilisierung höher liegender Netzebenen dennoch genutzt werden. Elektroautos als signifikanter Verbraucher und Erzeuger (im Sinne von Bereitstellung von Batteriekapazität) von Strom müssen bei einer solchen Lastenkopplung berücksichtigt werden.

E-Auto Batterien als Quelle von Flexibilität

Großskalierte Speicheroptionen existieren zwar auf Hoch- und Mittelspannungsebenen, zeichnen sich auf Niederspannungsebenen aber bisher durch signifikante Barrieren aus, zur benötigten Flexibilität im lokalen Stromnetz wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll beitragen zu können. Die Möglichkeit Nachfragemechanismen zu steuern, indem beispielsweise lastabhängige Ladeprozesse von E-Autos ermöglicht werden, ist eine vielversprechende Komponente eines integrierten Smart Grids, in dem die traditionellen Grenzen zwischen Erzeugung, Verteilung und Übertragung verschwinden. Elektroautos sind in mögliche Quelle von Flexibilitäten auf Niederspannungsebene, da sie nicht nur die benötigte Leistungselektronik und Speicherkapazität enthalten, sondern auch passende Nutzungsprofile haben und kommunikationstechnisch gut an ein bestehendes Energiesystem angebunden werden können.

Arbitrage, also das Ausnutzen von Preisunterschieden beim Laden und Entladen der Batterie, gilt als Schlüssel, um den Wert von kontrolliertem Lademanagement verstehen und damit kapitalisieren zu können. Dieser Wert besteht aus zwei Komponenten: das zeitliche Verlagern des Ladeprozesses bei fluktuierender Einspeisung aus EE und die Vermeidung von Spitzennachfrage, welche das Netzwerk stark strapazieren, sodass Investitionen in die Leistungsstärke des Netzes stark reduziert werden können.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die potentielle Nutzung von Batterien in E-Fahrzeugen als im Smart Grid vernetzte Einheiten zum Nutzen von Flexibilität unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Umstände. Dabei können die Fahrzeuge selbst schwarmbasiert oder als Flotte zentral gesteuert und organisiert sein. Dazu wird untersucht, welche domänenübergreifenden Verbindungen die informationstechnologische Ausrüstung eines solchen Autos aufweisen muss, um entsprechende Funktionen anbieten zu können. Außerdem wird auch untersucht, wie diese Verbindungen digital organisiert sein müssten.

An dieser Stelle wird ein Cyber-Physical-System zur Realisierung eines Lademanagements vorgeschlagen, welches systemdienliche Funktionen eines E-Autos unter marktwirtschaftlichen Anreizen integriert.

Nachfolgende Grafik¹⁶¹ zur Forschungen an der University of Texas at San Antonio über 4G kabellose Kommunikation in einem Cyber-Physischem System zeigen die Elemente zu das Zusammenspiel einzelner Elemente eines Energiesystems in Kombination mit Elektrofahrzeugen. Weitere Details in nachfolgendem Kapitel.

¹⁶¹ Quelle: <http://engineering.utsa.edu/~bkelly/>

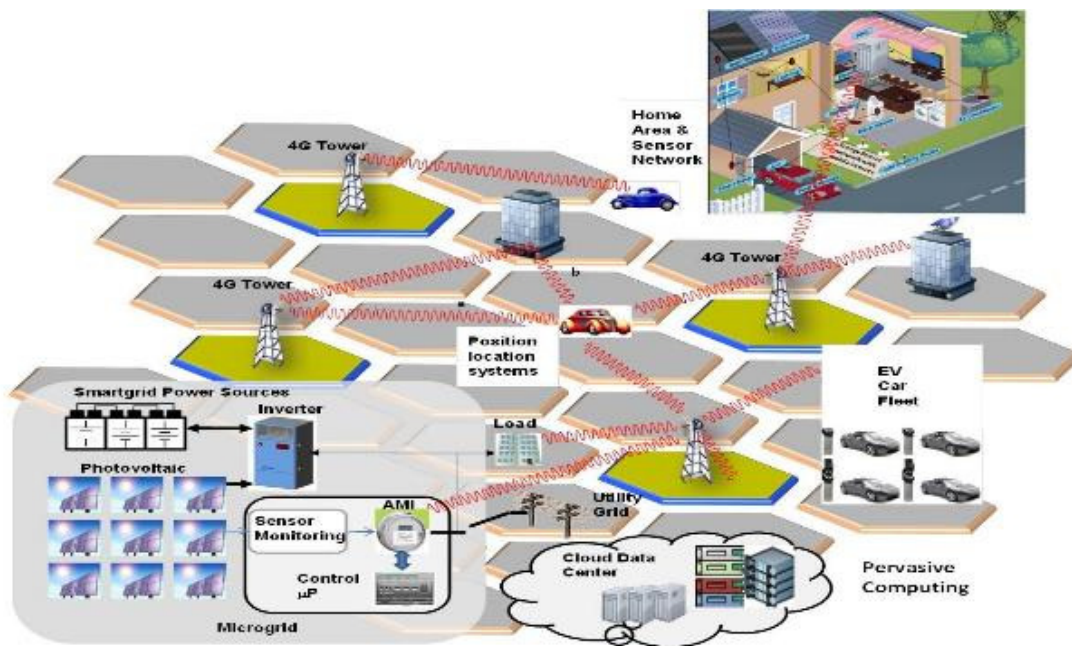


Abbildung 142: Cyber-Physisches-System am Beispiel der 4G Kommunikation

Cyber-Physische-Systeme (CPS)

Die Energienetzplanung und der Netzbetrieb muss künftig durch die Organisation und Koordination einer wachsenden Anzahl von Marktteilnehmern unterstützt werden, wobei der flexiblen Schaltung von Lasten auf Ebene des Verbrauchers durch erhöhte Volatilität der Energieeinspeisung eine besondere Rolle zukommt. Antrieb eines dezentralen Marktes für Flexibilität und andere, mit dem Smart Grid verbundenen Dienstleistungen, sind wirtschaftliche Anreizsysteme, welche letztendlich als Preissignal die effizienteste Nutzung von zur Verfügung stehenden Ressourcen ermöglicht. Die Frage, welche Preissignale für erst künftig entstehende Märkte rund um die flexible Nutzung von stark schwankenden Energieressourcen ausschlaggebend sein werden und aus welchen Komponenten sie sich zusammensetzen werden, kann noch nicht genau beantwortet werden. Sicher ist aber, dass sie aus einer Kombination von Daten aus ganz unterschiedlichen Quellen entstehen werden, die praktikabel und sicher organisiert werden muss. Die moderne IKT sieht für solche Anwendungsfälle so genannte Cyber-Physische-Systeme (CPS) vor, welche Daten sammeln, speichern und durch Algorithmen definierte Betriebsanweisungen ableiten. Cyber-Physischen-Systemen sind Systeme, „in denen Objekte der realen Welt über an sie gebundene IT-Systeme mit entfernten Softwaresystemen kommunizieren. Dabei wird i.d.R. über Sensorik und Aktorik auf der Seite der realen Objekte und Regelungslogik in den abgesetzten Softwaresystemen ein Regelkreis realisiert.“ (Holtkamp et al. 2014)

Eingeführt wurde der Begriff 2008 von Edward A. Lee wie folgt: „Cyber-Physical Systems (CPS) are integrations of computation and physical processes. Embedded computers and networks monitor and control the physical processes, usually with feedback loops where physical processes affect computation and vice versa.“

Vereinfacht besteht ein CPS als Technologieinfrastruktur vernetzter Produkte aus einer physikalischen und einer im Internet liegenden Ebene, der Cyber-Ebene. Die physikalische

Ebene enthält die im Produkt installierte Software, ihr Betriebssystem, Sensoren und andere technische Elemente, welche Daten produzieren, speichern und zur Steuerung des Produktes gebraucht werden. All diese Einheiten sind durch Kommunikationsnetze mit ihrer Cyber-Komponente verbunden, welche anhand der empfangenen Daten das Produkt als virtuelles Objekt abbildet und Leistungskomponenten bestimmt. Informationen werden hier in einem zentralen Hub so organisiert, dass sich intelligente Produktanwendungen ergeben können. Ziel ist es, Funktionen der physikalischen Elemente so über Algorithmen definieren zu können, dass sie sich an sich verändernde Gegebenheiten anpassen und automatisch ihre jeweilige Aufgabe ausfüllen. Die hierfür relevanten Informationen werden nicht nur vom Produkt selbst empfangen, sondern auch aus Schnittstellen mit externen Systemen oder Betriebskennzahlen. Bereits heute werden CPS als ausschlaggebende Komponente der Industrie 4.0 verstanden, weil sie die intelligente Automation von Mensch-Maschine Schnittstellen als Schlüsselcharakteristik der 4. Industriellen Revolution ermöglichen.

Besondere Anforderungen bestehen an unterschiedliche Elemente:

- Interoperabilität und damit Kompatibilität zwischen CPSs, deren Komponenten und Services
- Semantische Kompatibilität von Informationen unterschiedlicher Anwendung, sodass Interoperabilität von Anwendungen gegeben ist.
- Notwendigkeit der Echtzeitinformation dadurch dass die Interaktion zwischen Nutzer und offenen Systeme oft ad-hoc von statten läuft.

Smart Grids werden gerne als technologische Vorstufe von CPS angegeben, da sie zwar vernetzte eingebettete Systeme darstellen, aber in ihrer funktionalen Skalierbarkeit noch limitiert sind, da sie vor allem als geschlossene Systeme auftreten. Erst die domänenübergreifende und funktionale Verbindung von Energiedaten mit beispielsweise Mobilitätsdaten in einem beliebig erweiterbaren und an neue Akteure und Szenarien anpassbaren Format entspräche der Definition eines Cyber-Physischen-Systems. So müssten Smart Grids um die Fähigkeiten erweitert werden, Netzwerke zu managen, Energieverbräuche zu optimieren und Erzeugung zu planen. Dazu müssten Smart Grids mit Hilfe des Internets, mobilen Kommunikationsservices und/ oder Cloud-Lösungen weiterentwickelt werden.

Relevante Bereiche sind hier vor allem die Aufzeichnung von realen Verbrauchsdaten, die Präzision von Lastgangprognosen und Leistungsprognosen als auch die Koordination der jeweiligen Bilanzkreise und Regelaktivitäten durch den BIKO. Die zusätzliche Vernetzung mit der Mobilität ist Voraussetzung für die aggregierte Nutzung und Ladesteuerung von E-Autos als virtuelles Kraftwerk im Energiemanagement. Weitere Funktionen des Zusammenschlusses von E-Autos und anderen im Mobilitäts- und Energiesektor aktiven Agenten umfasst die weite Funktionalität von Fahrassistenzsystemen oder das Potential der zuverlässigen Bezifferung von Schadstoffreduktionen.

Architekturmodell eins CPS

Der zentrale Unterschied zur klassischen IT-Architektur liegt darin, dass es keinen zentralen Servicebus gibt, der als Vermittler zwischen Nutzerplattform und Serviceprovider agiert. Darüber hinaus verlagern sich Logik und Algorithmen auf die dezentralen Serviceprovider. Jeder Service ist einzeln über die Nutzerplattform direkt für den Kunden erreichbar.

Ebenso stehen alle Daten, die aus dem Physical Layer generiert werden, zentral in einem großen, für alle nutzbaren Datenraum im Cyber Layer zur Verfügung. Somit können Serviceprovider auf Basis der unterschiedlichen Daten Services generieren.

Damit diese Daten sicher und im Interesse des Gesamtsystems genutzt werden, steht der Data Accesspoint Manager (DAM) als Gateway vor dem Cyber-Layer. Der DAM definiert, wer wann welche Daten nutzen darf.

Serviceprovidern, die für dieses System Services generieren wollen, wird eine Übersicht der möglichen Daten bereitgestellt. Eine allgemeine Schnittstellenbeschreibung definiert nicht nur welche Daten, sondern auch wie der Serviceprovider darauf zugreifen kann. Der Serviceprovider definiert seinen Service und stellt diesen dem DAM vor, um so den Zugriff auf die hierzu benötigten Daten zu erhalten. Der DAM lässt dem Serviceprovider nur den Zugriff auf die benötigten Daten zu.

Die Serviceprovider stehen in der Verantwortung ihren Service an das Nutzerportal anzubinden. Das Portal hat den Zugriff auf die Services sicherzustellen. Damit obliegt hier die Gestaltung des User-Interfaces. Dies kann neben einer grundsätzlich prozessorientierten Darstellung auch Themen der Barriere armen oder auch eine Browserunabhängige Darstellung berücksichtigen.

Exemplarische IT-Architektur zur Integration eines Cyber-Physical-Systems:

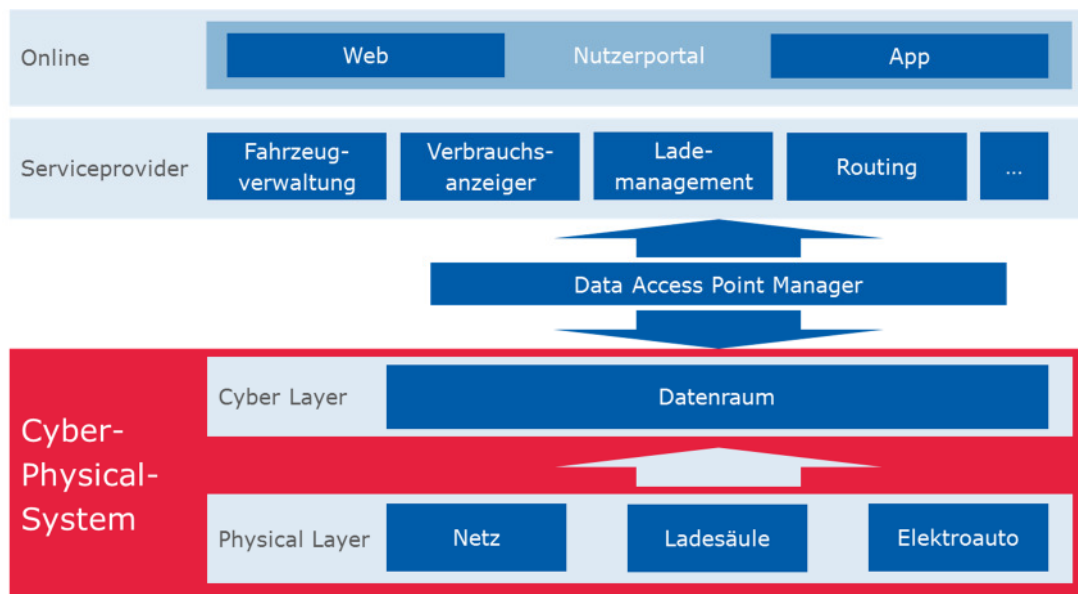


Abbildung 143: Architektur Cyber Physical System¹⁶²

Hypothese: Integration von E-Mobilität mit Erneuerbaren Energien durch CPS

Bezogen auf die Nutzung von E-Autos zur Stabilisierung von Smart Grids und damit höheren Systemebenen könnte ein CPS eine zentrale Rolle spielen. Das Ausbalancieren von Angebot und Nachfrage auf dezentraler Ebene ist aufgrund der theoretisch umsetzbaren Dynamik, die aus der Steuerung vieler kleiner Einheiten besteht, sehr attraktiv. Diese Kleinteiligkeit muss aber entsprechend organisiert werden, was die Integration sämtlicher relevanter Daten aus der physikalischen Ebene auf der Cyber-Ebene fordert, sodass Einheiten

¹⁶² Eigene Darstellung

systemdienlich bzw. intelligent gesteuert werden können. Das Lademanagement von einzelnen und im Verbunden zentral kontrollierten Fahrzeugen (Flotten) könnte durch die Verbindung zwischen Auto inklusive Batterie als maßgebliche physikalische Ebene mit Algorithmen aus der Cyber-Ebene so betrieben werden, dass E-Autos dann geladen oder entladen werden, wenn es für die unterschiedlichen Marktparteien für ihre jeweilige Zielerreichung optimal ist.

Hypothese:

Der Einsatz von Elektroautos, die über ein CPS gesteuert werden, trägt signifikant zur Modernisierung des Energiesystems bei!

Die physische Ebene

E-Autos, die funktional als Quelle für Netzstabilität geeignet sind, müssen auf der physikalischen Ebene entsprechend ausgestattet sein. Neben den mechanischen und elektrischen Teilen müssen also vor allem die technischen Attribute gegeben sein, welche nicht nur Daten aus dem direkten Umfeld des Fahrzeuges erfassen und an die Cyber-Komponente senden, sondern auch eingehende Betriebsanweisungen entgegennehmen und umsetzen können. Zusätzlich zu einer stetigen Kommunikations-Netzwerkanbindung, die diese beiden Kommunikationsstränge in „quasi“ Echtzeit möglich macht, besteht die physikalische Ebene des CPS aus Sensoren, Aktuatoren, Datenspeichern, einem eingebetteten Betriebssystem, Benutzeroberfläche und Mikroprozessoren. Sie senden Daten aus dem Fahrzeug über Verbrauch, verfügbaren Speicher, Alterungsgrad der einzelnen Zellen und Fahrverhalten samt Anforderungen bzw. Bedarfe der Nutzer aus ggf. sonstigen Quellen an den zentralen Informationshub, welche sie durch die Verknüpfung mit externen Datenquellen z.B. Zustand des Energiesystems, lokale Erzeugungsprognose, Wetterdaten etc. zu aussagekräftigen Informationen umwandelt.

Die Cyber-Ebene

Um aus Daten aussagekräftige Informationen zu gewinnen, welche als Entscheidungsgrundlage Funktionen von Produkten bestimmen, braucht es ausgefeilte Datenverarbeitungsmechanismen in Form von computergestützten Analysetools. Ziel dieser in der Cyber-Ebene angesiedelten Informationstechnologie ist die Realisierung intelligenter, resilienter und sich eigenständig an Umstände anpassenden Maschinen, sodass sowohl die Produktivität als auch die Effizienz und die Qualität der Systeme verbessert werden kann, von denen sie ein Teil sind. Die Physikalische Ebene ist mit der Cyber-Ebene über eine Schnittstelle verbunden, sodass sich Maschinen unkompliziert registrieren können um dann Daten zu vermitteln, welche in der Cyber-Ebene mit Algorithmen ausgewertet werden. Ergebnis ist die Betriebsanweisung, die zurück an die Maschine kommuniziert wird.

Entscheidender Baustein in der Architektur eines CPS sind die in der Cyber-Ebene zum Einsatz kommenden Algorithmen. Sie bestimmen durch das intelligente und zielführende Kombinieren mit Daten aus anderen Quellen, wie sich welche Maschine zur Optimierung des Gesamtsystems verhalten soll. Damit ist die Qualität der Auswertung der Datenströme, welche in die Cyber-Ebene fließen maßgeblicher Wettbewerbsfaktor. Welche Daten wie miteinander verbunden werden, sodass Wettbewerbsfähigkeit entsteht, hängt ganz von den unterschiedlichen Zielstellungen der Akteure der neuen Energiemärkte ab.

Das Data-Access-Point Manager (DAM) Konzept als Datenkoordinator

Fest steht, dass der Beitrag, den E-Autos zur Netzsicherheit liefern können größer wird, je enger an der Energieversorgung beteiligte Einheiten miteinander vernetzt sind. Gesonderte Register, Kommunikations- und Dienstleistungsplattformen von beispielsweise Übertragungsnetzanbietern reichen also nicht mehr aus, um die Anforderungen an die Bereitstellung von Information eines von Unvorhersehbarkeit und Volatilität geprägten Energienetzes zu erfüllen. Stattdessen müssen solche Register, fachbezogene Datenbanken oder Plattformen für Marktakteure einfach zugänglich sein, wofür sie konsolidiert werden müssen. Eine Konsolidierung würde die standardisierte Registrierung, Speicherung und Ausgabe von Daten an Nutzer beinhalten. Statt unterschiedliche Plattformen und Register für das Bewerkstelligen von Dienstleistungen im Zusammenhang mit der Energiewende aufsuchen zu müssen, könnten Akteure effektiv und effizient eine solche zentral organisierte oder zumindest konzeptionierte Lösung nutzen.

Diese komplexe Koordination könnte durch ein DAM-Konzept geleistet werden. Ein entsprechender DAM würde Daten von Stakeholdern aus dem Energie- und Mobilitätsbereich empfangen, registrieren und lediglich in relevanten Auszügen speichern, um sie dann Nutzern für spezifische Anfragen zur Verfügung zu stellen. Gedanklich ist ein DAM eine Analogie zu einem Telefonbuch welches zwar alle Anschlüsse „kennt“ aber wenn A mit B in Kontakt treten will müssen die Akteure eigenständig handeln.

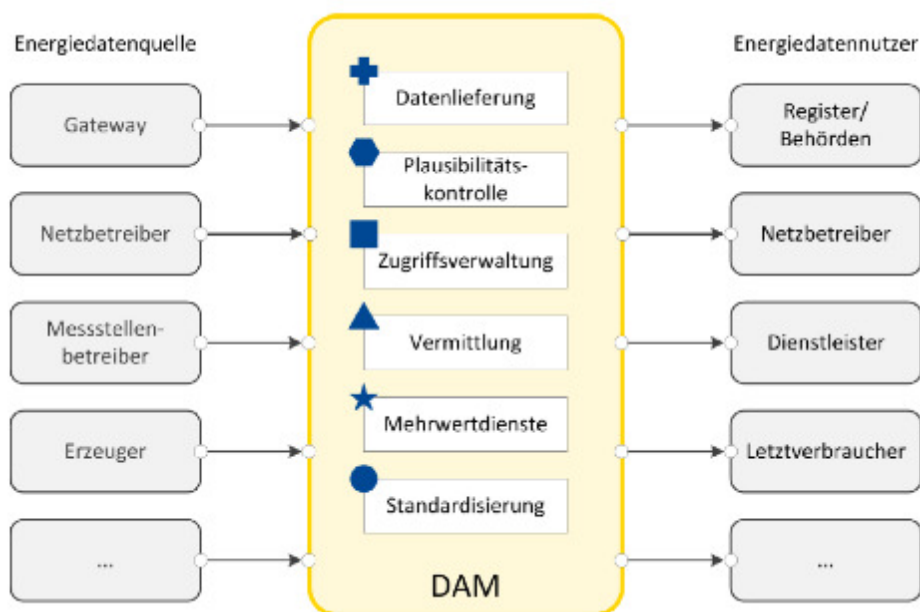


Abbildung 144: Funktionen eines DAM¹⁶³

Energiedatennutzer, wie z.B. künftige Dienstleister im Bereich Flexibilität, könnten Anfragen an bestimmte Daten an den DAM stellen, welcher nach erfolgreicher Prüfung der Berechtigung Zugang zu Datenbanken oder anderen Datenquellen erzeugt und die

¹⁶³ Quelle: Präsentation des BDI-IDE für die Unterarbeitsgruppe DAM der BMWi-AG Intelligente Netze und Zähler

Berlin, 21. Oktober 2013

angefragten Daten übermittelt. Alternativ könnte der DAM informieren, wo die Daten in Echtzeit beschaffen werden können. Weitere Funktionen des DAM wären die Registrierung neuer oder die Umstrukturierung von vorliegenden Daten in bestehenden Datenbanken oder anderen Datenquellen. Damit würden der DAM die umfassende Unterstützung von Smart Grids und Smart Marktes liefern, welche für das optimierte Nutzen von systeminhärenten Flexibilitäten Voraussetzung ist. Die Frage, wer ein solches System verwalten soll und auf welchen geografischen oder virtuellen Raum es sich bezieht, ist ungeklärt.

Das Energieinformationsnetz im DAM-Modell

Die mögliche Etablierung des Energieinformationsnetzes in Deutschland würde Prozessschritte bei der Entwicklung des Energiemarktes vorsehen, welche dem DAM-Konzept entsprechen sollten: Stammdatenregister sollen synchronisiert werden, Stammdaten ausgetauscht und die wachsende Anzahl von Akteuren im Energiemarkt einheitlich und effizient in den Informationsaustausch integriert werden. Übergreifendes Ziel des Energieinformationsnetzes ist es Übertragungsnetzbetreiber mit all den Informationen auszustatten, welche benötigt sind, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb des Übertragungsnetzes zu gewährleisten. Um ihre Aktivitäten sinnvoll mit denen anderer Netzbetreiber zu koordinieren, müssen diese technisch mit all denjenigen verbunden sein, die dafür notwendige Informationen haben.

Ebenso soll durch die breite Vernetzung von Netzbetreibern sichergestellt werden, dass sie eine aussagekräftige Leistungsbilanz für ihren Verantwortungsbereich erstellen können. Die Weiterentwicklung des Energieinformationsnetzes sieht unter anderem auch den Einbezug relevanter Marktrollen, wie zum Beispiel künftige Endkunden als Prosumer oder zahlreiche Anbieter flexibilitätsbezogener Produkte oder Dienstleistungen.

Da es bei der Vielzahl der Akteure voraussichtlich nicht einen zentralen Ansatz geben wird – ebenso wenig wie sich ein völlig dezentrales Konzept durchsetzen wird, empfiehlt die BDI-IDE Arbeitsgruppe¹⁶⁴ eine Mischform.

- Somit steht Energiedatennutzern steht ein standardisierter Datenzugriff über zentrale Portale zur Verfügung
- Die Datenaggregation entlastet Marktpartner, reduziert den Gesamtimplementierungs- und den Kommunikationsaufwand
- Datenaggregation kann als Dienstleistung von sachkundigen Unternehmen (wenige Datenaggregatoren in Deutschland) angeboten werden und wirkt einer möglichen Datenmonopolisierung entgegen
- Die Umsetzung als Mischform ist hinsichtlich Verfügbarkeit und sicherheitsrelevanter Aspekte überlegen und Verhindert die Nachteile der Umsetzungsvariante „Dezentral“ und implementiert gleichzeitig die Vorteile einer zentralen DAM-Umsetzungsform

¹⁶⁴ Siehe auch: <http://bdi-ide.de/>

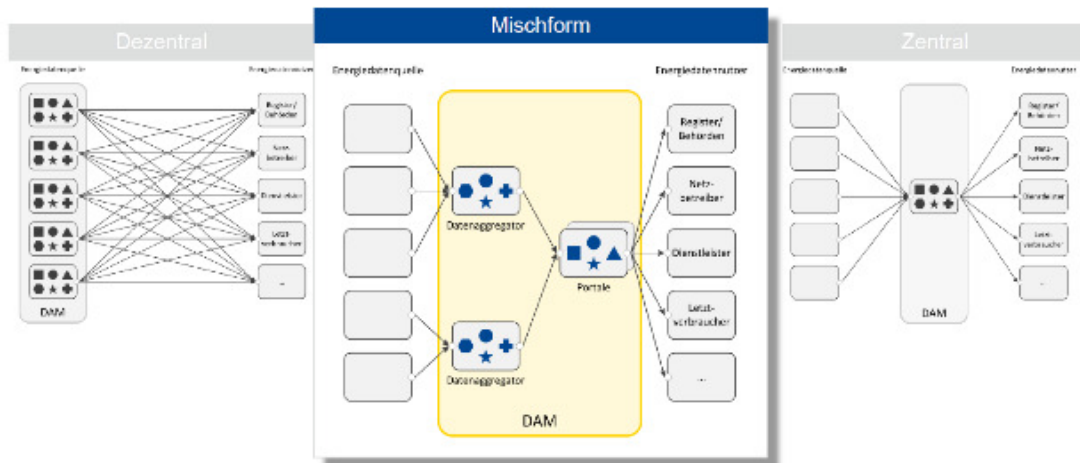


Abbildung 145: Mischform eines DAM Umsetzungskonzeptes

Das DAM-Konzept kann solche konzeptuellen Überlegungen informationstechnisch realisierbar machen. Auf europäischer Ebene wird ebenfalls eine Technologiebasis in der Marktkommunikation des Energiemarktes entworfen, welche unter Berücksichtigung bestehender Systeme die prozessualen Anforderungen an die Energiemärkte der Zukunft bestimmen und mit bestehender Technologie umsetzen soll. Intelligente Messsysteme, Datenkommunikation und Lastmanagement sollen dabei im Kontext der langfristigen Implementierung eines intelligenten Energienetzwerkes in Deutschland ausschlaggebende Parameter sein.

Zielstellungen der einzelnen Stakeholder im künftigen Energiemarkt

Sollen nationale Ziele der Bundesregierung zum Klimaschutz und damit zur Reduktion von Treibhausgasen mittel- und langfristig erreicht werden, muss sowohl das Energiesystem als auch die Mobilität dekarbonisiert werden. Um den dabei entstehenden Herausforderungen wirtschaftlich begegnen zu können, wird es neue Märkte für Produkte und Dienstleistungen geben, welche bei der Integration von Erneuerbaren Energien und Mobilität zum Aufbau einer klimafreundlichen Energieinfrastruktur eine wichtige Rolle spielen. Dabei wird sich nicht nur die Anzahl von Marktakteuren und angebotenen Dienstleistungen / Produkten erhöhen, sondern auch die Aufgabenbereiche und Verantwortungen bestehender Marktteilnehmer erweitern.

Der Einbezug von heutigen Energieendkunden im Rahmen der Nachfragesteuerung zur Ausnutzung von Flexibilitäten einerseits und des Konzeptes der Lastenkopplung andererseits, muss den Konsumenten zum „Prosumer“ entwickeln. Damit werden Speicher und Flexibilität als Komponente des Nachfragespektrums im Energiemarkt etabliert und der Energiekonsument wird zum Energiesystempartner. Ein anderes Beispiel ist die Ausweitung der Rolle des Verteilnetzbetreibers von seiner heute passiven zu einer in den Einzelheiten noch unklar ganzheitlicheren Funktion für die optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden Flexibilitätsressourcen. Insbesondere aus Aspekten des Unbundlings besteht hier weiterer Klärungsbedarf.

Interoperable Ladelösungen von Fahrzeugen müssen dabei unterschiedliche Ziele berücksichtigen. In Bezug auf die Nutzung von elektrischen Autos gibt es zwei grobe Zielstellungen im Markt, die durch Preismechanismen unterstützt werden müssen:

1. Elektroautos sollen aus Sicht der Endverbraucher ausgehend von Elektrizitätspreisen so günstig wie möglich geladen werden können
2. Elektroautos sollen für Verteilnetzbetreiber dazu dienen Flexibilität nutzbar zu machen.

Analysen gehen davon aus, dass der Kapitalwert von kontrolliertem Lademanagement dadurch um bis zu 20% höher sein könnte als der von unkontrolliertem Lademanagement. Idealerweise werden diese Perspektiven auf die Funktionen des Lademanagements in einem flexiblen Stromtarif integriert werden, der nicht nur die Netznutzung umfasst, sondern auch die wirtschaftlichen Störungen von Handelspreisen minimiert. Preissignale an sich reichen nicht aus, denn sie würden die Nachfrage in lokalen Netzen bei unzureichender Kapazität in die Höhe treiben. Letzteres geht aus der mit dem wachsenden Anteil von erneuerbaren Energien schwindenden Korrelation zwischen Strommarktpreis und lokaler Netzlast hervor. Dem Management von Überbelastungen des Stromnetzes kommt damit eine neue Bedeutung zu. Aufwändige Algorithmen, welche die verfügbare Netzkapazität mit dem Strompreis wirtschaftlich vereint, setzen einen beachtlichen Informationsaustausch zwischen den Akteuren voraus. Vielversprechend ist das Festlegen von Zeitfenstern als Optimierungszeiträume, in denen Ladevorgänge zum besten Preis ausgeführt werden sollen. Eine zeitliche Entzerrung von Nachfragehochs bedeutet nur minimale oder keine Mehrkosten für den Nutzer und signifikante Einsparungen für den Netzbetreiber durch perspektivisch vermiedenen Netzausbau. Klare Anreize für den Aufbau einer solchen Struktur fehlen bisher jedoch.

Szenarien und Epics

Um den bislang beschriebenen theoretischen Teil mit praktischen Ansätzen zu verproben und daraus die Überprüfung der Hypothese ableiten zu können werden im Folgenden die zentralen User-Stories des IMEI Projektes beschrieben.

Allgemeine Erläuterungen

Systemstabilisierendes Lastmanagement kann von angeschlossenen Verbrauchern und Erzeugern geleistet werden, die eine entsprechende Leistungselektronik, Speicherkapazität und Kommunikationsanbindung haben. Daneben sind auch Nutzungsprofile entscheidend dafür, ob mit dem Smart Grid verbundene Technologien kleinteilige regionale/dezentrale Regelleistungen erbringen können. Elektroautos entsprechen diesen Voraussetzungen, sind aber als einzeln gesehene Komponenten des Stromnetzes nicht leistungsfähig genug, um dem Bedarf des Stromnetzes von Morgen an flexibel verschiebbaren Lasten zu entsprechen. Damit stellt sich eine zentrale Frage:

Elektroautos können dabei entweder **schwarmbasiert oder flottenbasiert** zu einem Großverbraucher zusammengeschlossen werden. Der Unterschied zwischen den beiden Ansätzen ist, dass sich die Einheiten im schwarmbasierten Ansatz in ihren systemunterstützenden Diensten absprechen und damit Peer-to-Peer Kommunikation betreiben. Dienstleistungen zur Unterstützung der Netzstabilität durch E-Autos als Flotte werden demgegenüber zentral von einem Flottenmanager gesteuert.

Nachfolgende Abbildung zeigt wie sich scharmgesteuerte und flottengesteuerte Fahrzeuge in einem Netz verteilen könnten und somit auch an welchen Knoten ggf. Lastspitzen auftreten können. Wichtig ist bei der Betrachtung die Gleichzeitigkeit eines Steuerungssignals um über die Auswirkungen im Netz etwas sagen zu können. Die Verfügbarkeit und der Ladezustand der einzelnen Fahrzeuge geben dazu weitere Komplexität in eine theoretische Betrachtung der Optionen.

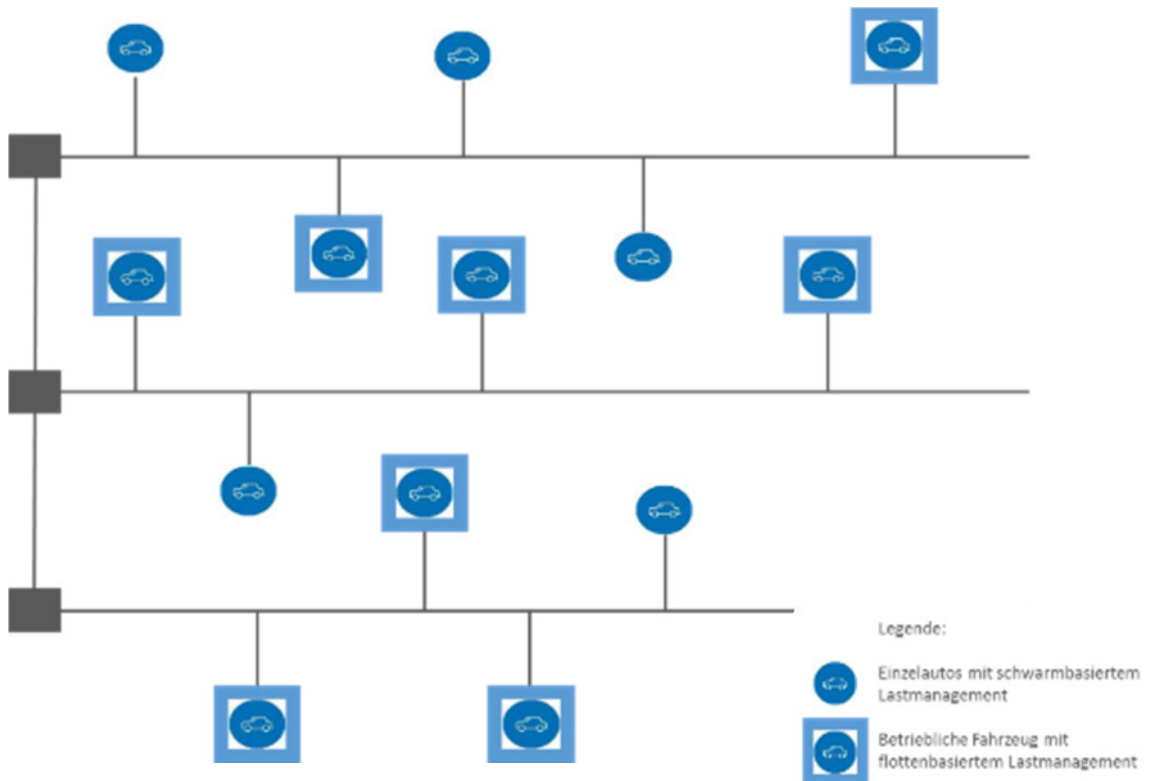


Abbildung 146: Verteilung von Fahrzeugen in einem Netzgebiet

Herausforderungen dieser Marktsituation, wie beispielsweise die Priorisierung von Ladebedürfnissen bei begrenzter Kapazität des Netzes werden nicht weiter angesprochen sind aber ein signifikantes reales Problem!

Methode

Dieses Kapitel beschreibt User-Stories, welche die Nutzung eines CPS zur Verbindung systemstabilisierender Einheiten greifbar machen sollen. Der Tatsache geschuldet, dass der Smart Market eine in seiner Funktion noch unabsehbare Anzahl von neuen Teilnehmern aufweist, werden lediglich ausgesuchte (IMEI) Szenarien angenommen, die aus einer begrenzten Anzahl von Perspektiven beleuchtet werden. Im Folgenden werden zwei Szenarien angenommen:

1. die schwarmbasierte Nutzung von privaten E-Autos zur Unterstützung von Stabilität
2. die Nutzung von E-Autos als eine betriebliche Flotte.

Weitere Szenarien wären u.a. der schwarmbasierte Betrieb von Elektroautos in einem Arealnetz oder der flottenbasierte Ansatz für neue Nutzermodelle, wie beispielsweise Carsharing-Systeme.

Zu jedem Szenario werden Epics aus den Perspektiven der wichtigsten Stakeholder, welche an den Szenarien beteiligt sind, generiert (Tabelle 1). Szenario-Analysen und User-Stories zeichnen sich durch ihr niedriges Level an Detaillierung aus, welches Diskussionen anregt und somit neue Aspekte des Forschungsgegenstandes beleuchtet. Damit gelten sie als angemessene Methode für Forschungsgegenstände, die einen hohen Level an Unsicherheit aufweisen. Vorteil der Nutzung von User-Stories ist damit die übersichtliche Darstellung der verschiedenen Prozesse, welche zeitgleich, aber für die Akteure unterschiedlich sichtbar passieren.

Perspektive	Szenario 1: Schwarmbasiertes Lastmanagement	Szenario 2: Flottenbasiertes Lastmanagement
Fahrer E-Auto	Epic 1.1	Epic 2.1
Flottenmanager		Epic 2.2
Mobility Service Provider(MSP)	Epic 1.2	Epic 2.3
Smart Market Dienstleister	Epic 1.3	Epic 2.4
Netzbetreiber	Epic 1.4	Epic 2.5

Tabelle 16: Epics nach Stakeholder-Perspektive

Szenario 1: Schwarmbasiertes Lademanagement

Epic 1.1 Perspektive des privaten Autobesitzer

Der private Besitzer eines Elektroautos mit vom Ladestationsbetreiber bereitgestellten Ladestation zu Hause steigt morgens in sein für 200km geladenes Fahrzeug ein, um zu einem Kundentermin 100km entfernt zu fahren. Beim Einsteigen verbindet sich die Software auf dem Smartphone direkt mit der Software des Autos und synchronisierte Daten werden auf den Bildschirm des Autos übertragen. Zu sehen ist eine Landkarte, die nicht nur die Ladestationen entlang der geplanten Route, sondern auch den Preis von einer kWh im Rahmen des flexiblen Tarifes beim MSP anzeigt. Die Ladesäule, welche die beste Wahl für den Fahrer darstellt ist markiert. Diese Funktion erschließt sich aus der quasi Echtzeitverknüpfung von Daten des Fahrerprofils mit den Daten der Energiesystemsituation, welche über einen Zeitraum von fünf Tagen optimiert wurden.

Durch das Teilen der Nutzerprofildaten mit dem MSP und dadurch auch mit dem Netzbetreiber werden sowohl reduzierte Netzentgelte als auch Gutschriften durch das Bereitstellen des Autos als Speicher auf den Strompreis als einfache Messgröße übertragen. Mit einem Klick lässt sich dieser Preis auf einem Dashboard in seine Einzelteile zerlegen, sodass der Nutzer die Preisbildung, welche aus der Kombination der unterschiedlichen Dienstleistungen besteht, nachvollziehen kann. Für den Nutzer bedeutet das Transparenz darüber, wann er wo unter Berücksichtigung seiner Routenplanung am günstigsten laden kann. Außerdem zeigt die Fahranzeige den Ladestand der Batterie, die verbleibende

Reichweite und restliche Lebenszeit unter Berücksichtigung des individuellen Fahrerprofils an.

Der Bildschirm zeigt einen ausgesprochen günstigen Strompreis an einer Tankstelle in der unmittelbaren Nähe seines Kunden an und gibt vor auf dem Rückweg voll zu tanken um diesen Strom gegen 19Uhr an der Station zu Hause zurück ins Netz zu speisen. Die Batterie soll dann gegen 5Uhr morgens wieder voll aufgetankt werden, denn am nächsten Morgen muss der Nutzer sehr früh zum Flughafen, wo die Batterie ebenfalls als flexible Last genutzt wird. Gleichzeitig wird dargestellt, in wie fern diese Prozedur günstiger ist als unkontrolliertes Lademanagement, indem Einsparungen dargestellt werden. Der Nutzer nahm vor einer im Tarif festgelegten Zeit in ebenfalls festgelegter Zeitspanne das Angebot durch einen Klick an, welcher die Betriebsanweisungen für den vorgesehenen Zeitplan aktivierte.

Eine Software bestimmt auch die Routenplanung unter Berücksichtigung des optimierten Lademanagements. Das Navigationssystem gibt unter Berücksichtigung von öffentlichen Daten, wie Verkehr und Wetter, die effizienteste Route vor und zeigt den Einfluss auf die Lebensdauer der Batterie. Wieder durch eine im Auto installierte Software wird dem Nutzer angezeigt, welche technischen Updates zur Verfügung stehen, um Leistungskennzahlen zu optimieren: Betriebskosten, Reichweite, Speicherkapazität, Batterielebensdauer. Der Wert von Einsparmöglichkeiten aus einzelnen Updates oder kombinierten Systemen wird transparent angezeigt, sodass der Nutzer entscheiden kann, ob er über den Dienstleister die Funktion erwerben möchte.

Der Fahrer fährt durch das Navigationssystem geleitet zu seinem Kunden und stellt sein Auto zum Laden an die Ladesäule. Dort kann es nach dem Laden so lange stehen bleiben, bis sein Handy ihm die Nachricht zukommen lässt, dass er die Säule für ein anderes Fahrzeug frei machen muss. Die dazugehörige Software zeigt ihm an, dass mit 80%iger Wahrscheinlichkeit in den nächsten zwei Stunden keiner diese Säule benutzen möchte.

Der Fahrer kommt von seinem Geschäftstermin wieder, steigt in sein Auto und sieht auf dem Nutzerbildschirm Rechnungsinformationen über den letzten Ladevorgang: Anzahl der kWh und Preis. Er legt die Rechnung mit einem Klick in einen dafür bestimmten Ordner ab, auf den er von all seinen Geräten Zugriff hat und fährt über die wie oben beschriebenen Route nach Hause. Dort schließt er das Auto an die Ladestation, welche den Strom automatisch gegen 19Uhr ins Netz einspeisen wird.

Epic 1.2 Perspektive des MSP

Der MSP sieht auf seinem zentralen Dashboard relevante Informationen zu seinen Kunden auf der einen Seite und die Bedarfe des Energiemarktes auf der anderen Seite. Seine Aufgabe ist es, diese beiden Komponenten so effektiv für einen vordefinierten Zeitraum miteinander zu verbinden, wie nur möglich. Seine Einnahmequelle speist sich aus der erfolgreichen Paarung von Bedarfen an E-Autos als Quelle von Flexibilität mit dem Mobilitätsbedarf einzelner Fahrzeugnutzer. Technische und mechanische Daten der Fahrzeuge seiner Kunden stehen ihm durch die Registrierung bei Beginn der Geschäftslaufzeit zur Verfügung und können bei Bedarf abgerufen werden. Durch eine Software ist er mit dem Auto und dessen Fahrer verbunden, welche ihm Zugriff zu einer vertragliche festgelegten Datenauswahl sichert: Kilometerstand, den aktuellen Ladezustand der Batterie, restliche Reichweite, momentanen Einsatz des Fahrzeuges incl. Fahrerdaten und geografischer Ortung, sowie die

durch Algorithmen aktuell geplante Nutzung des Autos. Diese Daten darf er nicht an weitere Teilnehmer des Marktes weitergeben und muss sie angemessen schützen. Die Software ermöglicht ihm den relevanten Teil dieser Daten übersichtlich auf dem Dashboard sehen zu können. Nach demselben Prinzip sieht er Daten des Netzbetreibers, die ihm sagen, zu welchem Preis er welchen Einsatz des jeweiligen Fahrzeuges entlang der vom Fahrer geplanten Route anbieten kann. Zur Messung seiner eigenen Leistung hat der Nutzer unter anderen Kennzahlen übersichtlich dargestellt, wie viel Flexibilität er aus der erfolgreichen Vermittlung von Bedarfen an private Fahrer für den Netzbetreiber erschlossen hat.

Auf das Aufrufen der dafür vorgesehenen Funktion öffnet sich ein Fenster, in dem der Nutzer die Übereinstimmung von Nachfrage und Angebot im Detail prüfen kann und konkrete Angebote für die registrierten Fahrer definieren kann. Durch die erwartete hohe bedarfsunabhängige Einspeisung gegen frühen Nachmittag und eine reduzierte Einspeisung gegen Abend (hohe Nachfrage) bietet der Stromanbieter niedrige Preise während der Lastspitzzeit am Nachmittag und zahlt für die Einspeisung am Abend. Der Nutzer sucht ein dazu passende Kombination von Fahrerprofilen, indem er Daten zu Speicherkapazität, geplanter Einsatzradius und Einsatzzeiten der registrierten Fahrzeuge abgleicht. Sobald er eine Kombination an Fahrern gefunden hat, die auf das Bedarfsprofil passt, wird ein automatisches Angebot an jeden einzelnen Fahrer erstellt, das alle relevanten Informationen zu den Bedingungen enthält, unter denen die dargestellten Preise gelten. Über eine mit den Fahrern verbundene Software schickt er die Angebote ab. Innerhalb des Geltungszeitraumes erreichen ihn die Annahmestätigungen, welche er in sein System einträgt. Sobald die zugesagte Regellast akkumuliert dem Bedarf entspricht, der in der Ausschreibung des Netzbetreibers gefordert war, verfällt das Angebot für die übrigen Fahrzeughalter. Automatisch werden Betriebsfunktionen an die Software des Autos des Nutzers geschickt. Ebenfalls werden Daten zur Bereitstellung der damit verbundenen Flexibilität an den Netzbetreiber und den Stromversorger geschickt. Die Anzeige von Bedarfen aktualisiert sich dadurch stetig.

In einem weiteren Fenster hat der Nutzer die Möglichkeit zu sehen, welche Fahrten mit welchen Flexibilitätsdienstleistungen entsprechend der Bedarfe des Netzbetreibers bestätigt wurden und welchen Status die einzelnen Komponenten (Laden, Einspeisen) haben. Der Nutzer erhält eine Meldung, wenn der Fahrer seine Batterie am frühen Nachmittag aufgeladen hat, wobei der Status des Teilauftrages von „bestätigt“ auf „abgeschlossen“ gesetzt wird. Die Servicegebühr, welche vertraglich mit dem Stromanbieter für eine solche Leistung festgelegt ist, wird damit automatisch als Posten auf die Rechnung an den Stromanbieter gesetzt. Kurz darauf erreicht ihn die Rechnung des Stromanbieters in ihren einzelnen Komponenten, welche in die Rechnung des Nutzers integriert wird. Die vollständige Rechnung wird an die Software des Fahrers geschickt. Eine zweite Meldung geht ein, wenn der restliche Strom aus der Batterie abends zurück ins Netz gespeist wurde, was die oben beschriebenen Konsequenzen bezüglich der Statusanzeige hat. Jetzt erhält der Nutzer eine detaillierte Gutschrift des Stromanbieters, welche er abermals in den bestehenden Rechnungsposten aufnimmt, dessen Update er an die Software der Fahrer schickt. Auch hier bedeutet die erfolgreich abgeschlossene Teilleistung das Erheben einer Gebühr, die auf den Posten des Stromanbieters gesetzt wird. Wann ein Posten abgeschlossen und sowohl den Fahrern, als auch dem Stromanbieter in Rechnung gestellt werden kann, bestimmt der jeweilige Tarif mit der jeweiligen Partei.

Epic 1.3 Perspektive des Smart Market Dienstleisters

Der Dienstleister hat eine Software entwickelt, welche die Reichweite von in Fahrzeugen eingebauten Batterien erhöhen kann. Um den Mehrwert der Funktion für jeden einzelnen Fahrer demonstrieren zu können, sodass dieser die Anwendung letztendlich auch erwirbt, braucht die Software Daten aus dem Nutzerprofil des Fahrers, Betriebsdaten aus dem Fahrzeug, sowie Auskunft über die Verkehrssituation und Wetterbedingungen. Die beiden letzteren Informationen sind über entsprechende Portale frei zugänglich – Einsicht in die Profile und den technischen Zustand des Fahrzeuges unterliegen aber einem Datenschutz, sodass hier kein direkter Zugriff besteht. Deshalb hat der Nutzer einen Vertrag mit dem MSP geschlossen, dessen Gegenstand die Weiterleitung von festgelegten Daten der Kunden des MSP unter deren Einverständnis ist. Der am individuellen Fahrprofil ausgerichtete Mehrwert der Software des Nutzers wird über den Zugang des MSP auf die Software seiner Kunden an diese weitergeleitet. Falls der Kunde die Software des Nutzers erwirbt, erhebt der MSP für den Vermittlungsservice eine ebenfalls im Vertrag festgelegte Gebühr.

Der Nutzer erhält die Daten eines neu registrierten Kunden des MSP, der zugestimmt hat, dass seine Profildaten an Softwaredienstleister weitergegeben werden dürfen, welche Optimierungen in Reichweite und Lebensdauer seiner Autobatterie anbieten. Der Nutzer legt in seinem Kundenregister einen neuen Account an, indem er die Informationen zur Zugriffsberechtigungen dokumentiert. Bei Vollständigkeit der Angaben ist der Nutzer dazu befähigt eine Software im Fahrzeug des Kunden vom MSP zu installieren. Der Nutzer aktiviert die Installation der Software. Sobald die Installation erfolgreich abgeschlossen wurde erreicht den Nutzer eine Bestätigung, welche die Aktivierung eines weiteren Bereiches im neuen Account auslöst. Hier sieht der Nutzer alle Daten, auf welche die beim Fahrer installierte Software zugreift, sodass sie den Algorithmus für die Bestimmung des Optimierungspotentials in Abhängigkeit der Profildaten anwenden kann. Damit verbindet die Software den Nutzer mit dem Fahrer und vermittelt Profil- und Optimierungsdaten, welche in einer Datenbank des Nutzers gespeichert werden.

Epic 1.4 Perspektive des Netzbetreibers

Der Nutzer – also z.B. ein Mitarbeiter in der Netzleitwarte sieht auf seinem zentralen Dashboard sein Netzgebiet und die an sein Verteilnetz angeschlossenen Verbraucher und Erzeuger mit bidirektionalen Energieflüssen in komprimierter Form. Dazu wird ihm angezeigt, wie sich die wichtigsten Systemparameter Spannung und Frequenz (z.B. sehr einfach farblich dargestellt) durch Aktivitäten der angeschlossenen Verbraucher und Erzeuger verhalten. Mithilfe der Einspeisung von Daten der Messstellenbetreiber kann er auf Abruf nicht nur aktuelle Netzzustandsdaten auf relevanten Spannungsebenen ablesen, sondern auch Prognosen von Verbrauchsprofile. Als Bilanz dieser Eingangsgrößen erhält er Leistungskennzahlen über die aktuelle Netzleistungsfähigkeit, die er mit dem Soll-Wert als technischer Standard vergleicht. Je weiter die Werte voneinander entfernt liegen, desto mehr Maßnahmen müssen zur Optimierung eingeleitet werden. Durch starke Regularien, die in den letzten Jahren zur Energieeffizienz eingeführt wurden, ist seine Aufgabe vor allem angezeigte Verfügbarkeit von Energieerzeugung nutzbar zu machen, statt sie abregeln zu müssen. Dazu ermittelt er die optimale Auslegung seines Netzes, bei der das Einspeiseverhalten aller verbundenen Marktteilnehmer so koordiniert wird, dass das Spannungsband gehalten wird. Um diese Aufgabe zu bewerkstelligen bekommt er von den MSP einen Überblick über verfügbare Quellen von Flexibilität in Form von verbundenen

Technologien, deren aktueller und bidirektionaler Stromfluss angezeigt wird. Außerdem hat der Nutzer Zugriff auf eine Liste von angemeldeten Schaltmaßnahmen, welche ihm in Kombination mit den Verbrauchs- und Einspeisungsprognosen ermöglichen, den künftigen Netzzustand zu berechnen.

Die erhöhte Einspeisung am frühen Nachmittag bei geringen Verbrauchsprofilen deutet eine erwartete Überlastung des Netzes an, sodass systemstabilisierende Maßnahmen früh genug eingeleitet wurden. Nach einem eigens festgelegten Schlüssel, welcher den Wert von Flexibilität nach den Kosten der notwendigen Modernisierung seiner Netzstruktur festlegt, schrieb er rechtzeitig den Bedarf an Lastverschiebung bei allen MSPs aus, mit denen er vertraglich zusammenarbeitet. Die Ausschreibung enthielt die gewöhnlichen Angaben darüber, welche Regelleistung er zu welchem Zeitpunkt braucht und welchen Preis er für welche Abweichung im Rahmen der tolerierten Varianz der angefragten Menge bezahlt. Dafür hat der Netzbetreiber Kriterien definiert, die bestimmen in welchen Fällen Reservekraftwerke genutzt werden und wann auf virtuelle Kraftwerke in Form von gesteuerten Einheiten zurückgegriffen wird. Die stark reduzierte Verfügbarkeit als Folge der sukzessiven Abschaltung von alten Kohle- und Gaskraftwerken hat dies notwendig gemacht. Der Grad der am Nachmittag erwarteten Abweichung von der Sollfrequenz ist niedrig genug, sodass sich bei der Ausschreibung auf die konsolidierte Regelleistung von E-Autos verlassen wurde.

Der Nutzer bekam im vorgegebenen Zeitrahmen eine Bestätigung des MSP, die sowohl Daten der Fahrzeuge, als auch der Ladesäulenbetreiber enthält, sodass er nachvollziehen kann, wie die bestätigte Regelleistung zu Stande kommt. Eine Funktion seiner Software zeigt ihm zur Kontrolle die für seinen Regelleistungsbedarf aktiven Netzelemente dann an, wenn die Regelleistung vollzogen werden soll. Am frühen Nachmittag sieht er also eine Anzeige, welche ihm durch Echtzeitdaten aus den Batterie- Ladesäulen- und Netzzuständen versichert, dass auch die vom MSP disponierten Fahrzeuge die bestätigte Regelleistung nach Plan erbringen. Bei erfolgreichem Abschluss dieser Leistung wird eine Bestätigung an die Finanzabteilung geschickt, welche unter Verfügbarkeit der relevanten Lade- und Fahrzeugdaten Gutschriften ausstellt, die dann an den MSP gesendet werden.

Szenario 2: Flottenbasiertes Lademanagement

Epic 2.1 Perspektive des Flottenmanagers

Der Nutzer öffnet sein Dashboard für das betriebliche Flottenmanagement. Angezeigt wird ihm ein Überblick über die aktuelle Flotte unterteilt in Produktinformationen, historische Informationen und Echtzeitinformationen, welche mit einem Klick im Detail eingesehen und in verschiedenen Darstellungen kombiniert werden können. Ersteres zeigt sowohl mechanische Informationen, wie Batteriegröße oder Baujahr, als auch technische Informationen, wie eingebautes Betriebssystem, Informationen zur Sensorausstattung, genutzter Kommunikationsnetzwerke und installierte Software. Historische Informationen beziehen sich auf Reparatur- und Wartungsdokumentationen, Fehlermeldungen oder Fahrtenbücher. Echtzeitinformationen beschreiben den aktuellen Kilometerstand, den aktuellen Ladezustand der Batterie, restliche Reichweite, momentanen Einsatz des Fahrzeuges incl. Fahrerdaten und geografischer Ortung, sowie die durch Algorithmen aktuell geplante Nutzung des Autos. Die Software gibt außerdem Transparenz über die Terminierte Mitarbeiter, wie Urzeit und Adresse, welche im Planungszeitraum einen Geschäftswagen nutzen werden.

Die Aufgabe des betrieblichen Flottenmanagers ist die möglichst effiziente Disposition der Fahrzeuge unter der Berücksichtigung der Marktdienstleistungen, welche zur wirtschaftlichen Nutzung von E-Autos zur Verfügung stehen. Bei der Registrierung bei seinem MSP hatte der Nutzer die Möglichkeit festzulegen, wie planbar die Lasten sind, die er durch seine Flotte anbieten möchte. Je höher die Bereitschaft Lasten verbindlich anzubieten, desto planbarer das dadurch erzielte Einkommen. Wichtig für ihn zu berücksichtigen ist dabei die Mobilität der Firmenmitarbeiter, welche möglichst schnell und komfortable von A nach B gebracht werden wollen. Um wirtschaftliche und praktische Interessen balancieren zu können, hat er mit seinem MSP einen Preismechanismus vertraglich festgelegt, der den aktuellen Tarif je nach Netzgebiet und Netzsituation anpasst. Sein Dashboard zeigt dem Nutzer den idealen Einsatz der Flotte als virtuellen Großverbraucher über die nächsten fünf Tage aus Sicht der Marktakteure, welche die physikalischen Gegebenheiten des Netzes und damit die Bedürfnisse des Netzbetreibers widerspiegeln. In dieser Rolle optimieren die Marktakteure die vom Netzbetreiber vorgegebenen physikalischen Grenzen wirtschaftlich. Die Marktakteure verfolgen dabei das Ziel regelbare Lasten zur Verfügung stellen zu können und damit Anforderungen des Netzbetreibers an Flexibilität zu erfüllen. Dafür hat der MSP Zugriff auf gewisse Informationen der Flotte, wie z.B. Batteriegröße, installierte Software und aktuelle Standorte. Der Flottenmanager kann nun sein Ist-Szenario am Soll-Szenario, welches von Marktakteuren kommuniziert wird, ausrichten.

Der Nutzer verbindet die vier Informationselemente erst einmal so miteinander, dass eine optimale Route im Sinne der Praktikabilität entsteht. Dabei bekommt er eine detaillierte Kostenauflistung als Preis angezeigt, den dieses Szenario in einer definierten, fließenden Zeitspanne kosten würde. Dieses stimmt er dann durch die Regelung einzelner Parameter mit dem Idealszenario des Mobilitätsanbieters ab, sodass Wirtschaftlichkeit und Praktikabilität in Balance kommen. Dafür priorisiert er bestehende Bedürfnisse verschiedenster Quellen, wie z.B. Reparatur- und Wartungsnotwendigkeiten oder individuelle Wünsche und Zeitpläne der Mitarbeiter. Zu jeder Modifikation des Idealszenarios bekommt er eine Auflistung der Preiskomponenten aufgezeigt, die ihm transparent darstellt, wie hoch die Einsparungen der Anpassung der Flottendisposition an das Idealszenario des MSP ist. Sobald der Nutzer mit dieser Balance zufrieden ist, schickt er als Ausgangsgröße sowohl Betriebsanweisungen an die Fahrzeuge und Fahrer als auch einen Einsatzplan an den MSP durch Aktivierung des angezeigten Angebotes.

Die Einzelkomponenten des Tarifes zu bestellten Konditionen werden dem Nutzer in einem weiteren Feld angezeigt und mit aktuellen Daten abgeglichen. Jegliche Abweichung der Nutzung der Flotte vom vorgesehenen Zeitplan wird mit aktuellen Daten der E-Autos in einem separaten Feld dokumentiert und transparent nach Vertragsvereinbarungen bepreist. Eine Meldung und damit explizite Einsicht in die Situation des betroffenen Fahrzeuges bekommt der Nutzer aber nur dann, wenn diese Daten den vorgesehenen Plan nicht erfüllen. Der Nutzer kann zeitlich getaktet anhand einer einfachen Kennzahl als Bilanz seiner Leistung einsehen, in wie weit er die ursprünglich festgelegten Preise überschritten/ unterschritten hat. Dieses Prinzip wird auch auf Leistungskennzahlen im Bereich Energiemanagement angewandt: aus den festgelegten Routen wird sowohl unter Aufspaltung zwischen Verbrauch und Verschiebung von Lasten, als auch unter Berücksichtigung der Stromquellen des Ladestationsbetreiber der genutzten Stationen errechnet, wie sich Umweltkennzahlen, wie z.B. der Ausstoß von Kohlenstoff, entwickeln. Diese Daten werden an die

Energiemanagementsoftware gesendet, welche sie in Hinsicht der gesetzten Klimaziele auswertet.

Epic 2.2 Perspektive des Mitarbeiters in einem Flottenszenario

Der Nutzer hat die Möglichkeit anhand einer Software auf jedem seiner Geräte über einen definierten Zeitraum hinweg zu sehen, welches Fahrzeug ihm auf welcher Geschäftsroute zugeteilt wurde. Die Software ist mit der Kalenderfunktion verbunden, sodass die ihm angezeigten Termindetails auch alle relevanten Informationen zur Fahrt, insbesondere Anweisungen zum Laden und Entladen seines Fahrzeuges, angezeigt werden. Informationen zu Ort und Zeit von Lade- und Entladeaktivitäten werden auf die Software des ihm zugeteilten Fahrzeuges übertragen, sodass auch das Navigationsgerät entsprechende Vorgaben bei der Routenplanung berücksichtigt. Zusätzlich wird ihm eine Anzahl von Punkten angezeigt, die Auskunft über die Rate gibt, mit welcher er die Vorgaben des Flottenmanagements erfüllt hat. Die über ein Jahr gesammelten Punkte werden in die Endjahresbewertung des Nutzers einfließen.

Dem Nutzer wird ein bevorstehender Außentermin durch seine Kalendersoftware angezeigt. Diese Anzeige enthält auch einen Reiseplan mit übersichtlich angeordneten Angaben neben Fahrzeugzuteilung darüber, wann und wo Lade- bzw. Entladestops vorgesehen sind. Sobald er eingestiegen ist und das Auto entriegelt hat, spiegeln sich genau diese Informationen auch in der Routenplanung seines Navigationssystems wieder. So sieht der Nutzer, dass er auf dem Rückweg trotz noch halb voller Batterie aufladen soll, denn bei Rückkehr ins Büro wird die maximale Batterieladung als Schaltlast zurück ins Netz gespeist.

Der Nutzer wird auf dem Rückweg von seinem Außentermin an eine Ladesäule geleitet, um aufzuladen. Ist der Ladeprozess abgeschlossen, erreicht ihn eine Bestätigungsnachricht der Buchung von Punkten auf sein Konto. Derselbe Prozess wiederholt sich bei jeder Aktivität, die das Netz durch das Schalten von Lasten in seiner Effizienz und Stabilität unterstützt.

Epic 2.3 MSP

Der Nutzer verfügt über einen zentralen Überblick aller bei ihm registrierten Flotten. Aufgeteilt nach Firmenkunde kann er mit wenigen Klicks einsehen, welche Fahrzeuge vom jeweiligen Flottenmanager wie disponiert wurden und welche Autos als Kapazitäten zur Verfügung stehen. Dazu hat er Zugriff auf technische Daten, wie z.B. Batteriegröße oder installierte Software. Ebenso kennt er die aktuellen geografischen Standpunkte und weiß über geplante Bewegungen in einem definierten Zukunftsintervall Bescheid. Außerdem hat er relevante Daten des Smart Markets als Eingangsgröße seiner Software übersichtlich dargestellt und ist dadurch stets informiert, wann welche Produkte und Dienstleistungen zu welchen Preisen gehandelt werden. Hier organisiert und dokumentiert er alle Transaktionen und Verträge, die bei der Vermittlung von Flexibilitätsnachfrage und –angebot entstehen. Durch den hohen Anteil an erneuerbaren Energien im Stromnetz bedarf es enormer flexibler Lasten, welche durch die immer besser werdenden Wetterprognosen zunehmend planbar werden. Zum Ausgleich seiner Zelle hat der Nutzer Verträge mit sämtlichen Betreibern geschlossen, die eine ausreichend große E-Flotte haben, sodass mit Risikozuschlag eine planbare Kapazität an flexibler Last auch bei gelegentlich vom Plan abweichenden Fahrzeugen gewährleistet werden kann. Neben den altbekannten Primär-, Sekundär- und Minutenlasten sind dementsprechend auch Flexibilitäten auf dem Markt, die weiter im Voraus gehandelt werden. Die Flotte eines Betriebes dient in diesem Szenario als virtueller

Großverbraucher und virtuelles Kraftwerk gleichzeitig. Betriebe, die sich der Bereitstellung einer solchen Grundflexibilität verpflichtet haben, sind mit den relevanten Informationen zu einem Cluster geordnet. In diesem Cluster kann der Nutzer durch ein Steuerungsboard genau nachvollziehen, ob sich die Einheiten einer jeden Flotte an die vertraglichen Vereinbarungen halten, indem er einen Echtzeitabgleich zwischen Ist und Soll-Zustand einsehen kann.

Der Nutzer nutzt Daten der Händler auf dem Smart Market dazu den wirtschaftlichen Wert der bei ihm registrierten Ressourcen zu maximieren. Dazu paart er Menge, Zeit und Ort der gewünschten Flexibilitäten mit den Routen der bei ihm registrierten Flotten. Sobald er Angebot und Nachfrage optimiert hat, schickt er den von ihm erstellten Anforderungsplan an die Flotte dem jeweiligen Flottenmanager, welcher für die Anpassung dieselbe Software nutzt. Als nächster Schritt erreicht ihn die Rückmeldung des Flottenmanagers mit der realen Route, welche die Anpassung betrieblicher Umstände an die wirtschaftlich optimierte Route darstellt. Die daraus resultierende Flexibilität verkauft er seinem Geschäftspartner auf dem Smart Market. Sobald der Vertrag geschlossen wurde, werden einzelne Fahrzeuge mit geplanten Ladeprozessen und Leistungen innerhalb des aktuell bestehenden Auftrages und Vertrages registriert. Die Anzeige der Daten erfüllt die Anforderungen des MSP Abweichungen der vereinbarten Leistungen in der für die Abrechnung nötigen Detaillierung nachvollziehen zu können. Der Nutzer muss dabei die Möglichkeit haben, ausbleibende Leistungen früh genug erkennen zu können, sodass er frühzeitig Maßnahmen ergreifen kann, die das Erfüllen der vertraglich zugesicherten Leistung garantiert. Der Nutzer erhält eine Meldung der Software, sobald die Leistung erbracht wurde und schickt abzurechnende Daten an die dafür zuständigen Abteilungen, welche die Vergütungszahlung abwickeln.

Epic 2.4 Smart Market Dienstleister: Reinigung der E-Flotte

Der Reinigungsservicedienstleister als Nutzer kann auf seinem Dashboard einsehen, welche Fahrzeuge von welchem potentiellen Kunden zu welchen Zeiten an welchem Standort von den einzelnen Fahrern bzw. dem Flottenmanager zur Reinigung freigegeben sind. Auf dieser Anzeige kann er nach individualisierten Parametern filtern, wie beispielsweise alle Fahrzeuge mit einer bestimmten Priorität oder alle Fahrzeuge in Eigentum eines bestimmten Kunden. Alle Fahrzeuge gehören zu Eigentümern, die die Software installiert haben, worüber die Durchführung und Abrechnung der Reinigungsdienstleistung erfolgt. Jeder registrierte Nutzer kann entscheiden, welche Daten er einstellen möchte. Die Abwägung, die hierbei gemacht werden muss ist, dass je mehr Details über die Rahmenbedingungen eines ausgeschriebenen Auftrages (geografische Ortung, verfügbare Zeiten zum Reinigen oder Grad der Sauberkeit) zur Verfügung stehen, desto mehr Anbieter bewerben sich, desto geringer ist der resultierende Preis. Bei bestehenden Kundenverträgen kann der Nutzer durch eine ihm angezeigte Liste erkennen, welche Fahrzeuge nach Kundenangabe höchste Priorität haben und seine Mitarbeiter kosteneffektiv auf Tour schicken. Im Falle von zu reinigenden Autos, die nicht im Rahmen von bestehenden Kundenbeziehungen angezeigt werden, kann der Nutzer neben anderen auf der Auktionsplattform registrierten Dienstleistern ein Gebot platzieren, in dem er die Geschäftsbedingungen erklärt, zu denen er die gewünschte Dienstleistung ausfüllen kann. Sobald der Auftrag verteilt wurde, bekommt der Nutzer Bescheid, ob er die Auktion gewonnen hat oder nicht.

Im Falle eines Auftrages erreicht den Nutzer eine Nachricht, welche das Senden der Auftragsbestätigung an den Kunden automatisch auslöst. Zu diesem Zeitpunkt erhält der Nutzer auch volle Transparenz über die zur Verfügung stehenden Daten, sodass er den

Aufwand und seine Betriebsabläufe planen kann. Bei Klarheit, wann welches Fahrzeug gereinigt werden wird, sendet der Nutzer einen Zeitplan an die registrierten Fahrzeugbesitzer, welche diese Informationen auf ihrem Smartphone einsehen können. Außerdem erhält die disponierte Reinigungskraft eine Nachricht über Details des ihr zugeteilten Autos, die ihr verraten, welche Reinigungsmittel sie braucht, mit welchem Fahrzeug sie das Kundenauto erreicht und welche Dienstleistung (Reinigungsprogramme, Extrawünsche etc.) sie erbringen soll. Die Reinigungskraft setzt sich in das ihr zugeteilte Auto, dessen Navigationssystem den Standort des Kundenautos als Zielorts bereits kennt, ein und erreicht auf schnellstem Weg das Auto. An die bidirektionale Batterie des eigenen Fahrzeuges kann Servicekraft sämtliche elektronischen Geräte anschließen, sodass sie in jeder Lage das Qualitätsversprechen an Sauberkeit einhalten kann. Sobald die Servicekraft angekommen ist, öffnet sich das Kundenauto, wobei die Servicekraft automatisch eincheckt und dessen Besitzer/ Fahrer benachrichtigt wird. Profil der entsprechenden Servicekraft liegt auf dessen Account zur Verfügung. Nach der Reinigung checkt die Servicekraft aus, was eine Nachricht sowohl an die eigene Firma als Erledigung des Auftrages als auch an den Autobesitzer sendet, dass das Auto nun sauber wieder frei gegeben ist. Sobald dieser das Auto betritt, wird er dazu von einer im Auto installierten Software aufgefordert die Erfüllung des Auftrages zu bestätigen, was die Erstellung der Rechnung an den Kunden initialisiert.

Der Servicedienstleister kümmert sich mit dieser Lösung und Systematik nicht nur um Elektrofahrzeuge, sondern auch um die Reinigung von privaten Gebäuden.

Epic 2.5 Netzbetreiber

Der Nutzer kann über seine Software eine Echtzeit-Übersicht über alle Daten, die ihm zur Stabilisierung des Netzes zur Verfügung gestellt werden müssen. Aus diesen Informationen über angeschlossene Abnehmer und Produzenten kann er Parameter ableiten, welche die Systemstabilität recht zuverlässig prognostizieren. Unterschiedet sich die Prognose der Systemsituation vom Soll-Szenario, leitet der Netzbetreiber entsprechende Maßnahmen ein.

Sobald vorhersehbar ist, dass konventionelle Mittel, wie bei erhöhter Frequenz z.B. das Umschalten des Stroms auf andere Teile des Netzes, Einzelvereinbarungen mit Kraftwerksbetreibern oder Redispatch, nicht ausreichend stabilisierend wirken, stellt er Informationen zur Verfügung, welche das Ausmaß der benötigten Flexibilitäten detailliert beschreiben. Bevor Anlagen zwangsabgeregelt werden, können Marktakteure die physikalischen Gegebenheiten über angepasste Servicedienstleistungen kapitalisieren. Die erfolgreiche Vermarktung benötigter Ressourcen und damit die Systemstabilisierung über Nachfragemanagement haben zur Folge, dass sich alarmierende Parameter des Netzbetreibers entspannen und Einspeisemanagement überflüssig machen.

Prüfung der Hypothese - Realisierbarkeit der Szenarien

Die Szenarien zeigen sehr anschaulich, welche Komplexität und vielfältigen Interaktionen in einem idealtypischen System, welches man mit dem Ansatz eines Cyber-Systems lösen könnte, stecken. Um eine strukturierte Darstellung zu geben, welche Bedingungen einer aktuellen Realisierung entgegenstehen wurde ein Bezugsrahmen in Form des nachfolgenden Systembildes geschaffen. Alle Elemente im Systemkontext werden im Weiteren kurz erläutert und die Hemmnisse ohne Anspruch auf 100%ige Vollständigkeit beschrieben.

Aus dieser strukturierten Bewertung wird eine Herleitung von generellen Handlungsempfehlungen im nachfolgenden Kapitel begründet.

Unser Systembild umfasst folgende Facetten:

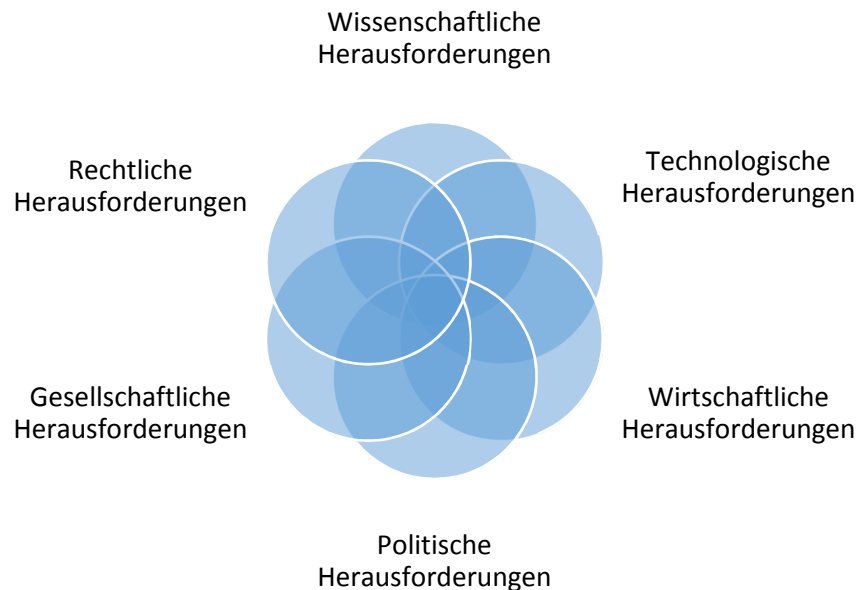


Abbildung 147: Systembild Herausforderungen für ein CPS

Technologische Herausforderungen

Bei der Betrachtung der technischen Herausforderungen kommen wir sehr schnell auf die Problematik, dass wir einerseits Realzeitanforderungen in den Prozessen realisieren müssten bei einer gleichzeitigen lediglich stochastischen Verfügbarkeit von Informationen. Wir wissen nicht 100% in Echtzeit, wie sich eine Flotte oder auch ein Schwarm verhält. Das liegt auch in der Natur der Dinge und eines Schwarmes, dass sich die Elemente bestenfalls „ähnlich“ aber nicht 100% identisch verhalten. Wir können nur bedingt „wissen“ wann ein Elektrofahrzeug tatsächlich wann und mit welchem Ladezustand ankommt. Wir können ebenso wenig die genaue Produktion von erneuerbaren Energie „wissen“. Beides zeigt, dass wir mit Prognosen zwar nahe an die Wirklichkeit heran kommen – diese aber in spezifischen Einzelfall nicht genau genug sind, um das theoretische Optimum an Flexibilität heraus zu bekommen. Das System wird mit einer Unschärfe agieren müssen und die Herausforderung auf technischer Seite liegt in geeigneten Ansätzen (Systeme, Hardware, Prozesse, Analysen, Algorithmen etc.) um daraus z.B. semantische Interpretationen von Daten und Diensten zu erzeugen die dann zur Anwendung kommen.

Ein weiterer technologischer Aspekt begegnet uns dahingehend, dass wir insbesondere bei Energie auch physikalische Größen in die Betrachtung integrieren müssen. Ein rein theoretisches Modell ist also nicht ausreichend.

Aus technologischer Sicht kann fest gehalten werden, dass CPS zwar die richtige Antwort sind, um die Komplexität aller angeschlossenen Systemkomponenten zu handhaben, allerdings von einem anwendungsbezogenen Reifegrad noch recht weit entfernt sind.

Wissenschaftliche Herausforderungen

Im Bezug zu den wissenschaftlichen Herausforderungen haben wir im Kontext des IMEI Projektes die Überschneidung von einer Vielzahl von Wissensgebieten kennen gelernt. Insbesondere beim Aufbau und Betrieb eines theoretisch vollständigen CPS im Bereich der Mobilität in Verbindung mit der Energiewirtschaft benötigen wir eine Vielzahl von Disziplinen:

- Maschinenbau
- Elektrotechnik
- Informatik
- Betriebswirtschaft
- Neurowissenschaften (wenn wir diese Aspekte mit betrachten wollen)
- Mathematik
- Verkehrsforschung
- Usw.

Aus all diesen Disziplinen sind Teilaspekte in einem engen und komplexen Zusammenspiel erforderlich. Ein CPS ist eine Art Kristallisationsprojekt um interdisziplinär an gemeinsamen Methoden zu arbeiten. Insbesondere die gemeinsame Entwicklung von neuen Funktionen¹⁶⁵ wie Adaptivität, selbstorganisierend bzw. selbstlernend, etc. die sich in einem solchen System wiederfindet, müssen entwickelt werden. Die unterschiedlichen Wissenschaften haben dabei allerdings eigenständige Denkmuster und Modell die es jetzt gilt, in gemeinsame Vorgehensweisen und Metamodelle zu transferieren.

Die wissenschaftliche Herausforderung bei der Erstellung von CPS-Konzepten besteht im Wesentlichen darin interdisziplinär zu arbeiten und zu denken – das F&E Projekt IMEI bietet eine gute Möglichkeit dazu und übergreifende Abstimmungen sind ein guter Anfang. Auch hier ist ein integriertes Arbeiten von einem hohen Reifegrad noch weit entfernt und muss in Folgeprojekten aktiv angegangen werden.

Wirtschaftliche Herausforderungen

Vermeintlich eine der kleineren Herausforderungen sobald eine Grundsatzfrage geklärt ist: Wer bezahlt die initiale Infrastruktur eines CPS? Den Nutzen eines Netzwerkes kann man argumentieren und ansatzweise auch in einem Business Case rechnen. Allerdings besteht das Problem, dass es eine Vielzahl kleinteiliger wirtschaftlicher Nutznießer gibt dem eine sehr kleine Zahl von Investoren entgegenstehen. Entweder man versucht das Problem durch Finanzierungsoptionen zu lösen – was einen weiteren Akteur ins Spiel bringt – oder man bildet Konsortien die anteilig die Kosten tragen. Hier besteht jedoch das Problem, je größer das Konsortium ist, umso größer sind auch Organisations- und Managementaufgaben bzw. Kosten dafür.

¹⁶⁵ In Anlehnung an acatec: http://www.acatec.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatec/root/de/Publicationen/Stellungnahmen/POSITION_CPS_NEU_WEB_120130_final.pdf

Ein weiteres grundsätzliches Problem besteht auch in der gewachsenen Struktur heutiger Akteure. Die großen Akteure wie die OEMs sind hierarchisch organisiert und nicht auf vernetzte Strukturen eingestellt. Die Investition und sämtliche damit verbunden Prozesse würden eine große Herausforderung darstellen. Bisherige Geschäftsmodelle die insbesondere auch eine Nischenfunktion erfüllt haben sowie die hoch standardisierten Prozessketten von der Produktion bis hin zur kleinteiligen Lieferung werden durch neue Unternehmensnetzwerke mit einer neuen Art des Supply Chain Controllings zu gestalten sein. Klein- und mittelständische Strukturen müssen sich zu Unternehmensnetzwerken zusammenschließen und z.T. auch neue Dienste wie die eines Service-Aggregators bereitstellen. Die alten Modelle werden perspektivisch immer weniger funktionieren und das, was mit eCommerce begonnen wurde, wird über Plattformen bis hin zu CPS neue und immer weiter entwickelte Formen annehmen.

Wirtschaftlich bestehen gute Chancen, die Ansätze und Modelle wie hier beschrieben zu realisieren, wenn eine geeignete Grundstruktur geschaffen wird (Konsortium, gemeinschaftliche Finanzierung, etc.) und eine Transformation bewusst gestaltet wird.

Politische Herausforderungen

Aus Sicht der Politik besteht die zentrale Herausforderung in der Umsetzung dessen, was hier als F&E Projekt begonnen wird und sich schon bereits deutlicher in der Entwicklung abzeichnet als lediglich eine Idee. CPS sind bereits klar erkennbar ein Trend und somit kommt der Politik die Rolle zu, die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass die Anpassung der Regeln erfolgen kann. Begonnen bei der Umgestaltung von Systemen hin zu offenen Strukturen mit neuen Regeln des Zusammenwirkens, bis hin zu der allgemeinen Frage der Akzeptanz durch die Nutzer was mehr bedeutet als einen gesellschaftlichen Diskurs zu initiieren. Dem Staat kommt die Rolle des Gestalters zu der langfristig die Sicherung des Gemeinwohls zu beachten hat.

Durch elementare Umwälzungen in vielen Bereichen sind also frühzeitig die Weichen in den zentralen Fragestellungen zu stellen:

- Bildungssystem (Fachkräfte)
- Steuern und Abgaben
- Rechtsfragen (Zivil- und Strafrecht)
- Sicherheit
- Datenschutz, -eigentum und -sicherheit
- Nachhaltigkeit in jedweder Form

Insbesondere die Kombination von komplexen staatlichen Lenkungsaufgaben sollte bewusst und koordiniert zusammen mit Experten und offenen Innovationsansätzen gestaltet werden. Die aktuelle Diskussion um Digitalisierung und Industrie 4.0 passt hervorragend zu dieser Herausforderung und kann/wird helfen die Diskussion zielgerichtet voran zu bringen. Die Besonderheiten von CPS ergänzen wichtige Facetten in diesem Kontext.

Gesellschaftliche Herausforderungen

Eng verbunden mit den politischen Herausforderungen sind die gesellschaftlichen Aspekte. Der Wandel der bereits mehrfach angesprochen wurde muss jedoch auch bewusst von der Gesellschaft getragen werden und nicht nur durch die Politik. Zentraler Aspekt ist hierbei die Akzeptanz nicht nur durch einzelne Gruppen sondern als breiten Konsens in der Gesellschaft zu erreichen. Die Notwendigkeit dieser Herausforderung wird dadurch deutlich, dass Grundwerte des Individuums durch die neuen technischen Möglichkeiten berührt werden. Begonnen bei Fragen zur Kommunikation einer Mensch-Maschine-Schnittstelle über Ängste bei undefinierbaren Risiken in unbekanntem Strukturen (Netzwerke und offene System vs. geschlossener Systeme).

Wir haben aus der wissenschaftlichen Perspektive zwischenzeitlich verstanden und akzeptiert, dass weiche Faktoren im Wertesystem der Nutzer und Anwender eine Technologie zu schnellen und unvorhersehbaren Durchbrüchen verhelfen kann aber auch ebenso drastisch das Gegenteil bewirken kann. Folglich ist eine Stärkung des gesellschaftlichen Diskurses ein enorm wichtiges Element bei der Einführung von CPS ohne die es keinen Erfolg geben kann.

Rechtliche Herausforderungen

Das letzte große Feld der elementaren Herausforderungen besteht in den rechtlichen Rahmenbedingungen. Wie sich bereits aus anderen F&E-lastigen Themen gezeigt hat, sind diese Projekte notwendig um bestimmte Fragestellungen zu identifizieren und die Anforderungen an die Grenzen des rechtlich zulässigen neu zu formulieren. Es geht dabei weniger darum direkt eine juristisch verwertbare Lösung zu skizzieren sondern im Gesamtprozess den Umfang der Anpassungen zu verstehen und einordnen zu können. Was ist unverzichtbar bis hin zu neuen Rechtsgebieten die eine Regelung bedürfen da sowohl Missbrauch als auch der Schutz des Individuums beachtet werden müssen.

Im Bereich der CPS sind die wesentlichen Themengebiete (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Wer erhebt welche Daten und wem gehören diese
- Zugangsrechte Dritte zu Daten
- Anspruchs und Haftungsfragen im Umgang mit Daten
- Verwaltungsrechtliche Aspekte

Sämtliche rechtlichen Fragen korrelieren dabei eng mit den politischen Fragestellungen.

Da in diesem Gebiet der Änderungs- und Anpassungsbedarf bereits recht klar aus anderen Diskussionen zum Thema Digitalisierung beschrieben ist, ist hier nur nochmals auf die besondere Geschwindigkeit in der Einführung der technisch möglichen Systeme hingewiesen. Insbesondere andere Länder bieten hier mehr Freiheitsgrade und das Internet kennt keine Grenzen. Damit wird der Anspruch auf schnellere Veränderung des Rechtes auch eine Frage der gesellschaftlichen Diskussion, wie wir mit diesen Anforderungen umgehen. Das heutige System ist wenig geeignet um die Geschwindigkeit der Informations- und Kommunikationstechnik mit der Legislative zu harmonisieren. Mit dem Thema Dateneigentum beschäftigt sich auch die Studie „Studie Boesche hier einfügen“, die im

Rahmen der Begleit- und Wirkforschung der Schaufenster Elektromobilität erstellt wurde und aus der sich eine weiterführende Diskussion entwickelt hat.

Handlungsfelder IKT

Aus den dargestellten Zusammenhängen und Anforderungen lassen sich folgende zentralen Handlungsfelder ableiten:

Aufbau- und Betriebsexpertise für Cyber-Physische Systeme

Der Aufbau und Betrieb von Cyber-Physischen Systemen erscheint in der Theorie gelöst. Grundsätzlich ist jedoch bei einem praktischen Aufbau eines realen Systems eine Vielzahl von Problemen im Detail zu erwarten. Insbesondere bei der Vielfalt proprietärer Sensorik und Aktorik liegt es nahe, hier mit erhöhtem Aufwand zu kalkulieren. Sinnvoll in diesem Zusammenhang wäre es, weniger über einzelne Schnittstellen zu sprechen und hier zu versuchen diese über Standards zu harmonisieren sondern über ein Interoperabilitätskonzept eine nachhaltige Lösung zu schaffen. Beispielsweise könnte man versuchen die Anbindung von neuen Akteuren über selbstlernende Schnittstellen zu organisieren und versuchen, mit der Software eine Metalogik zu schaffen die jegliche Art von neuen Schnittstellen eigenständig interpretieren kann und damit eine funktionsfähige Anbindung eigenständig erstellt.

Der Bereich des Betriebes von CP-Systemen wird ebenso neue Herausforderungen bringen, da sich die Menge der zu erwartenden Daten drastisch wenn nicht sogar exponentiell steigern wird. Folglich sind alle Konzepte auf diese Art von dynamischer Veränderung hin aus zu legen und das Maximum an Daten bis in eine theoretisch unendliche Menge zu konzipieren. Wie werden Daten also verdichtet, interpretiert ggf. gelöscht und einer Massenverarbeitung zugeführt wie sie aktuell im Kontext kognitiver Computingsysteme existiert.

Die Vielzahl von offenen Themen die es aber erfordern gewisse Erfahrungen zu sammeln ist eine zentrale Herausforderung ohne die wir die neuen hoch komplexen und extrem dynamischen Systeme nicht managen könnten. Es ist daher angebracht, sich mit den Bausteinen vertraut zu machen und in kleinen Schritten die Entwicklung weiter zu treiben und zu verinnerlichen!

Mensch – Maschine Interaktion neu Denken

Wir können und müssen davon ausgehen, dass die Konzepte für Cyber-Physische Systeme schnell im Reifegrad zunehmen und wir auch einer technokratischen Perspektive neue Systeme vorfinden die den Raum für „Neues“ drastisch erweitern. Zum einen bedeutet das eine Vielzahl von neuen Geschäftsmöglichkeiten die sowohl den etablierten und großen Akteuren im Markt offen stehen. Zeitgleich werden auch Ansätze aus dem Bereich Start-Up und kreativer Mittelstand, dem durch das Internet hier ebenfalls neue Optionen offen stehen, hervorkommen.

Neben diesen Geschäftsmodellen wird es jedoch insbesondere auf Grund der Akzeptanz und des gesellschaftlichen Wertewandels stark darauf ankommen, wie die Interaktion mit diesen Systemen erfolgt. Welche Rolle spielt der Mensch dabei und wie wird sich die Interaktion „anfühlen“. Wir werden darauf achten müssen, dass neben rein technologischen Aspekten insbesondere Erkenntnisse der Neurowissenschaften ebenfalls in die Entwicklung der neuen Systeme eingehen. Insbesondere bei einer für den normalen Anwender immer weniger

transparenten Funktionsweise der Systeme ist der Aufbau einer positiven emotionalen Verbindung für den wirtschaftlichen Erfolg unerlässlich.

Die technischen Möglichkeiten müssen Schritt halten mit Werten und instinktbehafteten Verhaltensmustern, da sonst eine erfolgversprechende Nutzung der Systeme nicht funktionieren wird.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit fördern

Wie bereits aus ähnlichen Herausforderungen ersichtlich wurde besteht eine große Notwendigkeit darin, die unterschiedlichen Facetten der Entwicklung gemeinschaftliche zu bewerten, zu diskutieren und im Sinne einer gemeinsamen Zieldefinition weiter zu entwickeln. Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit wird dabei die Expertise z.B. auch Technologie-orientierten Themen mit den neuen Aspekten verbinden und somit Stärken und Schwächen des Gesamtsystems im optimalen Fall ausgleichen.

Diese Art der Zusammenarbeit sollte in einem bewusst gestalteten Prozess erfolgen und die Anwendung der Erfahrungswerte aus Collaboration Networks zugrunde gelegt werden. Entsprechende Verbundprojekte sowohl im europäischen als auch bundesdeutschen Förderkontext sind sichtbar und die Betonung dieser Zusammenarbeitsmodelle wird dem Gesamtsystem entscheidende Vorteile bringen.

Das Grundprinzip ist dabei mittlerweile etabliert, allerdings muss die Anpassung in der praktischen Umsetzung sowohl in Förderprojekten als auch in der Forschungs- und Entwicklung generell noch verbessert werden. Speziell in diesen als kritisch zu bewertenden Bereichen sind singuläre Sichtweisen auf einen Forschungsaspekt und Partikularinteressen der Akteure häufig zu verzeichnen. Die Empfehlung lautet daher sehr deutlich, die interdisziplinären Aspekte nicht nur zu betonen, sondern bewusster ein zu fordern und zu realisieren. Diese Empfehlung gilt insbesondere auch für die Gestaltung der politischen Arbeit sowie des gesellschaftlichen Diskurses.

Rechtliche Rahmenbedingungen schaffen

Die letzte der Handlungsempfehlungen deckt sich 1:1 mit der Empfehlung der acatech¹⁶⁶:

„Die bestehende Rechtslage ist hinsichtlich der technischen Sicherheit von Cyber-Physical Systems vor allem im Hinblick auf Datenschutz, Datensicherheit sowie Sicherheits- und Haftungsfragen anzupassen.

Cyber-Physical Systems sollte in den Energie- und Rohstoffstrategien der Bundesregierung beachtet werden. Insbesondere ist der Energiewandel auch in einer Gesamtstrategie für Cyber-Physical Systems zu berücksichtigen“.

Ohne den entsprechenden Rechtsrahmen wird die Entwicklung von Cyber-Physischen-Systemen auf einer theoretischen Ebene verbleiben. Insbesondere da es kaum vorstellbar ist, einen Rechtsrahmen zu Versuchs- und Testzwecken im Internet zu schaffen wird die Herausforderung der Politik darin liegen, alte Wertevorstellungen und damit verbundener Rechte in geeigneter Weise - und noch viel herausfordernder in geeigneter Geschwindigkeit, anpassen müssen.

¹⁶⁶ Quelle: <http://www.acatech.de/?id=1819>

Alternativ wird sich die Entwicklung in anderen Ländern vollziehen, die hier mehr Freiheitsgrade zulassen. Allerdings hat da Internet bekannter Weise keine Grenzen und wir werden als Konsequenz in unserem Rechtsrahmen mit den Entwicklungen aus anderer Länder Konflikte bekommen.

Wie bereits aus anderen innovativen Themenfeldern wie z.B. der gesamten Elektromobilität zu beobachten ist, stellen der Rechtsrahmen sowie die Diskussion der Werte einer Gesellschaft die zentralen Herausforderungen dar.

6.4. AP 530 – Bereitstellung und Abrechnung von Flexibilität in einem zellularen Netz

Arbeitsinhalte FZI und E4U:

- Analyse der Anforderungen für ein Marktdesign zur Nutzung der Flexibilität in einem
- lokalen Ansatz
- Konzept für „Charging as a Service“ durch Lernen der Nutzerpräferenzen zur
- Erleichterung des Lademanagements (z.B. Recommendersystem für jeweils operativ
- passende Ladestrategien der E-Fahrzeuge). Komplexität der Bereitstellung und
- Allokation von Flexibilität auf der Marktplattform kann über diese Dienste erleichtert werden

Arbeitsinhalte E4U:

- ENERGY4U unterstützt bei der Erstellung eines IT-Konzepts zur Prognose von Flexibilitätspotential von eFlotten. Flexibilität ist definiert als die geplante Veränderung in der Leistung. Das IT-Konzept besteht aus einer Applikation und einer BI-Anwendung.
- Die Applikation soll das Lernen der Nutzerpräferenzen unterstützen. Auf Basis der Nutzerpräferenzen, welche mithilfe der Applikation erfasst werden, soll anschließend untersucht werden, wie über eine BI-Anwendung das Flexibilitätspotential einer eFlotte ermittelt und dargestellt werden kann.
- Geplantes Ergebnis war: IT-Konzept und prototypische Implementierung einer Anwendung zur Datenerfassung und ein BI-System zur Datenauswertung.

Mobile Anwendung zur Erfassung von Nutzerpräferenzen

IT Konzept

Technologieauswahl

Zur Entwicklung der Anwendung wurden neueste Technologien verwendet:

- SAP HANA Plattform
 - In-Memory SAP HANA Datenbank - SQL
 - XSJS Application Server (Javascript)
- Web-Applikation
 - HTML5
 - Javascript (JS)

Systemarchitektur

Die Applikationen sind nach dem Client-Server Prinzip konzipiert. Es handelt sich hierbei genauer gesagt um eine Ein-/Zwei-Schichtige Anwendung. Die Auslieferung, Verarbeitung und Persistenz der Daten erfolgt auf einer Instanz einer SAP HANA Plattform.

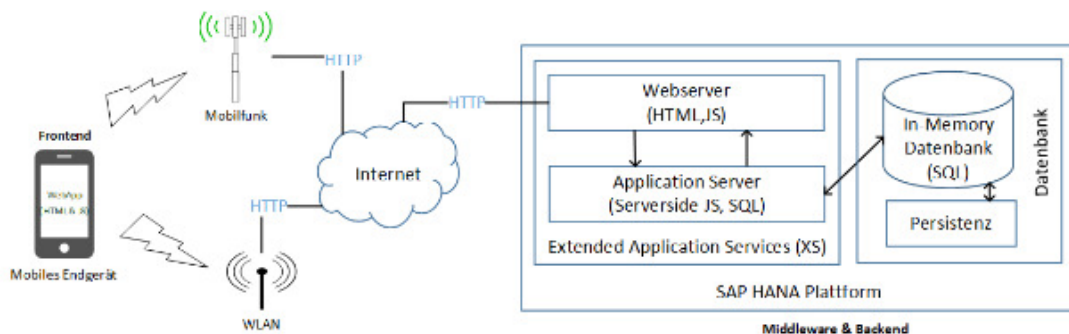


Abbildung 148 Systemarchitektur

Kommunikation mit dem Backend

Die Kommunikation mit dem Backend erfolgt über http-Request. Zur Vereinfachung wurden GET Request für lesende und schreibende Zugriffe verwendet

```
http://[system]:80[instance]/imei/services/pref/insert_v1v2.xsjs?
kz=S-UN%201399&arr=12:45&dep=18:00&ent=96&vb=14.76&lstd=3&d_arr=
2016-02-01&d_dep=2016-02-15
```

Abbildung 149 HTTP Get Request

LAI	ANKUNFT	ABFAHRT	MENGE	ENTFERNUNG	KENNZEICHEN	LSTID	DIREKT	D_ANKUNFT	D_ABFAHRT
31	23:26:00	07:26:00	21,82	107	S-UN 1399	2	0	01.02.2016	03.02.2016
30	21:07:00	?	15,449999999999999	100	S-UN 1399	2	1	10.02.2016	?
29	21:03:00	?	15,449999999999999	100	S-UN 1399	2	1	03.01.2016	?

Abbildung 150 Ausschnitt einer Datenbanktabelle

Nachfolgend ist die schematisch die Kommunikation mit dem Backend abgebildet.

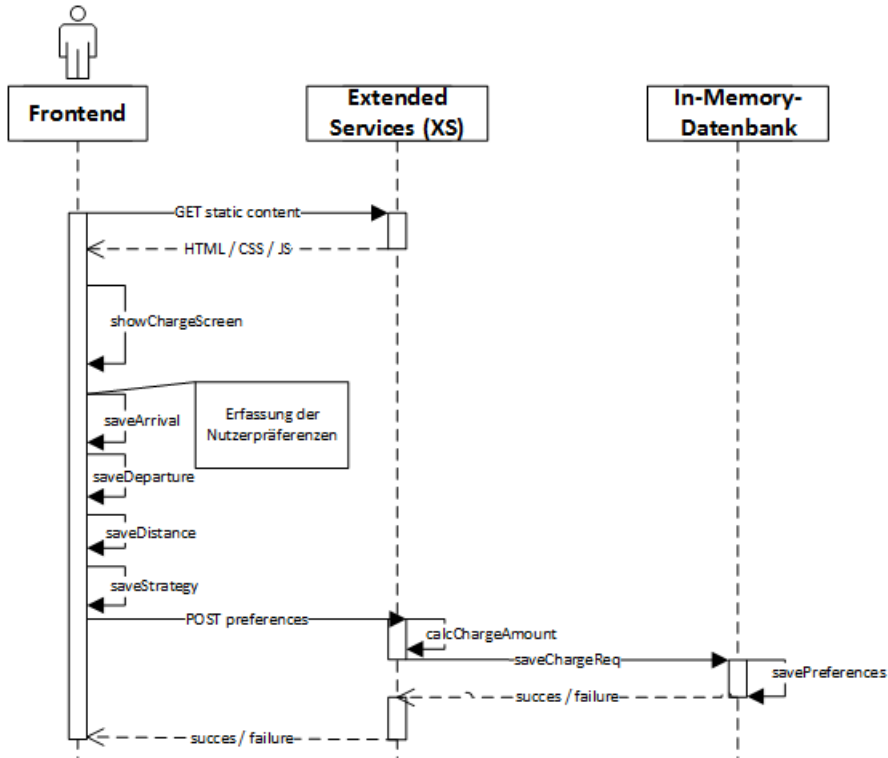


Abbildung 151 Beispielhafter Kommunikation mit dem Backend

Use Case : “Private Car Management”

Einführung

Die Anwendung geht vom einem Use Case aus, bei dem eine Privatperson die Möglichkeit hat, die Ladevorgänge eines oder mehrerer Fahrzeuge durch einen Aggregator steuern zu lassen. Hierbei soll die Anwendung als direktes Kommunikationstool mit der Ladesäule dienen, falls der Nutzer nicht am Lademanagement teilnehmen möchte und somit Flexibilität bereitstellt. Auf der anderen Seite sollen bei einer Teilnahme am Lademanagement die eingetragenen Nutzerpräferenzen an den Aggregator ermittelt werden, der daraufhin die Steuerung des Ladevorgangs nach Ermittlung einer optimalen Ladeplanung vornimmt.

Für diesen Use Case wurde eine mobile-optimierte, browserbasierte SAPUI5-Anwendung entwickelt. Die Architektur der Anwendung wird im vorangehenden Kapitel beschrieben

Ziel der Anwendung ist es, lokale Stromnetze durch intelligentes Lademanagement zu entlasten.

Nachfolgend sind die einzelnen Funktionen der Applikation in einem Anwendungsfalldiagramm aufgezeigt.

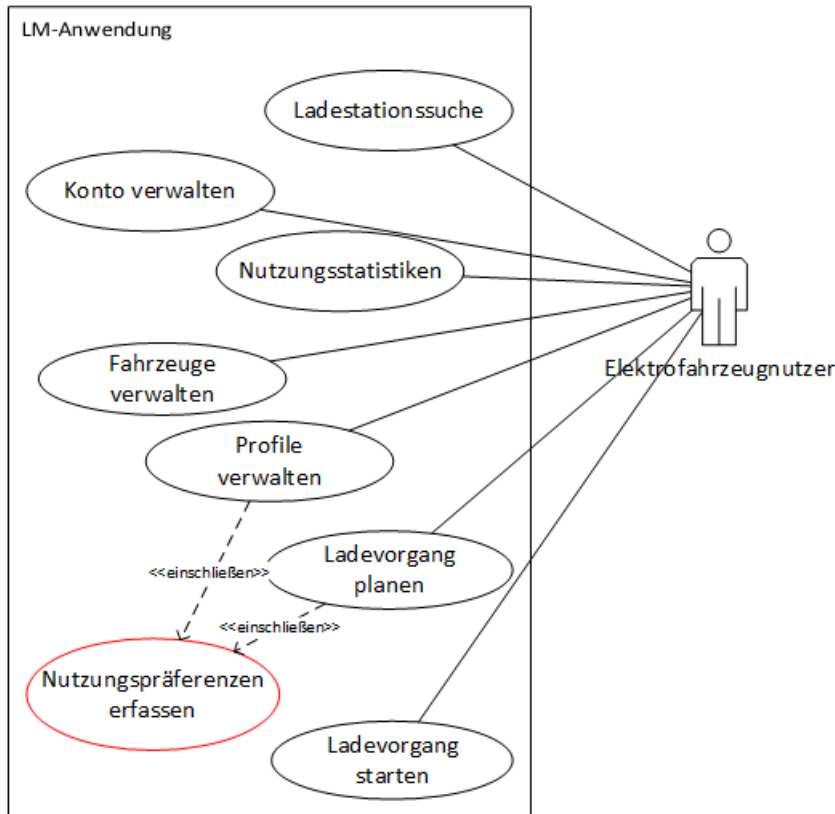


Abbildung 152 Funktionen der Anwendung „Private Car Management“

Umgesetzte Funktionalitäten

Login

Die Login Maske ist der Einstiegspunkt in die Applikation. Nach einem erfolgreichen Login wird der Elektrofahrzeugnutzer auf das Dashboard weitergeleitet. Von hier aus hat er die Möglichkeit in das Hauptmenü abzuspringen, einen Ladevorgang zu starten, am Lademanagement teilzunehmen oder die Ladestationssuche aufzurufen.

In der Fußzeile der Applikation wird der aktuelle Status des aktuell gewählten Fahrzeuges angezeigt.

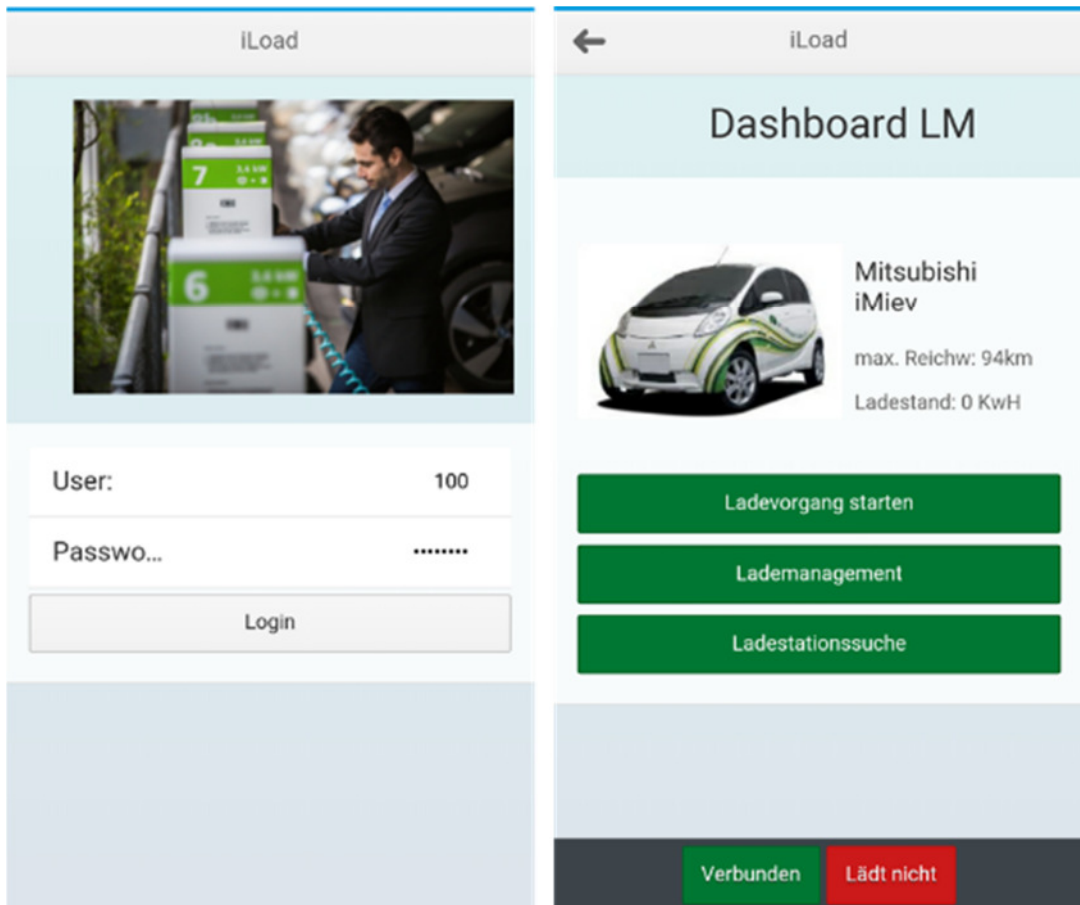


Abbildung 153 Loginmaske und Dashboard

Hauptmenü

Das Hauptmenü ermöglicht das Aufrufen folgender Funktionen: Kundendatenverwaltung, Fahrzeugverwaltung, Ladevorgang starten, Ladestationssuche und das Aufrufen von Statistiken. Aus dem Hauptmenü kann in das Untermenü navigiert werden. Über das Untermenü werden die Funktionen Formularerfassung, Interviewerfassung und Profilverwaltung zugänglich gemacht. Das Dashboard, welches direkt nach dem Login angezeigt wird, ermöglicht ebenfalls direkte Aufrufe der folgenden Funktionen: Ladevorgang starten, Ladestationssuche und Absprung in das Untermenü Lademanagement.

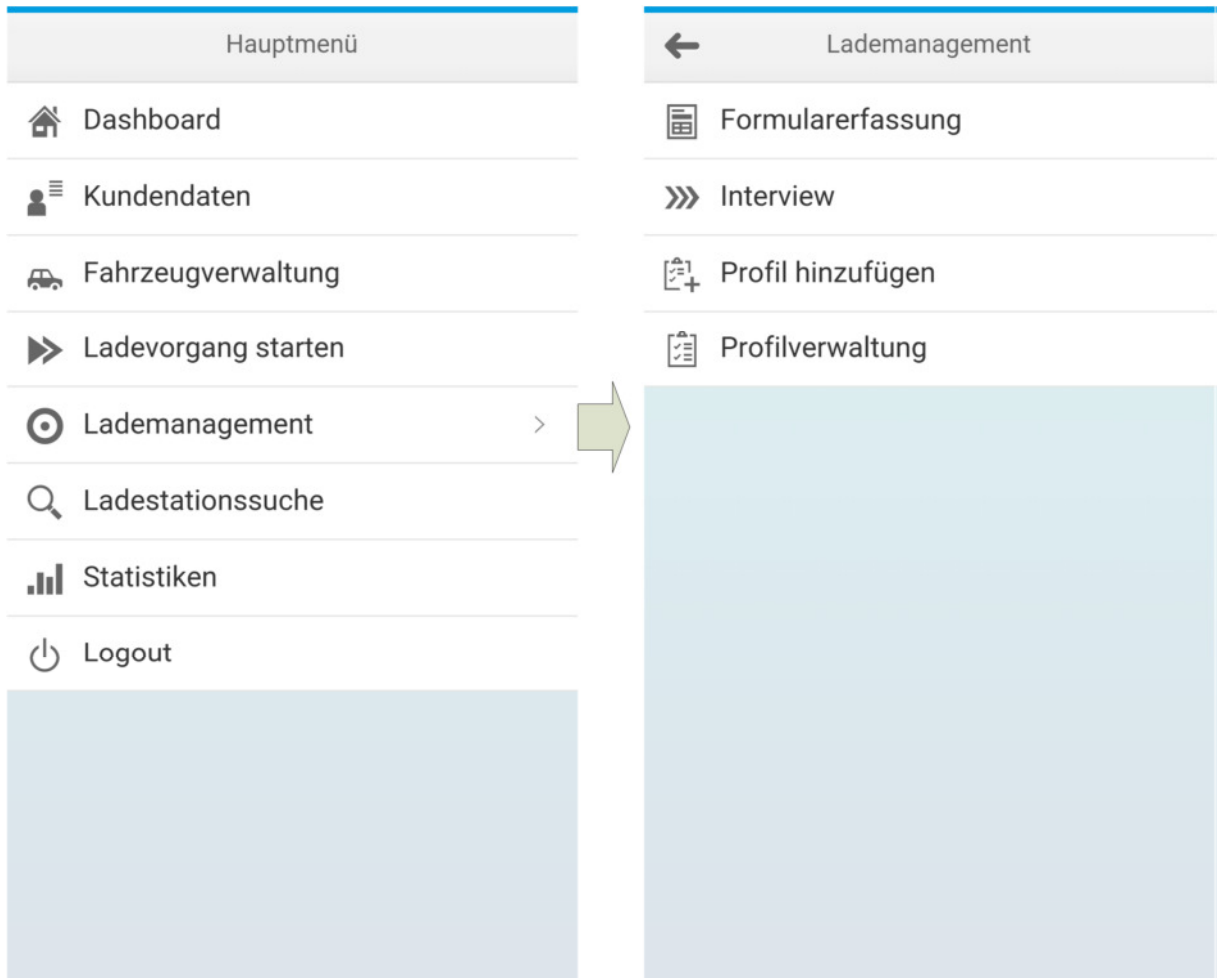


Abbildung 154: Hauptmenü und Lademanagement

Ladevorgang direkt starten

Möchte ein Nutzer einen Ladevorgang direkt starten und nicht über einen Aggregator steuern lassen gibt dieser hierzu die gewünschte Reichweite und die gewünschte Ladestrategie an. Die Ladestrategie wird hierbei über die Geschwindigkeit der Beladung definiert.

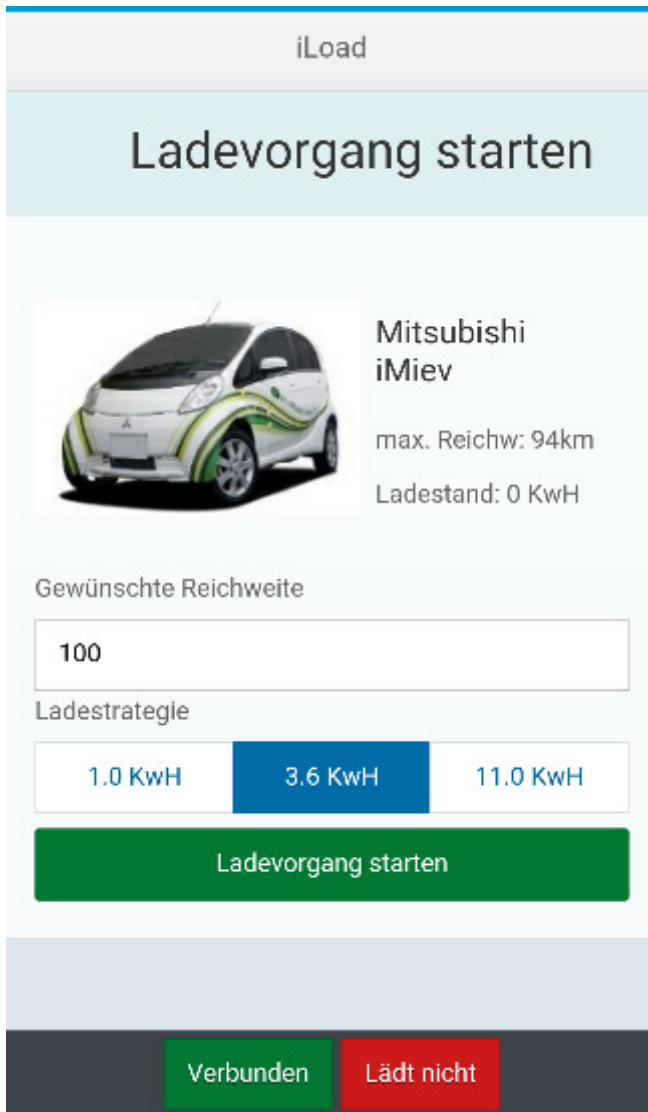


Abbildung 155 Ladevorgang starten

Lademanagement

Zur Teilnahme am Lademanagement und der damit verbundenen Fremdsteuerung des Ladevorgangs sind weitere Daten neben der Reichweite und der Ladestrategie erforderlich. Zusätzlich werden noch die Abfahrtszeit und Ankunftszeit abgefragt.

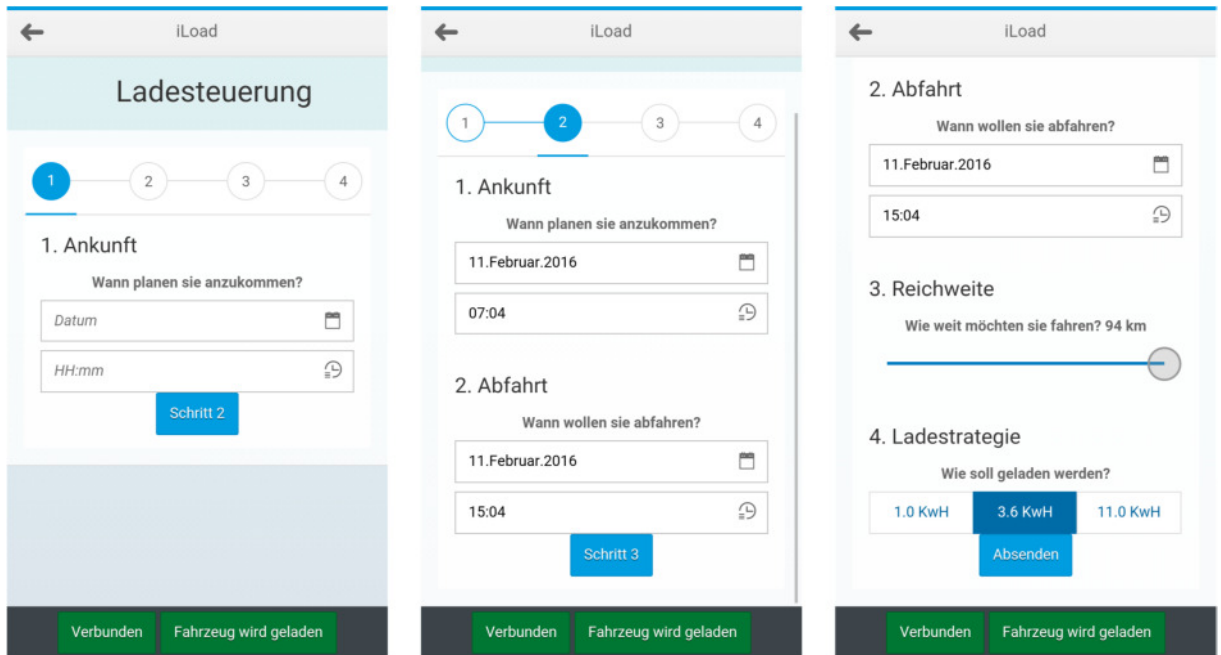


Abbildung 156: Ladesteuerung

Profile

Möchte ein Benutzer wiederkehrende Fahrten vermerken, wie z.B. die morgendliche Fahrt zur Arbeit kann er dies durch die Übermittlung von Profilen tun. Hierzu können mehrere Profile pro Fahrzeug erstellt werden. Neben der täglichen Abfahrt- und Ankunftszeit, der Reichweite und der Ladestrategie werden die Tage an denen das Profil gültig sein soll abgefragt. Soll ein Profil pausiert werden kann der Status auf deaktiviert gesetzt werden.

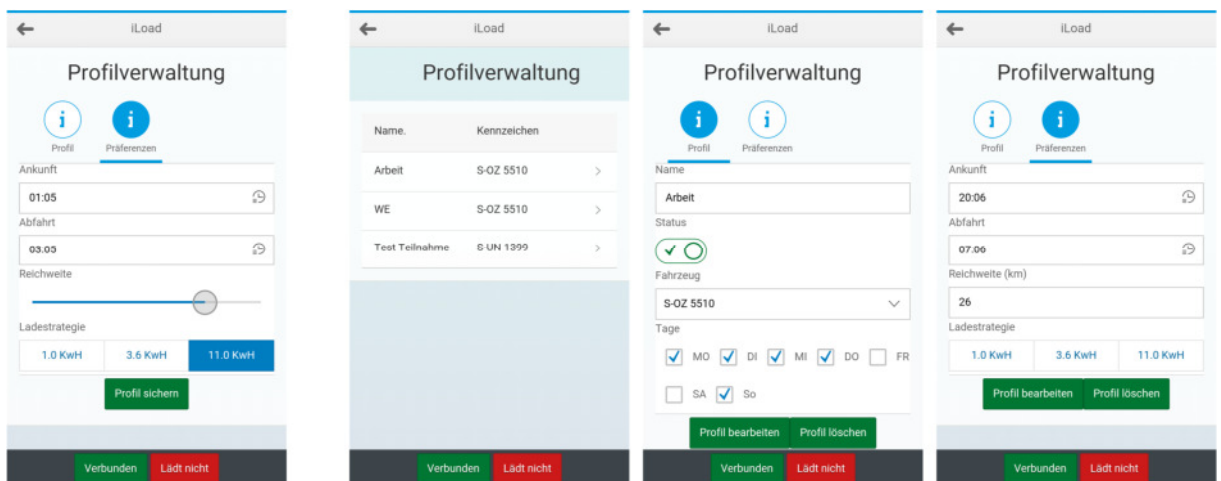


Abbildung 157: Profile

Zusätzliche Funktionen

Neben einer Erfassung der Nutzerpräferenzen für das Lademanagement durch direkte Ladewünsche oder Profile bietet die Applikation weitere Funktionen:

- Ladestationssuche
- Fahrzeugverwaltung
- Statistiken

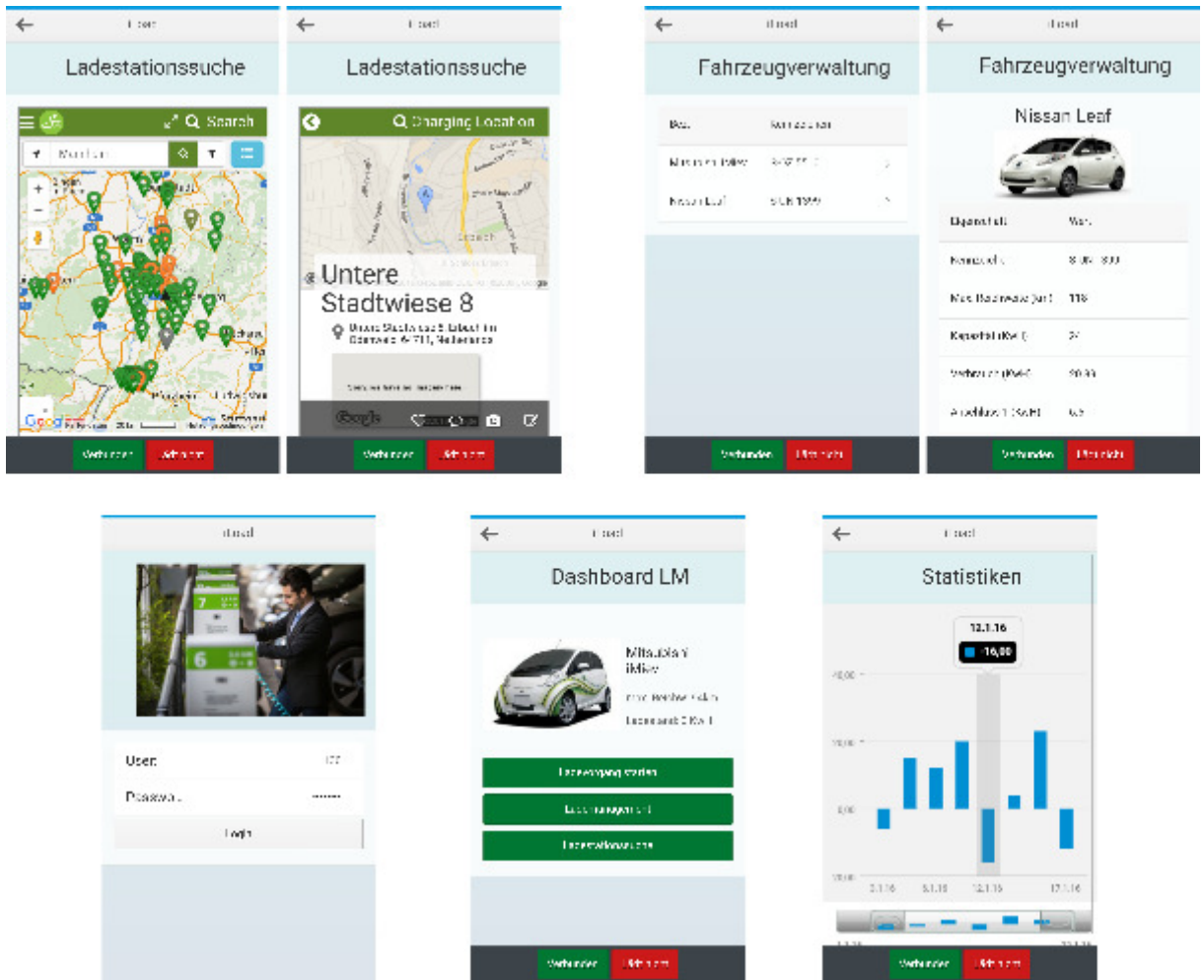


Abbildung 158: Ladestationssuche, Fahrzeugverwaltung, Dashboard

Integration zur BI-Anwendung

Um den Use Case zu vervollständigen wurde für den ebenfalls im Rahmen des AP530 umgesetzten Prototyp einer BI-Anwendung eine Datenbankprozedur erstellt. Diese Datenbankprozedur greift auf die aus dieser mobilen Applikation generierten Ladeaufträge (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** „IMEI.LA“) sowie auf die Fahrzeugdaten (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** „IMEI.EV“) zu und stellt diese der BI-Anwendung zur weiteren Analyse bereit.

```
-- Die Slotdauer kann variieren und muss daher ermittelt werden
select "VALUE_NUMERIC" into lv_slotDuration from "A627603"."KONFIGURATION"
where "KEY" = 'SLOT_DURATION';

It_lademanagement = select "LAID", "D_ANKUNFT", "ANKUNFT", "D_ABFABRT", "ABFAHRT", "MENGE", "KAPAZITAET", "LADESTAND", 1."KENNZEICHEN", "ANSCHLUSS"
from "IMEI.LA" as l
join "IMEI.EV" as f ON 1."KENNZEICHEN" = f."KENNZEICHEN"
where "MENGE" > 0
and (seconds_between("ANKUNFT", "ABFAHRT") >= 3600 or SECONDS_BETWEEN ("D_ANKUNFT", "D_ABFABRT") >= 3600);
```

Abbildung 159 Auszug aus dem Code der HANA Datenbankprozedur

Use Case „Corporate Carsharing“

Einführung

Die Anwendung geht vom einem Use Case aus, bei welchem ein Unternehmen seinen Mitarbeitern an einem Standort einen Fuhrpark aus diversen Elektrofahrzeugen für

dienstliche Zwecke bereitstellt. Im Gegensatz zum ersten Use Case, welcher im Kapitel 0 vorgestellt wird, gehen wir hierbei davon aus, dass diese Fahrzeuge nach dem Prinzip eines „Fahrzeugpools“ frei für alle Mitarbeiter zur Verfügung stehen und keinem spezifischen Mitarbeiter oder Besitzer zugeordnet sind. Deshalb macht es in diesem Fall keinen Sinn, die berechtigten Personen wie in Use Case 1 Ladeprozesse buchen zu lassen.

Für diesen Use Case wurde eine mobile-optimierte, browserbasierte SAPUI5-Anwendung entwickelt, worüber die Mitarbeiter des Unternehmens zukünftig möglichst effizient, jedoch auch möglichst effektiv ihre Buchungen für Dienstreisen und –fahrten vornehmen können. Die Architektur der Anwendung und die eingesetzten technischen Komponenten gleichen der bereits vorgestellten Anwendung des ersten Use Case.

Ziel der Anwendung ist es dabei, sowohl die Auslastung des Fuhrparks zu optimieren als auch, durch die möglichst frühzeitige und exakte Verfügbarkeit von Buchungsdaten, eine Berechnung und Vorhersage von Ladevorgängen möglich zu machen. Mit Hilfe dieser Lade- bzw. Buchungsdaten soll es der, ebenfalls im Rahmen des AP530 vorgestellten, BI-Anwendung möglich sein, ein Lademanagement zu betreiben und potenziell anfallende Flexibilitätsanfragen mit einem oder mehreren Ladevorgängen bedienen zu können.

Umgesetzte Funktionalitäten

Im Folgenden soll nun die Anwendung und ihre einzelnen Screens sowie Funktionen beschrieben werden.

Nach Login mit Benutzername und Passwort erreicht der User das Hauptmenü. Sollte der User gleichzeitig auf ein ihm alleine zur Verfügung stehendes Fahrzeug und auf die Fahrzeuge des Fahrzeugpools Zugriff haben, so wäre ein vorangehender Screen denkbar, auf welchem der User auswählen kann, ob er die Perspektive „Private Car Management“ des ersten Use Case wählen möchte oder die Perspektive „Corporate Carsharing“ dieses Use Case.



Abbildung 160 Auswahl der Anwendung

Hauptmenü

Wählt der User „Corporate Carsharing“, so gelangt er zum eigentlichen Hauptmenü der Anwendung. Vom Hauptmenü aus gelangt ein User auf direktem Weg zu allen relevanten Bereichen der Anwendung. Lediglich für die Bearbeitung einer Anwendung ist ein Zwischenschritt erforderlich.

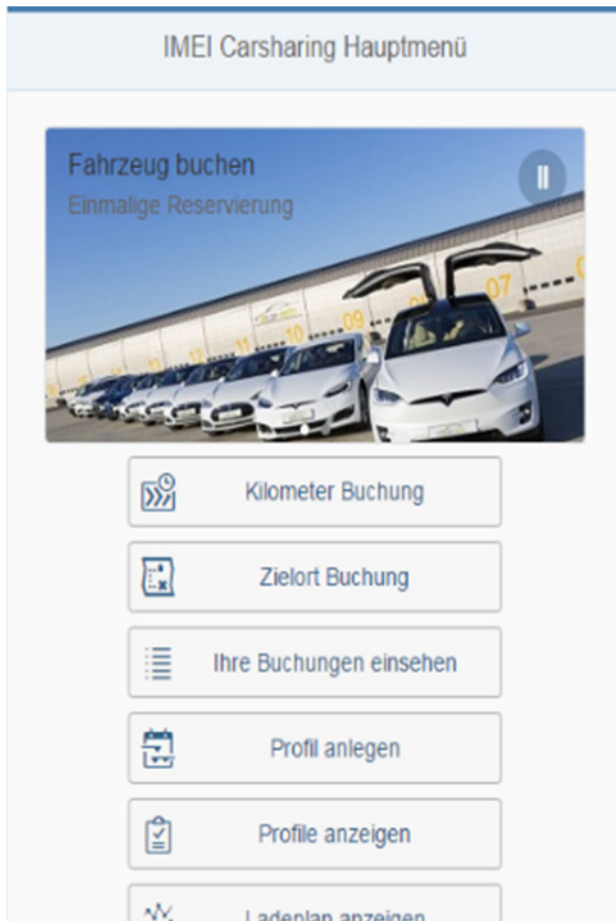


Abbildung 161 Hauptmenü der Anwendung Corporate Carsharing

Die Anwendung Corporate Carsharing bietet insgesamt drei Varianten der Buchung an, welche jeweils mit einem Button im Hauptmenü vertreten sind:

- „Kilometerbuchung“ – Buchung mittels manueller Eingabe der Gesamtdistanz für die entsprechende Buchung
- „Zielort Buchung“ – Buchung mittels Eingabe des Zielorts
- „Profil anlegen“ – Buchung regelmäßiger Fahrten mit gleicher Distanz

Des Weiteren gelangt der User über das Hauptmenü zu diversen Screens zur Ansicht und teilweise zur Bearbeitung von Daten:

- Mittels des Buttons „Ihre Buchungen einsehen“ zur Ansicht aller aktuellen und vergangenen Buchungen, sowohl der Einzelbuchungen als auch der Buchungen, welche durch ein Profil erstellt wurden.
- Über den Button „Profile anzeigen“ gelangt der User zu den von ihm angelegten Profilen für regelmäßige Fahrten.
- Der Button „Ladeplan anzeigen“ führt den User zu einer Übersicht der aus seinen Buchungen erzeugten Ladevorgängen.
- Der Button „Statistik“ führt den User zu einem Screen, welcher ihn über statistische Werte aus der BI-Anwendung informiert.

Zusätzlich zu den bereits beschriebenen Menü-Buttons wurden die Funktionen „Fahrzeug buchen“ und „Profil anlegen“ noch einmal durch einen Slider umgesetzt. Dies hat jedoch weniger funktionale als ästhetische Gründe.

Kilometer Buchung

Der Screen Kilometerbuchung dient der einfachen Aufgabe einer einmaligen Buchung mittels Eingabe der Distanz, welche etwa während der gesamten Buchung zurückgelegt wird.

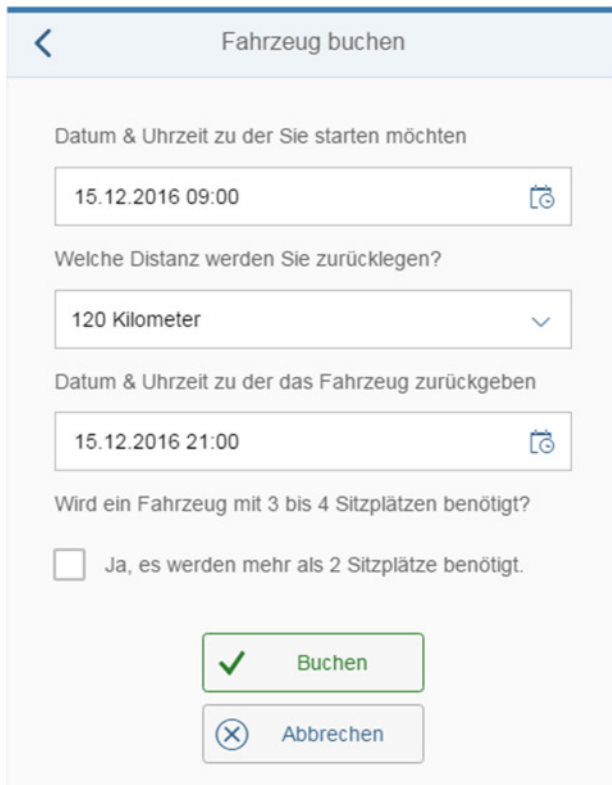


Abbildung 162 Screen Kilometerbuchung

Für eine Buchung wird der Anwender aufgefordert folgende Felder auszufüllen:

- Startdatum und Uhrzeit
- Distanz
- Rückgabedatum und Uhrzeit
- Benötigte Sitzplätze

Bei Klick auf ein Datum- und Uhrzeitfeld werden dem Nutzer zur Unterstützung der korrekten Auswahl zunächst ein Kalender und anschließend eine Uhrzeitauswahl angezeigt.

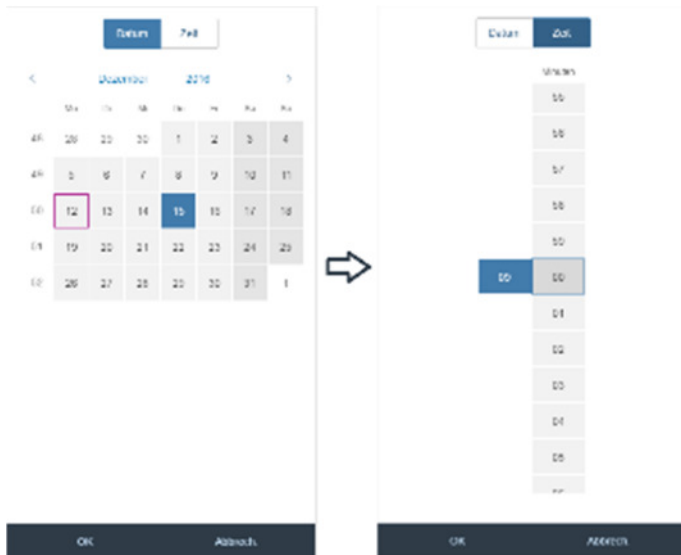


Abbildung 163 Datum- Uhrzeit-Auswahl

Für die Prüfung der Felder Start- und Rückgabe wurde zur Vermeidung von Falscheingaben und –buchungen eine Prüfung eingebaut, welche einen Fehler meldet, wenn das Rückgabedatum vor dem Startdatum liegt.

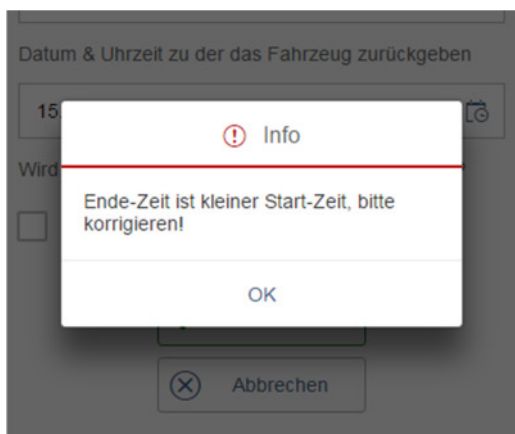


Abbildung 164 Start- Endezeit Fehlermeldung

Für die Eingabe der Distanz wurde eine Drop-Down-Auswahl umgesetzt. Hier hat der User die Möglichkeit, vorgegebene Distanzen auszuwählen. Dabei stehen zunächst Distanzen zwischen 10 km und 300 km zur Verfügung, da ein Zwischenladen, zum Beispiel am Zielort, für diesen Use Case nicht vorgesehen war.

Das letzte Feld wurde in Form einer Checkbox umgesetzt und gibt dem User die Wahl zwischen einem Fahrzeug mit maximal 2 Sitzplätzen und einem Fahrzeug mit maximal 4 Sitzplätzen. Dies wurde zur Optimierung der Buchungen implementiert, da nach heutiger Marktsituation noch relativ viele Elektrofahrzeuge Kompaktwagen sind und sich dies wahrscheinlich auch in den Fuhrparks der Unternehmen widerspiegeln wird. So nach Betätigung des „Buchen“-Buttons aus einer Auswahl an Kompaktwagen und Limousinen, je nach Eingabe des Nutzers zu Reichweite und Sitzplätzen, das korrekte Fahrzeug gebucht werden. Diese Auswahl des Fahrzeuges bleibt dabei nicht dem Nutzer überlassen, dieses wird mit Hilfe eines Buchungsalgorithmus je nach Verfügbarkeit und Eingaben bestimmt.

Sollte der Fall eintreten, dass zum entsprechenden Zeitpunkt tatsächlich kein Fahrzeug mehr verfügbar ist, erhält der Nutzer eine Fehlermeldung, andernfalls eine Bestätigung.

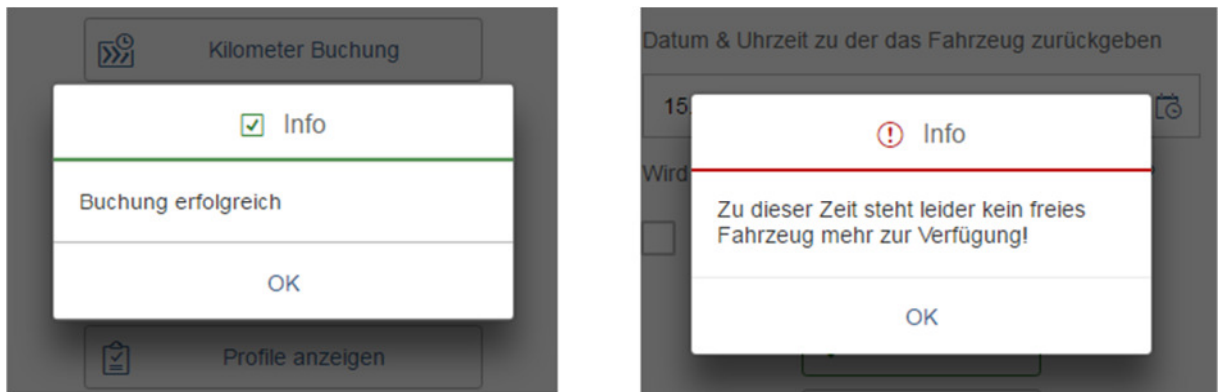


Abbildung 165 Erfolgs- bzw. Fehlermeldung einer Buchung

Zielbuchung

Der Screen „Zielbuchung“ dient wie der zuvor vorgestellte Screen dem Zwecke der Erzeugung einer einmaligen Buchung. Um die Distanzberechnung zu optimieren und gleichzeitig dem User etwas mehr Komfort zu bieten, wurde die Eingabe der Distanz jedoch durch die Eingabe eines Zielortes ersetzt. Dies wurde unter Einbindung der Google Maps Distance Matrix API¹⁶⁷ verwirklicht. Hierdurch ist es möglich, für jedes durch Google auffindbare Ziel die exakte Distanz der von Google vorgeschlagenen Route zu berechnen. Hierdurch ist nicht nur eine exaktere Distanzberechnung möglich, sondern ebenfalls die durch Google gewohnte einfache und automatisch vervollständigende Suche. So ist es beispielsweise nicht zwingend notwendig die vollständige Anschrift eines Unternehmens einzugeben (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Da der Use Case dieser Applikation von einem fixen Unternehmensstandort mit Ladevorrichtungen ausgeht, von dem aus die Elektrofahrzeuge des Fahrzeugpools starten und an welchen diese wieder zurückgebracht werden, wurde für die Applikation die Auswahl eines Startortes ausgeschlossen. Als zurzeit einziger Startpunkt dieses Use Case wurde der Standort der ENERGY4U GmbH in Mannheim gewählt. Zu einem späteren Zeitpunkt wäre es denkbar, die Buchung von Fahrzeugen mehrerer Standorte per Drop Down zu ermöglichen.

Ist die Eingabe eines Zielortes erfolgt, kann der User mittels Betätigung des „Distanz berechnen“-Buttons die Ermittlung der Distanz anstoßen. Je nachdem, welchen Zielort der User eingegeben hat, bzw. welche Distanz zu diesem Zielort berechnet wurde, wird dem User nun eine von drei möglichen Erfolgs- bzw. Fehlermeldungen angezeigt.

¹⁶⁷ Für weitere Informationen siehe: <https://developers.google.com/maps/documentation/distance-matrix/intro?hl=de>

Abbildung 166 Buchung durch Zieleingabe

Die möglichen Meldungen sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu sehen. Für jede Buchung werden dem User, um diesem ein wenig mehr Sicherheit zu geben, 10% Puffer-Kilometer gewährt. Dies soll auch der Vermeidung von weit übertriebeneren Eingaben „um auf Nummer Sicher zu gehen“ dienen.

Abbildung 167 Erfolgs- bzw. Fehlermeldungen der Zielorteingabe

Bei Erfolg wird dem User eine grüne Infobox eingeblendet, welche noch einmal Start- und Zielort wiedergibt, sowie über die Zusammensetzung der Gesamtstrecke aufklärt. Unter den für den aktuellen Use Case verwendeten Fahrzeugen befindet sich kein Fahrzeug mit zwei Sitzen welches eine realistische Reichweite von über 300 km besitzt. Da für diesen Use Case nicht von einem Laden am Zielort ausgegangen wird, muss im Falle einer Gesamtstrecke von über 300 km auf ein Fahrzeug mit vier Sitzplätzen zurückgegriffen werden. Hierüber wird der User mittels einer gelben Infobox benachrichtigt. Die Buchung ist weiterhin möglich, jedoch lässt sich der Haken der Sitzplatz-Checkbox nicht mehr entfernen. Der Fuhrpark des aktuellen

Use Case bietet ebenfalls kein Fahrzeug mit einer Reichweite welche 400 km überschreitet. Deshalb wurde hier die Grenze gesetzt. Gibt der User ein Ziel ein, dessen Gesamtstrecke diese Distanz überschreitet, erhält er eine rote Fehlermeldung und das „Buchen“-Feld wird deaktiviert. Ist jedoch die Buchung möglich, erfolgt der restliche Prozess äquivalent zur zuvor vorgestellten „Kilometerbuchung“.

Zusatz: Eine genauere Berechnung und Betrachtung der geplanten Strecken inklusive Wetterdaten und Streckengegebenheiten (wie zum Beispiel Steigung und zugelassene Geschwindigkeiten) wäre in einer zukünftigen Version wünschenswert, eine geeignete API konnte hierfür jedoch zum Zeitpunkt der Implementierung dieser Applikation nicht gefunden werden.

Ihre Buchungen einsehen

Durch Klick auf den Button „Ihre Buchungen einsehen“ gelangt der User zu einer Tabelle, welche alle zukünftigen Buchungen anzeigt. Da in dieser Tabelle sehr viele Daten abgebildet werden müssen, wurde hier die Ansicht für mobile Endgeräte mit kleinem Bildschirm entsprechend angepasst. Die Unterschiede können in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** eingesehen werden.

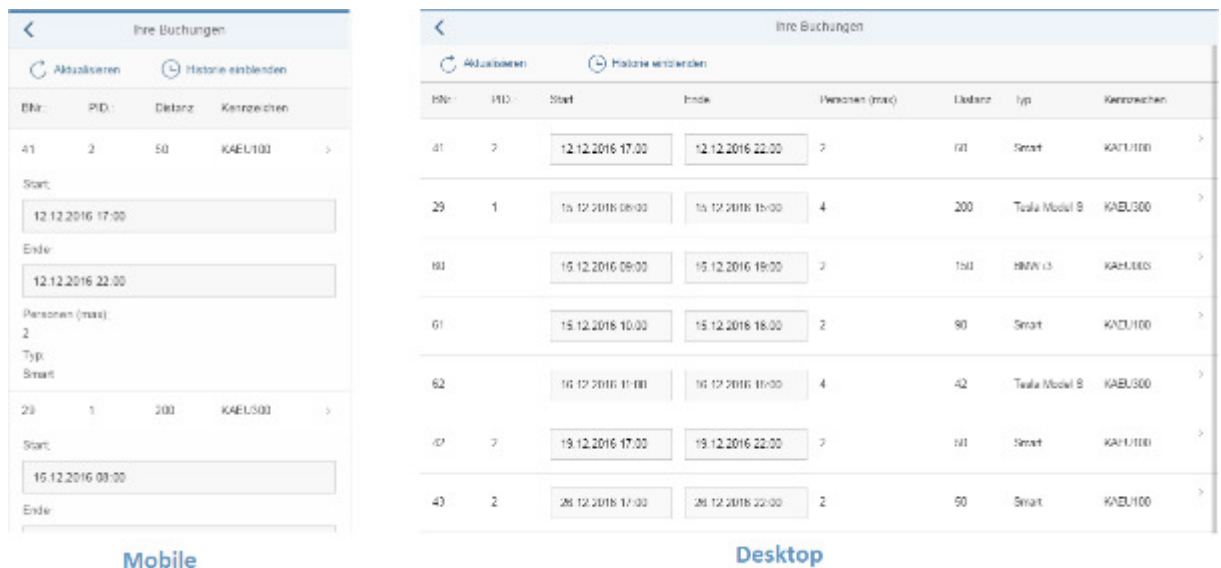


Abbildung 168 Buchungstabelle in der Ansicht für Mobile und Desktop

Allgemein werden zu jeder Buchung die entsprechende Buchungsnummer, der Startzeitpunkt, der Rückkehrzeitpunkt, die maximale Personenanzahl, die gebuchte Distanz, das Fahrzeug sowie das Kennzeichen angezeigt. Wurde eine Buchung durch ein Profil erzeugt, so wird zusätzlich noch eine Profil-ID zur besseren Zuordnung angezeigt. Jede Buchung ist einzeln bearbeitbar. Zum entsprechenden Screen zur Bearbeitung einer Buchung gelangt man durch einen Klick auf die entsprechende Zeile der jeweiligen Buchung.

Buchung bearbeiten

Auf dem Screen zur Bearbeitung einer Buchung hat der User alle Auswahlmöglichkeiten, die er bei Erstanlegung einer Buchung auch hat.

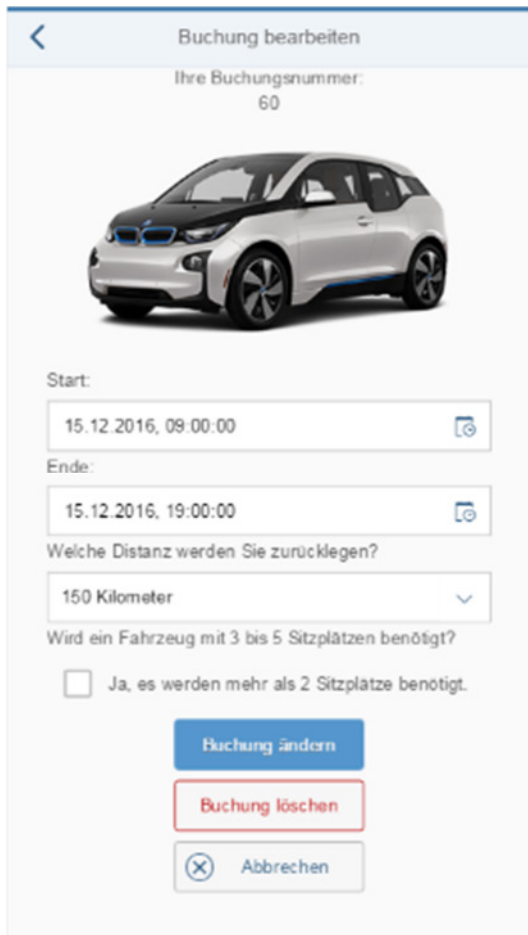


Abbildung 169 Buchung bearbeiten

Zusätzlich werden Buchungsnummer, das aktuell für ihn reservierte Fahrzeug sowie die bei der ersten Buchung eingegebenen Buchungsdaten vorausgefüllt angezeigt. War die erste Buchung eine Buchung mittels Eingabe eines Zielortes, ist zum jetzigen Stand des Applikation trotzdem lediglich eine Anpassung mittels manueller Auswahl der Gesamtdistanz möglich. Sind die Änderungen vorgenommen, können diese durch den Button „Buchung ändern“ gespeichert werden. Nun erfolgt eine erneute Prüfung auf Verfügbarkeit eines Fahrzeuges mit den geänderten Buchungsdaten. Ist kein Fahrzeug mit den neu eingegebenen Daten verfügbar, erhält der User eine entsprechende Rückmeldung. Hat der User eine durch ein Profil erzeugte Buchung bearbeitet, ändert sich lediglich diese. Alle anderen Buchungen des Profiles bleiben unverändert.

Im Bereich „Buchung bearbeiten“ kann eine Buchung ebenfalls gelöscht werden.

Profil anlegen

Durch den Bereich „Profil anlegen“ ist es möglich für einen bestimmten Gültigkeitszeitraum regelmäßige Fahrten anzulegen.

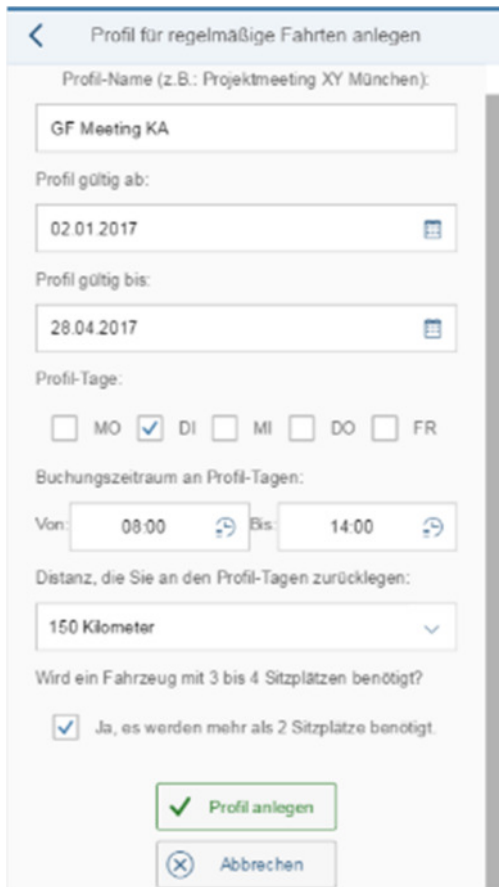


Abbildung 170 Profil anlegen

Hierzu ist es dem User zur besseren Übersicht möglich, dem Profil einen Namen zu geben. Im Anschluss wird der Gültigkeitszeitraum angegeben, zum Beispiel von Beginn bis zum Ende eines Projektes. Darauf folgen die Wochentage, an welchen das Profil gültig sein soll und die Uhrzeit, während der das Fahrzeug reserviert sein soll. Auch auf diesem Screen ist zurzeit nur eine manuelle Eingabe der Distanz möglich. Drückt der User nach Eingabe aller Daten den Button „Profil anlegen“, prüft das System zunächst jede einzelne Teilbuchung auf Verfügbarkeit. Ist einer der Buchungstage nicht verfügbar, dann wird die Erstellung des Profiles im aktuellen Stand der Applikation abgebrochen. Hier wäre in Zukunft eine Entscheidung des Users über das weitere Vorgehen denkbar. Zum Beispiel „Fortfahren und den betroffenen Termin auslassen“. Sind jedoch alle Termine verfügbar, so wird das Profil angelegt und der User erhält eine Popup-Bestätigungsmeldung.

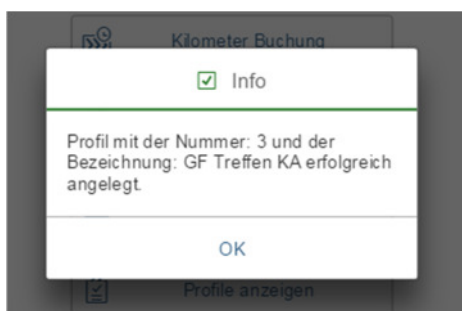
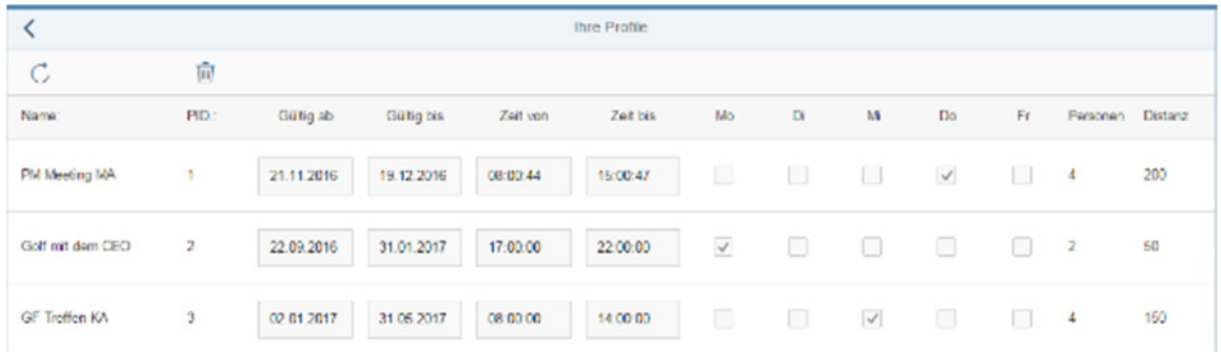


Abbildung 171 Bestätigung Profil anlegen

Profile anzeigen

Auf dem Screen „Profile anzeigen“ können alle relevanten Daten zu aktuell gültigen Profilen eingesehen werden. Auch hier existieren zwei Versionen, eine für Mobile und eine für Desktop. Nachfolgende **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Ansicht für Desktop.



Name	PID	Gültig ab	Gültig bis	Zeit von	Zeit bis	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Personen	Distanz
PM Meeting MA	1	21.11.2016	19.12.2016	08:00:44	15:00:47	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	200
Golf mit dem CEO	2	22.09.2016	31.01.2017	17:00:00	22:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	50
GF Treffen KA	3	02.01.2017	31.05.2017	08:00:00	14:00:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	150

Abbildung 172 Profile anzeigen

Im aktuellen Stand der Applikation können Profile noch nicht bearbeitet werden, lediglich durch einen Klick auf die entsprechende Zeile und im Anschluss auf den „Mülleimer“ gelöscht. Hierdurch werden alle in der Zukunft liegenden Buchungen des Profiles gelöscht.

Ladeplan

Auf diesem Screen werden dem Nutzer die auf Grund seiner Buchungen erzeugten Ladedaten angezeigt. Für die Berechnung der angezeigten Werte wurde ein „Attribute View“ in der SAP HANA Datenbank erstellt, welcher aus den Tabellen „Fahrzeugdaten“ und „Buchungen“ unter Zuhilfenahme von frei verfügbaren Angaben zu Energieverbrauch, Reichweite und Ladeleistung der Fahrzeuge für jeden auf eine Buchung folgenden Ladevorgang die voraussichtliche Dauer, den voraussichtlichen Beginn, das voraussichtliche Ende und die ungefähre Lademenge in Wh berechnet. Dabei handelt es sich zum aktuellen Stand der Applikation jedoch nur um grobe Annäherungswerte, welche auf Basis von theoretischen Vorgaben berechnet werden.

Diese Daten könnten nun in einem letzten Schritt, um den Zweck dieser Applikation zu verdeutlichen, der BI-Anwendung zum Lademanagement und um die Beantwortung von Flexibilitätsanfragen zu ermöglichen zur Verfügung gestellt werden. Dies könnte beispielsweise durch einen Hintergrundservice, welcher die Daten in regelmäßigen Abständen synchronisiert, umgesetzt werden.

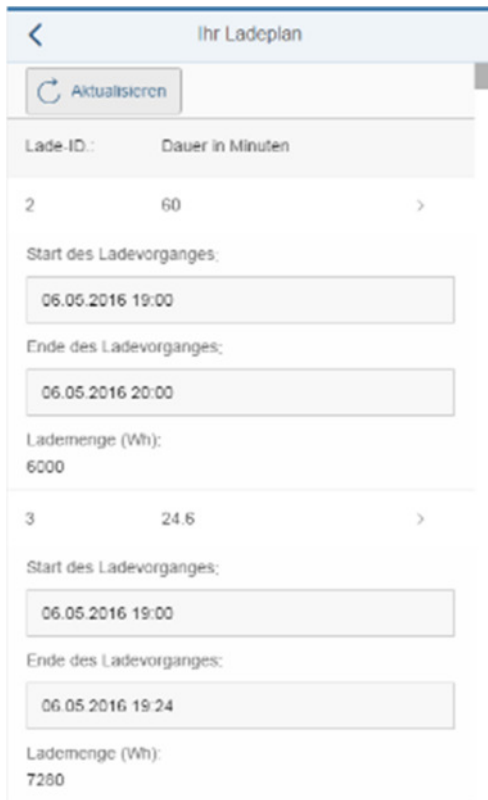


Abbildung 173 Ladeplan der Anwendung

Statistik

Auf dem Screen Statistik erhält der User Informationen zu aktuellen und statistischen Werten der BI-Anwendung. Aktuell werden dem User hier die gesamte angefragte Flexibilität, die gesamte bereitgestellte Flexibilität und der durchschnittliche Dringlichkeitsfaktor angezeigt. Zukünftig könnten hier individuellere Daten des Users angezeigt werden, beispielsweise die Übereinstimmung seiner Buchungen mit den tatsächlich durchgeführten Fahrten. Hier könnten jedoch auch Daten angezeigt werden, welche den User motivieren, frühzeitiger Buchungen vorzunehmen oder ähnliches.



Abbildung 174 Statistik Screen

Fazit

Die für die Corporate Carsharing Sicht der IMEI App geplanten Funktionen konnten zum Großteil umgesetzt werden. Somit wurde eine Anwendung geschaffen, welche mit Hilfe der Buchungen des Fahrzeugpools frühzeitig Ladedaten für das Lademanagement und die Beantwortung von Flexibilitätsanfragen der BI-Anwendung zur Verfügung stellen kann. Das Erreichen der geplanten Funktionen kann im Folgenden eingesehen werden:

Umgesetzte Funktionen:

- Vollständige Mobileoptimierung
- Einbindung der Statistik Daten der BI-Anwendung
- Berechnung der Buchungen
- Berechnung und Buchung von Profilen
- Berechnung von Buchungen anhand eines eingegebenen Zielortes zuverlässig über die Google Maps API
- Anzeige von Buchungen
- Bearbeiten und Löschen von Buchungen
- Anzeige von Profilen
- Löschen von Profilen
- Berechnung und Anzeige der auf jede Buchung folgenden Ladezeiträume inklusive der ungefähr erforderlichen Energiemenge
- Verwendung der eingegebenen Nutzerpräferenzen aus der mobilen App durch die BI-Anwendung im Falle des Use Cases „Private Car Management“
- BI-Anwendung zur Prognose von Flexibilitätspotential einer eFlotte

Einleitung

Ziel war die Ermittlung des Flexibilitätspotentials einer Elektrofahrzeugflotte mithilfe einer BI-Anwendung beispielhaft anhand der realen Elektrofahrzeugflotte beim Fraunhofer IAO in Stuttgart. Das Flexibilitätspotential (FP) ist die verschiebbare Energiemenge und ist begrenzt durch das Minimum von Lade- und Wartezeit.

Die Datensätze des Fraunhofer IAO enthalten anonymisierte Aufzeichnungen historischer Ladevorgänge aus dem Jahr 2015. Jeder Datensatz enthält unter anderem,

welcher Benutzer den Ladevorgang gestartet und welcher den Ladevorgang beendet hat. Diese können unterschiedlich sein, wobei der Großteil der Ladevorgänge durch den Nutzer beendet wurden, der diesen auch gestartet hat. Zu Start und Stop des Ladevorgangs ist jeweils der entsprechende Zeitstempel enthalten und wie viel Energie in diesem Zeitraum aufgenommen wurde. Außerdem ist die Dauer des reinen

Ladevorgangs angegeben, der meist von der gesamten Standzeit abweicht.

Da in der bereits bestehenden mobilen Anwendung zur Erfassung von Nutzungspräferenzen (siehe Kapitel 0) keine realen Nutzungsdaten vorhanden sind, wurden die historischen Datensätze des Fraunhofer IAO in Ladeaufträge umgewandelt und als solche in die BI-Anwendung importiert.

Im Rahmen der Analyse der Datensätze wurden u.a. jeder einzelne Ladevorgang der insgesamt ca. 1700 Ladevorgänge pro Nutzer aggregiert und in einem Diagramm visualisiert. Dadurch geht hervor, welche Nutzer z.B. die in Summe längste bzw. kürzeste Standzeit hatte und welcher Nutzer in Summe die längste bzw. kürzeste Ladezeit hatte. Betrachtet man sowohl die Stand- als auch die Ladezeit kombiniert ergibt sich der durchschnittliche Dringlichkeitsfaktor pro Nutzer. Ein hoher Dringlichkeitsfaktor entsteht, wenn Ladezeit gleich Standzeit des Fahrzeugs sind. Ein niedriger Dringlichkeitsfaktor entsteht dagegen, wenn die Standzeit des Fahrzeugs um ein vielfaches höher als die Ladezeit ist. Viele Nutzer mit einem niedrigen Dringlichkeitsfaktor sind damit ein guter Indikator für ein hohes Flexibilitätspotential.

Folgende Abbildung zeigt eine Clusteranalyse zu den historischen Ladedaten des Fraunhofer IAO.

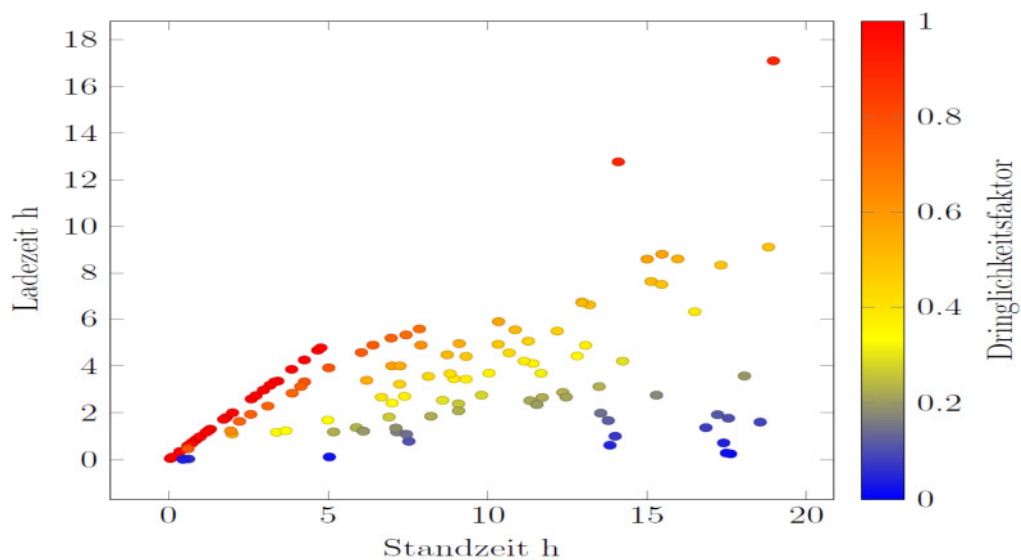


Abbildung 175 - Clusteranalyse zu den historischen Ladedaten des Fraunhofer IAO

Ziel war es außerdem, dass mithilfe der BI-Anwendung der Aggregator befähigt wird Flexibilitätspotential zu ermitteln um Flexibilitätsangebote abgeben zu können. Hierfür muss der Aggregator Flexibilitäts-Anfragen erfassen, auswerten und beantworten

können. Eine Flexibilitäts-Nachfrage beinhaltet die Angabe einer Leistung, um welche der

Aggregator seine Stromnachfrage erhöhen, bzw. verringern und einen Zeitraum, in

welchem er dies durchführen soll. Für die Auswertung muss er die geplanten Ladevorgänge der ihm zugewiesenen Elektrofahrzeuge kennen. Diese beinhalten die benötigten

Informationen zur Berechnung der Stand-, Lade-, und Wartezeit. Mit diesen kann er die

einzelnen Flexibilitätspotenziale seiner Fahrzeuge anschließend berechnen und aggregiert

die Potenziale aller Fahrzeuge, welche zur Erfüllung der Nachfragen herangezogen werden können. Damit erfährt der Aggregator die maximale Leistungsverringerung oder -erhöhung welche er bereitstellen könnte und kann die Nachfrage beantworten.

IT Konzept

Anwendungsfälle

Anwendungsfall	Kurze Beschreibung
Clusteranalyse	Visuelle Darstellung des Flexibilitätspotentials (siehe Abbildung 175 - Clusteranalyse zu den historischen Ladedaten des Fraunhofer IAO)
Neue Ladeaufträge einlesen	Über die bereits bestehende mobile Anwendung ist ein Fahrzeugnutzer bereits in der Lage, seine Nutzungspräferenzen zu erfassen. Diese enthalten unter anderem die benötigte Menge (über die gewünschte Reichweite und den Verbrauch des Fahrzeugs errechnet), sowie Ankunfts- und Abfahrtszeit. Noch nicht in der Anwendung enthaltene Ladeaufträge müssen in diese übertragen werden. Hierbei muss bereits eine Filterung von nicht relevanten Datensätzen erfolgen. Diese sind zum Beispiel Datensätze mit der Menge 0 kWh.
Flexibilitätsanfrage anlegen	Der Netzbetreiber kann Flexibilitätsfragen einstellen. Wird eine solche Anfrage eingestellt, muss sie in das System übertragen und abgespeichert werden.
Ladevorgang verschieben	Um die Flexibilität eines Fahrzeugs abrufen zu können, muss dessen Ladevorgang verschoben werden. Wird zum Beispiel in Zeitraum X eine verringerte Leistungsaufnahme benötigt, so muss die Leistungsaufnahme verringert und der Ladevorgang verlängert oder X auf Zeitraum Y verschoben werden.
Flexibilität berechnen	Um Flexibilitätsanfragen beantworten zu können, muss der Aggregator die Flexibilität seiner Fahrzeuge berechnen. Der komplette Prozess wird im folgenden Kapitel beschrieben.

Dringlichkeitsquotient berechnen	Im Zuge der Flexibilitätsberechnung müssen die Dringlichkeitsquotienten der betroffenen Fahrzeuge ermittelt werden. Der Aggregator muss diese Funktion zusätzlich separat aufrufen können, um einen Überblick über die Kritikalität seiner Ladevorgänge zu bekommen.
Flexibilitätsanfrage beantworten	Stellt der Aggregator nach Berechnung der ihm zur Verfügung stehenden Flexibilität fest, er kann die Anfrage zum Teil oder komplett erfüllen, so antwortet er mit einem Angebot, welches die mögliche Energiemenge enthält.
Statistik	Zeigt eine Statistik, welche aufzeigt wie viele der Flexibilitätsanfragen positiv, negativ oder zum Teil beantwortet werden konnten.
Simulation	Simuliert eine Reihe von Flexibilitätsanfragen auf die vorhandenen Ladeaufträge. Es soll möglich sein, sowohl alle Flexibilitätsanfragen einzeln, als auch kombiniert zu simulieren.
Anfragen für Ladeauftrag	Berechnet dem Fahrzeugnutzer die zu seinem Ladeauftrag passenden Flexibilitätsanfragen.

Tabelle 17: Anwendungsfälle

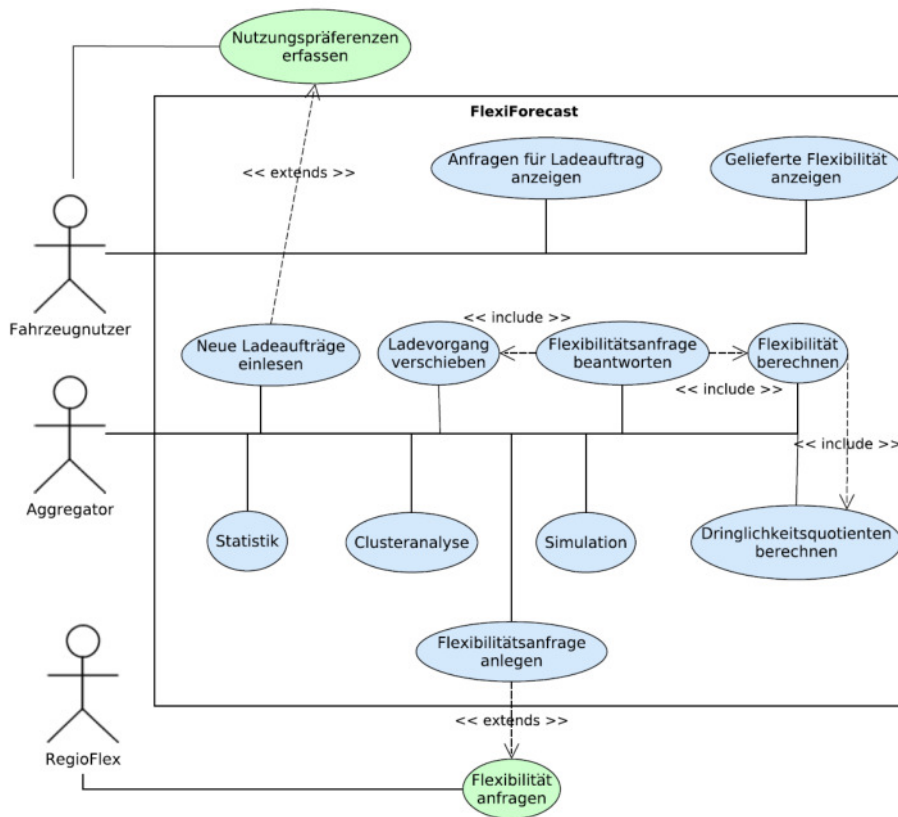


Abbildung 176 - Anwendungsfälle der BI-Applikation „FlexiForecast“

Prozess zur Ermittlung des Flexibilitätspotentials

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, beinhalten Elektrofahrzeuge, wie die der Flotte vom Fraunhofer IAO ein gewisses Flexibilitätspotenzial, welches abgerufen werden kann. Die Fahrzeugnutzer stellen Flexibilität bereit, in dem sie vor dem Ladevorgang angeben, wie lange das EV steht und wie hoch die bei der Abfahrt benötigte Energiemenge, bzw. die gewünschte Reichweite sein wird.

Tritt eine Flexibilitätsanfrage beim Aggregator ein, so muss er zuerst alle relevanten Fahrzeuge für diese Anfrage sammeln. Hierbei handelt es sich um alle Fahrzeuge, welche im angefragten Zeitraum sich in einem ladenden Zustand befinden. Für diese muss nun berechnet werden, inwieweit sie dazu beitragen können, die Flexibilitätsanfrage zu erfüllen. Hierfür werden IDLE-, Ladezeit und die exakte Überschneidung des Anfrage und Ladezeitraums berechnet. Anschließend wird errechnet, ob die Überlappung komplett oder zu welchem Teil verschoben werden kann.

Als Ergebnis dieser Rechnung ergibt sich eine Teilmenge aller Ladevorgänge – nämlich die **Menge aller verschiebbaren Ladevorgänge zu einer Flexibilitätsanfrage**. Diese Menge ist das Flexibilitätspotential, das der Aggregator zur Verfügung hat.

Die Fahrzeuge der Menge aller verschiebbaren Ladevorgänge werden anschließend nach ihrem Dringlichkeitsquotienten und der Energiemenge, welche sie bereitstellen können sortiert. Bei Fahrzeugen mit niedrigem Dringlichkeitsfaktor ist das Risiko einer Ladungsverschiebung geringer als bei solchen mit hohem Faktor. Sollte ein betrender Fahrer also früher sein Auto wieder benutzen, ist es mit höherer Wahrscheinlichkeit

geladen. Zudem werden Fahrzeuge welche eine große Energiemenge bereitstellen können bevorzugt, da hier insgesamt weniger Ladevorgänge verschoben werden müssen.

Der komplette Prozess wird in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** visualisiert.

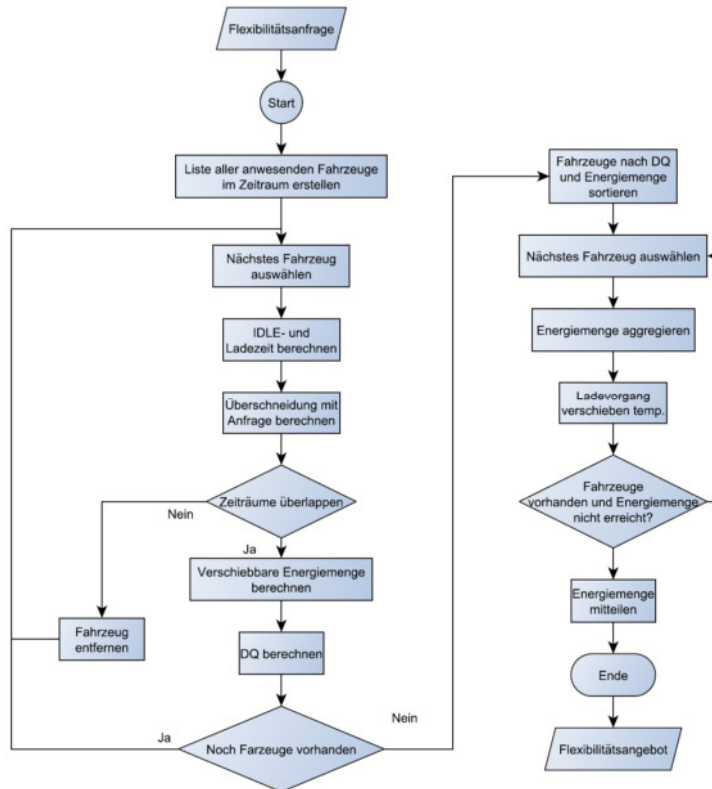


Abbildung 177: Prozess zur Ermittlung des Flexibilitätspotentials

Technologieauswahl

Nachfolgend soll die zu verwendende Software für die Entwicklung der BI-App festgelegt werden.

Clusteranalyse

SAP stellt für Datenanalysen und ähnliches einige bereits implementierte Algorithmen mit der SAP HANA PAL¹⁶⁸ zur Verfügung. Da die komplette Anwendung auf der HANA Plattform entwickelt wird und auch die Daten auf dieser liegen, soll auch die Clusteranalyse mit Hilfe dieser Bibliothek auf der HANA durchgeführt werden.

Frontend - SAPUI5

Als Frontend soll das JavaScript-Framework SAPUI5 verwendet werden. SAPUI5 ist ein Framework, welches von der SAP SE zur Entwicklung von Webanwendungen konzipiert wurde. Es unterstützt viele Funktionalitäten des Webstandards HTML5 und bietet erweiterte JavaScript-Funktionalität durch die Einbindung von jQuery. Dadurch enthält das Framework sehr gute Möglichkeiten zur Kommunikation mit Servern, wie zum Beispiel das OData-Protokoll. Die Entwicklung mit SAPUI5 erfolgt nach dem Model-View-Controller (MVC)

¹⁶⁸ SAP SE. SAP HANA Predictive Analysis Library (PAL). Version 1.0. Nov. 2015.

Architekturmuster. Dieses unterteilt die Anwendung in die drei Teile Datenmodell (Model), Präsentation (View) und Steuerung (Controller). Durch diese Trennung können die Komponenten (zum Beispiel die Oberfläche) leichter ausgetauscht oder erweitert werden und sowohl die Lesbarkeit, als auch die Wartbarkeit verbessern sich.

Backend - SAP HANA Plattform

Im engeren Sinn ist SAP HANA eine In-Memory-Datenbank. In-Memory bedeutet, dass die Datenhaltung und Verarbeitung im Arbeitsspeicher erfolgt und nicht, wie bei herkömmlichen Datenbanksystemen, durch Festplatten. Festplatten werden nur noch zur Absicherung der Datenbestände verwendet. Die HANA Plattform beinhaltet aber auch einen Anwendungs- und Webserver in Form der XS-Engine und einem Index-Server. Diese bilden die Grundlage für die Entwicklung einer neuen Anwendung in SAPUI5 und SAP HANA. Eine Übersicht über die einzelnen Bestandteile gibt die Abbildung unten.

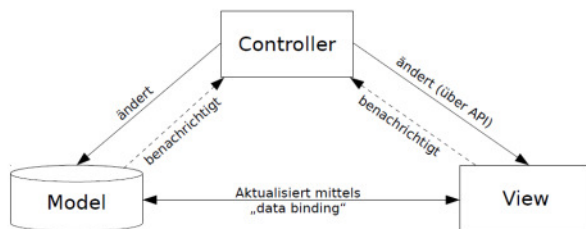


Abbildung 4.1: MVC-Muster

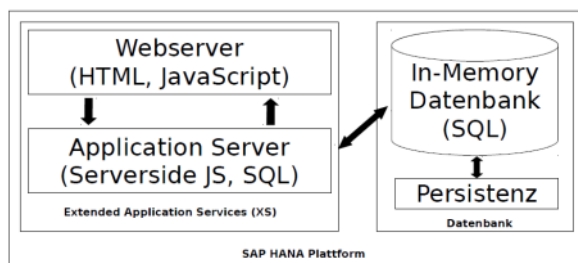


Abbildung 178 - Systemarchitektur der BI-Anwendung

SAP HANA erweitert die traditionelle Datenbank-Server Rolle und Funktionen, welche bis jetzt auf separaten High-Level Clients in Sprachen wie ABAP, Java oder C++ ausgeführt wurden, können nun immer mehr direkt in die Datenbank verlagert werden. Dies hat große Vorteile, da Anwendungen meist in einem zusätzlichen Server mit eigenem Speicherbereich ausgeführt werden. Um in diesem Umfeld die Funktion nun durchführen zu können müssen die notwendigen Daten z.B. über die SQL-Schnittstelle hin- und hergeschoben werden, was große Ineffizienz bedeutet. Dies ist mit der neuen Technologie nicht mehr notwendig. Datenmodell

Das Datenmodell der FlexiForecast Anwendung verwendet einen Teil des Datenmodells der mobilen Anwendung und erweitert dieses um die notwendigen Entitäten und Attribute um das Lademanagement und die Flexibilitätsprognose durchführen zu können. Abbildung unten zeigt ein Entity-Relationship Diagramm eines Ausschnitts des Datenmodells beider Anwendungen.

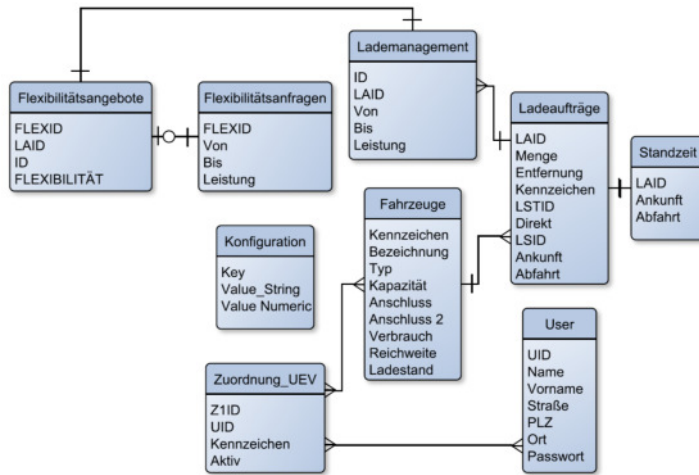


Abbildung 179 - Datenmodell der mobilen und der BI-Anwendung

Die Entität Ladeaufträge beinhaltet die Nutzerpräferenzen, welche über die Mobile Anwendung von jedem Fahrzeugnutzer (Entität User) angegeben wurden. Sie enthält die für die Flexibilitätsprognose relevanten Informationen wie Kennzeichen, Lademenge, Ankunft und Abfahrt der einzelnen gewünschten Ladevorgänge. Zusammen mit der Anschluss-Information, welche die Ladeleistung eines jeden Fahrzeugs angibt, aus der Fahrzeug-Entität, kann das Lademanagement eines jeden Fahrzeugs berechnet werden. Dies beinhaltet zum einen die gesamte Standzeit eines Fahrzeugs in der Entität Standzeit und die konkreten Ladezeiten in der Entität Lademanagement. Diese Entität gibt an, in welchem Zeitraum das Fahrzeug mit welcher Leistung geladen wird. In der Entität Flexibilitätsanfragen werden die Anfragen des Netzbetreibers gespeichert. Diese beinhalten, einen Beginn, ein Ende und die gewünschte Änderung in der Leistungsaufnahme. Nachdem eine Flexibilitätsanfrage berechnet wurde, werden die entsprechenden Antworten in der Entität Flexibilitätsangebote gespeichert. Für jeden Ladeauftrag, welcher an der Beantwortung teilnimmt wird ein separater Eintrag erstellt. Für ein konkretes Angebot aggregiert ein Datenbankview alle einzelnen Angebote zu einer Anfrage. In der Entität Konfiguration können verschiedene Parameter wie die Slotdauer oder die Pufferdauer bei Ladevorgängen eingestellt werden. **Benutzeroberfläche**

Für die Benutzeroberfläche wird eine Weboberfläche mit SAPUI5 erstellt. Der Startbildschirm

soll als Dashboard mit direktem Zugang zu den wichtigsten Funktionen aufgebaut werden (vgl. Abbildung unten).

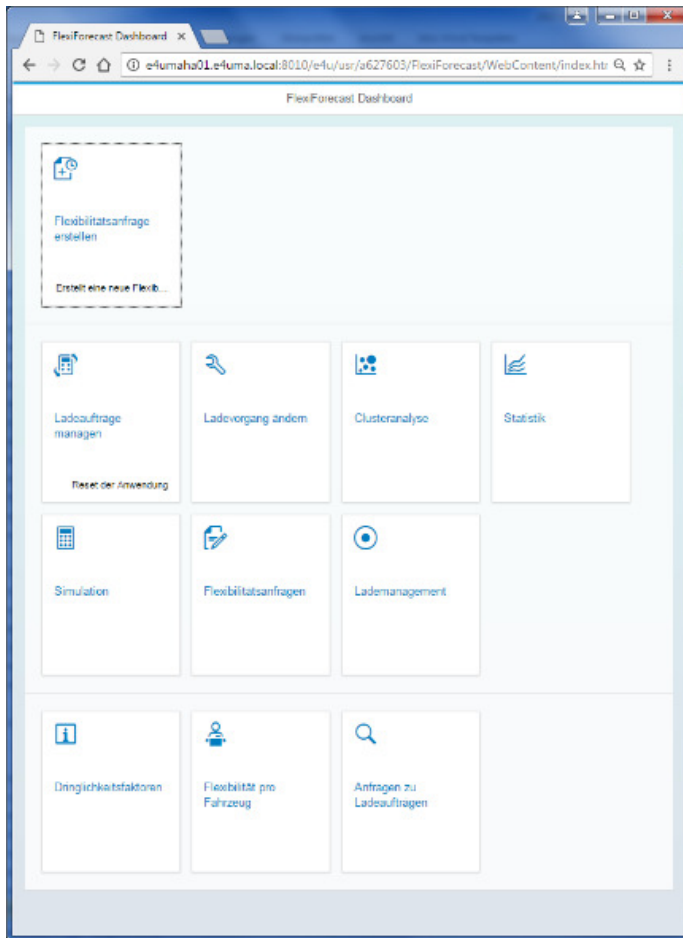


Abbildung 180 - Benutzeroberfläche der BI-Anwendung (Start-Screen)

Da es sich bei Ladeaufträgen, Ladevorgängen und Flexibilitätsanfragen stets um mehrere Datensätze handelt, sollen diese in tabellarischer Ansicht dargestellt werden.

Umgesetzte Funktionalitäten

Flexibilitätsanfragen anzeigen

Nach einem Klick auf die Kachel Flexibilitätsanfragen gelangt man zu einer tabellarischen Auflistung aller im System vorhanden Anfragen.

Wird eine Flexibilitätsanfrage ausgewählt, erscheint automatisch der aktuelle Erfüllungsgrad und die hierfür verwendeten Ladeaufträge. Nach Auswahl eines Ladeauftrages kann anschließend über einen Klick auf den Pfeil in das entsprechende Lademanagement gesprungen werden.

Flexibilitätsanfragen

ID	Von	Bis	Leistung
4	2015-09-15T09:00:00	2015-09-15T10:00:00	-100 kW
5	2015-09-18T09:00:00	2015-09-18T10:00:00	50 kW
6	2015-09-17T09:00:00	2015-09-17T10:00:00	-10 kW

Anfragemenge

10
kWh

Erfüllungsgrad der Anfrage

4.59
kWh

46%

Einzelne Angebote →

LAIID	Leistung
16	2,29 kW
1665	2,29 kW

Abbildung 181- Flexibilitätsanfragen und Erfüllungsgrad anzeigen

Flexibilitätspotential berechnen

Wird eine Flexibilitätsanfrage ausgewählt und die verschiebbaren Ladevorgänge berechnet, wird auf die Seite zum Verschieben der Ladevorgänge verzweigt.

Flexibilitätsberechnung

Anfrage

ID: 5
 Von: 2015-09-18T09:00:00
 Bis: 2015-09-18T10:00:00
 Leistung: 50

Anfrage kann zum Teil erfüllt werden

Verschiebbare Ladevorgänge

LAIID	Von	Bis	Überschneidung	Flexibilität	Dringlichkeitsfaktor
898	2015-09-18T08:15:00	2015-09-18T10:45:00	3600 s	6,59 kWh	0,13
1544	2015-09-18T07:15:00	2015-09-18T09:15:00	900 s	0,57 kWh	0,61

Abbildung 182: Menge verschiebbarer Ladevorgänge zu einer Flexibilitätsanfrage

Auf dieser Seite (siehe Abbildung oben) werden noch einmal die Informationen der Anfrage dargestellt, sowie ob die Anfrage vollständig, zum Teil oder nicht erfüllt werden kann. Wird ein einzelner oder mehrere Ladevorgänge ausgewählt, so wird die verschiebbare Energie neu berechnet. Über den Button werden die ausgewählten Ladevorgänge verschoben. Das Flexibilitätspotential wird durch modellierte Calculation Views berechnet. Für negatives und

positives Flexibilitätspotential ist der Aufbau der Views derselbe, nur die Berechnung des Flexibilitätspotentials erfolgt auf unterschiedliche Weise. Direkt aufgerufen wird aber nur der View Flexibility.calculationview\, welcher dann intern je nach Art der Anfrage auf die Views PositiveFlexibility.calculationview\ und NegativeFlexibility.calculationview\ verzweigt. Nachdem alle relevanten Daten selektiert wurden, kann die Flexibilität in eine neue Spalte berechnet werden.

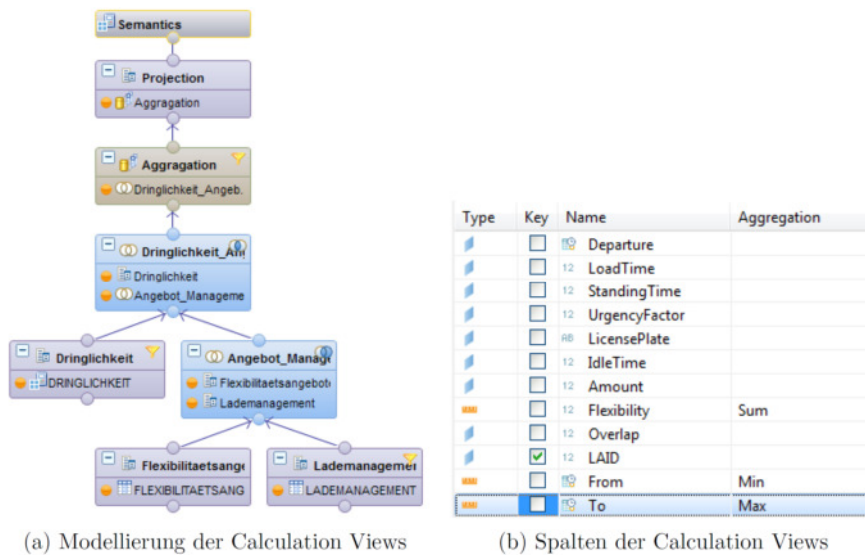


Abbildung 183 - Modellierung der Calculation Views zur Berechnung des Flexibilitätspotentials

Simulation

Für die Simulation stehen drei Anwendungsfälle zur Verfügung (vgl. Abbildung unten). Zum einen können Flexibilitätsanfragen für den Zeitraum der Ladeaufträge simuliert werden, diese dann der Reihe nach berechnet werden oder miteinander kombiniert werden.

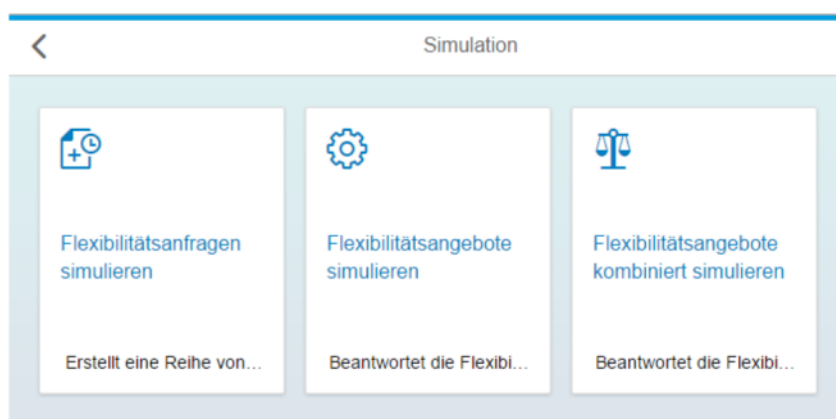


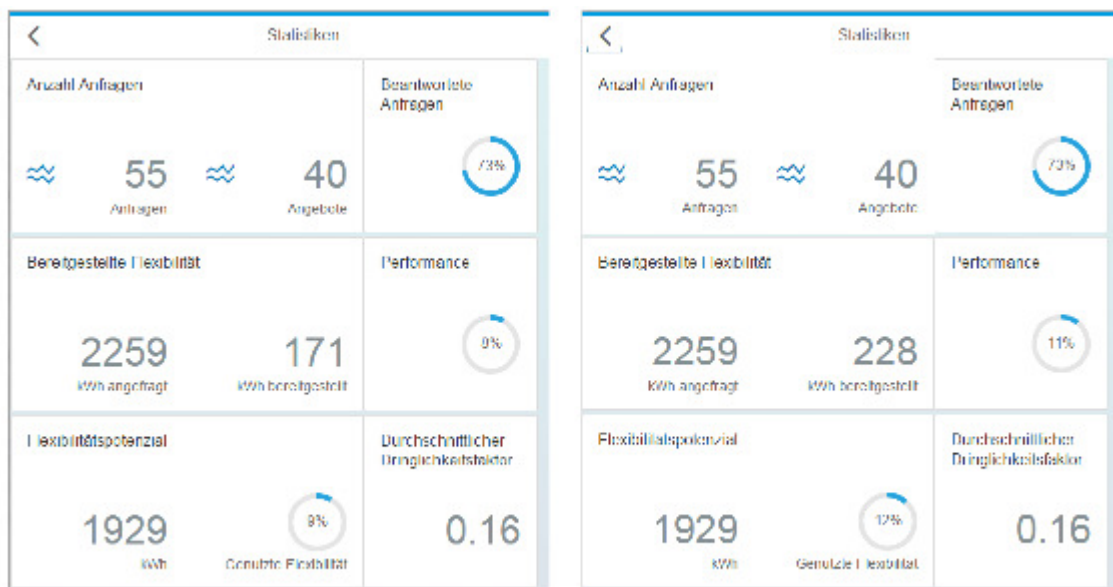
Abbildung 184: Simulation

Für die Simulation der Flexibilitätsanfragen wurde die ServerSide-JavaScript Datei " SimulationInitialization.xsjs\ angelegt. Diese nimmt als Input eine beliebige Zahl größer null als Angabe für die Anzahl der anzulegenden Anfragen. Anschließend wird der früheste Anfangszeitpunkt, sowie der späteste Endzeitpunkt der Ladeaufträge ermittelt. Dies ergibt

den Zeitraum in welcher die Anfragen angelegt werden sollen. Die maximale Länge für so angelegt Flexibilitätsanfragen wurde auf drei Stunden festgelegt, die kürzeste ist die Slotdauer. Anfragen werden prinzipiell auf die Slotdauer gerundet. Für die angefragte Leistung werden Werte zwischen 100 kW bis 100 kW per Zufallsprinzip ausgewählt. Die so erzeugten Anfragen werden anschließend per SQL an die Datenbank übertragen. Zur einfachen Simulation der Flexibilitätsanfragen wurde die Datenbankprozedur `SimulateFlexRequests.hdbprocedure` angelegt. Diese selektiert alle im System vorhandenen Flexibilitätsanfragen und sortiert diese nach ihrem Anfangszeitpunkt. Anschließend werden diese einzeln abgearbeitet und für jede Anfrage mittels des Views zur Berechnung der Flexibilität die bereitstellbare Flexibilität berechnet und wenn möglich die entsprechenden Ladevorgänge verschoben. Die `ServerSide-JavaScript` Datei `SimulateFlexRequests.xsjs` dient als einfaches Interface, um die Prozedur über einen `Http-Request` aufrufen zu können. Zur kombinierten Simulation der Flexibilitätsanfragen steht die Datenbankprozedur `SimulateCombinedRequests.xsjs` zur Verfügung. Diese ermittelt zuerst alle möglichen Kombinationen und sortiert diese nach der möglichen bereitzustellenden Flexibilität. Anschließend werden diese der Reihe nach abgearbeitet, bzw. die entsprechenden Ladevorgänge verschoben, bis keine weiteren Kombinationen mehr möglich sind oder alle abgearbeitet wurden. Die `ServerSide-JavaScript` Datei `SimulateCombinedFlexRequests.xsjs` dient als einfaches Interface, um die Prozedur über einen `Http-Request` aufrufen zu können.

Fazit

Durch die vorgelagerte kombinierte Beantwortung von Flexibilitätsanfragen konnte in allen Testläufen die bereitgestellte Energiemenge erhöht werden. Abbildung unten zeigt einen Vergleich der sequentiellen Abarbeitung aller Flexibilitätsanfragen mit der vorgelagerten kombinierten Beantwortung. In diesem Beispiel konnten bei 55 zufällig angelegten Flexibilitätsanfragen sieben Kombination ermittelt und somit die Flexibilität, welche bereit gestellt werden konnte um 57 kWh erhöht werden.



(a) Statistik der einfachen Abarbeitung

(b) Statistik der kombinierten Abarbeitung

Abbildung 185 - Vergleich von 2 Methoden zur Berechnung von Flexibilitätspotential

6.5. AP 540 - Entwicklung zukünftiger Marktdesigns

Motivation

Im Rahmen der Energiewende steht der Strommarkt vor zahlreichen Veränderungen. Der Anteil der zentralen Großkraftwerke, welche bisher den größten Teil der Grundlast gedeckt haben, wurde bis heute und wird in den nächsten Jahren - vor allem durch die Stilllegung der Atomkraftwerke bis 2022 deutlich reduziert. EE-Kraftwerke, wie Onshore-Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen, haben dagegen an Verbreitung zugenommen (Bognar, 2015) (VDE, 2007). Charakteristisch für diese „neuen“ Kraftwerke ist die Volatilität ihrer Erzeugung und ihre Dezentralität (He, et al., 2013).

Man steht vor der Herausforderung mit der fluktuierenden Einspeisung Erneuerbarer Energien umzugehen, sowohl um die Netzstabilität als auch die Versorgungssicherheit zu gewährleisten (Franke, et al., 2015). Hierfür ist eine Anpassung des Strommarktdesigns notwendig, da dieses das Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage organisiert. Da sich die Designelemente über viele Jahre entwickelt haben, wurde nicht vorrangig auf die Flexibilität des Systems geachtet. Bis zum Jahr 2000 war das vorherrschende Ziel des Strommarktdesigns, größtmögliche Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Die EVUs waren vertikal integrierte staatliche Unternehmen mit Versorgungsmonopolen. Im Rahmen der Liberalisierung und der Energiewende wurden die Zielstellungen der Energieversorgung komplexer. Es ist nun notwendig, die Designelemente und regulatorischen Vorgaben einzeln auf ihre Eignung für einen flexibleren Strommarkt zu prüfen und wenn nötig Anpassungsvorschläge zusammenzutragen (BMW, 2014).

Definition Flexibilität im Kontext des Strommarktes

Flexibilität ist die freiwillige Anpassung des Angebots- oder Verbrauchsverhaltens nach einem externen Signal (Ohrem, et al., 2015). Bezogen auf den Strommarkt fallen unter Anpassung des Angebotsverhaltens folgende Optionen: Zusätzliche Produktion von Strom aus anderen Energieträgern, Bereitstellung von gespeichertem Strom und die Fähigkeit, Ersatz im Netz durch Zukauf von Strom (z. B. aus dem EU-Verbund) zu organisieren. Eine Anpassung des Nachfrageverhaltens kann durch Speicherung von Elektrizität in anderen Energieformen, Lastverschiebung und Lastverzicht erfolgen. Eine Netzinfrastruktur, die auf dieses „neue“ Strommarktdesign abgestimmt ist, ist Grundbedingung für die Organisation des Strommarktes (BMW, 2014, p. 69ff.). Externe Signale, die Anreize für diese Flexibilität schaffen, können Geld, virtuelle Guthaben oder andere Entlohnungen sein, von denen der potentielle Flexibilitätsanbieter profitiert (Lugmaier, 2015). Von positiver Flexibilität spricht man, wenn zusätzliche Erzeugungsleistung bereitgestellt werden kann bzw. Lasten abgeschaltet werden, während negative Flexibilität das Abschalten von Erzeugungsleistung bzw. das Zuschalten von Lasten beschreibt (Krzikalla, et al., 2013).

Zielsetzung

Ziel der Seminararbeit ist die Bewertung von Marktdesignelementen im Kontext eines Strommarktes, der die Aufnahme von Flexibilitätsprodukten erleichtert, und die Ableitung zentraler politischer Entscheidungsfragen aus diesen. Unter Beachtung der technologischen Möglichkeiten wird aufgezeigt, wie Vertriebswege für Flexibilität geschaffen oder optimiert werden können. Die Untersuchung der Veränderbarkeit der Strukturen des Energy-Only- und des Regelenergiemarkt sowie die Möglichkeiten der Schaffung gesetzlicher Grundlagen unter Gewährleistung eines maximalen Maßes an Flexibilität, ohne die

Versorgungssicherheit, Preiswürdigkeit und Umweltverträglichkeit einzuschränken, sind die Zielsetzungen dieser Arbeit. Konkret geht es um die Frage: Welche Flexibilitätsprodukte sind möglich und welche Anforderungen stellen bestehende Energiemarktstrukturen an diese?

Struktur

Im ersten Kapitel werden die technischen Möglichkeiten der Nachfrager, Anbieter und Netzbetreiber beschrieben, um mit der Einspeisevariabilität der Erneuerbaren Energien umzugehen. Anschließend wird dargestellt, welche Anforderungen verschiedene Produktumgebungen, wie der Großhandels- und Regelleistungsmarkt, mit sich bringen. Des Weiteren wird geprüft, wie in diesen Umgebungen existierende Produkte optimiert oder neue Produkte in die vorhandenen Umgebungen eingebracht werden können. Die Erörterung der Möglichkeiten des Gesetzgebers, die Flexibilität am Strommarkt zu erhalten und zu unterstützen, ist ein weiterer Bestandteil dieser Arbeit. Die möglichen Antworten auf die Fragen, welche Anforderungen an ein flexibles Strommarktdesign ermittelt werden können und welche aktuellen energiepolitischen Entscheidungsfragen für die Bundesregierung von zentraler Bedeutung sind, bilden das Fazit dieser Arbeit.

Flexibilitätsoptionen

Die Energiewende bringt eine Umstrukturierung des Energiesystems mit sich. Diese Umstrukturierung macht Lastausgleich notwendig, da, wie in der Motivation bereits erwähnt, der Anteil an angebotsvolatilen Energieträgern steigen wird. Angebotsvolatilität bedeutet, dass ein immer größer werdender Teil der Elektrizitätserzeugungstechnologien, wie Wind und Sonne, schwer regelbar ist. Dies erklärt, dass ausschließlich mit diesen Technologien kein kontinuierliches Angebot an Grundlast gesichert ist. Herkömmliche Technologien, die unabhängig von äußeren Einflüssen Strom erzeugen können, müssen fähig sein, kurzfristig die gesamte Stromnachfrage abdecken zu können.

Es müssen Erzeugungstechnologien zur Verfügung stehen, die flexibel genug sind, die Residuallast decken zu können. Es gibt vier verschiedene Ansätze, in welche sich Möglichkeiten des Lastausgleichs untergliedern lassen. Diese betreffen

- die Flexibilisierung des Stromangebots
- die Flexibilisierung der Stromnachfrage durch Demand Site Management
- die Verstärkung oder den Ausbau von Netzen
- und den Ausbau von Speichern.

Alle Flexibilitätsoptionen, die in diese Kategorien fallen, können unterschiedlich bewertet werden. Es kann eine Kategorisierung hinsichtlich ihrer Regelbarkeit, ihres Potentials, ihrer Kosteneffizienz und ihrer Umsetzbarkeit erfolgen. Die Maßnahmenpakete stehen in der Flexibilisierung des Strommarktes nicht in Konkurrenz, sondern ergänzen sich gegenseitig und begünstigen sich auch teilweise (siehe Kapitel 6.3.). Im Folgenden kann, wie in Abbildung 159 dargestellt, ein schematischer Überblick über eine effiziente Einsatzreihenfolge abgeleitet werden.

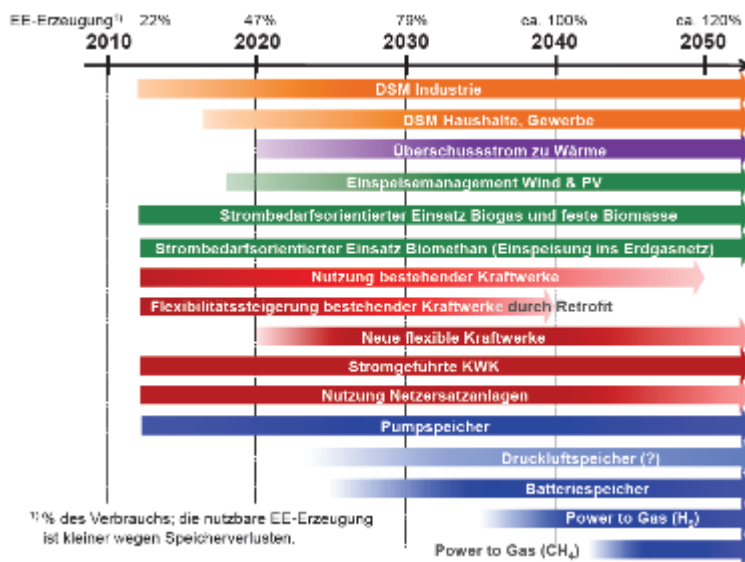


Abbildung 186: Einsatzreihenfolge von Flexibilitätsmaßnahmen (Krzikalla, et al., 2013)

Flexibilität auf der Angebotsseite

Konventionelle Kraftwerke (inkl. KWK)

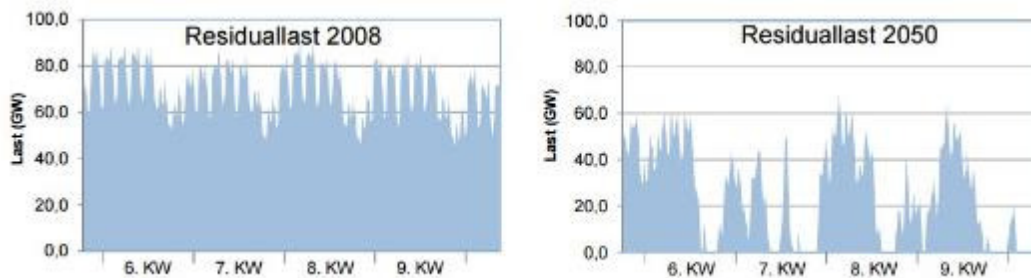


Abbildung 187: Veränderungen der Lastrampen und Lastwechsel bis 2050 (Frohne, 2012)

Am heutigen Strommarkt fahren die konventionellen Kraftwerke die Residuallastkurve nach und decken zusammen mit den Pumpspeicherkraftwerken den Bedarf an Flexibilität. Simulationsrechnungen haben ergeben, dass die Gradienten der Residuallast durch den Zubau von erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2020 von 11GW/h auf 15GW/h-20GW/h ansteigen werden (Magnin, 2012) (Brauner, 2012).

Herkömmliche Kraftwerke haben auf den Nachteil auf Laständerungen nur sehr verzögert reagieren zu können. Eine Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit ist nur unter Inkaufnahme einer erhöhten Abnutzung möglich. Ohne weitere Maßnahmen können die konventionellen Kraftwerke den erhöhten Flexibilitätsbedarf in Zukunft nicht mehr decken (Krzikalla, et al., 2013). Dass der Leitungsbau bis 2020 voraussichtlich nicht ausreichend sein wird und der Speicherausbau zu gering in Leistung und Speicherenergie ist, sind weitere Gründe für den Bedarf an flexiblen Kraftwerken (Pyc, 2013).

Folgende Möglichkeiten können die Flexibilität des Kraftwerksparks in Deutschland erhöhen:

- Retrofit bestehender fossiler Kraftwerke
- Neubau flexibler fossiler Kraftwerke
- Stromgeführter Einsatz von KWK.

Der Retrofit bestehender Kraftwerke beschreibt die Aufrüstung von konventionellen Kraftwerken durch Umbau oder Optimierung. Hierfür gibt es von technischer Seite die Möglichkeit mechanischer oder leittechnischer Anpassungen, die aber nicht Teil dieser Seminararbeit sein sollen. Ein Retrofit verbessert die Flexibilitätseigenschaften der am heutigen Markt größtenteils veralteten Anlagen deutlich. Eine Verbesserung erfolgt in der Höhe des Leistungsgradienten, der Mindesterzeugungsleistungen, der Teilwirkungsgrade und der Anfahrtszeiten. Grundsätzlich sind alle thermischen Kraftwerke für einen Retrofit geeignet.

Kraftwerkstyp		Steinkohle	Braunkohle	Gas- und Dampfkraftwerk (GuD)	Gasturbine solo
Lastgradient	%P _N /min	1,5 / 4 / 6	1 / 2,5 / 4	2 / 4 / 8	8 / 12 / 15
in Bereich	%P _N	40 – 90	50 - 90	40*) - 90	40*) - 90
Minimallast	%P _N	40 / 25 / 20	60 / 50 / 40	50 / 40 / 30	50 / 40 / 20
Anfahrzeiten:					
Heiß (< 8 h)	h	3 / 2,5 / 2	6 / 4 / 2	1,5 / 1 / 0,5	< 0,1
Kalt (> 48 h)	h	10 / 5 / 4	10 / 8 / 6	4 / 2 / 2	< 0,1

Lesehinweis: heute üblich / Stand der Technik / Optimierungspotential

Tabelle 18: Das Potential der heutigen thermischen Kraftwerke (Magnin, 2012)

Tabelle 17 zeigt, dass sich in den zentralen Anforderungsbereichen, niedrige Minimallast, hohe Lastgradienten und kurze Anfahrzeiten, der heutige Stand der Technik bei weitem nicht mit dem verbreiteten technischen Niveau deckt. Die Lastgradienten können um bis zu 15%PN/min erhöht und auch die Minimallast kann um bis zu 40%PN reduziert werden. Allgemein ist zu sagen, dass das Optimierungspotential bei den Steinkohleanlagen am größten ist: Die Technik dieser Anlagen, mit einem Erzeugungsanteil in Deutschland von 19,7%, ist oftmals veraltet, obwohl die technisch bedingte Minimallast bei einer Erneuerung der Anlagen stark reduziert werden könnte. GuD-Kraftwerke und Einzelgasturbinen erreichen von den fossilen Kraftwerken den höchsten Lastgradienten bei geringster Anfahrzeit. Heutige konventionelle Kraftwerksneubauten bedienen sich nahezu ausschließlich dieser Technologie (Magnin, 2012).

Vorteile von Retrofits sind, neben den spezifisch niedrigeren Investitionskosten gegenüber dem Neubau von Anlagen, geringere Genehmigungsrisiken und die kurzfristige Realisierbarkeit. Der technisch mögliche Beitrag von konventionellen Kraftwerken an der Flexibilisierung des Strommarktes durch Retrofits ist zurzeit noch größer, als die Investitionstätigkeit es vermuten lässt (Tersteegen, 2012). Dies liegt vor allem an folgenden Hemmnissen: Mit der sinkenden Auslastung und anhaltend zu geringen Strompreisen können die konventionellen Kraftwerke im existierenden Marktmodell die Fixkosten der Stromerzeugung nicht mehr decken (Frohne, 2012). Häufig fehlt den Betreibern der Anreiz zur Ausnutzung der Retrofitpotentiale, da die Haltung thermischer Mindestkapazität bei niedrigen Volllaststunden durch heutige Geschäftsmodelle nicht wirtschaftlich dargestellt wird (Pyc, 2013). In Kapitel 3 werden die Anforderungen an ein Strommarktdesign, welches diesen Potentialen den nötigen Investitionsanreiz verschafft, analysiert.

Retrofit-Anlagen sind aufgrund oben genannter Vorteile durchaus sinnvoll. Um langfristig den benötigten Bedarf an Residualleistung zu decken, ist aber auch der Neubau von Kraftwerken notwendig (Frohne, 2012). Die Tabelle 3 und Abbildung 3 zeigen, dass Stand-Alone Gasturbinen einen sehr hohen Lastgradienten aufweisen, hierbei aber nur Wirkungsgrade bis etwa 39% erzielen können. Höhere Wirkungsgrade bis 60% lassen sich durch Kombikraftwerke aus einer Gas- und einer Dampfturbine erreichen. Moderne GuD-Kraftwerke können heute im Heißstart in einer halben Stunde auf Volllast gefahren werden (Brauner, 2012).

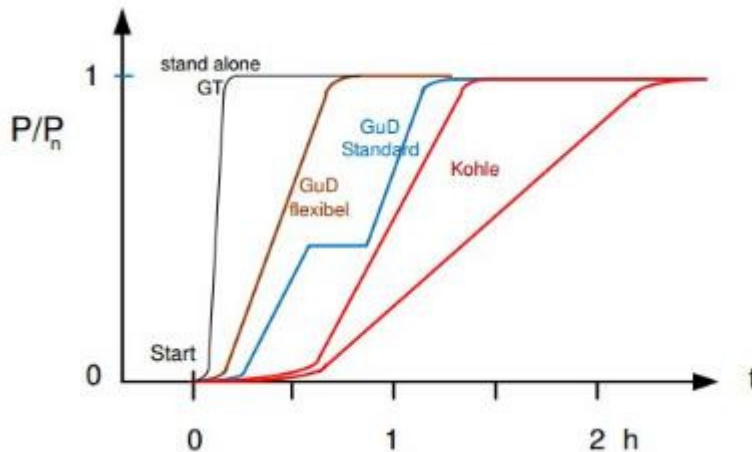


Abbildung 188: Leistungsgradienten von thermischen Kraftwerken (VDE Frankfurt, 2012)

Die Flexibilität und die Gradientenfähigkeit sind wichtige Kriterien beim Neubau von Kraftwerken, da Blöcke, welche nur kleine Gradienten ermöglichen, im Regeleinsatz in großer Zahl erforderlich sind (Brauner, 2012). Wie dies vermuten lässt, nutzen hochflexible Kraftwerke hauptsächlich die GuD Technologie. Die Anzahl der geplanten und im Bau befindlichen Gaskraftwerke übersteigt die Anzahl der geplanten Kohlekraftwerke um mehr als das Doppelte. Diese werden aufgrund der hohen Investitionskosten, Wartungs- und Betriebskosten in Verbindung mit niedrigen Vollbenutzungsstunden nicht mehr sinnvoll sein (Bundesnetzagentur, 2014). Die Investitionskosten für GuD-Kraftwerke sind ungefähr halb so hoch wie für Steinkohlekraftwerke (Krzikalla, et al., 2013). Weiterentwicklungspotential für GuDs besteht bei der Erhöhung des Wirkungsgrades und der Reduzierung des Brennstoffverbrauchs, was sich letztendlich immer weiter positiv auf die Betriebskosten auswirken wird (Casey & al., 2006).

Da das Potential von flexiblen Kraftwerksneubauten beliebig groß ist, stellt sich die Frage, wie viel Kraftwerksleistung erforderlich ist und überhaupt wirtschaftlich betrieben werden kann. Der Neubau von Kraftwerken sollte grundsätzlich erst etwa ab dem Jahr 2020 forciert werden, wenn neue Kraftwerke zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit benötigt werden. Hemmend für die Umsetzung ist, wie auch beim Retrofit, das derzeitige Marktdesign. In Kombination des derzeitigen Marktdesigns mit den Entwicklungen auf dem Strommarkt sind die Deckungsbeiträge für konventionelle Kraftwerke weit unter die Deckung der Vollkosten gesunken (Krzikalla, et al., 2013).

Die dritte Möglichkeit, den konventionellen Kraftwerkspark zu flexibilisieren, stellt die stromgeführte Fahrweise von KWK-Anlagen dar. KWK-Anlagen, welche optimiert werden müssen, sind jene mit konstantem Strom-/Wärmeverhältnis. Diese werden heute meist wärmegeführt betrieben (Krzikalla, et al., 2013). Hierdurch kann folgendes Dilemma entstehen: Die KWK-Anlage produziert bei erhöhter Wärmenachfrage so viel Strom, dass die Einspeisung von Erneuerbaren Energien verdrängt wird, oder die KWK-Anlage geht vom Netz und der Wärmebedarf muss in ungekoppeltem Zustand gedeckt werden. Eine potentielle Lösung dieses Problems ist, langfristig alle KWK-Anlagen mit Pufferspeichern auszustatten und diese für eine strommarktgeführte Fahrweise zu nutzen. Als Pufferspeicher eignen sich aufgrund von Kosten und Effizienz Wärmespeicher. Durch sie kann sich die KWK-Anlage im gekoppelten Zustand am Strommarkt orientieren und schwankende Residuallast bedienen. Hierdurch kann negative Flexibilität angeboten werden, da bei stromseitigem

Bedarfsrückgang der Wärmebedarf aus den Speichern bedient und so die Stromproduktion ausgesetzt wird (Prognos AG, 2013).

Die Einbindung von Netzersatzanlagen, wie Notstromsysteme in z. B. großen Rechenzentren und Krankenhäusern, wird hier nur zur Vollständigkeit genannt und nicht weiter ausgeführt. Diese Methode kann genutzt werden, um extreme Residuallastspitzen und hohe positive Residuallastgradienten abzudecken (Krzikalla, et al., 2013).

EE-Flexibilität

Auch für das Stromangebot aus Erneuerbaren Energien gibt es Vorschläge zur Flexibilisierung. Da sich die dargebotsabhängige Stromerzeugung aus Wind und Sonne nach der Installation nur durch Abregelung steuern lässt, kann auch dies sinnvoll sein, um effizientes Einspeisemanagement zu betreiben. Abregelungsbedarf kommt auf, wenn die Residuallast so niedrig wird, dass unter Beachtung der Must-Run Kapazitäten ein Stromüberschuss auftreten würde. In diesem Fall wird auf die kostenlose Energieeinspeisung verzichtet, um die Stabilität aufrecht zu erhalten. Die Abregelung kann innerhalb von Sekunden erfolgen und kann deshalb optimal zur Bereitstellung negativer Regelenergie und Primärenergie genutzt werden (Krzikalla, et al., 2013).

Überregional treten diese Engpässe an Netzkapazitäten in den nächsten Jahren nicht auf. Dennoch kommt es in Regionen mit hoher Wind- oder PV-Einspeisung schon heute dazu, dass der Netzbetreiber nicht genügend freie Kapazitäten zur Verfügung hat, den eingespeisten Strom abzutransportieren und so EE-Kraftwerke abregeln muss, wie in Abbildung 4 anschaulich dargestellt ist (Bundesnetzagentur, 2014).

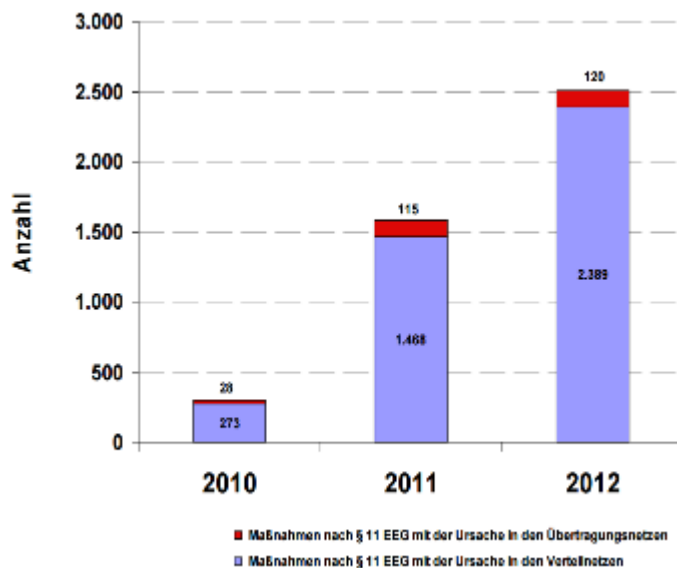


Abbildung 189: Abregelungsmaßnahmen der Netzbetreiber (Zerres, 2013)

Positive Flexibilität kann im EE-Sektor nur von Laufwasserkraftanlagen und Biomasseanlagen angeboten werden. Über 60% der Biomasseanlagen sind Biogasanlagen. Die mit Feststoff befeuerten Anlagen eignen sich wegen erheblich längeren Anfahrzeiten nicht zur Bereitstellung von Sekundärregelenergie und Minutenreserve (Thrän & Szarka, 2011). Um ein Biogas-BHKW strommarktgeführt fahren zu können, sind ähnlich wie oben bei der strommarktgeführten Fahrweise von fossilen KWK beschrieben, Pufferspeicher notwendig. Bei einem Biogas-BHKW ist zu einem Wärmespeicher zusätzlich ein Gasspeicher notwendig

oder das Biomethan muss direkt in das Erdgasnetz eingespeist werden. Das Kraftwerk wird nur dann betrieben, wenn die Einspeisung aus Wind und PV gering ist und die Börsenpreise demnach hoch sind. Diese Technik erlaubt eine Verschiebung der Einspeisung durch Laden des Gasspeichers in Zeiten hoher EE-Einspeisung und Entladen des Speichers in Engpasssituationen (Krzikalla, et al., 2013). Durch den Anschluss an das Erdgasnetz kann eine Bereitstellungsverlagerung auch über mehrere Tage erfolgen. Insbesondere die Hochfahrzeiten von wenigen Minuten auf maximale Last und die Bündelung vieler Anlagen lassen einen sehr hohen Lastgradienten zu. Da Biomasseanlagen unter die EEG-Vergütung fallen, können diese zurzeit wirtschaftlich betrieben werden. Im Gegensatz zu flexiblen konventionellen Kraftwerken lohnt sich die Investition in Kraftwerksneubauten (Hölder & Kraft, 2014). Laufwasserkraftwerke funktionieren unter Nutzung einer anderen Technologie sehr ähnlich wie Biogasanlagen. Auch diese können durch kurzfristiges Aufstauen („Pufferspeicher“) und verstärkten Abfluss sehr schnell positive und negative Regelenergie bereitstellen. Krzikalla geht von einem kurzfristigen Lastgradienten von bis zu 1,3 GW innerhalb von Sekunden aus. Das Ausbaupotential an Laufwasserkraftanlagen ist groß, aber durch Umweltauflagen beschränkt. Insbesondere wasserrechtliche Vorschriften und schiffahrtsbedingte Mindestwasserstände schränken die Flexibilität der Laufwasserkraftwerke etwas ein (Krzikalla, et al., 2013).

Flexibilität auf der Nachfrageseite

Im historischen Strommarktdesign wurde die Nachfrageseite als vergleichsweise unflexibel betrachtet. In den vergangenen Jahren herrschte auf dem Strommarkt kontinuierlich ein Überangebot: Es war nicht notwendig, die Last zu steuern oder zu verringern, da immer genug Erzeugungskapazitäten verfügbar waren, um diese zu decken (BMW, 2014).

Seit Beginn der Energiewende rückt der Begriff Lastmanagement immer weiter in den Fokus der gesellschaftlichen Diskussion. Lastmanagement beschreibt die Anpassung der Stromnachfrage an die Bedingungen, die durch Strombereitstellung gegeben werden. Hierdurch wird erreicht, dass Nachfragespitzen verschoben oder reduziert werden und so genügend Kapazitäten für eine Deckung der verbleibenden Nachfrage zur Verfügung stehen. Das „Glätten“ von Lastspitzen sowie das Provozieren von Lastspitzen in Zeiten von Überkapazität sollte bei der Installation von immer mehr fluktuierenden Erzeugungstechnologien, wie Wind- und Sonnenenergie, das Ziel des Lastmanagements sein. Damit wird eine optimale Energienutzung erreicht (Bruns, et al., 2012).

Sektor	Anwendung	Verlagerbare Energie [GWh]	Maximale Leistung [MW]
Industrie	Prozesstechnik, Querschnittsanwendungen	1.350	2.800
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	Kälte- und Klimatisierungstechnik	6.300	10.320
	ohne Klimatisierung	3.100	2.930
Haushalte	Kälte- und Wärmetechnik, weitere	26.600	20.585
	ohne Wärmepumpen und Nachtspeicher	11.300	3.705
Gesamt	Sommer	ca. 19.000	ca. 17.000
	Winter (ohne Nachtspeicher/ Wärmepumpen)	ca. 15.750	ca. 9.500

Tabelle 19: Potenziale flexibler Stromnachfrage (Klobasa, 2014)

Für die Laststeuerung gibt es verschiedene Ansätze: Die direkte Laststeuerung erlaubt es, dem Netzbetreiber oder Stromvertrieb Geräte (z. B. Klimaanlage) für eine vertraglich vereinbarte Zeit und Häufigkeit zu deaktivieren und so direkt Last abzuwerfen. In Großbritannien gibt es bereits Versuche, Häuser als „Wärmespeicher“ einzusetzen. Hierfür werden nachts gezielt Elektroheizungen eingesetzt, um tagsüber deren Stromverbrauch zu senken. Dies kann mit dem sogenannten „Time-of-use pricing“ verknüpft werden: Das Deaktivieren der Heizungen in Spitzenlastsituationen, wenn der Strompreis einen Peak erreicht, führt zu Kosteneinsparungen ohne negative Nebeneffekte. Eine weitere Idee ist der Einsatz von Leistungsabreglern: Wenn bestimmte Geräte im Haushalt einen bestimmten Tageshöchstverbrauch überschritten haben, werden diese von der Stromversorgung getrennt (Strbac, 2008).

Vor allem für Industrie und Gewerbe kann Demand Side Management interessant sein. Es zeichnet sich ab, dass Lastverschiebungsmodelle, wie oben für private Haushalte mit Elektroheizungen beschrieben, auch wirtschaftlichen Nutzen haben (Krzikalla, et al., 2013). Lastverschiebung wird unter anderem durch das Deaktivieren von Kühlanlagen in Supermärkten oder die zeitliche Verschiebung von Produktion in der Industrie erreicht. Im produzierenden Gewerbe ist die Schaffung von Lastspitzen auch durch Lasterhöhung durch Überproduktion und nachträglichem Produktionsverzicht möglich (Langrock, 2014) (Strbac, 2008). Die Potentiale flexibler Lasten sind in Tabelle 2 dargestellt und tragen mit einem Gesamtpotential von 17 GW im Sommer zur Glättung von Lastrampen bei.

Kunden mit einem Leistungsbedarf von mehreren 100 kW haben die Möglichkeit, direkt am Minutenreservemarkt in Deutschland teilzunehmen und so Lastflexibilität anzubieten (siehe Kapitel 3.2.3). Die Unternehmen geben an den ÜNB ein Angebot ab, ihre Last zu reduzieren, worauf der Betreiber sich das wirtschaftlich beste Angebot aussucht und die reduzierte Arbeit vergütet. Hierauf wird in Kapitel 3.1.1. näher eingegangen (ISET - Universität Kassel, 2006).

Eine ähnliches Konzept wie die Lastverschiebung in der Industrie und dem Gewerbe stellt das "Demand Response Management" für Privatverbraucher dar. Die Anzahl der Privatverbraucher und deren kumulierte Last sorgen für ein hohes Verschiebungspotential. Da die einzelnen Geräte der Verbraucher im Gegensatz zu Industrieanlagen nur sehr geringe Verbrauchslasten aufweisen, ist die Ansteuerung von vielen Anlagen unerlässlich. Dies

bedarf eines hohen Investitionsvolumens: Flächendeckende Nutzung von Smart-Meters, Smart-Appliances (DSM-fähigen Geräten) und intelligentes Pooling sind notwendig, um DSM in Haushalten so weit zu entwickeln, dass das verfügbare Potential nutzbar gemacht werden kann (Krzikalla, et al., 2013). Diese Entwicklung gestaltet sich schwierig, da die 24-stündige Verfügbarkeit von Strom als essentieller Teil des Lebensstandards angesehen und jeder Eingriff von außen als Verlust physischen Wohlbefindens angesehen wird (Ernst & Young, 2013).

Auch E-Pkw Nutzer sind bereit, sich in das Lastmanagement einbinden zu lassen und ihre Ladevorgänge zeitlich zu verschieben. Wenn der preisliche Anreiz groß genug ist und der Tagesablauf der Nutzer nicht eingeschränkt wird, können die Elektrofahrzeuge als mobile Pufferspeicher eingesetzt werden. Da bis 2020 mehr als 1 Mio. Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen unterwegs sein sollen, ist das Potential auf diesem Sektor sehr hoch. Zur Ausgestaltung des Lastmanagements sind verschiedene Ansätze wie die direkte Lastkontrolle oder das indirekte Lastmanagement möglich. Auch in der preislichen Ausgestaltung können verschiedene Konzepte wie feste oder verbrauchsabhängige Vergütung in Betracht gezogen werden (Paetz, et al., 2012).

Für alle Nachfrageflexibilitätsoptionen ist das heute größte Hemmnis die fehlende Wirtschaftlichkeit: Wegen der selten auftretenden Lastspitzen und geringen Preisdifferenzen im Großhandel bleibt abzuwarten, in welchem Ausmaß DSM durch Lastverschiebung und Lastabwurf wirtschaftlich nutzbar gemacht werden kann (Agora Energiewende, 2013). Die Entwicklungskapazitäten sind vor allem von der Bereitschaft der Nachfrager, ihre Last über das heute übliche Maß hinaus steuern zu lassen, abhängig. Einflussfaktoren für die Bereitschaft sind die Strompreisdifferenz, die Dauer und Häufigkeit des Demand-Response-Abrufs, die Vorwarnzeit und die Zahlungsstruktur (Flamm, 2014). Des Weiteren erschwert das unflexible Marktdesign, auf welches ich in Kapitel 3 näher eingehen werde, die Etablierung von Demand Side Management.

Flexibilität durch das Netz

Alle Flexibilisierungen von Anbietern und Verbrauchern sind nicht zu realisieren ohne ein Netz, welches mit den Veränderungen im Strommarkt wächst und sich weiter entwickelt. Die immer dezentralere Einspeisung und der bidirektionale Energiefluss stellen neue Herausforderungen an das Netz (Merkel, 2012). Begrenzte Kapazitäten im ländlichen Raum, und die alternde Infrastruktur machen Spitzenlastmanagement, automatische Ausfallvermeidung und Defektbehebung notwendig.

Das Netz trägt maßgeblich dazu bei, zu einem bestimmten Zeitpunkt verschiedene Nachfrager und Anbieter miteinander in Kontakt zu bringen. Übertragungskapazität ist deshalb eine Grundvoraussetzung für einen marktwirtschaftlich organisierten Strommarkt. Umso mehr räumliche Flexibilität gegeben ist, desto mehr Flexibilitätsanbieter können zur Deckung der Last in das Netz eingebunden werden. Eine gute Vernetzung von Ein- und Ausspeisepunkten führt daher zu mehr Wettbewerb, geringeren Strompreisen, der Verminderung von Netzengpässen und einem besseren Ausgleich von Erzeugungs- und Lastspitzen (BMW, 2014).

Den Netzbetreibern stehen mehrere Möglichkeiten offen, das Netz zu befähigen mehr Flexibilität in das Strommarktdesign zu bringen. Netzverstärkung bedeutet, bestehende

Leitungen mit Leitungen höherer Kapazität zu ersetzen. Beim Netzausbau geht es um den Bau neuer Verbindungen zum Transport elektrischer Energie (Bruns, et al., 2012).

Das Elektrizitätsnetz lässt sich grundsätzlich in die Höchst-/Hochlastspannungsebene (Transportnetz, auch Übertragungsnetz) und die Niedrig-/Mittellastspannungsebene (Verteilnetz) untergliedern. Die neu errichteten großen, leistungsstarken Standorte für Windenergie befinden sich in der Nordsee, während sich die zentralen Lastzentren in Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg befinden. Die Szenarien für die Energiewende schreiben den Off-Shore-Windparks eine zentrale Rolle in der Erzeugungsstruktur der Zukunft zu. Für Transportnetzbetreiber, mit den Leitungen der 380 und 220 kV Ebene, bedeutet dies, leistungsstarke Höchstspannungsnetze bereitstellen und ausbauen zu müssen, welche die Überbrückung dieser Distanzen auch für große Strommengen möglich machen.

Gemäß der Deutschen Netz Agentur sind die heutigen Netze hierfür nicht geeignet (dena, 2010). In Abbildung 5 sind die großen Transportnetzneubauprojekte in Zentraleuropa, welche bis 2022 geplant sind, verzeichnet. Eine für die Zukunft dieser Langstreckenübertragung aussichtsreiche Technologie ist die HGÜ-Übertragung. Während bei den in Deutschland typischen Wechselstromnetzen die Verluste über große Distanzen unwirtschaftlich groß werden, lässt sich Gleichstrom deutlich besser transportieren. Abbildung 5 zeigt die geplanten Nord-Süd-Verbindungen durch HGÜ-Leitungen. Transnationale HGÜ-Verbindungen stehen in Form eines Overlaynetzes in der Diskussion (Bruns, et al., 2012).

In der Vergangenheit wurde in den Mittel-/Niedrigspannungsebenen wenig Wert auf Kommunikationstechnologie gelegt. Diese Netze und die darin eingebundenen Appliances sind in deutlich schlechterem Zustand als die großen Übertragungsnetze. Die Energieinfrastruktur muss jetzt um intelligente Informations- und Kommunikationstechnologie, die automatisierten Informationsaustausch zulässt, erweitert werden (Krzikalla, et al., 2013). Erst die Verknüpfung dieser Technologie, der sogenannten Smart Grids, mit der in Kapitel 2.2. beschriebenen Nutzung von Smart-Meters und Smart-Appliances, machen die notwendige Stabilität im Verteilnetz und DSM auf Dauer effizient und wirtschaftlich nutzbar (VDE, 2012).

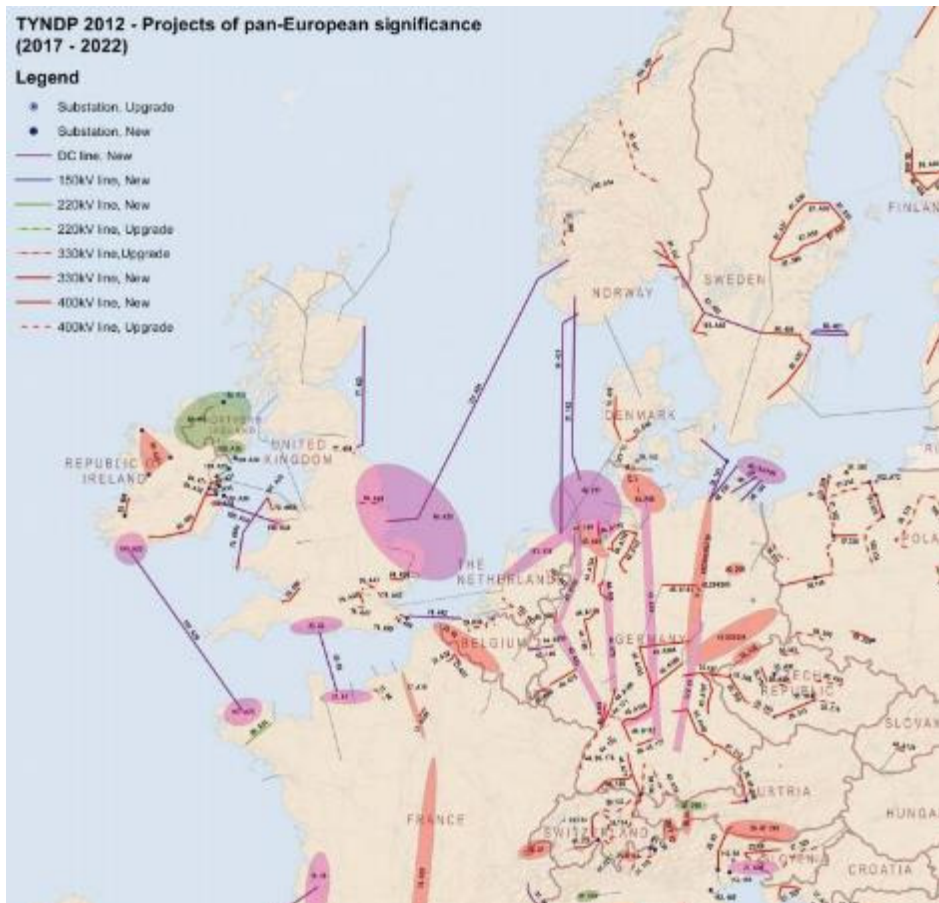


Abbildung 190: Europäische Transportnetzausbau Projekte 2017-2022 (ENTSO-E, 2012)

Grundsätzlich muss gesagt werden, dass der deutsche Strommarkt nur als Teil des ENT- SO-E Verbundgebietes funktioniert. Der Netzausbau mit dem europäischen Ausland ist ebenfalls eine wichtige Flexibilitätsoption, da jedes Land andere Last- und Erzeugungsprofile aufweist. Diese verschiedenen Profile können sich langfristig auch über europäische Grenzen hinweg ausgleichen und so Lastspitzen und -senken glätten (SRU, 2013).

Flexibilität durch Speicher

Ein ideales Strommarktdesign sieht vor, die regenerativen Energien nur insoweit auszubauen, dass geeignete Energiespeicher die nachgefragte Leistung jederzeit bereitstellen können. Dies wäre, unter Beachtung einer notwendigen Sicherheitsreserve, die kostengünstigste und ressourcenschonendste Variante der elektrischen Energieversorgung.

Energie kann durch verschiedene physikalische Prinzipien gespeichert werden. In der Vergangenheit wurden unterschiedliche Technologien aus diesen Prinzipien entwickelt. Neben einer Unterteilung in stationäre und mobile Speicher lassen sich die Technologien in folgende Kategorien unterteilen:

- Mechanische Speicher (z.B. Schwungrad, Pumpspeicherkraftwerke)
- Hydraulische Speicher (z.B. Druckluftspeicher)
- Elektrische Speicher (z.B. Spulen und Kondensatoren)

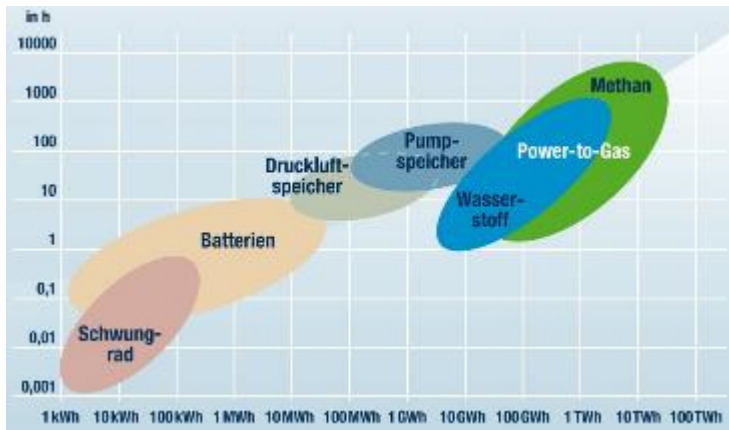


Abbildung 191: Speichertechnologien im Vergleich (DVGW, 2011)

- Elektrochemische Systeme mit internem Speicher (verschiedene Batterietechnologien)
- Chemische Systeme mit externem Speicher (z.B. Erdgas, Wasserstoff oder Flow-Batterien)
- Thermische Speicher (z.B. Power-to-Heat)

Bei stationären Speichern unterscheidet man zudem zwischen Kurz- und Langzeitspeichern. Kurzzeitspeicher mit einer Verschiebezeit von wenigen Sekunden bis Stunden sind zum Beispiel Batterien, Kondensatoren, Druckluftspeicher und Pumpspeicherkraftwerke. Langzeitspeicher, welche Energie bis zu mehreren Wochen speichern können, sind vor allem chemische Speicher (Gas und Wasserstoff) und große Speicherwasserkraftwerke.

Welche Speichertechnologie zum Einsatz kommt hängt insbesondere von den Preisen ab, zu denen die Energie wieder in den Markt eingespeist werden kann. Da Energie in Niedriglastphasen nahezu kostenlos in die Speicher aufgenommen werden und im Nachgang auch wieder ins Netz eingespeist werden kann, sind für die Wahl der Speichertechnologie hauptsächlich die Investitions- und Betriebskosten von Bedeutung (SRU, 2013).

In Abbildung 6 wird die Speicherzeit der Speichertechnologien über der Kapazität abgebildet. Schwungräder, Kondensatoren und Spulen können nur für die Frequenzregelung eingesetzt werden, da die Speicherkapazität sehr gering ist (StmWi, 2015). Im Folgenden soll nur auf die zukunftsträchtigsten, stationären Speicher für Netzanwendungen eingegangen werden: Druckluftspeicher, Pumpspeicher, regenerativ erzeugtes Methan / Wasserstoff und Batteriespeicher.

Pumpspeicher

Bei Pumpspeicherwerken wird während der Schwachlastzeiten Wasser von einem Unterbecken in ein Oberbecken gepumpt. Dieses Wasser steht mit einer erhöhten Lageenergie in der folgenden Zeit zur Deckung der Spitzenlast zur Verfügung und kann kurzfristig in elektrische Energie umgewandelt werden. Dies ist nahezu gleichbedeutend wie eine direkte Speicherung elektrischer Energie. In Pumpspeicherkraftwerken kann ein Wirkungsgrad von ca. 75% erzielt werden.

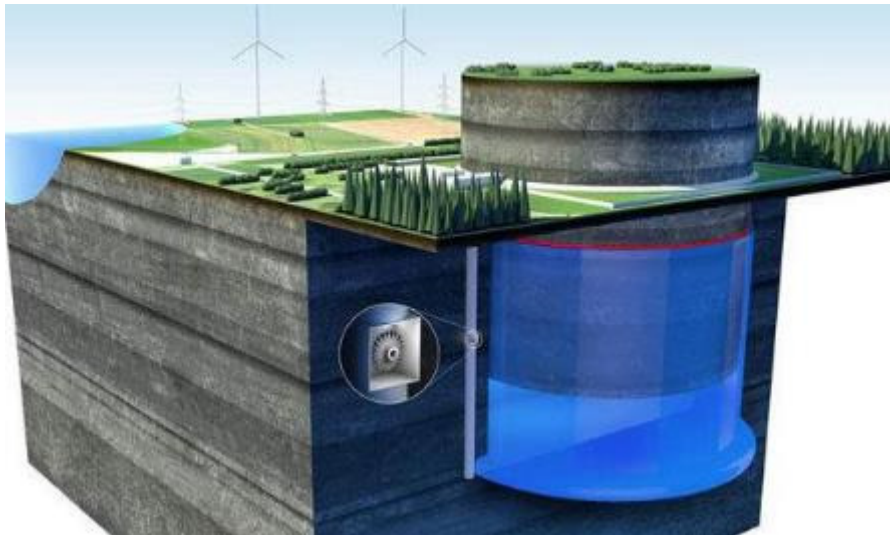


Abbildung 192: Modell für einen Lageenergiespeicher (Heindl, 2014)

Zum heutigen Stand der Technik erfüllen Pumpspeicherwerke die Anforderungen an Stromspeicher am besten. Die Technologie ist seit 1930 ausgereift, hat eine hohe Verfügbarkeit von über 95% und die Anlagen haben eine sehr hohe Lebensdauer. Die Kraftwerke können alle Regelernergiearten liefern und ermöglichen durch ihre hohe Leistung und flexibel skalierbare Kapazitäten ein großes Integrationspotential für erneuerbare Energien. Pumpspeicher sind, sowohl auf die Investitionskosten als auch auf die Betriebskosten bezogen, die kostengünstigste Speicherlösung im GWh-Bereich (Pöhler, 2015).

Ein anderer Ansatz ist das hydraulische Anheben einer großen Gesteinsmasse mit Wasserpumpen wie in Abbildung 7 zu sehen ist. Solche Systeme stehen noch am Anfang ihrer Entwicklung und wurden noch nie großtechnisch realisiert (Heindl, 2015).

Druckluftspeicher

Ein Druckluftspeicherkraftwerk (CAES) nutzt die Energie, die in komprimierter Luft enthalten ist. In Niedriglastzeiten speichert ein Verdichter Druckluft in einer unterirdischen Kaverne, die bei hoher Stromnachfrage mit Hilfe einer Gasturbine wieder in elektrischen Strom gewandelt werden kann (Mayer, 2007). Nachteil der konventionellen Druckluftspeicher ist der Energieverlust durch die notwendige Abkühlung der komprimierten Luft zum Schutz der Anlage. Die zwei weltweit einzigen installierten Druckluftspeicher haben deshalb einen eher geringen Wirkungsgrad von nur 40% und 52% (SRU, 2013). Der höhere Wirkungsgrad des zweiten Kraftwerks ist durch die Rückführung der Kompressionswärme zur Minderung des Brennstoffverbrauchs erklärbar. Seit einiger Zeit gibt es Forschungsprojekte, die versuchen, die herkömmlichen diabatischen Druckluftenergiespeicher adiabatisch zu nutzen und die bei der Kompression entstehende Wärme zu speichern. Diese gespeicherte Wärme wird beim Entladevorgang anstelle des Kraftstoffs zur Erhitzung der Luft verwendet und führt so zu einer Wirkungsgradsteigerung von bis zu 20%. Ein adiabatisches CAES-System kann rein regenerativ und ohne CO₂-Ausstoß betrieben werden. Trotz der technischen Möglichkeit sind bisher keine adiabatischen Kraftwerke in Betrieb, können aber vor allem in Norddeutschland mit Nähe zu großen Off- und Onshore-Windparks und vielen Salzkavernen eine zukunftssträchtige „Tagesspeichermöglichkeit“ mit schneller Reaktionszeit sein (Fuchs, et al., 2012).

Elektrochemische Systeme mit internem Speicher

Für Energiespeicher sind die erzielbare Energie- und die Leistungsdichte die entscheidenden Parameter. Für einen aussagekräftigen Vergleich verschiedener elektrochemischer Energiespeicher mit internem Speicher wird oft das Ragone-Diagramm angeführt, in dem diese Dichten übereinander aufgetragen werden.

Grundprinzip jeder elektrochemischen Batterie ist der Elektronenübergang von einem Stoff auf einen anderen. Beim Ladevorgang wird so eine elektrische Spannung erzeugt und beim Entladevorgang wieder abgebaut. Die Energiedichte (in Wh/kg, in Abb. 8, Spezifische Energie der Zelle) beschreibt, welche Energiemenge pro Kilogramm in der Batterie gespeichert werden kann. Sie wird hauptsächlich von der Masse der Reaktionspartner bestimmt. Die Leistungsdichte gibt hingegen an, wie viel Leistung pro Kilogramm aus der Batterie entnommen werden kann und ist maßgeblicher Indikator für die Reaktionsfähigkeit der Batterie. Die älteste Batterietechnologie, die Blei-Säure Batterie, ist wegen geringen Anfangsinvestitionen, guter Skalierbarkeit und kurzen Amortisationszeiten schon heute in der stationären Anwendung weit verbreitet (Fuchs, et al., 2012). Nickelbasierte Systeme (in Abb. 10: Ni-Cd und Ni-MH) haben eine höhere Energiedichte, schnellere Ladezyklen, eine längere Lebensdauer und sind bei tiefen Temperaturen leistungsfähiger als Blei-Säure Batterien. Verdrängt werden nickelbasierte Systeme in Zukunft von Lithium-Ionen Batterien (Beck, et al., 2013). Diese haben die höchste Energiedichte und Leistungsfähigkeit, verursachen zum heutigen Zeitpunkt aber noch zu hohe Kosten. Durch wachsende Stückzahlen in der Automobilindustrie ist in den nächsten Jahren mit deutlichen Kostensenkungen zu rechnen (Fuchs, et al., 2012).

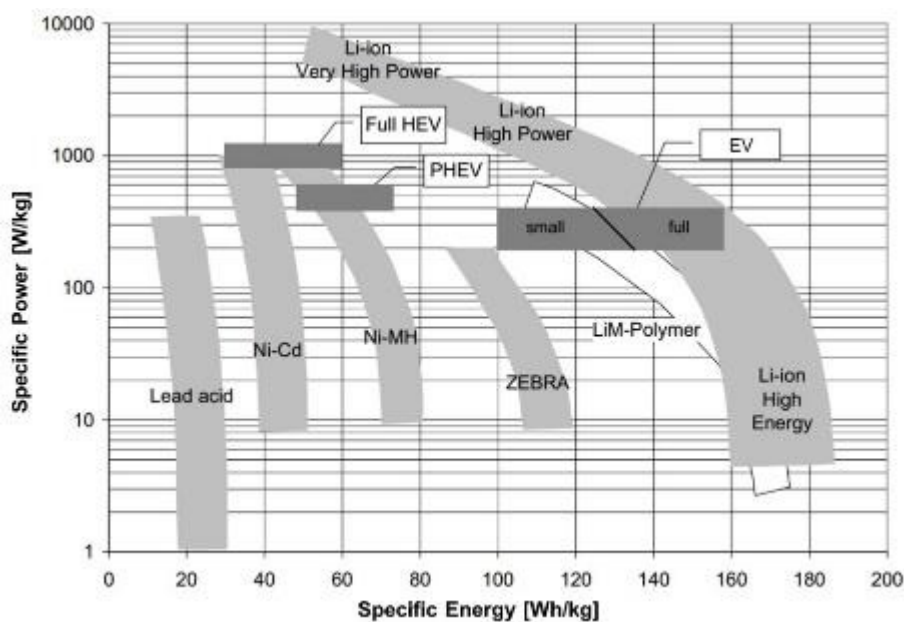


Abbildung 193: Ragone-Diagramm (Kalhammer, et al., 2007)

Momentan dienen Batteriespeicher hauptsächlich zur optimalen Ausnutzung von Solarstrom und als Sicherheitsreserve für stromsensible Einrichtungen. Für die Zukunft ist zu diskutieren, welchen Beitrag dezentrale Batteriespeicher zur Integration erneuerbarer Energien leisten können. Wirtschaftlich nutzbar sind Batterien heute als Momentanreserve zur sofortigen Frequenzunterstützung und als positive und negative Primärregelleistung, da sie hohe Leistungsänderungsgradienten im ms-Bereich aufweisen (Fuchs, et al., 2012).

Andere Anwendungsgebiete im Bereich der Sekundär- und Tertiärregelleistung sowie als Erzeugungsausgleich auf Termin- und Spotmärkten sind technisch zwar möglich, die Wirtschaftlichkeit steht aber zur Prüfung aus (Sternner, et al., 2015).

Chemische Systeme mit externem Speicher

Power-to-Gas (Methan / H₂)

Die Idee von P2G ist, Strom aus regenerativen Quellen in Wasserstoff oder Methan umzuwandeln (siehe Abbildung 9). Durch das vorhandene Gasnetz sind die Speichermöglichkeiten nahezu unbegrenzt. Energie kann dort langfristig gespeichert und verlustarm transportiert werden. Die Transformation von Elektrizität in SNG (Synthetisches Erdgas) erfolgt in zwei Schritten: Mit erneuerbarem Strom wird durch Elektrolyse Wasserstoff erzeugt, welcher anschließend methanisiert wird. Für die Elektrolyse gibt es verschiedene technische Verfahren, auf die an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden soll. Der

„grüne“ Wasserstoff wird direkt als Kraftstoff in der chemischen Industrie genutzt oder in unterirdischen Salzkavernen gespeichert. Alternativ wird mit Hilfe der Methanisierung aus H₂ und CO₂/CO synthetisches Methan (CH₄) erzeugt. Das notwendige CO₂/CO wird gemäß den Energiezielen der Bundesregierung aus Quellen, wie Biogasanlagen, Biomassevergasungsanlagen oder Kläranlagen, rein regenerativ gewonnen (Krzikalla, et al., 2013). Alternativen zur Rückverstromung des Gases und Rückspeisung in das Stromnetz sind die Verwendung als Kraft-, Heizstoff oder für Industrieprozesse.

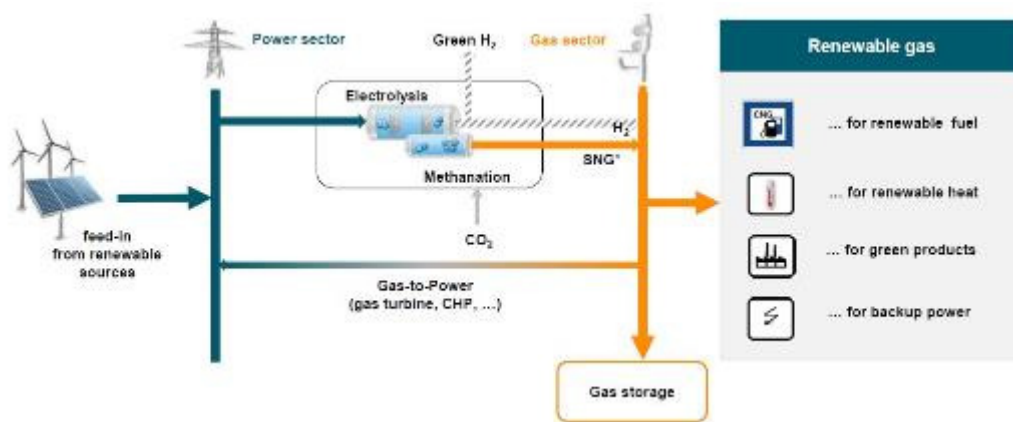


Abbildung 194: Schematischer Ablauf des P2G und G2P Prozess (Waldstein, 2015)

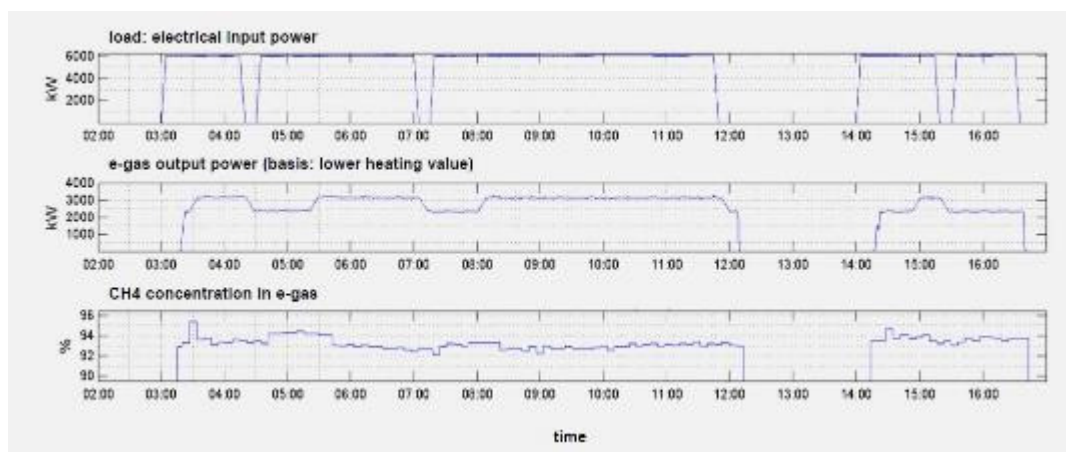


Abbildung 195: Power-to-Gas Transformation in der P2G Anlage von Audi (Waldstein, 2015)

Messwerte der P2G-Anlage beim Automobilhersteller Audi in Abbildung 10 zeigen, dass die Verstromung mit schnellen Reaktionszeiten (Lastrampen) von ca. 20% pro Minute an- und abgefahren werden kann (Krzikalla, et al., 2013).

Nachteile der Speicherung von Erdgas im Gegensatz zur direkten Speicherung als Wasserstoff sind ein um ca. 10% geringerer Wirkungsgrad durch weitere Umwandlungsverluste und höhere Kosten durch Methanisierung (Fuchs, et al., 2012). Kommerziell und wirtschaftlich nutzbar wird die Technologie erst, wenn ein Langzeitspeicherbedarf für erneuerbaren Strom notwendig wird (Jansen, et al., 2015). Marktreife hat das Konzept noch nicht, da es momentan noch sehr viel höhere Systemkosten hat als Power-to-Heat (Groscurth & Bode, 2013).

Redox-Flow-Batterien

Für die Redox-Flow-Batterie werden gelöste Redox-Paare (Chemische Verbindungen, die bei einer Redoxreaktion reagieren) in externen Tanks gespeichert. Die Tanks sind unabhängig in Leistung und Energie beliebig skalierbar, da die Speicherkapazität ausschließlich von der Menge und Konzentration der Elektrolytlösung abhängt. Die Redox-Flow-Batterien besitzen einen für moderne Batterien vergleichsweise niedrigen Wirkungsgrad von 70-80 %, der vergleichbar mit dem der Blei-Säure-Batterie ist (Krzikalla, et al., 2013). Im Gegensatz zu allen elektrochemischen Systemen mit internem Speicher können die Flow-Batterien ohne Selbstentladung und mit einer sehr hohen Zyklenzahl betrieben werden und eignen sich so für den Lastausgleich im Grenzbereich zwischen Kurz- und Langspeicherung. Sie können je nach Größe wöchentliche bis saisonale Schwankungen ausgleichen, jedoch auch zur sekundären und tertiären Frequenzregelung eingesetzt werden. Ein Hemmnis der Technologie ist der im Moment noch sehr hohe Preis für vanadium-, zink- und brombasierte Speichermedien (Fuchs, et al., 2012).

Power-to-Heat

Die heutige Wärmeproduktion verursacht 80% der CO₂ Emissionen Deutschlands. Gebäude sollen in Zukunft wärmesaniert werden. Passivhäuser werden einen so geringen Heizbedarf haben, dass es sich lohnen wird, die Wärmeerzeugung strombasiert zu betreiben (SRU, 2013). Regenerativ erzeugter Strom, welcher temporär nicht in gleichwertige Energieformen umgewandelt werden kann, da das Angebot die Nachfrage übersteigt, wird auf dem Wärmemarkt eine immer wichtigere Rolle spielen. Schlechte Wirkungsgrade, hohe Kosten und das begrenzte Potential der in naher Zukunft verfügbaren Stromspeicher machen eine Betrachtung der Speicheralternativen notwendig. Der Netzbetreiber kann den Einsatz eines Elektrokessels freigeben, anstatt die Windanlagen abzuregeln und so die Wärmespeicher der KWK-Anlagen regenerativ füllen (Schnauß, 2015). Die Nutzung des Überschussstroms in den Wärmespeichern von KWK-Anlagen und der Einbau elektrischer Heizelemente in den Haushalten verursachen sehr geringe Kosten und sorgen zudem zur Einsparung fossiler Primärenergieträger in KWK-Anlagen (Prognos AG, 2013). Power-to-Heat kann die Stromaufnahme in Schwachlaststromzeiten frei skalierbar um über 10% erhöhen und bringt so eine hohe negative Flexibilität (Schnauß, 2015).

Flexibilität als Produkt

Gegenwärtiges Strommarktdesign

Der Stromhandel ist seit der Liberalisierung der Märkte seit 1996 das maßgebliche Bindeglied zwischen Stromanbietern und Stromverbrauchern. Diese haben seit der Liberalisierung freien Zugang zum Markt. Stromanbieter können ihren erzeugten Strom auf Energiemärkten oder direkt an private Verbraucher verkaufen, während Stromverbraucher ihren Stromanbieter ungebunden wählen können. Als nicht substituierbares Gut folgt die Preisbildung am Strommarkt dem Grundsatz des Marktgleichgewichts von Angebot und Nachfrage. Das schwankende Angebot elektrischer Energie bestimmt daher maßgeblich das Marktpreisniveau (Ehlers, 2011). Die Bilanzierung der Einspeisungen und Entnahmen ist für den Handel unerlässlich und wird im Bilanzkreissystem für jeden Marktteilnehmer durchgeführt. Mit diesem System können Strommengen bilanziell aufgenommen und zwischen Bilanzkreisen übertragen werden (Siedentopp, 2008).

Es gibt zwei verschiedene Szenarien, wie Elektrizität auf dem Markt gehandelt wird. Für diese haben sich in den letzten Jahren verschiedene Handelsplätze entwickelt:

- Systemdienstleistungen zur Gewährleistung eines sicheren Systembetriebs
- Großhandelsprodukte gehandelt an der Börse und außerbörslich über Broker oder Handelsplattformen (OTC)

Systemdienstleistungen

Netzbetreiber müssen zusätzlich zur Übertragung und Verteilung von Strom Systemdienstleistungen erbringen, um einen sicheren Systembetrieb zu gewährleisten. Hierzu zählen Frequenzhaltung, Spannungshaltung, Versorgungswiederaufbau und System-

/Betriebsführung. Für das Strommarktdesign ist der Handel von Regelenergie zur Frequenz- und Spannungshaltung die bedeutendste Systemdienstleistung, da die Ausgestaltung dieses Handels ein wichtiger Flexibilitätsindikator ist (Verband der Netzbetreiber, 2007). Regelenergie dient dem Ausgleich von geringen unvermeidbaren Störungen der Systembilanz wegen nicht vorhersagenbarem Ein- und Ausspeisen durch Stromerzeuger und -verbraucher. Um technische Defekte der Betriebsmittel bei zu hohen Frequenzschwankungen um die Sollfrequenz von 50 Hertz zu vermeiden, ist die automatische, systembedingte Momentanreserve um Zuschaltung geeigneter Reserven zu ergänzen. Im Folgenden werden die drei Qualitäten zur Frequenzhaltung beschrieben: Primärregelung, Sekundärregelung und Tertiärregelung (auch Minutenreserve). Die vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland betreiben eine gemeinsame Internetplattform (www.regelleistung.net) zur Ausschreibung der Regelenergiearten (Consentec GmbH, 2014).

	3		5	Sekundärregel- leistung	6	Minutenreserve- leistung
	4	Primärregel				
7	9		11		13	
8	10	wöchentlich	12	wöchentlich	14	täglich
15	16	alle ÜNB solida- risch	17		19	betroffener Bilanz- kreis
	18		18	betroffener ÜNB		
20	21	30 Sek.	22	5 Min.	23	15 Min.
24	27	automatische Akti- vierung	28	automatische Akti- vierung	29	Abruf durch den ÜNB mittels elekt- ronischem
26	31		33		35	
30	32	bis zu 15 Min.	34	bis zu 60 Min.	36	> 60 Min.
37	38		40		42	
	39	± 2%/Min	41	± 2%/Min	43	± 2%/Min
44	45		47		49	
	46	> ± 2 MW	48	> ± 10 MW	50	> ± 15 MW
51	52	100 % mit 24h Er- reichbarkeit der	53	100 % mit 24h Er- reichbarkeit der	54	
	55				55	
	56				56	-
57	58	Leistungsprei- s	59	Leistungs- und	60	Leistungs- und

Tabelle 20: Anforderungen an Regelfähigkeit (Verband der Netzbetreiber, 2007)

Kraftwerkskapazitäten können am Regelenergiemarkt angeboten werden, wenn ein Präqualifizierungsprozess erfolgreich absolviert wurde. Dieser stellt fest, ob die Erzeuger technisch und betrieblich fähig sind, Regelenergie bereit zu stellen (Verband der Netzbetreiber, 2007). Die Anforderungen an die Regelfähigkeit sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Qualität der Regelenergie wird von der Zuschaltgeschwindigkeit bestimmt. Bei Sekundärregelleistung und Minutenreserveleistung wird die positive und negative Vorhaltung von Kapazitäten separat ausgeschrieben, während Primärregelleistung als symmetrisches Produkt

beschafft wird. Dies bedeutet, dass Anbieter von Primärregelleistung müssen immer in gleicher Höhe positive und negative Leistung bereitstellen können. Im Bereich der Sekundärregelleistung wird zusätzlich zwischen dem Hochtarif (HT, Mo- Fr 8-20 Uhr) und dem Niedertarif (NT, andere Zeiträume) unterschieden. Da Minutenreserveleistung täglich sechs Mal in 4-Stundenabschnitten gehandelt wird, ist eine solche Unterscheidung hier nicht notwendig. Die Vergütung für Regelleistung sinkt mit zunehmender Aktivierungszeit, wie Abbildung 11 zeigt (Consentec GmbH, 2014).

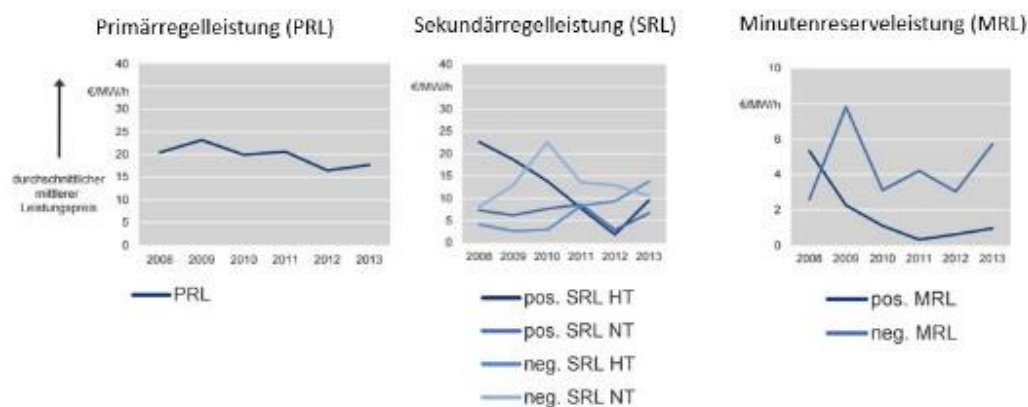


Abbildung 196: Leistungspreisentwicklung 2008-2013 (Consentec GmbH, 2014)

Bisher nehmen am Regenergiemarkt hauptsächlich konventionelle Kraftwerksbetreiber teil, da die hohen Anforderungen eine Teilnahme erneuerbarer volatiler Energien verhindert. Einspeiseprognosen und Nachweisverfahren können zukünftig dafür sorgen, dass auch fluktuierende Energien in den Regenergiemarkt integriert werden können, worauf in Kapitel 3.2.3. näher eingegangen wird (Fraunhofer IWES, 2014).

In Notsituationen, in welchen besonders hohe Frequenzabweichungen auftreten, können die ÜNB auf zusätzliche Maßnahmen zurückgreifen. Neben der Aktivierung stillgelegter Kraftwerke, dem Einsatz abschaltbarer Lasten bei Industriebetrieben und Börsengeschäften kann auch der Austausch mit anderen Regelzonen notwendig werden (Consentec GmbH, 2014).

Großhandel / Energy-Only Markt

Am Großhandelsmarkt angebotene und nachgefragte Produkte unterscheiden sich in ihrem Design hauptsächlich durch den Zeitpunkt der Lieferung („physische Erfüllung“). Während im Echtzeithandel nach Sekunden oder Minuten geliefert wird, können Termingeschäfte mehrere Jahre vor Lieferzeitpunkt getätigt werden (BMW, 2014).

Börse

An der deutschen Strombörse EEX dürfen neben deutschen Teilnehmern auch internationale Teilnehmer ihre Kontrakte handeln. Es werden standardisierte Produkte gehandelt: Man unterscheidet zwischen Termingeschäften mit festem Lieferzeitpunkt zu einem zukünftigen Termin und kurzfristigen Sportmarktgeschäften. Am Spotmarkt wird zusätzlich zwischen Day-Ahead- und Intraday-Produkten unterschieden (Bucksteeg, et al., 2014). Das Handelsvolumen an der EEX ist in den Jahren 2002 bis 2013 um 974% gestiegen. Der Handel mit eher finanziell motivierten Geschäften am

Terminmarkt übertrifft den Handel mit physisch zu liefernden Geschäften am Spotmarkt deutlich (Statista, 2013).

Der Spotmarkt an der EPEX Spot SE bietet den Teilnehmern die Möglichkeit kurzfristige Geschäfte zu handeln. Für die Day-Ahead Auktion müssen Preis-Mengen-Gebote bis zur täglichen Auktion um 12 Uhr gestellt werden. Es kann auf Einzelstundenlieferungen geboten werden sowie auf Blockangebote wie Spitzen- oder Grundlastzeiträume. Die Gebote erfolgen geheim.

Nach Gebotsschluss wird der Markt zum Gleichgewichtspreis geräumt, d. h. jeder Bieter bezahlt denselben Preis (Bucksteeg, et al., 2014). Die aufsteigend geordnete Reihenfolge der Gebote nennt sich Merit-Order und beschreibt die Einsatzreihenfolge der Kraftwerke zur Deckung der Nachfrage (Ehlers, 2011). Demzufolge beschreibt der Merit-Order- Effekt die Verdrängung von Kraftwerken mit höheren Grenzkosten. Da aufgrund der Ausgleichmechanismusverordnung seit Inkrafttreten 2010 EEG-Strom von den ÜNB am Spotmarkt gehandelt werden muss, tritt dieser Effekt hauptsächlich durch die günstige EEG-geforderte Einspeisung erneuerbarer Energien auf (AusglMechV, 2009). Die Nachfrage nach konventionell erzeugtem Strom wird zeitweise verringert und führt langfristig zur Flexibilisierung des Kraftwerksparks (siehe Kap. 3.2.4.) (Tilia GmbH, 2011). In der Intraday Auktion werden ganze Stunden und Viertelstundenlieferungen gehandelt. Im Handel mit Stundenlieferungen können, wie bei den Day-Ahead Auktionen, Blöcke gebildet werden; dies ist beim Viertelstundenhandel ausgeschlossen (Bucksteeg, et al., 2014). Der Handel ist bis 45 Minuten vor der Lieferung möglich. Im Gegensatz zur Day-Ahead Auktion wird der Preis nach dem Pay-As-Bid Prinzip gehandelt, d.h. wenn sich ein Anbieter findet, welcher den gebotenen Preis akzeptiert, findet der Handel zu diesem Preis statt. Das Handelsvolumen am Intraday-Markt ist vergleichsweise gering, nimmt jedoch in Zukunft zum Ausgleich von schwankender Einspeisung Erneuerbarer Energien aufgrund des kurzfristigen Lieferzeitpunkts an Bedeutung zu, worauf in Kapitel 3.2.1 näher eingegangen wird (BMW, 2014).

Termingeschäfte an der EEX Power Derivatives GmbH können Vereinbarungen über Stromlieferungen mit einer Frist bis zu einer Woche in der Zukunft sein, welche vor allem zur Absicherung von Preisrisiken abgeschlossen werden. Der Käufer eines solchen Futures bezieht seinen Strombedarf im festgelegten Zeitraum am Spotmarkt der Börse. Liegt der Durchschnittspreis über dem ausgehandelten Preis, zahlt der Käufer nur den vereinbarten Preis, d.h. die Differenz wird finanziell ausgeglichen. Liegt der Durchschnittspreis unter dem ausgehandelten Preis hätte er am kurzfristigen Spotmarkt günstiger kaufen können und der Verkäufer erwirtschaftet einen höheren Gewinn (Wawer, 2007). Außer Futures können am Terminmarkt auch Optionen gehandelt werden: Eine Call-Option gibt dem Käufer das Recht, einen Basiswert zu einem festgelegten Preis zu kaufen, während eine Put-Option das Recht einräumt, den Basiswert zu einem festgelegten Preis zu verkaufen. Der Verkäufer der Option kann aus diesem Vertrag nicht zurücktreten, sondern ist verpflichtet, den Verkauf/Kauf zu tätigen. Der Käufer der Option hat immer die Möglichkeit diese nicht einzulösen (Bucksteeg, et al., 2014).

Außerbörslicher Handel (OTC)

In Deutschland besitzt die Strombeschaffung über den außerbörslichen Handel das größte Handelsvolumen. Geschäftskontakte und Vertragsabschlüsse finden hier direkt zwischen den Akteuren oder über "Broker", welche die Abschlüsse vermitteln, statt. Die Ausgestaltung der Verträge

zwischen den Unternehmen ist nicht standardisiert und obliegt den Unternehmen selbst. Auch wenn es einen Rahmenvertrag der EFET gibt, ist dieser keine verpflichtende Grundlage der OTC-Geschäfte. Grundsätzlich orientiert sich das Design der OTC-Produkte an den börslich gehandelten Spot- und Terminmarktprodukten, unterliegt aber keinen Regularien z. B. hinsichtlich des Lieferzeitpunkts oder Preisgrenzen. OTC gehandelte Termingeschäfte werden als Forwards bezeichnet und übersteigen das Handelsvolumen der börslich gehandelten Futures um 700%. Genutzt wird der OTC-Markt vor allem wegen seiner Flexibilität und Individualisierbarkeit der Verträge (Wawer, 2007).

Gestaltungsoptionen für ein zukünftiges Strommarktdesign

In diesem Kapitel geht es um die Optimierung des Strommarktes. Der aktuelle Koalitionsvertrag sieht die Steigerung der Flexibilität als wichtige Teilaufgabe der Strommarktweiterentwicklung (Bundesregierung, 2013). In die Gestaltungsoptionen werden die technologischen Möglichkeiten aus Kapitel 5.2 sowie das aktuelle Strommarktdesign in Kapitel 5.3.1. mit einbezogen.

Kernpunkt der Diskussion um die Gestaltungsoptionen ist die Schaffung von Investitionsanreizen in flexiblere Kapazitäten. Die Flexibilitätsoptionen, wie in Kapitel 2 beschrieben, müssen mit geringer Unsicherheit in den Strommarkt integriert werden um sich refinanzieren zu können. Wichtige Kriterien zur Beurteilung der Produktumgebungen sind Preisfindungsmechanismen, die Wettbewerbssituation, die Liquidität der Marktteilnehmer, das Marktvolumen und Ausschreibungs- und Produktlieferzeiten (BMW, 2014). Aus diesen Faktoren kann der Nutzen für den Anbieter, in den verschiedenen Kundensegmenten tätig zu werden, abgeleitet werden. Es kann ermittelt werden, ob genug Anreize für Investitionen existieren und welche marktwirtschaftlichen Voraussetzungen geschaffen werden müssen, um Flexibilitätsoptionen, wie das DSM, erfolgreich zu integrieren (Swider, 2005).

Maßnahmen zur Integration kurzfristiger Flexibilität

Viertelstundenhandel

Für viele Handelsteilnehmer stellt die Pay-As-Bid Auktion im Intraday-Handel, wie in Kap. 3.2.1.1. beschrieben, ein Handelsrisiko dar. Im Gegensatz zur Markträumung im Gleichgewichtspreis erfordert die Pay-As-Bid Auktion, aufgrund von starken Schwankungen der Viertelstundenpreise einer Stunde, detaillierte Kenntnisse über den Handelszeitpunkt und die Bedürfnisse und Erwartungen anderer Handelsteilnehmer (Jansen, et al., 2015). Die Folge ist, dass Bilanzkreisverantwortliche den Intraday-Handel kaum nutzen und sich eher im Day-Ahead Markt gegen das erwartete Profil absichern. Obwohl die BKV nach der StromNZV zur viertelstündlichen Bewirtschaftung verpflichtet sind, werden Vertriebsportfolien oftmals nur auf Stundenbasis vermarktet. Die viertelstündlichen Differenzen zum Stundenmittelwert müssen dann bis zu einer Dauer von einer Stunde mit vorgehaltener Regelleistung vom ÜNB gedeckt werden. Hierdurch entstehen unnötige Kosten bei der Stabilisierung des Stromnetzes durch den erhöhten Bedarf an vorgehaltener Regelleistung (Koch, 2014). Deutlich wird der notwendige Informationsbedarf auch dadurch, dass die Teilnehmer am Intraday Viertelstundenmarkt hauptsächlich ÜNB sind, welche als Konzerne auf bessere Möglichkeiten zur Informationsbeschaffung zurückgreifen können (Keiner, 2013).

Um den kleineren Flexibilitätsanbietern und Lastflexibilitätsanbietern den Ausgleich ihrer Bilanzen am Markt zu erleichtern, können Viertelstundenprodukte im Day-Ahead Handel eingeführt werden. Auch wenn diese außerbörslich schon seit Jahren gehandelt werden, sollten die Preissignale von der Börse

kommen (Eble, 2014). Hierdurch werden die Schwierigkeiten der viertelstündlichen Bilanzkreisbewirtschaftung abgebaut und unnötig vorgehaltene Regelleistung reduziert. Die österreichische Strombörse EXAA hat 2014 bereits erfolgreich Viertelstundenprodukte im Day-Ahead Handel implementiert, was vor allem von deutschen Stromhändlern, wie z. B. Stadtwerken in München, Düsseldorf, Flensburg und Trier, angenommen wurde (Eble, 2014). An der EEX wurde ein solcher Plan bislang nicht angekündigt, einzig die Vereinfachung des Intraday Handels durch eine Eröffnungsauktion mit resultierendem Referenzpreis wurde Ende 2014 umgesetzt (Jansen, et al., 2015).

Erhöhung der Bilanzkreistreue

Der Verkäufer von Strom am Spotmarkt (börslich oder OTC) unterliegt einer Lieferverpflichtung, da es hier, im Gegensatz zum Handel mit Futures, um echte Stromlieferungen in einen Bilanzkreis geht. Er muss die notwendigen Kapazitäten vorhalten oder extern unter Vertrag nehmen. Wegen dieser unbedingten Lieferverpflichtung muss der BKV den prognostizierten Stromverbrauch seiner Kunden viertelstundengenau beschaffen. Die Beschaffung des Stroms erfolgt im Voraus am Terminmarkt und wird am Spotmarkt kurzfristig angepasst. Wie bereits in Kapitel 3.2.1.2. beschrieben, gleichen kleinere Lieferanten die Schwankungen letztmalig am Vortag aus (BEE, 2015).

Ziel des Bilanzausgleichs sollte die Schaffung einer flexiblen Last sein, welche die fluktuierende Einspeisung der erneuerbaren Stromerzeugung passgenau ausgleicht. Wenn erreicht werden kann, dass sich diese Fluktuation in den Bilanzkreisen der Stromanbieter deutlich macht, müssten diese im Intraday Handel aktiv werden und kurzfristige Prognoseabweichungen ausgleichen (BEE, 2015). Wird der Intraday Markt von den EVU bis zum Lieferzeitpunkt genutzt, kann der Bedarf an Regelleistung gesenkt und so letztendlich das Must-Run-Kraftwerksportfolio verringert werden (Jansen, et al., 2015). Ein Vorschlag der Bundesnetzagentur sieht die Einführung von Strafzahlungen, sog. Pönalen vor, wenn mehr als 80 % der in Deutschland vorgehaltenen Regelleistung eingesetzt wird, um BKV zu zwingen, ihre Über- und Unterschüsse am Intraday-Markt auszugleichen (BMW, 2014). Vom BEE wird dies als „falscher Weg“ kritisiert, da diese Risiken für Anbieter zu erhöhten Preisen für die Endverbraucher führen können. Es wird angeführt, dass es sinnvoller wäre, unternehmerische Anreize zur Bewirtschaftung dieser Fluktuation zu schaffen (BEE, 2015).

Auf beiden Wegen, sowohl mit Pönalen als auch mit unternehmerischen Anreizen, kann erreicht werden, dass sich der Kurzfristhandel auch in der Elektrizitätswirtschaft durchsetzt. So können Flexibilitätsoptionen unter Nutzung von Skaleneffekten einfacher in den Strommarkt integriert werden: Denn steigt die Liquidität am Viertelstundenhandel, bestehen für Flexibilitätsanbieter mehr Möglichkeiten sich am Markt zu positionieren und Gewinne zu erwirtschaften (BEE, 2015) (Bucksteeg, et al., 2014).



Abbildung 197: Grünstromvermarktungsmodell 2014 (Clean Energy Sourcing, EWS, Greenpeace Energy, naturstrom, 2014)

Integration außerhalb des EEG

Bisher wurde dem Grünstrom, also rein regenerativ erzeugtem Strom, sein Öko-Siegel bei Vermarktung an der Börse genommen und er wurde zusammen mit dem fossil erzeugten Strom verkauft. Anbieter, welche Ökostrom an Endverbraucher verkaufen wollten, mussten sich zertifizierten Öko-Strom teuer im Ausland einkaufen. Deshalb wurde von vielen Seiten gefordert, auch in Deutschland mit der Direktvermarktung von regenerativem Strom zu beginnen. Ein solches Modell sollte bei richtiger Ausgestaltung zusätzlich die EEG-Umlage entlasten (Fell, 2014).

Mit der EEG Reform 2014 hat die Bundesregierung - neben weiteren Punkten - die verbesserte Integration der erneuerbaren Energien in den Strommarkt angestrebt. Deshalb werden Betreiber großer Anlagen ab einer Leistung von 100 kW bis 2016 verpflichtet, den von ihnen erzeugten Strom direkt zu vermarkten (Bundesregierung, 2014). Das Regelmodell für diese Direktvermarktung ist erfolgt mithilfe der Auszahlung einer gleitenden Marktprämie. Diese ergibt sich aus der Differenz aus anzulegendem Wert (entspricht der Höhe der Einspeisevergütung) und dem Marktwert zuzüglich einer Managementprämie. Da der Marktwert rückwirkend auf den tatsächlichen Monatsmittelwert berechnet wird, hat dieser Marktprämienstrom immer Spotmarktwert und ist für Stromvertriebe, welche langfristig am Terminmarkt einkaufen, ungeeignet (Clean Energy Sourcing, EWS, Greenpeace Energy, naturstrom, 2014).

Um erneuerbaren Strom auch außerhalb der EEG-Umlage und der verpflichtenden Direktvermarktung weiter in den Markt und in die Vertriebsportfolios der Stromanbieter zu integrieren, haben die Clean Energy Sourcing AG, die Greenpeace Energy eG und die Naturstrom AG im Rahmen des EEG 2014 eine Verordnungsermächtigung zur Einführung eines Grünstrommarktmodells erhalten. Das von diesen Parteien entwickelte Programm räumt den Stromvertrieben zwei Entscheidungsmöglichkeiten ein. Entweder fördert der Vertrieb die EE durch die Zahlung der EEG-Umlage oder durch direkten Stromeinkauf bei EEG-Anlagen zu Gestehungskosten in je gleichem Umfang. Wie Abbildung 12 zeigt, kann der Stromanbieter diesen direktvermarkteten Strom als Grünstrom verkaufen (hier 44%) und muss für seinen gesamten Stromabsatz keine EEG-Umlage bezahlen. Dadurch bleiben die Belastung des Stromvertriebs und der Strompreis derselbe, während der energiewirtschaftliche Nutzen steigt. Der Nutzen entsteht durch den Wettbewerb um die kostengünstigste Integration von Wind und PV. Da die Abweichungen zwischen Erzeugung und Verbrauch mit einer Integrationsabgabe bestraft werden, besteht ein hoher Anreiz, Ausgleichsoptionen am Markt wahrzunehmen (Clean Energy Sourcing, EWS, Greenpeace Energy, naturstrom, 2014).

Kritisiert wird dieses Modell vor allem vom BDEW wegen des „administrativen Aufwands“ und des „umstrittenen energiewirtschaftlichen Nutzens“. Es wird konstatiert, dass für die Vertriebe erhöhte

Kosten für den Einsatz von Wirtschaftsprüfern zum Nachweis von eingehaltenen Kriterien entstehen, die Flexibilität wohl zu einem höheren Preis an der Börse angeboten werden kann und die Direktvermarktung daher nicht wahrgenommen wird (BDEW, 2015).

Echtzeit-Bilanzausgleich durch das EVU

Das Grünbuch der Bundesregierung stellt als weitere Maßnahme zur verbesserten Integration kurzfristiger Flexibilität die Übermittlung von RLM Messdaten an die Versorger dar, damit der Bilanzkreisüberblick und Bilanzausgleich in Echtzeit möglich ist (BMW, 2014). Da jedes EVU spätestens nach dem Day-Ahead Handel einen ausgeglichenen Fahrplan für den Folgetag an den ÜNB weitergeben muss, müssen die Erzeugungs- und Verbrauchsbilanzen jedes EVUs bestmöglich prognostiziert sein. Je besser die Prognose ist, desto weniger muss am Intraday Markt gehandelt oder Regenergie in Anspruch genommen werden. Wie in Kapitel 3.2.1.2. beschrieben, sollte das Ziel eine Erhöhung des Handelsvolumens am Intraday Markt sein, was genaue Informationen über die Bilanzkreise der EVUs in Echtzeit erfordert (Jansen, et al., 2015).

Heute wird diese Prognose auf bekannten historischen Verhaltensmustern erstellt. Die EVUs erhalten bei einer Abweichung von diesen Mustern, z. B. bei Ausfall eines Kraftwerks, keine weiteren Information von den Betreibern der Messstellen. Erst am Folgetag, also weit nach dem betroffenen Handelszeitraum, erhält das EVU die Zählerdaten vom Verteilnetzbetreiber. Diese Verzögerung ist einer der Hauptgründe, weshalb EVUs die Möglichkeit des Viertelstundenhandels am Intraday Markt mangels Informationen über den eigenen Bilanzkreis nicht ausnutzen können. Sollte die gesetzliche Grundlage geschaffen werden, sodass die Daten von den Messstellenbetreibern direkt und in Echtzeit zu den EVUs gelangen, würde ihnen die Aufnahme von kurzfristigen Flexibilitätsprodukten in ihr Portfolio ermöglicht werden. Dies ist natürlich nur für RLM-Kunden möglich. Um nicht leistungsgemessene Kunden einzubeziehen, wäre die Installation von Smart Meter-Technik im Endverbraucherbereich notwendig; diese macht sowohl das flächendeckende Messen möglich und stellt gleichzeitig aber auch eine Grundvoraussetzung für die Laststeuerung in Haushalten dar, wie bereits in Kapitel 2.2. angeführt (Jansen, et al., 2015).

Sicherstellung von flexiblen konventionellen Kapazitäten

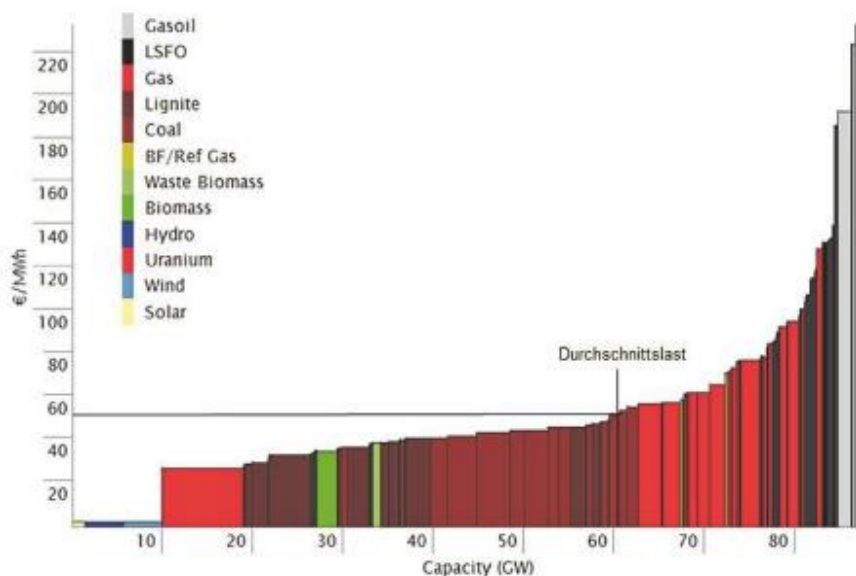


Abbildung 198: Merit Order – Terminmarktpreise vom 4.9.2012 (Kranner & Sharma, 2013)

Nach der Day-Ahead Auktion am Spotmarkt werden die Angebote der Kraftwerksbetreiber nach der Höhe ihrer Grenzkosten sortiert, wie in Abbildung 13 abgebildet ist. Die sogenannte Merit-Order bildet die Reihenfolge ab, in der die Kraftwerke Strom einspeisen können. Erneuerbare Kraftwerke haben nach dem EEG und KWK-Anlagen nach dem KWKG das Recht, unabhängig von ihren Grenzkosten, zuerst einzuspeisen. Damit zählen sie also zu den Must-Run Kapazitäten (Bundesregierung, 2014). Die übrigen fossilen Kraftwerke dürfen, geordnet nach ihren Grenzkosten, solange einspeisen, bis die nachgefragte Last gedeckt ist. Da die Nachfrage in den relevanten Bereichen unelastisch ist, richtet sich der einheitliche Marktpreis nur nach den Erzeugungskosten des teuersten einspeisenden Kraftwerks. Hieraus ergibt sich das Missing-Money-Problem, welches sich heute schon abzeichnet: Die teuren Spitzenlastkraftwerke (insb. Gaskraftwerke) und Speicher, welche nur bei sehr hoher Last einspeisen, sind nicht mehr wirtschaftlich und stehen vor dem Aus, obwohl sie als flexible Kapazitäten benötigt werden. Investoren dieser Technologien tragen ein hohes Investitionsrisiko, denn es stellt sich die Frage, ob die sehr hohen spezifischen Strompreise in Zukunft tatsächlich eintreten (Ecke, et al., 2013).

Der heutige EOM in Deutschland sieht keine explizite langfristige Kapazitätssicherung vor. Es steht zur Diskussion, ob dieser das Missing-Money-Problem lösen kann, oder die Einführung eines alternativen Marktdesigns notwendig ist. Mehrere EU-Länder haben bereits einen solchen zusätzlichen Mechanismus eingeführt. Als Produkt in einem neuen Markt soll gesicherte Leistung (Kapazität) angeboten werden. International unterscheiden sich die Kapazitätsmechanismen gravierend.

Strategische Reserve	<ul style="list-style-type: none"> • ÜNB beschafft Strategische Reserve zentral (Bilaterale Verträge) • Einsatz zu Höchstpreis, wenn der Markt nicht geräumt werden kann • günstige Option • geringe Parametrierungsrisiken • Anreiz zur Flexibilisierung der Nachfrageseite
Kapazitätzahlungen (Preisbasierter Kapazitätsmechanismus)	<ul style="list-style-type: none"> • Prämien direkt auf Kapazitätsgrößen • effektiv bei der Bereitstellung von Kapazitäten • beeinflusst wettbewerblich ermittelten Strompreis • Parametrierungsrisiken: Preis und Menge • kann Anreize für andere Flexibilitätsoptionen senken (geringere Volatilität am Markt)
Umfassender Kapazitätsmarkt	<ul style="list-style-type: none"> • Zertifizierung gesicherter Leistung • dezentral oder zentral ausgestaltbar • effektiv bei der Bereitstellung von Kapazitäten • Parametrierungsrisiken: Preis und Menge • kann Anreize für andere Flexibilitätsoptionen senken (geringere Volatilität am Markt)

Tabelle 21: Kapazitätsmechanismen zur Erweiterung des EOM (Winkler, et al., 2013)

Das Ziel jedes Kapazitätsmechanismus ist die Sicherstellung der Versorgungssicherheit und die Steigerung der Investitionssicherheit durch Zahlungen für installierte Kapazitäten. Da diese Kapazitätzahlungen einen neuen, eventuell sehr kostspieligen Markteingriff in einem jungen liberalisierten Markt darstellen, ist die Einführung sehr umstritten. Zusätzliche Marktmechanismen sind immer mit regulatorischen Risiken verbunden und können bei ineffizienter Ausgestaltung auch Folgekosten mit sich bringen (Winkler, et al., 2013).

In Deutschland gibt es noch genug Überkapazitäten, sodass das Missing-Money-Problem momentan wenig Einfluss auf die Versorgungssicherheit hat. Durch den Ausstieg aus der Atomenergie, den Abbau von Überkapazitäten und den Zubau zusätzlicher volatiler, vorrangig einspeisender Kapazitäten

verschärft sich die Situation jedoch auch hier (Tietjen, 2012). Für Deutschland stehen folgende Möglichkeiten, diesen Kapazitätsmarkt zu gestalten, zur Diskussion: Die Einführung einer strategischen Reserve, die Einführung von Kapazitätzahlungen oder eines umfassenden zentralen oder dezentralen Kapazitätsmarktes. In Tabelle 4 werden die wesentlichen Eigenschaften der Gestaltungsoptionen zusammengefasst (Winkler, et al., 2013).

Preisbasierte Kapazitätsmechanismen und umfassende Kapazitätsmärkte vergüten Kraftwerke zusätzlich zum Einkommen für Strom, für die Bereitstellung von Leistung. Es sind verschiedene Modelle denkbar, wie diese Prämien ausgezahlt werden. Die Folge ist, dass der Kraftwerksbetreiber, wegen der zusätzlichen Einnahmequelle, seinen Strom am Spotmarkt günstiger anbieten kann als zuvor (Ecke, et al., 2013).

Bei der strategischen Reserve wird versucht, den Einfluss auf Strompreise so gering wie möglich auszugestalten. Hierdurch werden keine zusätzlichen Investitionsanreize geschaffen, sondern nur eine zusätzliche Sicherheit für den Strommarkt eingeführt. Teilnehmer an der strategischen Reserve können nicht am regulären Markt teilnehmen und die vorgehaltenen Kapazitäten werden zum Höchstpreis eingesetzt, wenn der Markt nicht durch Angebot und Nachfrage geräumt werden kann (Elberg, et al., 2012).

Die Wechselwirkungen zwischen dem regulären Markt und den Kapazitätsmechanismen müssen bei der Diskussion immer berücksichtigt werden, sodass es nicht zu negativen Nebeneffekten, wie einem Rückgang der Wirtschaftlichkeit Erneuerbarer Energien oder der Investitionsanreize für Speicher, kommt. Es muss klar gestellt werden, ob der offene Wettbewerb zwischen den Flexibilitätsoptionen vorsätzlich eingeschränkt werden soll und welche Auswirkungen dies auf die Entwicklung der Optionen hat.

Abbau von Flexibilitätshemmnissen

Der marktwirtschaftliche Ansatz, die Flexibilität kostengünstig und effizient zu steigern, ist der faire Wettbewerb zwischen den Optionen. Es bedeutet, dass Wettbewerbshemmnisse abgebaut und so gleiche Bedingungen für alle Flexibilitätsoptionen geschaffen werden (BMW, 2014). Must-Run Kapazitäten beeinflussen diesen fairen Wettbewerb negativ, da sie Kraftwerken die Einspeisung zu jedem Preis erlauben und so potentiell günstigere Alternativen verdrängen.

Im Regelleistungsmarkt nehmen, wie in Kapitel 3.1.1. beschrieben, hauptsächlich konventionelle Kraftwerke und Pumpspeicherkraftwerke teil. Eine Öffnung der Regelleistungsmärkte für Erneuerbare Energien hätte eine Reduzierung der momentan notwendigen Must-Run Kapazität der konventionellen Kraftwerke zur Folge. Zurzeit ist diese Sockeleinspeisung notwendig, um die kurzfristige Versorgung mit positiver und negativer Regelleistung zu garantieren. Eine Reduzierung der Sockeleinspeisung würde den Abregelungsbedarf erneuerbarer Kapazitäten mit niedrigen Marktpreisen verringern. Bereits 2011 wurden wichtige Anpassungen vorgenommen und die Auktionszeiträume für Primär- und Sekundärregelleistung auf eine Woche verkürzt (Grünwald, et al., 2012). Die Bereitstellung von Kapazitäten bereits eine Woche vor tatsächlicher Stromproduktion ist für flexible Kapazitäten aber nur durch teure Regelleistungspools, unter Zuhilfenahme verschiedener Technologien, möglich. Es sind nun weitere Schritte notwendig, um die Zahl der alternativen Regelleistungsanbieter, wie Erneuerbare Energien, Demand-Site-Management Anbieter, KWK-Anlagen und Speicher, zu erhöhen und zu diversifizieren (Jansen, et al., 2015):

- Reduktion der Präqualifizierungsbedingungen: Auch Prognosen zur Angebotserstellung zulassen
- Verkürzung der langen Vorlaufzeiten: Eine weitere Verkürzung der Vorlaufzeiten zwischen Auktion und tatsächlicher Vorhaltung der Regelleistung auf maximal einen Tag durch eine tägliche Ausschreibung
- Verkürzung der Produktlängen: Die Verkürzung der Produktlänge auf eine Stunde, um der PV auch unter kurzfristigeren Einstrahlungsänderungen die Regelleistungsbereitstellung zu ermöglichen
- Regelzonenübergreifendes Pooling: Durch die Nutzung der Schwankungen von Sonneneinstrahlung und Wind in verschiedenen Regionen Deutschlands eine stabilere Prognose und Einspeisung erlauben

Grundsätzlich sollte das Regelleistungsmarktdesign nur insoweit weiterentwickelt werden, dass die Systemsicherheit gewährleistet bleibt und konventionelle Kraftwerke nicht benachteiligt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Entlohnung für gekoppelte Stundenblöcke, um die technischen Restriktionen (Anfahrtszeiten) dieser Kraftwerke zu berücksichtigen. Die Anpassungen sollten hierarchisch vom Minutenreservemarkt, der bereits nahe am Zieldesign angelangt ist, über den Sekundärregelreservemarkt bis zum Primärregelreservemarkt ausgerollt werden (BMW, 2014). Technologisch könnten schon heute ausschließlich durch Pooling von Windkraftanlagen alle Regelleistungsarten bereitgestellt werden (Brauns, et al., 2014).

Ein weiteres regulatorisches Flexibilitätshemmnis ist die wärmemarktgeführte KWK, wie bereits in Kapitel 5.2.1.1. angesprochen wurde. Vorherrschendes Hemmnis für einen stärkeren Beitrag zur Flexibilisierung sind nicht die technischen Restriktionen oder fehlenden Wärmespeicher sondern die Fehlregulierungen. KWK-Anlagen werden wärmemarktgeführt betrieben und richten sich nicht nach den Marktsignalen am Strommarkt. So speisen sie kostenunabhängig Must-Run-Leistung ins Stromnetz ein und nutzen ihre Flexibilitätspotentiale, wie hohe Lastgradientenfähigkeit und geringe Anfahrzeiten, nur unzureichend (Jansen, et al., 2015).

Für einen kosteneffizienten strommarktgeführten Betrieb der KWK-Anlagen ist ein ausreichend hoher CO₂-Preis notwendig, um die Effizienzvorteile großer KWK-Anlagen gegenüber emissionsstarken Braunkohlekraftwerken zu sichern. Trotz der hohen Klimaziele sind Braunkohlekraftwerke vielen umweltschonenderen Alternativen derzeit noch überlegen. Ein hoher CO₂-Preis begünstigt außerdem flexible und umweltschonende Gaskraftwerke. Der CO₂-Markt wird von Kranner als „Leitsystem zur Erreichung der Energiewende“ angesehen. Heute herrscht ein massives Überangebot an CO₂-Zertifikaten, welches nur durch die Kürzung des Emissionsbudgets im europäischen Emissionshandelssystem abgebaut werden kann. Die im Umlauf befindliche Menge an Zertifikaten könnte jährlich reduziert werden, um die Emissionsreduktion und Investitionen in emissionsärmere Technologien voranzutreiben. Ein in Planung befindliches Konzept sieht eine Marktstabilitätsreserve vor, über die aktiv Einfluss auf die Menge der Zertifikate im Umlauf genommen werden kann (Kranner & Sharma, 2013).

Auch für die strommarktgeführte KWK sind die oben angeführten Optimierungsmöglichkeiten des Regelleistungsmarktes sinnvoll. Auf eine mögliche Dynamisierung des KWK-Bonus wird in Kapitel 3.2.4.2. näher eingegangen. Eine langfristige Möglichkeit, die Integration der KWK in den Strommarkt

voranzutreiben, wäre ein selektiver Kapazitätsmarkt, welcher gezielt auf den Ausbau der KWK ausgerichtet ist. Die Anlagen könnten durch eine mehrmalige Ausschreibung pro Jahr ihre hohe prognostizierbare Einsatzzeit im Winter als Wettbewerbsvorteil nutzen. Eine Einführung eines solchen Marktes würde natürlich allen Prämissen eines Kapazitätsmarktes, wie in Kapitel 3.2.2. beschrieben, unterliegen (Prognos AG, 2013).

Weitere Must-Run Leistung, welche abgebaut werden sollte, besteht durch den inflexiblen Betrieb von EEG-geförderten Biomasseanlagen und Biogasanlagen. Trotz hoher Flexibilitätspotentiale der Anlagen begünstigt das EEG den Grundlastbetrieb und hemmt den Einsatz zur Spitzenlastdeckung. Um dem entgegen zu wirken, wurden die Flexibilitätsprämie und später der Flexibilitätszuschlag eingeführt (Bundesregierung, 2014). Diese Prämien entlohnen den Zubau flexibler Kapazitäten von Biogas- und Biomethananlagen; die installierte Leistung darf nicht durchgehend abgerufen werden (Jansen, et al., 2015). Eine Ausweitung der Prämie bzw. des Zuschlags auf alle Bioenergieanlagen kann dazu beitragen einen flexibleren Anlagenpark aufzubauen, der Systemdienstleistungen erbringen kann und seinen Betrieb nach dem Strombedarf richtet (BEE, 2015).

Dynamisierung von Preisbestandteilen

Der Endkundenstrompreis setzt sich aus diversen Bestandteilen zusammen. Neben dem Energie- und Vertriebsanteil tragen staatlich regulierte Abgaben zu 78% maßgeblich zum Strompreis bei. Die EEG-Umlage mit ca. 22% und Netznutzungsentgelte mit ca. 23% sind die größten staatlich regulierten Preisfaktoren (BDEW, 2015). Durch die in den letzten Jahren zurückgegangenen Strompreise wurden diese fixen Anteile immer größer und das Preissystem zunehmend unflexibel. Der börsliche Anreiz zur Anpassung der Nachfrage spielt daher im End- und Industriekundenmarkt kaum eine Rolle. Im Rahmen der Flexibilisierung werden zurzeit verschiedene Möglichkeiten geprüft den statischen Anteil am Strompreis zu dynamisieren, um Marktsignale zu verstärken und Aufschläge prozentual statt fix auszugestalten (BMW, 2014).

Wegen des großen Anteils der EEG-Umlage und der NNE am Strompreis ist der Einfluss einer Dynamisierung auf den Strommarkt sehr groß. Mit diesen Designelementen lassen sich die EE-Integration und die Entwicklung von Lastmanagement steuern. Die Preisbildung muss grundsätzlich in Summe betrachtet werden, dass sich die verschiedenen dynamischen und statischen Elemente nicht unerwünscht ausgleichen oder gegeneinander wirken (EWE AG, 2014).

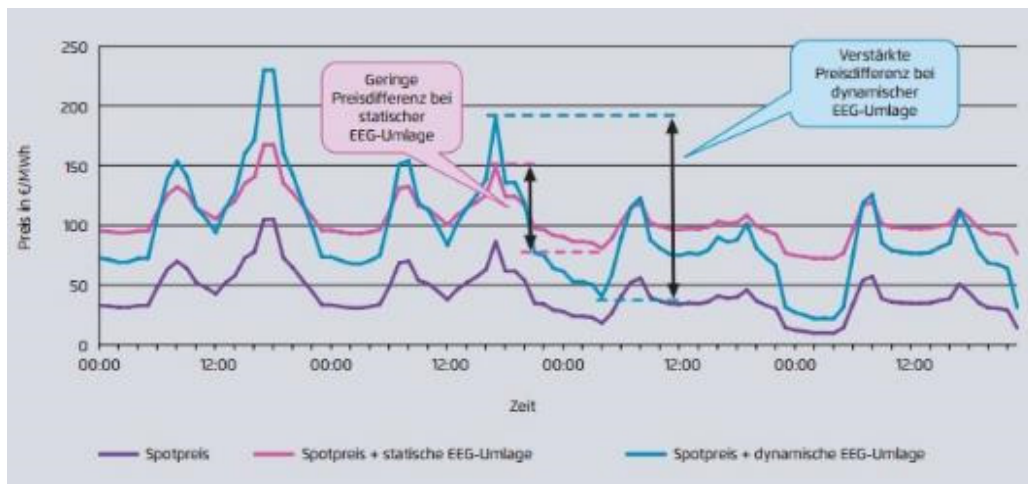


Abbildung 199: Vergleich statischer mit dynamischer EEG-Umlage (Nabe & Bons, 2014)

EEG-Umlage

Eine prozentuale Kopplung der EEG-Umlage an den Börsenstrompreis kann finanzielle Anreize zur Nachfrageverlagerung schaffen, da alle marktwirtschaftlichen Preisschwankungen verstärkt und an die Verbraucher weitergegeben werden, wie in Abbildung 14 deutlich gemacht wird. Dies trägt zur Glättung von Residuallastspitzen bei. Diese Kopplung kann zum maßgeblichen Instrument zur Ausnutzung des Lastmanagementpotentials, wie in Kapitel 5.2.2. beschrieben, werden. Die Einführung einer solchen dynamischen Umlage lässt den Stromvertrieben verschiedene Möglichkeiten offen: Sie kann direkt an den Kunden weitergegeben werden und dieser selbst einen Anreiz zur Lastverschiebung bekommen. Alternativ kann der Stromlieferant das Preisrisiko übernehmen und durch entsprechende Appliances und bilaterale Verträge über Eingriffe den Verbrauch beim Kunden steuern.

Über die Höhe der gesamten EEG-Umlagesumme kann mit Festlegung des Prozentsatzes bestimmt werden. Eine Anpassung des Prozentsatzes ist aufgrund von Veränderungen des Strompreinsniveaus notwendig, um die Umlagesumme konstant zu halten. Sollte ein fixes Grundertragsniveau angestrebt sein, kann die Umlage auch nur teilweise dynamisiert werden. Gesamtwirtschaftlich ist die dynamische EEG-Umlage kostenneutral, da flexible Verbraucher in gleicher Höhe profitieren, wie inflexible Verbraucher Mehrkosten tragen müssen. Um diese vor Preispeaks zu schützen ist es möglich, einen Maximalwert für die Umlage festzuschreiben (Jansen, et al., 2015).

In Zeiten hoher Einspeisung Erneuerbarer Energien wird der Merit-Order-Effekt gedämpft. Es entstehen durch prozentuale Senkung der Umlage eine höhere Nachfrage und damit eine Erhöhung der Marktpreise. Erneuerbare Erzeuger müssten nicht mehr zu negativen oder sehr niedrigen Preisen verkaufen und können so besser als bisher in den Markt integriert werden.

Abhängig vom Gestaltungsrahmen kann die Dynamisierung zunächst für RLM-Kunden eingeführt werden und im Anschluss, mit der flächendeckenden Einführung von Smart Meters, auf den gesamten Markt ausgerollt werden. RLM-Kunden, welche nicht von einer reduzierten EEG-Umlage profitieren, bieten mit 50% des deutschen Stromverbrauchs bereits ein ausreichendes Flexibilisierungspotential (Nabe & Bons, 2014).

Netznutzungsentgelte

Ein großer Strompreisbestandteil für die Endverbraucher sind außerdem die Netzentgelte, welche für die Nutzung der Transportwege für Strom erhoben werden. Auch diese können auf ein Flexibilitätssignal umgestellt werden, welches die Erneuerbare Energie und das DSM besser integriert und die Netzsituation berücksichtigt. Diese können, wie bei der dynamischen EEG-Umlage, an den Spotmarktpreis oder die Netzlast gekoppelt werden. Möglich ist auch die Kombination aus einem netzlastorientierten Leistungsentgelt und einem marktpreisorientierten Arbeitsentgelt (Jahn, 2014).

Langfristig können Netzentgelte, gekoppelt an die prozentualen Netzlast, vor allem lokal Engpässe vermeiden: Falls bei erhöhter Einspeisung das Netz zu überlasten droht, könnte der Netzbetreiber von den Stromerzeugern ein erhöhtes Entgelt fordern und für die Verbraucher das NNE senken. Sollte zum Beispiel ein lokaler Engpass im Verteilnetz bestehen, muss sich dies nicht auf den Spotmarktpreis auswirken. Vor allem Verbraucher, die in einem RLM-Pool organisiert sind, könnten durch DSM auf diese Preissignale reagieren. Vorstellbar wäre die Unterteilung des Netzes in Zonen, die der Netzbetreiber preislich gezielt ansprechen kann (EWE AG, 2014).

Bislang gibt es wenige Forschungsprojekte, welche sich mit der Dynamisierung von Netzentgelten beschäftigt haben. Hier besteht auch von wissenschaftlicher Seite Aufklärungsbedarf (Jahn, 2014).

KWK-Bonus

In Kapitel 3.2.3. wurde kurz auf die Flexibilisierungsprämie für Biogas- und Biomethananlagen eingegangen. Analog hierzu kann ein KWK-Bonus, welcher periodisch angepasst werden oder dynamisch an den Spotmarktpreis gekoppelt werden muss, die strommarktgeführte Fahrweise von KWK-Anlagen fördern. 2009 wurde ein statischer KWK-Bonus eingeführt, um Betreiber zur Nutzung ihrer Abwärme zu bewegen. Seit der neuen Version des EEG im Jahr 2012 wurden diese Zahlungen wieder abgeschafft, da die Ziele vermeintlich erreicht wurden (ASUE, 2012). Die KWK-Umlage fließt seitdem in die EEG-Umlagesumme. Ein dynamischer KWK-Bonus aus der KWK-Umlage würde den Anreiz, in Spitzenlastzeiten Elektrizität einzuspeisen und langfristig in Speicher zu investieren, verstärken. Auch hier gibt es die Möglichkeit, Kostenneutralität zu wahren und inflexible KWK-Anlagen durch geringere oder keine Zahlungen zu benachteiligen. Zu diskutieren ist die Gefahr eines nicht erwünschten Investitionsrückgangs in KWK unter dieser Prämisse (Jansen, et al., 2015).

Fazit

Ausgangspunkt dieser Arbeit war die veränderte Angebotscharakteristik auf den deutschen Strommärkten zu einem Strommix, in dem erneuerbare Energieträger dominieren. In Kapitel 2 wurde gezeigt, dass die Möglichkeiten des Lastausgleichs durch Angebots- und Nachfrageflexibilisierung wie auch durch Speicherung vielfältig sind. Einige der Optionen befinden sich derzeit aber erst im konzeptionellen Stadium. Im Überblick ergibt sich, dass die Netzverstärkung und der Netzausbau die aktuell technisch zuverlässigsten Optionen darstellen. Die Einbindung weiterer Sektoren wie P2G und P2H bedarf weiterer Auswirkungsanalysen, da die Komplexität des Systems hierdurch erhöht wird.

Die Basis für die Gestaltung des aktuellen Strommarktdesigns waren fossile Erzeuger und unflexible Verbraucher. Kosteneffizient, umweltschonend und ohne Einbußen bei der Versorgungssicherheit soll auf Basis des ursprünglichen Strommarktdesigns eine Deckung des deutschen Bruttoelektrizitätsbedarfes von 80% aus Erneuerbaren Energien bis 2050 erreicht werden. Auf Basis

der in Kapitel 3.2 beschriebenen Bewertungskriterien wurden in dieser Seminararbeit Möglichkeiten untersucht, mehr Flexibilität in den Strommarkt zu integrieren.

Kosteneffizienz sollte über alle Designelemente hinweg durch den großflächigen Einsatz wettbewerblicher Elemente erreicht werden. Sie ist essentielle Voraussetzung für die erfolgreiche Integration von Lastflexibilitätsprodukten. Die Rahmenbedingungen für Vollkostendeckung sind wegen des geringen Erlöspotentials durch den Merit-Order-Effekt zurzeit schwierig. Nachfrage und Angebot sind bislang nahezu unelastisch. Erst bei sehr hohen Preisen - deutlich über den Grenzkosten des teuersten Kraftwerks - stellt sich ein geringer Rückgang der Nachfrage ein. Umgekehrt kommt es erst bei sehr hohen negativen Preisen zu einer Reduktion des Angebots. Der am Day-Ahead-Markt gebildete Preis bildet auch für den OTC-Markt den Referenzpreis ab und ist daher essentiell für eine Veränderung. Allein Pay-as-bid am Day-Ahead-Markt kann Vollkostendeckung nicht gewährleisten. Es bestehen Zweifel, ob der EOM Investitionsanreize setzen kann, wenn Spitzenpreise in ausreichender Höhe ausbleiben. So werden weitere Flexibilitätsoptionen, wie in Abbildung 15 dargestellt, benötigt, um eine höhere Elastizität des Angebots und der Nachfrage zu erreichen. Ein Europäischer Binnenmarkt und eine mögliche Marktkopplung sorgen für höhere Wettbewerbseffizienz und eine Flexibilisierung der Verbraucherpreise. Zudem führt die Verteilung der Lasten zur Einsparung fossiler Ressourcen.

Versorgungssicherheit setzt sich aus den Elementen Erzeugungs- und Transportsicherheit zusammen. Die hohen Kapazitäten von erneuerbaren Energien erhöhen den Druck auf den Strompreis und die Erwirtschaftung von Deckungsbeiträgen für konventionelle Kraftwerke wird erschwert. Hierdurch wurde die Diskussion über einen Kapazitätsmarkt zur Sicherung der Erzeugungssicherheit verstärkt: Dieser birgt, sehr abhängig von der Gestaltung, verschiedene Gefahren. Vor allem die effiziente Ausgestaltung der Preisfindung steht noch in der Diskussion. Der Kapazitätsmarkt wird daher wahrscheinlich erst in einem weiter fortgeschrittenen Ausbaustadium der Erneuerbaren Energien relevant.



Abbildung 200: Auswirkung der Flexibilitätsoptionen auf Angebot und Nachfrage (BMW, 2014)

Transportsicherheit wird durch einen ambitionierten Netzausbau erreicht. Dies ist vor allem von einer attraktiven Vergütung durch Netznutzungsentgelte abhängig.

Die Ausbauziele der Bundesregierung forcieren die Umweltgerechtigkeit, um so langfristige Emissionsziele umzusetzen. Diese ist abhängig vom Refinanzierungspotential der Erneuerbaren Energien. Aufgrund der heutigen Randbedingungen, wie der fehlenden Internalisierung externer Umweltkosten, z. B. Atommüll oder Kraftwerksrückbau, benötigen die Erneuerbaren Energietechnologien übergangsweise einen geschützten Raum um die Ziele der Energiewende zu erreichen. Diesen Raum bietet momentan das EEG. Auf lange Sicht ergibt sich hierdurch jedoch eine Marktverzerrung. Erneuerbare Energien sollten sich, trotz ihrer Volatilität und vernachlässigbaren, kurzfristigen Grenzkosten, wettbewerblich finanzieren können und auch so attraktiv für Investitionen sein. Die Dynamisierung des EEG kann im Rahmen der Direktvermarktung ein erster Ansatz sein. Die Attraktivität für steuerbare Verbraucher ihre Last zu regeln steigt durch die flexiblere Preisbildung an. Im Hinblick auf steigenden Anteil EE-Kapazität muss das Marktsystem langfristig dennoch frei von staatlichen Fördermaßnahmen sein.

7. AP 600 – Projektkoordination

Im Arbeitspaket ist die Gesamtkoordination des Projektes untergebracht. Das Ziel des Arbeitspakets ist es daher einen möglichst störungsfreien Projektablauf zu ermöglichen.

Interne Projektorganisation

Im Rahmen des AP 600 wurden 6 Projektleitertreffen - nach beim gemeinsamen Kick-off festgelegtem Arbeitsmodus- organisiert. Diese Termine wurden in wechselndem Turnus in den Lokationen der unterschiedlichen Projektpartner organisiert, wodurch der Austausch zwischen den Projektpartnern deutlich verstärkt werden konnte. Dabei wurden die einheitlichen Berichtsvorlagen konsequent eingesetzt. Für das Sharing der Unterlagen in und zwischen unterschiedlichen APs wurde eine gemeinsame Sharepoint-Plattform eingesetzt und intensiv benutzt. Somit hatten alle Partner Zugang zu einem modernen Wissens- und Projektmanagement-Tool.

Dissemination und Vertretung des Projekts nach außen

Andere wesentliche Ereignisse waren der Erfahrungsaustausch und die Vernetzung der Projektpartner mit anderen Projekten aus dem Bereich Elektromobilität sowohl im Spitzencluster Elektromobilität Süd-West als auch darüber hinaus. Hier fand auch ein enger Austausch mit der Begleit- und Wirkforschung der Schaufenster Elektromobilität statt.

Das Statusseminar des Spitzencluster im Rahmen der HMI am 15.04.2015 sowie die weiteren Gesamtteamtreffen des Spitzencluster haben die Projektpartner genutzt, um sich über den aktuelle Stand der Technik zu informieren und Erfahrungen mit anderen Projekten des Spitzenclusters Elektromobilität Süd-West auszutauschen.

Die Teilnahme an der EVS 28 in Seoul (03.-06.05.2015) konnte dazu genutzt werden mit Experten aus unterschiedlichen Ländern im Bereich Elektromobilität in Austausch zu treten und neue Erkenntnisse in die Arbeit von IMEI einfließen zu lassen. Gleichzeitig konnte die Veranstaltung dazu genutzt werden das Projekt weiter bekannt zu machen.

Der Besuch der Abschlussveranstaltung des EU geförderten S3C Projekts vom 23.-24.09.2015 in Berlin konnte zur weiteren Bekanntmachung des Projekts genutzt werden. Darüber hinaus ergaben sich aus den Ergebnissen des S3C Projekt interessante Inspirationen für die weitere Arbeit in IMEI.

Die World of Energy Solution vom 12.-14.10.2015 konnte genutzt werden um IMEI einer breiteren Öffentlichkeit bekannt zu machen. Dies war möglich, da die BridgingIT GmbH mit einem eigenen Stand auf der Messe vertreten war und hier eine Präsentationsfläche zur Verfügung stellte.

Auf dem „Fields of Innovation“ Event des Spitzencluster konnte das Projekt IMEI sowohl an einem eigenen Stand präsentiert werde als auch durch eine aktive Beteiligung an einer Podiumsdiskussion weiter bekannt gemacht werden.

Die Teilnahme an der EVS 29 in Montreal (19.-22.06.2016) konnte dazu genutzt werden mit Experten aus unterschiedlichen Ländern im Bereich Elektromobilität in Austausch zu treten und neue Erkenntnisse in die Arbeit von IMEI einfließen zu lassen. Gleichzeitig konnte die Veranstaltung dazu genutzt werden das Projekt weiter bekannt zu machen.

Das Statusseminar des Spitzencluster im Rahmen der World of Energy Solutions am 11.10.2016 sowie das Mitgliedsversammlung des Smart Grids-Plattform Baden-Württemberg e.V. am 10.10.2016 konnte genutzt werden, um sich über den aktuelle Stand der Technik zu informieren und Erfahrungen mit anderen Marktakteuren auszutauschen.

Am 12.08.2016 hat IMEI Projekt einen gemeinsamen Workshop mit dem Projekt BiE (Spitzencluster Elektromobilität Süd-West) organisiert, wo insbesondere über die Integration der Elektromobilität in den Alltag und Planungs- und Kooperationsmöglichkeiten für Marktakteure diskutiert.

Auf der im Oktober 2017 stattfindenden EVS 30 in Stuttgart werden im Rahmen eines Vortrags die Ergebnisse des Projekt IMEI einen breiten, internationalen Fachpublikum bekannt gemacht.

Im Spitzencluster Süd-West übernimmt die bridgingIT darüber hinaus zusammen mit dem FZI die Leitung im Innovationsfeld IKT.

8. Literaturverzeichnis

- ADAC (2010). Mobilität in Deutschland.
- ADAC (2016): ADAC ClubMobil. Online verfügbar unter <https://www.adac.de/produkte/autovermietung/clubmobil/default.aspx>, zuletzt geprüft am 15.12.2016.
- ADAC (2014): *Elektroförderung in Europa*. (Stand: 18.02.2015): <https://adacemobility.wordpress.com/2014/08/14/elektro-forderung-in-europa/>
- Asienkurier. *Verkehrsinfarkt oder integrierte Konzepte*. (Stand: 16.02.2015): <http://www.asienkurier.com/texte/ak090210.html>
- Berlin Institut für Bevölkerung und Entwicklung (Stand: 20.11.2014): http://www.berlin-institut.org/newsletter/Ausgabe_28.10.2011.html.html
- Beal, J., Berliner, J. u. Hunter, K.: Fast Precise Distributed Control for Energy Demand Management. 2012 IEEE 6th International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO), S. 187–192
- BILD (2010). *Monsterstau in China*. (Stand: 20.01.2015): <http://www.bild.de/auto/2010/nahe-peking-13728666.bild.html>
- Bloomberg Businessweek. *China wants its people in the cities*. (Stand: 20.01.2015): <http://www.businessweek.com/articles/2014-03-20/china-wants-its-people-in-the-cities>
- Brand, Marius (2015): Eine Methode zur Bewertung von Interdependenzen in Geschäftsmodellen entstehender Märkte. Stuttgart, Techn. Univ., Diss., 2015.
- Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung. (2015). Haushaltsstrukturen. Zugriff am .29.03.2016 auf http://www.bib-demografie.de/DE/ZahlenundFakten/13/haushaltsstrukturen_node.html
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2008). *Deutschland soll Leitmarkt für Elektromobilität werden*. Pressemitteilung Nr. 274/08.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2012): *Mobilitätssicherung in Zeiten des demografischen Wandels*.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (Stand: 12.01.2015): <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/oeffentlicher-personennahverkehr.html>
- Burgmann, Dieter im Asien Kurier (10/2014): *Das ungenutzte Potenzial des indischen Automarkts*. (Stand: 20.11.2014): <http://www.asienkurier.com/article/indien/2014/ak141002-Indien-Das-ungenutzte-Potenzial-des-Automarkts.html>
- Caramanis, M. and J. M. Foster (2009b). Management of electric vehicle charging to mitigate renewable generation intermittency and distribution network congestion. In Proceedings of the 48th IEEE Conference on Decision and Control (CDC) held jointly with 2009 28th Chinese Control Conference, Number iii, pp. 4717–4722.
- CarIT. (2013). *Indien fördert Elektromobilität*. (Stand: 23.02.2015): <http://www.car-it.com/indien-foerdert-elektromobilitaet/id-0038755>
- Central Intelligence Agency. *The World Factbook*. (Stand: 17.11.2014): <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/gm.html>

- China Observer. *Die Notwendigkeit innovativer Verkehrskonzepte in China*. (Stand: 20.01.2015): <http://www.china-observer.de/index.php/2014/12/05/die-notwendigkeit-innovativer-mobilitatskonzepte-fur-china/>
- Current results. *Largest cities in the United States*. (Stand: 16.02.2015): <http://www.currentresults.com/Weather-Extremes/US/largest-cities-list.php>
- Demographia World Urban Areas: 10th Edition (2015).
- Der Spiegel (2014). *Wissen*. Ausgabe Nummer 4/ 2014.
- Der Spiegel. *Größte Metropole der Welt*. (Stand: 20.01.2015): <http://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/groesste-metropole-der-welt-china-plant-42-millionen-stadt-a-741994.html>
- Der Spiegel. *Indien: Smog in Neu-Delhi ist schlimmer als in Peking*. (Stand: 16.02.2015): <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/luftverschmutzung-smog-in-neu-delhi-indien-schlimmer-als-pekking-china-a-945770.html>
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2013). *Strom – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität. Ergebnisse der Forschungsreise China*.
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2013). *Strom – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität. Ergebnisse der Forschungsreise Indien*.
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2013). *Strom – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität. Ergebnisse der Forschungsreise Nordamerika*
- Edwards, Tom and Smith, Steward: *Transport Problems Facing Large Cities*. (Stand: 16.02.2015): [http://www.parliament.nsw.gov.au/prod/parliament/publications.nsf/key/TransportProblemsFacingLargeCities/\\$File/TransportFINALindex.pdf](http://www.parliament.nsw.gov.au/prod/parliament/publications.nsf/key/TransportProblemsFacingLargeCities/$File/TransportFINALindex.pdf)
- Euler Hermes Economic Research (2014): *Automobilbranche China*.
- Europäische Kommission. *Eurostat: Deutschland hat niedrigste Geburtenrate*. (Stand: 18.11.2014): http://ec.europa.eu/deutschland/press/pr_releases/11839_de.htm
- Europäische Kommission. Eurostat. (Stand: 18.11.2014): <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdde220>
- Europäische Kommission. Eurostat. (Stand: 18.11.2014): http://europa.eu/rapid/press-release_STAT-08-119_en.htm Europäische Kommission (2014). *Verkehr*.
- European Environment Agency. (Stand: 19.11.2014): <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/car-ownership-rates-projections>
- European Environment Agency (2013). *A closer look at urban transport*.
- Fahrmeir, Ludwig; Künstler, Rita; Pigeot, Iris; Tutz, Gerhard (2007): *Statistik. Der Weg zur Datenanalyse*. 6., überarb. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-69739-8>.
- Förderschwerpunkt „e-mobil in niederösterreich“. (Stand: 18.02.2015): <http://www.noel.gv.at/Umwelt/Klima/Foerderungen-Private/e-PKW-privat.html>

- France Diplomatie (2015). *France is the largest electric vehicle market in Europe*. (Stand: 18.02.2015): <http://www.diplomatie.gouv.fr/en/french-foreign-policy-1/economic-diplomacy/facts-about-france/one-figure-one-fact/article/france-is-the-largest-electric>
- Fraunhofer ISE. (2015). Installierte Netto-Leistung zur Stromerzeugung in Deutschland. Zugriff am 30.03.2015 auf https://www.energy-charts.de/power_inst_de.htm
- Fraunhofer IAO (2016): *elektromobilisiert.de - Das Fraunhofer IAO elektromobilisiert Fuhrparkflotten von Städten und Unternehmen*. Online verfügbar unter <http://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/images/leistungen/elektromobile-fuhrparkflotten.pdf>, zuletzt geprüft am 02.01.2017.
- Frey, S., Diaconescu, A., Menga, D. u. Demeure, I.: *A Holonic Control Architecture for a Heterogeneous Multi-Objective Smart Micro-Grid*, 2013
- Galus, M. D., R. A. Waraich, and G. Andersson (2011). Predictive, Distributed, Hierarchical Charging Control of PHEVs in the Distribution System of a Large Urban Area Incorporating a Multi Agent Transportation Simulation. In *Proceedings of the 17th Power Systems Computation Conference*, Stockholm.
- Gerding, E. H., V. Robu, A. Rogers, and S. Stein (2011). Online Mechanism Design for Electric Vehicle Charging. In S. Yolum, Tumer (Ed.), *Proceedings of the 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Number Aamas, Taipei, Taiwan, pp. 2–6.
- Gonzalez Vaya, M. and G. Andersson (2012). Centralized and Decentralized Approaches to Smart Charging of Plug-In Vehicles. In *Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE*, pp. 1–8.
- Handelsblatt (2014). *China geht bei E-Autos in die Offensive*. (Stand: 19.02.2015): <http://www.handelsblatt.com/politik/international/elektromobilitaet-china-geht-bei-e-autos-in-die-offensive/10193944.html>
- Hatziargyriou, N.: *Microgrids*. Chichester, Großbritannien: John Wiley and Sons Ltd 2013
- Hyndman, Rob; Athana-sopou-los, George (2012): *Forecasting: principles and practice*. Hg. v. Otexts, zuletzt aktualisiert am 02.08.2016, zuletzt geprüft am 14.09.2016.
- Institut der deutschen Wirtschaft Köln. *Zurück in die Stadt*. (Stand: 13.01.2015)
- Institute for Mobility Research (2013). 'Mobility Y' – The Emerging Travel Patterns of Generation Y.
- Institut für Mobilitätsforschung (2010). *Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030*.
- International Energy Agency (2013). *Global EV Outlook*.
- Kley, F., Lerch, C., & Dallinger, D. (6 2011). New business models for electric cars - A holistic approach. *Energy Policy*(39), S. 3392–3403. Von <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421511002163> abgerufen
- KPMG (2014): *KPMG's Global Automotive Executive Survey 2014*.
- Küpper, Willi; Lüder, Klaus; Streitferdt, Lothar (1975): *Netzplantechnik*. Heidelberg, s.l.: Physica-Verlag HD. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-12568-7>.
- Li, T. and M. Shahidehpour (2005). Price-Based Unit Commitment: A Case of Lagrangian Relaxation versus Mixed Integer Programming. *Power Systems, IEEE Transactions on* 20(4), 2015–2025.
- Little, Arthur D. (2009). *Zukunft der Mobilität 2020*.

- Markt und Mittelstand (2014): *Automobilmarkt China. Jeder fünfte Euro an Deutschland.* (Stand: 20.11.2014): <http://www.marktundmittelstand.de/nachrichten/kunden-maerkte/automobilmarkt-china-jeder-fuenfte-euro-an-deutschland/>
- Mathieu, J. L. u. Callaway, D. S.: State Estimation and Control of Heterogeneous Thermostatically Controlled Loads for Load Following. 2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), S. 2002–2011
- Mock, Peter and Zifei Yang (2014). International Council on Clean Transportation. *DRIVING ELECTRIFICATION.*
- Nationale Plattform Elektromobilität (2014). Fortschrittsbericht 2014 – Bilanz der Marktvorbereitung.
- New Geography. *Special report. 2013 Metropolitan area population estimates.* (Stand: 16.02.2015): <http://www.newgeography.com/content/004240-special-report-2013-metropolitan-area-population-estimates>
- New Geography. *Urbanizing India. The 2011 census shows slowing growth.* (Stand 16.02.2015): <http://www.newgeography.com/content/002537-urbanizing-india-the-2011-census-shows-slowing-growth>
- Niemeyer, Jörg: Deloitte. (Stand: 17.11.2014): <http://www.umweltdialog.de/de/wirtschaft/mobilitaet/2014/Automobilindustrie-konzentriert-sich-auf-Asien.php>
- OECD Development Center (2010): *The Emerging Middle Class in Developing Countries.*
- OECD. *The Future to Families to 2030.* (Stand: 19.11.2014): <http://www.oecd.org/futures/49093502.pdf>
- Oekonews.at. (2013). *Indien: Mehr Förderung für Elektromobilität.* (Stand: 20.02.2015): http://oekonews.com/index.php?mdoc_id=1086116
- Pachon, Julian E.; Iakovou, Eleftherios; Ip, Chi; Aboudi, Ronny (2003): *A Synthesis of Tactical Fleet Planning Models for the Car Rental Industry.* In: *IIE Transactions* 35 (9), S. 907–916. DOI: 10.1080/07408170304409.
- Padhy, N. (2004). *Unit Commitment - A Bibliographical Survey.* *Power Systems, IEEE Transactions on* 19(2), 1196–1205.
- Pasupuleti, P., & Salome, B. P. (2015). *Data Lake Development with Big Data.* BIRMINGHAM - MUMBAI: Packt Publishing Ltd.
- PlaNYC. (Stand: 17.02.2015): <http://www.nyc.gov/html/planyc/html/home/home.shtml>
- Peters, Anja und Hoffmann, Jana (2011). Fraunhofer ISI. *Nutzerakzeptanz von Elektromobilität.*
- Peugh, J. L., & Enders, C. K. (2004). *Missing data in educational research: A review of reporting practices and suggestions for improvement.*
- Price Waterhouse Coopers (2011): *Growth reimaged. Automotive Industry Summery.*
- Price Waterhouse Coopers. *Der US-Automobilmarkt kommt schneller wieder in Fahrt, als der europäische.* (Stand: 24.11.2014): <http://www.pwc.de/de/automobilindustrie/der-us-automobilmarkt-kommt-schneller-wieder-in-fahrt-als-der-europaeische.jhtml>
- Sächsische Zeitung. *Indiens mörderischer Verkehr.* (Stand: 16.02.2015): <http://www.sz-online.de/nachrichten/indiens-moerderischer-verkehr-949469.html>

- Schaufenster Elektromobilität. (Stand: 17.02.2015): <http://schaufenster-elektromobilitaet.org/de/content/index.html>
- Schuller, A. (2013). Electric Vehicle Charging Coordination. Ph. D. thesis, Karlsruhe.
- Schuller, A., Dietz, B., Flath, C. M. & Weinhardt, C. (2014). Charging strategies for battery electric vehicles: economic benchmark and V2G potential. IEEE Transactions on Power Systems, 5 (29).
- Schuller, Alexander and Flath, Christoph M and Gottwalt, Sebastian. (2015). Quantifying load flexibility of electric vehicles for renewable energy integration. Applied Energy, 151 , 335–344.
- Shell Deutschland Oil GmbH (2009). *Shell PWK Szenarien bis 2030*.
- Shell Deutschland Oil GmbH (2014). *Shell PWK Szenarien bis 2040*.
- Spieß, M. (2008). *Missing-data-Techniken: Analyse von Daten mit fehlenden Werten*. Hamburg: LIT Verlag.
- statista. (Stand: 19.11.2014): <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1722/umfrage/bevoelkerungsreichste-laender-der-welt/>
- Statistisches Bundesamt (Stand: 17.11.2014): <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerung.html>
- Statistisches Bundesamt (Stand: 17.11.2014): <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Geburten/Geburten.html>
- Strittmatter, Kai. *Der Schwarm*. Süddeutsche Zeitung. (Stand: 20.01.2015): <http://www.sueddeutsche.de/auto/verkehrswahnsinn-in-peking-der-schwarm-1.1814544>
- Strüker, J., Stadler, M., Mayer, C., & Terzidis, O. (08. 03 2016). *Der Data Access Point Manager als unterstützende Infrastruktur für Smart Grid und Smart Market*, RG.2.1.5161.4488. (ResearchGate) doi:10.13140
- Subramanian, A., Garcia, M., Callaway, D., Poola, K. & Varaiya, P. (2013, Dec). Real-Time Scheduling of Distributed Resources. Smart Grid, IEEE Transactions on, 4(4), 2122-2130.
- Süddeutsche Zeitung. *Außenspiegel eingeklappt - und los! Autofahren in Indien*. (Stand: 16.02.2015): <http://jetzt.sueddeutsche.de/texte/anzeigen/502159/Aussenspiegel-eingeklappt-und-los-Autofahren-in-Indien>
- Süddeutsche (2015). *Elektromobilität, geräuschlos aber nur in China*. (Stand: 19.02.2015): <http://www.sueddeutsche.de/auto/elektromobilitaet-geraeschlos-aber-nur-in-china-1.2145011>
- Teichmann, Georg. Price Waterhouse Coopers. (Stand: 17.02.2015): <http://www.pwc.de/de/offentliche-unternehmen/elektromobilitaet-auf-kundenwuensche-eingehen.jhtml>
- The Economic Times India (22.07.2014). *Electric vehicle makers seek early roll-out of NEMMP 2020*. (Stand: 24.02.2015): <http://economictimes.indiatimes.com/industry/auto/news/industry/electric-vehicle-makers-seek-early-roll-out-of-nemmp-2020/articleshow/38875686.cms>
- The World Bank. *India – India’s transport sector*. (Stand: 16.02.2015): <http://documents.worldbank.org/curated/en/2002/05/1937501/india-indias-transport-sector-challenges-ahead-vol-1-2-main-report>

- Umweltbundesamt. *Öffentlicher Personennahverkehr*. (Stand: 13.01.2015):
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/oeffentlicher-personennahverkehr>
- Urban, Dieter; Mayerl, Jochen (2011): *Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung*. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss (Studienskripten zur Soziologie). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-531-93114-2>.
- USA Today (14.07.2010). *Obama pushes electric cars, battery power this week*. (Stand: 24.02.2015): <http://content.usatoday.com/communities/driveon/post/2010/07/obama-pushes-electric-cars-battery-power-this-week-/1#.VOtO-rSpqZM>
- Van der Kuip, Sander (2011). *The potential of electric vehicles amongst Dutch lease drivers*.
- Verband der Automobilindustrie (Stand: 20.11.2014):
<https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/20141118.html>
- VDI (2013). *Positionspapier. Elektromobilität und Sicherheit*.
- Viehmann, Sebastian. *Fokus* (28.08.2012): *Chinesen müssen für neue Autos Lotto spielen*. http://www.focus.de/auto/ratgeber/unterhaltung/pekings-kampf-gegen-den-verkehrsinfarkt-chinesen-muessen-fuer-neue-autos-lotto-spielen_aid_807941.html
- Yang, Yazao; Jin, Wenzhou; Hao, Xiaoni (2008): *Car rental logistics problem: A review of literature*. In: *Car rental logistics problem: A review of literature*. 2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI). Beijing. Institute of Electrical and Electronics Engineers; Intelligent Transportation Systems Society; IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics; IEEE SOLI. Piscataway, NJ: IEEE, S. 2815–2819
- Xu, S., Feng, D., Yan, Z., Zhang, L., Li, N., Jing, L. & Wang, J. (2013). *Ant-Based Swarm Algorithm for Charging Coordination of Electric Vehicles*. IJDSN, 2013.

9. Anhang

Akteure und Rollen

Community (Gruppe)		Gruppenbeschreibung
Nutzer		Person oder Organisation für Nutzung oder Betrieb elektrischer Fahrzeuge und/oder Energiedienstleistungen
Akteur	Akteurskategorie (Rolle, Person, Organisation, Komponente, System)	Akteursbeschreibung
Anschlussnutzer	Person oder Organisation	Akteur, der die Anlage des Anschlussnehmers für den Bezug oder die Einspeisung elektrischer Energie benutzt und der einen Vertrag mit einem Lieferanten zur Stromlieferung hat, wobei für einen Anschluss in Form des Ladepunktes der Ladepunktbetreiber der Anschlussnutzer ist
Elektrofahrzeug	System	Elektrisch betriebenes Fahrzeug, das am Ladepunkt des Smart Home geladen wird
Fahrzeugnutzer	Person	Besitzer des Fahrzeuges im aktuellen Betrieb, FINSNEY-Project: A person that uses the electric vehicle (EV) at a specific point in time (whether in a professional or private capacity)
Fahrzeughalter	Person oder Organisation	Eigentümer des Fahrzeuges, FINSNEY-Projekt: Entity owning the car. This could be a person in which case the car is privately owned or it could also be a car sharing or car rental organisation. An example car sharing company would be a Enterprise Fleet Operator (EFO) which runs a company's car fleet.
Fahrzeug	System	Fortbewegungseinrichtung, die als elektrisch betriebene Einrichtung am Ladepunkt des Smart Home geladen wird FINSNEY-Projekt: EV – electrical vehicle

Ladepunktnutzer	Person oder Organisation	Ein Akteur, der die Energie des Anschlussnutzers am Ladepunkt einsetzt. Der Fahrzeughalter, der Fahrzeugführer oder der Flottenbetreiber als Fahrzeughalter kann ein Ladepunktnutzer sein.
Messstellenvertragsnehmer	Person oder Organisation	Messstellenvertrag besteht zusätzlich zum Liefervertrag, womit der Anschlussnutzer als Ladepunktbetreiber auch Messstellenvertragsnehmer ist. Bem.: Gilt, solange die Messstelle Teil des Ladepunktes und damit immobil ist und nicht für den auch möglichen Fall, dass Messstelle Teil des Fahrzeuges mit eigenem Liefervertrag und damit mobil wird.
Community (Gruppe)		Gruppenbeschreibung
Energiedienstleister		Organisation, die bezogen auf Elektromobilität Dienste anbietet
Akteur	Akteurskategorie (Rolle, Person, Organisation, Komponente, System)	Akteursbeschreibung
Elektromobilitäts-Diensteanbieter	Organisation	FINSENY-Projekt: Bietet Mehrwertdienste für individuelle Mobilität, die auch enthalten Prioritätenadministration, Ladepunktverfügbarkeit, spezielle Dienste. Damit kann Eigentümerschaft an Fahrzeugen / Batterien verbunden sein.
Lieferant	Organisation	Schließt mit Ladepunktbetreiber einen Stromliefervertrag ab und rechnet diesen über die Mengenummessung des MDL ab. Die Planung der Stromlieferung in Leistungskurve (prognostizierte Leistungsböcke in zeitlicher Rasterung) wird dem Bilanzkreisverantwortlichen als Lieferfahrplan mitgeteilt.

		<p>FINSENY-Projekt: Energy supplier, synonym zum Energy retailer</p> <p>Bem: Weiterhin kann er zusätzlich die Rolle des Aggregators einnehmen, die gesondert beschrieben wird. Leistungen der Lieferung und Aggregation können aber in einem Vertrag als zwei Bestandteile integriert sein.</p>
Energiehändler	Organisation	Vermittler im Handel von Energiemengen zwischen Verkäufern und Käufern von Energiemengen und Flexibilitäten
Aggregator für Energiedienste	Organisation	<p>Schließt einen Vertrag über zukünftige Vereinbarungen von Flexibilitäten in der Stromlieferung ab. Flexibilitäten sind durch das Angebot der Änderung des geplanten oder prognostizierten Lieferfahrplanes gekennzeichnet. Diese Leistungsdifferenzfahrpläne werden dem Bilanzkreisverantwortlichen zusätzlich zum Lieferfahrplan mitgeteilt.</p> <p>FINSENY-Projekt: Marktteilnehmer, der vertragliche Vereinbarung mit dezentralen Energieeressourcen besitzt, (z.B. Elektromobile) und / oder Kunden besitzt, um Teile ihrer Energieerzeugung und -nutzung als Gruppe zu managen, insbesondere um ihre Flexibilitäten an den Marktplatz zu bringen</p> <p>Bem: Aggregation und Lieferung trennbar, aber auch bei einem Akteur möglich zu vereinigen.</p>
Abrechnungsdienstleister	Organisation	<p>Übernimmt finanzielle Abwicklung in E-Roaming Szenarien. Kann auch in sonstigen Fällen als Abrechnung zwischen beteiligten Partnern übernehmen.</p> <p>FINESENY-Projekt: Clearing House</p>
Messdienstleister (MDL)	Organisation	Auslesung des Messsystems; kann auch die Rolle des MSB übernehmen; gilt dann auch für freiwilligen Einbau eines Smart Meters unter 6000 kWh; Kosten gehen in Stromliefervertrag ein;
Bilanzkreisverantwortlicher	Organisation	Erhält Liefer- und Leistungsdifferenzfahrpläne für den Ladepunkt, führt dies als Subbilanzkreise im Bilanzkreis des jeweiligen Lieferanten und teilt die

		Summenfahrpläne der Anschlussnutzer der jeweiligen Lieferanten dem VNB mit, in dessen Verantwortungsbereich die entsprechenden Ladepunkte fallen.
Wetterdienstleister	Organisation	Liefert Wetterdaten an einen Akteur, der Erzeugungsprognosen zum Beispiel für die Photovoltaikanlagen an Ladepunkten erstellt
Community (Gruppe)		Gruppenbeschreibung
Betreiber		Organisationen, Komponente oder Systeme für Systemhandlungen energiebezogener Infrastrukturen und Dienste, um die Verbreitung von Elektromobilen zu unterstützen
Akteur	Akteurskategorie (Rolle, Person, Organisation, Komponente, System)	Akteursbeschreibung
Anschlussnehmer	Person oder Organisation	Betreiber einer elektrischen Anlage (z.B. Ladepunkt), die innerhalb eines Gebäudes unmittelbar an das Verteilungsnetz angeschlossen ist. Der Anschlussnehmer stellt die mit dem Verteilungsnetz verbundene Anlage bereit. Der Anschlussnutzer verwendet die Anlage des Anschlussnehmers für den Bezug oder die Einspeisung elektrischer Energie.
Dezentrale Erzeugungsanlage	Komponente	Erzeugt Elektrizität (z.B. PV-Anlage), kann im Zusammenhang mit einem Speicher die Möglichkeit der flexiblen Lieferung von Strom eines externen Lieferanten an die Ladepunkte bieten
Dezentraler Erzeugungsanlagenbetreiber (DEAB)	Person oder Organisation	Betreiber einer Energieerzeugungsanlage (z.B. PV-Anlage) im Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetz eines Verteilungsnetzes

Energiebörse	Organisation	Handelsraum für Energie und energienahe Produkte
Energiemanager	Komponente	Steuerungssystem zur Abstimmung von Energiekomponenten im Smart Home unter Einschluss des Ladepunktcontrollers als Vertretung eines Anschlussnehmers und Anschlussnutzers im Gebäude
Energiemanagement Gateway	Komponente	Kommunikationseinrichtung zur Verbindung vom Energiemanager im Homenetzwerk (HAN) des Smart Home mit dem Weitverkehrsnetz (WAN)
Gateway Administrator (GWA)	Organisation	Gateway-Administrator für Smart Meter Gateway nach BSI-Schutzprofil und Technischer Richtlinie zur Autorisierung der Messwerterfassung Bemerkung: kann evtl. Teil eines allgemeineren Systemintegrators sein
Kraftwerksbetreiber	Organisation	Betreiber eines Kraftwerkes im Höchstspannungsnetz
Ladepunkt	Komponente	elektrische Einrichtung zur Belieferung eines E-Mobils mit Strom FINSENY-Projekt: EVSE (electrical vehicle supply equipment)
Ladepunktbetreiber	Person oder Organisation	Anschlussnutzer des Ladepunktes als Elektrizitätsabnahmestelle, der Liefervertrag mit einem Lieferanten schließt. Nutzung kann vom Ladepunktbesitzer an einen Betreiber übertragen werden. Er erhält die Stromlieferrechnung vom Lieferanten und verrechnet diese an die Fahrzeugnutzer direkt beim Ladevorgang oder an die Fahrzeughalter bei Nutzung eines Stromvertrages für das Fahrzeug. Nutzt Abrechnungsdienstleister sowie Identifikation- und Autorisierungsserver beim Gateway-Administrator und Systemintegrator FINSENY-Projekt: FVSE Operator (electrical vehicle supply equipment operator)
Ladepunktbesitzer	Person oder Organisation	Besitz in Bezug auf Eigentümerschaft über an das Netz angeschlossene Anlage, der Netzvertrag mit einem Netzbetreiber schließt. Im hier betrachteten

		Gebäudebereich ist dies in der Regel der Gebäudebesitzer; kann aber auch übertragenes Recht zur Errichtung eines Ladepunkts auf dem Grundstück sein
Ladepunktcontroller	Komponente	Steuerungsschnittstelle zum Ladepunkt
Liegenschaftsbetreiber	Person oder Organisation	Eigentümer oder Nutzer eines Gebäudes, auf dem sich der Ladepunkt befindet und in dessen Kommunikationsinfrastruktur der Ladepunkt eingebunden sein kann (Smart Home)
Marktautomat (NA)	Komponente	Aggregations- und Handelseinheit eines Marktakteurs (z.B. Lieferant)
Messstellenbetreiber (MSB)	Organisation	Grundversorgung mit intelligentem Messsystem (Smart Meter) plus Kommunikationseinrichtung (Smart Meter Gateway) ab 6000 kWh pro Jahr durch VNB; ansonsten nur Anspruch auf Ferraris-Zähler durch VNB; Kosten gehen in Stromliefervertrag ein
Netzautomat (NA)	Komponente	Analyse- und Beschaffungseinheit eines Verteilungsnetzbetreibers in einem Niederspannungsgebiet des Verteilungsnetzes, z.B. in der intelligenten Trafostation in Verbindung mit Mess- und Steuerungseinrichtungen im Smart Home
Netzzellenbetreiber (NZB)	Person oder Organisation	Betreiber eines Stromnetzes in einer Liegenschaft/Anwesen (Wohngebäude im Sinne Smart Home, gewerblichen Gebäudes, Industrieareal oder auch eines Netzbereiches im Verteilungsnetz, wobei die jeweilige Zelle als Microgrid im Sinne der Inselfähigkeit betrieben werden kann FINSNEY-Projekt: Microgrid Operator Bem: für dezentrale Netzzustandsermittlung und Flexibilitätsanforderung automatisiert in Trafostationen
Sensor	Komponente	Verteilte Messeinrichtungen in Form von elektronischen Verbrauchsmesseinrichtungen und von Sensoren in Substationen
Smart Home	System	Steuerbares Gebäude mit steuerbaren Ladepunkt, als intelligente Gebäude in der Domäne „Customer

		<p>premise“ im SGAM, auf dessen Grundstück der Ladepunkt errichtet ist und das ein eigenes Energiemanagementsystem (Energiemanager) für das Gesamtobjekt besitzt, in das eventuell der Ladepunkt im Sinne eines ganzheitlichen Energiemanagement (Einbeziehung PV, Speicher, KWK, Wärmepumpe, usw.) eingebunden ist.</p> <p>Bem: Ist als System für die externen Akteure im Smart Grid eine Black-Box. Kommunikation zum Ladepunkt wird über Gateways hergestellt, wobei für Messkommunikation und die regulierte Kommunikation des Netzbetreibers im „Rot-Bereich“ Kommunikationsverbindung das Smart Meter Gateway zum Ladepunkt zur Verfügung steht.</p>
Smart Meter	Komponente	<p>Messeinrichtungen im Smart Home in Form von elektronischen Verbrauchs- und Leistungsmesseinrichtungen zur Verbrauchsabrechnung und -anzeige zwischen Energienutzer und Energienutzer und Lieferant</p> <p>Bem: Einsatzmöglichkeiten für Netzbetreiber zur Netzzustandsermittlung</p>
Smart Meter Gateway	Komponente	<p>Kommunikationseinrichtung zur Verbindung vom Smart Meter im lokalen Metering-Netzwerk (LMN) im Smart Home mit dem Weitverkehrsnetz (WAN) und dem Homenetzwerk (HAN)</p>
Systemintegrator	Organisation	<p>Betreiber eines elektronischen Marktplatzes für Diskriminierungsfreie Dienstvermittlung</p> <p>Registratur für Geräte, Anlagen und Liegenschaften</p> <p>Gewährleistung sicherer Prozesse (Authentizität, Vertraulichkeit und Integrität)</p>
Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB)	Organisation	<p>Betreibt Stromtransportnetze im Höchstspannungsbereich</p>
Verteilnetzbetreiber (VNB)	Organisation	<p>Netzbetreiber in dessen Verantwortungsbereich die Ladepunkte errichtet wurden und der mit Ladepunktbesitzer/ -betreiber einen Netzvertrag abschließt und der auch eine</p>

		<p>Kommunikationseinrichtung zum Ladepunkt für die Direktsteuerung im Rotbereich benötigt</p> <p>Bem.: Kenntnis über den Platz von Ladepunkten in Bezug auf die Netztopologie für automatisierte Rotprozesse wird durch den Datenbankeintrag der Ladepunkte in die Registrierung des Systemintegrators gewährleistet</p>
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
<p style="font-size: 1.2em; margin: 0;">3. Titel</p> <p style="font-size: 1.5em; margin: 10px 0 0 0;">Gemeinsamer Schlussbericht des Verbundvorhaben IMEI (Integrierte Mobilitäts- und Energieinfrastrukturen)</p>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Bucher, Steffen Dauer, David Depe Tchatchu, Henri Dr. Tözün, Reha Keun, Michael Krimmling, Tobias Lehmann, Kristian Lierzer, Sven	5. Abschlussdatum des Vorhabens 28.02.2017
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Ametras rentconcept GmbH BridgingIT GmbH (Koordinator) CarMedialab GmbH ENERGY4U GmbH Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation FZI Forschungszentrum Informatik	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 16EMO0051 16EMO0050K 16EMO0052 16EMO0053 16EMO0055 16EMO0054
	11. Seitenzahl 344
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 100
	14. Tabellen 21
	15. Abbildungen 200
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	

18. Kurzfassung

Basierend auf den Erfahrungen und dem Fachwissen, sowie den Vorarbeiten aus dem Spitzenclusterprojekt Smart Grid Integration und der engen Zusammenarbeit im Spitzencluster Elektromobilität Baden-Württemberg wurden die Inhalte und Ziele des Projektes Integrierte Mobilitäts- und Energieinfrastrukturen (IMEI) definiert. Dazu wurden zwei typische lokale Szenarien für verfügbare Erzeugungs-, Verbrauchs- und Speicherkomponenten abgebildet und die Potentiale von gesteuerten Ladevorgängen, sowie die Vernetzung von MSGs im Umfeld von Elektrofahrzeugen untersucht.

- Im ersten Szenario wurden die Integration von Elektrofahrzeugen in ein Gebiet mit Privathaushalten und kleinen Gewerbeunternehmen analysiert. Die Steuerung der Ladevorgänge erfolgt dezentral über einen schwarmbasierten Ansatz, bei dem die Fahrzeuge lokal Informationen austauschen um ein gemeinsames Regelziel zu erfüllen.
- Im zweiten Szenario wurden optimierte und zentral gesteuerte Betriebsstrategien für die Integration einer Flotte von Elektrofahrzeugen bei Industriekunden erforscht. Dabei ist es wichtig, dass Großverbraucher, wie beispielsweise Fertigungsanlagen nicht beeinflusst werden und ihnen genug Energie zur Verfügung steht. Zusätzlich soll lokal erzeugte Energie bevorzugt genutzt werden.

Beide Szenarien wurden simulativ evaluiert und bewertet, in dem die einzelnen Komponenten und Teilnehmer in einer Simulation abgebildet wurden. Mit dieser konnten die entwickelten Algorithmen für das Lade- und Lastmanagement getestet werden.

Die maßgeblichen Treiber für die Konzepte in diesem Projekt basieren auf den Annahmen zu zukünftigen Mobilitätsverhalten von Endnutzern. Daher wurden mögliche Mobilitätsszenarien insbesondere unter den Aspekten des demographischen Wandels und von Bevölkerungsbewegungen zwischen Metropolregionen und ländlichem Raum analysiert, um somit die gesellschaftliche Entwicklung frühzeitig einzubinden.

Im Einzelnen verfolgten die Projektpartner die folgenden Ziele:

- Erforschungen und Entwicklung von Betriebsstrategien für hybride Fahrzeugflotten
- Entwicklung und Bewertung eines schwarmbasierten Lastmanagements.
- Entwicklung eines Flottenlastmanagements für dezentral und zentral gesteuerte Flotten.
- Analyse bisher bestehender IT Infrastrukturen und Plattformen.
- Konzeption und Entwicklung einer IT Plattform die den Anforderungen aus dem Projekt entspricht.
- Technische und ökonomische Bewertung von Netzunterstützung durch E-Fahrzeuge, sowie die Vernetzung mit mehreren Microgrids
- Durchführung einer Meta-Studie zur Analyse aktueller Mobilitätsszenarien unter den Aspekten des demographischen Wandels, Nutzerzentrierung und Akzeptanzevaluation
- GAP-Analyse zwischen aktuellen Geschäftsmodellen und zukünftigen Anforderungen
- Aus demographischem Wandel und der Urbanisierung abgeleitete Anforderungen an zukünftig tragfähige Geschäftsmodelle
- Erstellung von konkreten Handlungsempfehlungen auf Basis der vorangegangenen Analysen und Evaluationen

19. Schlagwörter

Elektromobilität, Smart Grid, IKT Plattformen, Geschäftsmodelle,

20. Verlag

21. Preis



Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title <h1 style="margin: 0;">IMEI Project: Final report</h1>	
4. author(s) (family name, first name(s)) Bucher, Steffen Dauer, David Depe Tchatchu, Henri Dr. Tözün, Reha Keun, Michael Krimmling, Tobias Lehmann, Kristian Lierzer, Sven	5. end of project 28.02.2017
	6. publication date
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) Ametras rentconcept GmbH BridgingIT GmbH (Koordinator) CarMedialab GmbH ENERGY4U GmbH Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation FZI Forschungszentrum Informatik	9. originator's report no.
	10. reference no. 16EMO0051 16EMO0050K 16EMO0052 16EMO0053 16EMO0055 16EMO0054
	11. no. of pages 301
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 100
	14. no. of tables 20
	15. no. of figures 173
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	

18. abstract

The aims and objectives of the project “Integrierte Mobilitäts- und Energieinfrastrukturen (IMEI)” are based on the experiences and knowledge gained in the previous work on the project „Smart Grid Integration” and cooperation of the “Spitzencluster Elektromobilität Baden-Württemberg”. Therefore two typical scenarios were defined, which include the local energy consumption and production in the context of electric mobility. This includes the evaluation of energy distribution in the local Micro-Smart-Grids and to the electric vehicles.

- The first scenario is based on a local habited area with households and small industrial companies. In this use case the energy distribution to the electric vehicles is management in a decentralized manner. Each vehicle reports its needs and priority until a global optimum is found.
- The second scenario takes care of a factory with a local fleet of electric vehicles, high-power current of the machines and local energy production. All energy management is done on a central service, knowing each components individual demands.

Both scenarios were created in a simulation to evaluate the different algorithms for energy management and components. The most influencing parts for the concepts are based on the assumptions of the future behavior in mobility systems of the users. That’s why the scenarios take care of the demographic changes and movements of the population between cities and rural environments to take care of the future development.

19. keywords

Electromobility, smart grid, ICT platforms, business models,

20. publisher

21. price