

## Abschlussbericht

# Demand Response – Das Auto als aktiver Speicher und virtuelles Kraftwerk

**Stand: Juni 2016**

<b>ZE:</b>  enercity Contracting GmbH (eCG)  Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES) Leibniz Universität Hannover  Institut für Transportation Design (ITD) HBK Braunschweig	<b>Förderkennzeichen:</b>  16SNI004A  16SNI004C  16SNI004B
<b>Vorhabenbezeichnung:</b>  Demand Response – Das Auto als Speicher und virtuelles Kraftwerk	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>  01.01.2013 bis 31.12.2015	

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>EXECUTIVE SUMMARY</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>ZIELSTELLUNG DES VERBUNDPROJEKTES</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Gesamtziel des Verbundes</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Vorstellung des Projektkonsortiums</b>	<b>18</b>
<b>3.</b>	<b>KONZEPTION DES FELDVERSUCHS</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Übersicht über die Feldphasen</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Testprodukte für die Versuchsphase</b>	<b>23</b>
<b>3.3</b>	<b>Notwendigkeit der Prämienzahlungen</b>	<b>24</b>
<b>4.</b>	<b>LADESTATION FÜR DEN FELDVERSUCH</b>	<b>27</b>
<b>4.1</b>	<b>Entwicklung der CarConnectBox (CCB)</b>	<b>27</b>
<b>4.2</b>	<b>Bau der CarConnectBox</b>	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Konzept für zukünftige Ladestationen</b>	<b>31</b>
<b>4.4</b>	<b>Problematik der Ansteuerung von Elektrofahrzeugen</b>	<b>32</b>
4.4.1	Schuko-Fahrzeuge	35
4.4.2	Typ2 - Fall A	35
4.4.3	Typ2 - Fall B	36
4.4.4	Typ2 - Fall C	36
4.4.5	Typ2 - Fall D	37
<b>4.5</b>	<b>Entwicklung einer Leitwarte</b>	<b>38</b>
<b>5.</b>	<b>DURCHFÜHRUNG DES FELDVERSUCHS</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Rekrutierung der TeilnehmerInnen</b>	<b>40</b>
<b>5.2</b>	<b>Beschreibung des Feldversuches</b>	<b>40</b>
5.2.1	Vertragsmanagement	40
5.2.2	Durchführung des Feldversuches	40

<b>6.</b>	<b>ERGEBNISSE DER MESSWERTAUSWERTUNG</b>	<b>43</b>
<b>6.1</b>	<b>Auswertungen der Messwerte der TeilnehmerInnen</b>	<b>43</b>
6.1.1	Häufigkeit der Ladevorgänge	43
6.1.2	Ladebedarf nach Monaten	44
6.1.3	Verteilung der Ladevorgänge je nach Wochentag	45
6.1.4	Gewählte Lademodelle	46
6.1.5	Geladene Energiemenge der einzelnen Lademodelle	49
6.1.6	Zeiten der Lademodellwahlen	50
6.1.7	Durchschnittliche Anschlussdauer bei <i>smart3</i>	57
6.1.8	Lastverläufe	58
<b>6.2</b>	<b>Auswertungen der Messwerte auf den enercity-Betriebshöfen</b>	<b>62</b>
6.2.1	Häufigkeiten der Ladevorgänge	62
6.2.2	Ladebedarf nach Monaten	63
6.2.3	Verteilung der Ladevorgänge je nach Wochentag	64
6.2.4	Gewählte Lademodelle	65
6.2.5	Zeiten der Lademodellwahlen	67
6.2.6	Durchschnittliche Anschlussdauern bei <i>smart3</i>	68
6.2.7	Lastverläufe	69
<b>7.</b>	<b>FELDVERSUCH – SOZIALWISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE</b>	<b>72</b>
<b>7.1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>72</b>
<b>7.2</b>	<b>Untersuchungsdesign</b>	<b>72</b>
7.2.1	Telefonbefragung (T0)	73
7.2.2	Onlinebefragungen (T1-T4)	74
7.2.3	Diskussionsrunde (T5)	75
<b>7.3</b>	<b>Stichprobenbeschreibung</b>	<b>76</b>
7.3.1	Teilnehmerkreis – Demographie	76
7.3.2	Teilnehmerkreis – Fahrzeuge	79
7.3.3	Anmerkungen zur Stichprobe	80
<b>7.4</b>	<b>Kauf- und Nutzungsgründe für das Elektrofahrzeug</b>	<b>81</b>
7.4.1	Kaufgründe	81
7.4.2	Nutzungsgründe	86
7.4.3	Zusammenfassung der Kauf- und Nutzungsgründe	91
<b>7.5</b>	<b>Alltagsnutzung und Einstellungen zum Elektrofahrzeug</b>	<b>92</b>
7.5.1	Nutzung des Elektrofahrzeugs	92

7.5.2	Einstellung zum Elektrofahrzeug	94
7.5.3	Zufriedenheit mit der Reichweite	96
<b>7.6</b>	<b>Das Laden des Elektrofahrzeugs</b>	<b>98</b>
7.6.1	Positive Begleitumstände des Ladens	98
7.6.2	Störende Begleitumstände des Ladens	100
7.6.3	Zusammenfassung der Ergebnisse Begleitumstände des Ladens	103
7.6.4	Ladeverhalten	103
7.6.5	Einstellungen und Einstellungsveränderungen	105
7.6.6	Öffentliches Laden	108
7.6.7	Zusammenfassung der Ergebnisse Öffentliches Laden	114
<b>7.7</b>	<b>Die <i>smart</i>-Lademodelle</b>	<b>115</b>
7.7.1	Gesamtbewertung der <i>smart</i> -Lademodelle	115
7.7.2	Die Einstellungsdimensionen	119
7.7.3	Zusammenfassung der Ergebnisse <i>smart</i> -Lademodelle	123
<b>7.8</b>	<b>Nutzertypologie</b>	<b>124</b>
7.8.1	Vorgehen bei der Typenbildung	124
7.8.2	Gruppenspezifische Bewertungen der Lademodelle	126
7.8.3	Demographie der Gruppen	128
7.8.4	Nutzungsverhalten	129
7.8.5	Einstellungsebene	131
7.8.6	Allgemeine Einstellung zu Rückspeisemodellen	136
7.8.7	Einstellung zum Autofahren	140
7.8.8	Zusammenfassung der Ergebnisse Nutzertypologie	144
<b>8.</b>	<b>ANALYSE DES NUTZERVERHALTENS IM ENERCITY-FAHRZEUGPOOL</b>	<b>146</b>
<b>8.1</b>	<b>Stichprobe</b>	<b>146</b>
<b>8.2</b>	<b>Themen der Befragung und Erkenntnisinteresse</b>	<b>147</b>
<b>8.3</b>	<b>Entleihung der Dienstfahrzeuge</b>	<b>147</b>
<b>8.4</b>	<b>Fahrzeugwahl und Kilometerleistung</b>	<b>150</b>
<b>8.5</b>	<b>Bewertungen der Elektrofahrzeuge</b>	<b>154</b>
<b>8.6</b>	<b>Einstellungsunterschiede zwischen Nutzern und Nichtnutzern von Elektrofahrzeugen</b>	<b>156</b>
8.6.1	Einstellungen zur Elektromobilität	156
8.6.2	Einstellungsunterschiede in Hinblick auf Technikaffinität	159
<b>8.7</b>	<b>Bewertung der CarConnectBox</b>	<b>161</b>

<b>8.8</b>	<b>Zusammenfassung Poolbefragung</b>	<b>163</b>
<b>9.</b>	<b>INTEGRATION IN VERSCHIEDENE ENERGIEMÄRKTE</b>	<b>165</b>
<b>9.1</b>	<b>Einbindung in ein Virtuelles Kraftwerk</b>	<b>165</b>
<b>9.2</b>	<b>Simulation der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt</b>	<b>168</b>
9.2.1	Simulation der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für Primärregelleistung	170
9.2.2	Simulation der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für MRL	173
<b>9.3</b>	<b>Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt</b>	<b>179</b>
9.3.1	Technische Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt	179
9.3.2	Wirtschaftliche Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt	180
9.3.3	Wirtschaftliche Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für Primärregelleistung	180
9.3.4	Wirtschaftliche Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für Minutenreserveleistung	181
<b>9.4</b>	<b>Marktregeln</b>	<b>183</b>
9.4.1	Regelleistungsmarkt	184
9.4.2	Flexibilitätsmarkt	186
9.4.3	Wirkleistungsmarkt	187
<b>10.</b>	<b>KONZEPTION VON MASSENTAUGLICHEN STROMPRODUKTEN</b>	<b>189</b>
<b>11.</b>	<b>FAZIT AUS DEN ERGEBNISSEN</b>	<b>193</b>
<b>11.1</b>	<b>Elektrotechnische Ergebnisse</b>	<b>193</b>
<b>11.2</b>	<b>Energiewirtschaftliche Ergebnisse</b>	<b>193</b>
<b>11.3</b>	<b>Zusammenfassung sozialwissenschaftliche Begleitforschung Feldversuch</b>	<b>194</b>
11.3.1	Fazit aus den sozialwissenschaftlichen Ergebnissen	198
<b>12.</b>	<b>ÖFFENTLICHKEITSARBEIT</b>	<b>199</b>
<b>12.1</b>	<b>Veröffentlichungen</b>	<b>199</b>
<b>12.2</b>	<b>Film „Können E-Autos atmen – Der enercity Ladeversuch“</b>	<b>199</b>

<b>13.</b>	<b>VERWERTUNG, ZUKUNFTSAUSSICHTEN UND WEITERER F&amp;E-BEDARF</b>	<b>200</b>
<b>13.1</b>	<b>Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen</b>	<b>200</b>
<b>13.2</b>	<b>Zukünftiger F&amp;E-Bedarf</b>	<b>200</b>
<b>14.</b>	<b>BEITRAG ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN DES FÖRDERPROGRAMMES SCHAUFENSTER ELEKTROMOBILITÄT</b>	<b>201</b>
<b>15.</b>	<b>LITERATURVERWEISE</b>	<b>202</b>
<b>16.</b>	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>207</b>
<b>17.</b>	<b>GLOSSAR</b>	<b>208</b>
<b>18.</b>	<b>ANHANG ZU ABSCHNITT 8</b>	<b>210</b>
<b>18.1</b>	<b>Items der Einstellungsfrage zur Elektromobilität, die einer Faktorenanalyse unterzogen wurden</b>	<b>210</b>
<b>18.2</b>	<b>Items zur Technikaffinität, die einer Faktorenanalyse unterzogen wurden</b>	<b>210</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 2.1:</b>	Projektablaufplan	18
<b>Abbildung 4.1:</b>	Installierte CCB in der Version T	28
<b>Abbildung 4.2:</b>	Im Feldversuch verwendetes Aufbaukonzept der CCB	29
<b>Abbildung 4.3:</b>	Bedienelemente der CCB	30
<b>Abbildung 4.4:</b>	Hauptmenü mit Erläuterungen	30
<b>Abbildung 4.5:</b>	Zukünftiges Konzept einer Ladestation	32
<b>Abbildung 4.6:</b>	Darstellung des Typ2-Steckers (Firma Mennekes)	33
<b>Abbildung 4.7:</b>	Darstellung des PWM-Signals und des Proximity-Signalkreises mit Autosimulation	34
<b>Abbildung 4.8:</b>	Ansteuerung von Elektrofahrzeugen über Typ-2 Variante A	36
<b>Abbildung 4.9:</b>	Ansteuerung von Elektrofahrzeugen über Typ-2 Variante B	36
<b>Abbildung 4.10:</b>	Ansteuerung von Elektrofahrzeugen über Typ-2 Variante C	37
<b>Abbildung 4.11:</b>	Ansteuerung von Elektrofahrzeugen über Typ-2 Variante D	37
<b>Abbildung 4.12:</b>	Grafische Oberfläche der Leitwarte	38
<b>Abbildung 4.13:</b>	Leitwarte - Überblick über das Nutzerverhalten	39
<b>Abbildung 4.14:</b>	Screenshot des mobilen Nutzerinterface	39
<b>Abbildung 6.1:</b>	Prozentuale Nutzungshäufigkeit der einzelnen Ladestationen der TeilnehmerInnen während des Feldversuchs	44
<b>Abbildung 6.2:</b>	Energiebedarf an den Ladestationen der TeilnehmerInnen nach einzelnen Monaten	45
<b>Abbildung 6.3:</b>	Durchschnittliche Häufigkeit der Lademodellwahl durch die TeilnehmerInnen nach Wochentagen in den Feldphasen 1 bis 4	46
<b>Abbildung 6.4:</b>	Wahlverhalten der TeilnehmerInnen in den einzelnen Versuchsphasen inkl. der Nichtwahlen	47
<b>Abbildung 6.5:</b>	Wahlverhalten der TeilnehmerInnen in den einzelnen Versuchsphasen	48
<b>Abbildung 6.6:</b>	Wahlverhalten der Lademodelle in den einzelnen Versuchsphasen durch die TeilnehmerInnen	49
<b>Abbildung 6.7:</b>	Prozentuale Verteilung der geladenen Energiemenge der Ladestationen der TeilnehmerInnen je nach Lademodell	50
<b>Abbildung 6.8:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle während des gesamten Feldversuchs durch die TeilnehmerInnen	51
<b>Abbildung 6.9:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 1 durch die TeilnehmerInnen	51

<b>Abbildung 6.10:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 2 durch die TeilnehmerInnen	52
<b>Abbildung 6.11:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 3 durch die TeilnehmerInnen	52
<b>Abbildung 6.12:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 4 durch die TeilnehmerInnen	53
<b>Abbildung 6.13:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 1 durch die TeilnehmerInnen an Werktagen	53
<b>Abbildung 6.14:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 2 durch die TeilnehmerInnen an Werktagen	54
<b>Abbildung 6.15:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 3 durch die TeilnehmerInnen an Werktagen	54
<b>Abbildung 6.16:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 4 durch die TeilnehmerInnen an Werktagen	55
<b>Abbildung 6.17:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 1 durch die TeilnehmerInnen an Wochenenden	55
<b>Abbildung 6.18:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 2 durch die TeilnehmerInnen an Wochenenden	56
<b>Abbildung 6.19:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 3 durch die TeilnehmerInnen an Wochenenden	56
<b>Abbildung 6.20:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 4 durch die TeilnehmerInnen an Wochenenden	57
<b>Abbildung 6.21:</b>	Häufigkeit der Anschlussdauern der Elektrofahrzeuge bei der Wahl von <i>smart3</i>	58
<b>Abbildung 6.22:</b>	Lastverlauf der Ladestationen der TeilnehmerInnen in der Referenzphase	59
<b>Abbildung 6.23:</b>	Lastverlauf der Ladestationen der TeilnehmerInnen in der Feldversuchsphase 2	60
<b>Abbildung 6.24:</b>	Lastverlauf der Ladestationen der TeilnehmerInnen in der Feldversuchsphase 3	61
<b>Abbildung 6.25:</b>	Lastverlauf der Ladestationen der TeilnehmerInnen in der Feldversuchsphase 4	62
<b>Abbildung 6.26:</b>	Prozentuale Verteilung der Teilnahme der einzelnen enercity-Ladestationen während des Feldversuchs	63
<b>Abbildung 6.27:</b>	Ladebedarf an den Ladestationen auf dem enercity-Betriebsgelände nach einzelnen Monaten	64

<b>Abbildung 6.28:</b>	Häufigkeit der Lademodellwahl nach Wochentagen in der Referenzphase der Ladestationen auf dem Betriebsgelände	64
<b>Abbildung 6.29:</b>	Prozentuale Verteilung der gewählten Lademodelle inklusive der Nichtwahlen der Ladestationen auf den Betriebshöfen	65
<b>Abbildung 6.30:</b>	Prozentuale Verteilung der gewählten Lademodelle der Ladestationen auf den Betriebshöfen	66
<b>Abbildung 6.31:</b>	Geladene Energiemenge der Ladestationen auf den Betriebshöfen in den einzelnen Projektphasen	66
<b>Abbildung 6.32:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 1 bei den Ladestationen auf dem Betriebsgelände	67
<b>Abbildung 6.33:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 2 bei den Ladestationen auf dem Betriebsgelände	67
<b>Abbildung 6.34:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 3 bei den Ladestationen auf dem Betriebsgelände	68
<b>Abbildung 6.35:</b>	Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 4 bei den Ladestationen auf dem Betriebsgelände	68
<b>Abbildung 6.36:</b>	Lastverlauf der CCB auf den enercity-Betriebshöfen in der Referenzphase	69
<b>Abbildung 6.37:</b>	Lastverlauf der Poolfahrzeug-Ladestationen in der Feldversuchsphase 2	70
<b>Abbildung 6.38:</b>	Lastverlauf der Poolfahrzeug-Ladestationen in der Feldversuchsphase 3	70
<b>Abbildung 6.39:</b>	Lastverlauf der Poolfahrzeug-Ladestationen in der Feldversuchsphase 4	71
<b>Abbildung 7.1:</b>	Längsschnitt-Untersuchungsdesign der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung	73
<b>Abbildung 7.2:</b>	Schulabschluss, N = 29	76
<b>Abbildung 7.3:</b>	Erwerbssituation, N = 29	77
<b>Abbildung 7.4:</b>	Monatliches Haushaltsnettoeinkommen, N = 23	77
<b>Abbildung 7.5:</b>	Wohnorte der TeilnehmerInnen	78
<b>Abbildung 7.6:</b>	Gemeindegrößenklassen der Wohnorte, N = 29	78
<b>Abbildung 7.7:</b>	Kaufgründe für Elektrofahrzeuge, Mehrfachnennungen möglich	82
<b>Abbildung 7.8:</b>	Nutzungsgründe des Elektrofahrzeugs im Vergleich zu den Kaufgründen, Mehrfachnennungen möglich	87
<b>Abbildung 7.9:</b>	Wege Zwecke des Elektrofahrzeugs, Mehrfachnennungen möglich, N = 29	92
<b>Abbildung 7.10:</b>	Ziele von langfristig (>12 h im Voraus) und kurzfristig (<12 h im Voraus) geplanten Fahrten, Mehrfachnennungen möglich.	93
<b>Abbildung 7.11:</b>	Bewertung verschiedener Aspekte von Elektrofahrzeugen, N = 28-29	95

<b>Abbildung 7.12:</b>	Unterschied der tatsächlichen Reichweiten in kalten und wärmeren Jahreszeiten, Teilnehmerangaben, N = 31 Fahrzeuge	96
<b>Abbildung 7.13:</b>	Unterschied zwischen tatsächlicher und gewünschter Reichweite in den wärmeren Jahreszeiten, N = 33 Fahrzeuge	97
<b>Abbildung 7.14:</b>	Genannte positive Begleitumstände des Ladens, Mehrfachnennungen möglich	99
<b>Abbildung 7.15:</b>	Genannte negative Begleitumstände des Ladens, Mehrfachnennungen möglich	100
<b>Abbildung 7.16:</b>	Durchschnittliche wöchentliche Ladehäufigkeit, Zeitpunkt T1, Mehrfachnennungen möglich, N = 29	104
<b>Abbildung 7.17:</b>	Benötigter Start-Batterieladestand an Werktagen und am Wochenende, N = 29	105
<b>Abbildung 7.18:</b>	Gelegenheiten, bei denen die Teilnehmer öffentlich laden, Mehrfachnennungen möglich, N = 29	109
<b>Abbildung 7.19:</b>	Gründe für das Laden an öffentlichen Ladepunkten, Mehrfachnennungen möglich, N = 22	110
<b>Abbildung 7.20:</b>	Erlebte Situationen an öffentlichen Lademöglichkeiten, Mehrfachnennungen möglich, N = 28	111
<b>Abbildung 7.21:</b>	Bewertung der erlebten Situation, N = 6-19	112
<b>Abbildung 7.22:</b>	Wichtigkeit von öffentlichen Lademöglichkeiten an ausgewählten Orten, N = 29	113
<b>Abbildung 7.23:</b>	Bewertung der <i>smart</i> -Lademodelle nach Ende der jeweiligen Testphase, N = 29	116
<b>Abbildung 7.24:</b>	Präferiertes Lademodell nach Ende des Feldversuches, N = 29	117
<b>Abbildung 7.25:</b>	Erwerbstätigkeit nach Nutzertypen	128
<b>Abbildung 7.26:</b>	Zufriedenheit mit der Reichweite nach Nutzertypen	132
<b>Abbildung 7.27:</b>	Reichweitenangaben Sommer und Winter nach Nutzertypen	133
<b>Abbildung 7.28:</b>	Bewertung Lademodell Rückspeisung, alle Teilnehmer, N = 27-29	137
<b>Abbildung 7.29:</b>	Einstellungen zum Autofahren, alle Teilnehmer, N = 27-29	141
<b>Abbildung 8.1:</b>	Stichprobenumfänge	146
<b>Abbildung 8.2:</b>	Verteilung Entleihungen an den Standorten (alle Antriebsarten), N = 171	148
<b>Abbildung 8.3:</b>	Ausleihfrequenz (alle Antriebsarten), N = 170	148
<b>Abbildung 8.4:</b>	Ausleihfrequenz kategorisiert, N=166	149
<b>Abbildung 8.5:</b>	Letzte Ausleihung (alle Antriebsarten), N = 169	150
<b>Abbildung 8.6:</b>	Geliehene Fahrzeugklassen, Mehrfachnennungen möglich, N = 170	151

<b>Abbildung 8.7:</b>	Durchschnitt geschätzte Kilometerangaben pro Dienstfahrt, N = 169	152
<b>Abbildung 8.8:</b>	Durchschnittliche Kilometerangaben pro Dienstfahrt nach 'User-Typen', auf 95 % bereinigt, N=164	153
<b>Abbildung 8.9:</b>	Durchschnittliche Kilometerangaben pro Dienstfahrt nach 'User-Typen' und Elektrofahrzeugfahrern, auf 95 % bereinigt	153
<b>Abbildung 8.10:</b>	Häufigkeit Ausleihe von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu Verbrennern, N = 110	154
<b>Abbildung 8.11:</b>	Gründe FÜR die Buchung eines Elektrofahrzeugs aus dem Fahrzeugpool, Mehrfachnennungen möglich, N = 110	155
<b>Abbildung 8.12:</b>	Gründe GEGEN die Nutzung eines Elektrofahrzeugs aus dem Fahrzeugpool, Mehrfachnennungen möglich, N = 64	156
<b>Abbildung 8.13:</b>	Einstellung Elektromobilität allgemein, N = 173	157
<b>Abbildung 8.14:</b>	Prozentuale Verteilung der Befragten auf der Technikaffinitäts-Skala, N = 158	160
<b>Abbildung 8.15:</b>	Bewertung Eigenschaften der CCB Teil 1, N = 91-93	161
<b>Abbildung 8.16:</b>	Bewertung Eigenschaften der CCB Teil 2, N = 84-89	162
<b>Abbildung 8.17:</b>	Bewertung von Aspekten der CCB, N = 87-91	163
<b>Abbildung 9.1:</b>	Visualisierung der Elektrofahrzeuge im Leitsystem des virtuellen Kraftwerks	166
<b>Abbildung 9.2:</b>	Ansicht des Abrufs von Regelleistung im Leitsystem des virtuellen Kraftwerks	167
<b>Abbildung 9.3</b>	Übersicht über die Märkte für elektrische Energie in Deutschland nach [21]	168
<b>Abbildung 9.4</b>	Zeitlicher Verlauf des Regelleistungsabrufs nach [24]	169
<b>Abbildung 9.5</b>	Ladeleistungsabweichung (durchgezogene Linie) und ursprünglich kontrahierte Ladeleistung (gestrichelte Linie) der Elektrofahrzeuge im Grenzfall für die Erbringung negativer PRL [30]	172
<b>Abbildung 9.6</b>	Erwarteter Grenzleistungspreis in Abhängigkeit von der jeweiligen Gebotsleistung [30]	173
<b>Abbildung 9.7</b>	Lastprofil der Feldphase 1 mit Konfidenzintervall, $\alpha = 1\%$ [31]	175
<b>Abbildung 9.8</b>	Errechnetes Lastprofil der Feldphase 1 für 10.000 CCB mit Konfidenzintervall, $\alpha = 1\%$ [31]	175
<b>Abbildung 9.9</b>	Szenarien für die verschiebbare Ladeenergie in Prozent in Abhängigkeit des normierten finanziellen Anreizes [31]	176

<b>Abbildung 9.10</b>	Mögliche Gebotshöhe (neg. MRL Block von 00:00- 03:59 Uhr) in Anhängigkeit des normierten finanziellen Anreizes; links: durchschnittlicher Werktag, rechts: durchschnittlicher Wochenendtag [31]	177
<b>Abbildung 9.11</b>	Wahrscheinlichkeitsbaum zur Darstellung der bedingten Wahrscheinlichkeiten	178
<b>Abbildung 9.12</b>	Vermarktungsmöglichkeiten der durch Elektrofahrzeuge bereitstellbaren Flexibilität	184
<b>Abbildung 9.13</b>	Ampelkonzept aus der Roadmap Smart Grids des BDEW	187

<b>Tabelle 4.1:</b>	Widerstandstabelle Proximity Pilot gemäß IEC 61851	33
<b>Tabelle 4.2:</b>	Kommunikationswiderstände gemäß IEC 61851 für die Fahrzeugseite	34
<b>Tabelle 4.3:</b>	Tastverhältnis PWM-Signal gemäß IEC 61851	34
<b>Tabelle 7.1:</b>	Elektrofahrzeuge in der Stichprobe zum Zeitpunkt T1	79
<b>Tabelle 7.2:</b>	Standorte der meistgenutzten Elektrofahrzeuge, N=25-29 Fahrzeuge	94
<b>Tabelle 7.3:</b>	Aussagen zum Thema Laden, Antwortverhalten im Zeitvergleich T1 und T4	106
<b>Tabelle 7.4:</b>	Welche Akteure sollten Ihrer Meinung nach den Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur unterstützen? N = 29	114
<b>Tabelle 7.5:</b>	Gesamtbewertung Lademodelle – Modellvergleich	117
<b>Tabelle 7.6:</b>	Einstellungen zu den Lademodellen	120
<b>Tabelle 7.7:</b>	Einstellungen zu den Lademodellen – Modellvergleich	121
<b>Tabelle 7.8:</b>	Korrelation geäußerte Modellpräferenz mit bevorzugter Modellwahl in Phase 4	125
<b>Tabelle 7.9:</b>	Intra-Group-Vergleich der Lademodellbewertungen	126
<b>Tabelle 7.10:</b>	Inter-Group-Vergleich der Lademodellbewertungen	127
<b>Tabelle 7.11:</b>	Gruppenvergleich durchschnittliche Bonustage in Phase 4	129
<b>Tabelle 7.12:</b>	Gruppenvergleich elektrischer und konventioneller Jahreskilometer	129
<b>Tabelle 7.13:</b>	Gruppenvergleich einfache Arbeitsstrecke	130
<b>Tabelle 7.14:</b>	Gruppenvergleich geplante und kurzfristige Fahrten	130
<b>Tabelle 7.15:</b>	Installierte Photovoltaikanlagen	131
<b>Tabelle 7.16:</b>	Einstellungen zum Lademodell <i>smart3</i>	134
<b>Tabelle 7.17:</b>	Einstellungen zum Lademodell <i>smart3</i> – Gruppenvergleich	135
<b>Tabelle 7.18:</b>	Statements zum Thema Laden (T4)	136
<b>Tabelle 7.19:</b>	Statements zum Thema Laden (T4) – Gruppenvergleich	136
<b>Tabelle 7.20:</b>	Bewertung Lademodell Rückspeisung	138
<b>Tabelle 7.21:</b>	Bewertung Lademodell Rückspeisung – Gruppenvergleich	139
<b>Tabelle 7.22:</b>	Einstellungen zum Autofahren	143
<b>Tabelle 7.23:</b>	Einstellungen zum Lademodell <i>smart3</i> – Gruppenvergleich	144
<b>Tabelle 8.1:</b>	Vergleich Einstellungen Elektromobilität im Arbeitgeberbezug	158
<b>Tabelle 8.2:</b>	Vergleich Aspekte Elektromobilität im Geschäftsumfeld	159
<b>Tabelle 9.1:</b>	Produktmerkmale der verschiedenen Regelleistungsarten nach [26]	170

<b>Tabelle 9.2:</b>	Mögliche Gebotshöhen in Abhängigkeit des Faktors $k$ und des jeweiligen Szenarios [31]	172
<b>Tabelle 9.3:</b>	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zur Einbindung von E-FZG in den Markt für PRL [31]	181
<b>Tabelle 9.4:</b>	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zur Einbindung von E-FZG in den Markt für MRL bei einem finanziellen Anreiz von 1 p. u. = 1,50 € [31]	182
<b>Tabelle 9.5:</b>	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zur Einbindung von E-FZG in den Markt für MRL bei einem finanziellen Anreiz von 1 p. u. = 0,75 €	182
<b>Tabelle 9.6:</b>	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zur Einbindung von E-FZG in den Markt für MRL bei einem finanziellen Anreiz von 1 p. u. = 0,25 €	182

## 1. EXECUTIVE SUMMARY

Die Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg hat als erste deutsche Metropolregion das Ziel formuliert, bis zum Jahr 2050 den gesamten Energiebedarf für Strom, Wärme und Mobilität aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. Insbesondere im Bereich Mobilität steht diese Entwicklung noch am Anfang. Im Jahr 2010 betrug der Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergiebedarf des Verkehrssektors ca. 8,6 %. Um diesen Anteil zu erhöhen, plant die Bundesregierung u. a. die Anzahl zugelassener Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 auf eine Million zu erhöhen.

Während die Verbreitung der Elektromobilität noch am Anfang steht, lag der Anteil erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2015 bereits bei ca. 30 %. Bedingt durch die fluktuierende Verfügbarkeit einiger erneuerbarer Energieträger, vor allem von Sonne und Wind, wird das elektrische Energieversorgungssystem schon heute zu gewissen Zeiten an seinen Grenzen betrieben. Der gesetzlich verankerte Einspeisevorrang erneuerbarer Energien muss aus Gründen der Systemsicherheit zeitweise ebenso eingeschränkt werden wie der Vollzug der am Markt gebildeten Fahrpläne konventioneller Kraftwerke. Prognosefehlern von Erzeugung und Last sowie dem ungeplanten Ausfall von Erzeugungsleistung wird mit Hilfe von Regelleistung begegnet. Hierbei soll mit verschiedenen, zeitlich gestaffelten Regelleistungsprodukten jederzeit sichergestellt werden, dass sich Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie im Gleichgewicht befinden.

Eine zusätzliche Nutzung der Energiespeicher von dezentral verteilten Elektrofahrzeugen hätte das Potenzial, einen Beitrag zur Stabilisierung des elektrischen Energieversorgungssystems zu leisten. So ist neben der Bereitstellung von Regelleistungsprodukten sowohl eine Flexibilisierung der Nachfrageseite zur Engpassbewirtschaftung als auch zur Anpassung der Nachfrage an das fluktuierende Angebot denkbar. Eine so bewirkte Verringerung der Regelleistungsbereitstellung durch klassische Erzeugungsanlagen sowie die Vermeidung von Netzausbaumaßnahmen bieten Potenziale zur Senkung der gesamtwirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung. Eine Möglichkeit, das Verhalten der Nutzer von Elektrofahrzeugen mit den dargelegten Zielsetzungen zu beeinflussen, sind Preisreize durch Schaffung neuer Produkte am Endkundenmarkt. Darüber hinaus sollen auch nicht monetäre Anreize betrachtet werden.

Das Ziel des Vorhabens „Demand Response – Das Auto als aktiver Speicher und virtuelles Kraftwerk“ ist die Entwicklung von Stromprodukten, die das Nutzerverhalten so steuern, dass E-Mobilität einen nennenswerten Beitrag zur Stabilisierung des elektrischen Energieversorgungssystems liefern kann. Das Projekt wird gemeinsam von der enercity Contracting GmbH (eCG), dem Fachgebiet Elektrische Energieversorgung des Instituts für Elektrische Energiesysteme (IfES) an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover und dem Institut für Transportation Design (ITD) der Hochschule für Bildende Künste Braunschweig (HBK) durchgeführt. Die notwendigen Grundlagen dafür werden im Rahmen eines Feldversuchs durch Analysen des Nutzerverhaltens inkl. der Akzeptanz gegenüber gesteuertem Laden und einer messtechnischen Erfassung der Ladevorgänge erhoben.

Die Akzeptanz technischer Neuerungen ist für den Erfolg von Innovationen entscheidend. Deswegen ist es für die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle von großer Wichtigkeit, die Nutzerakzeptanz und mögliche Nutzungsanreize in den Blick zu nehmen. Ziel der Akzeptanzforschung ist es daher, Nutzeranforderungen zu ermitteln sowie akzeptanzförderliche Aspekte und potenzielle Markthemmnisse in Bezug auf die zu erprobenden Stromprodukte zu identifizieren und

aus der Nutzerperspektive zu analysieren. Aus den Ergebnissen sollen dann Ableitungen für Optimierungspotenziale der Stromprodukte zum gesteuerten Laden gemacht werden.

Die Verzahnung von Angebots- und Nachfrageseite soll durch die technische Einbindung von bis zu zehn Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt mittels eines virtuellen Kraftwerks getestet werden.

Die gewonnenen Erfahrungen werden auf die bundesdeutsche Energiewirtschaft übertragen, um eventuell notwendige Anpassungen der Marktregeln abzuleiten. Die Erfahrungen aus dem Projekt stellen unter energiewirtschaftlichen Gesichtspunkten einen wichtigen Baustein für den Ausbau der erneuerbaren Energien und die massentaugliche Einführung der Elektromobilität dar. Ein weiterer Nutzen des Projektes liegt in der Untersuchung des systemstabilisierenden Einflusses der Elektromobilität.

## **2. ZIELSTELLUNG DES VERBUNDPROJEKTES**

### **2.1 Gesamtziel des Verbundes**

Die Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg hat das Ziel formuliert, bis zum Jahr 2050 den gesamten Energiebedarf für Strom, Wärme und Mobilität aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. Insbesondere im Bereich Mobilität steht diese Entwicklung noch am Anfang. Im Jahr 2014 lag der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor nur bei ca. 5,4 % [1]. Dem steht das Ziel der EU gegenüber, den Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor bis 2020 auf 10 % zu steigern. Die Bundesregierung plant u. a. die Anzahl zugelassener Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 auf eine Million zu erhöhen.

Während die Verbreitung der Elektromobilität noch am Anfang steht, lag der Anteil erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2015 voraussichtlich bereits bei ca. 30 % [2]. Bedingt durch die fluktuierende Verfügbarkeit einiger erneuerbarer Energieträger, vor allem von Sonne und Wind, wird das elektrische Energieversorgungssystem schon heute zu gewissen Zeiten an seinen Grenzen betrieben. Der gesetzlich verankerte Einspeisevorrang erneuerbarer Energien muss aus Gründen der Systemsicherheit zeitweise ebenso eingeschränkt werden wie der Vollzug der am Markt gebildeten Fahrpläne konventioneller Kraftwerke. Prognosefehlern von Erzeugung und Last sowie dem ungeplanten Ausfall von Erzeugungsleistung wird mithilfe von Regelleistung begegnet. Hierbei soll mit verschiedenen, zeitlich gestaffelten Regelleistungsprodukten jederzeit sichergestellt werden, dass sich Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie im Gleichgewicht befinden.

Eine zusätzliche Nutzung der Energiespeicher von dezentral verteilten Elektrofahrzeugen hätte das Potenzial, einen Beitrag zur Stabilisierung des elektrischen Energieversorgungssystems zu leisten. So ist neben der Bereitstellung von Regelleistungsprodukten sowohl eine Flexibilisierung der Nachfrageseite zur Engpassbewirtschaftung als auch zur Anpassung der Nachfrage an das fluktuierende Angebot denkbar. Eine so bewirkte Verringerung der Regelleistungsbereitstellung durch klassische Erzeugungsanlagen sowie die Vermeidung von Netzausbaumaßnahmen bieten Potenziale zur Senkung der gesamtwirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung. Eine Möglichkeit, das Verhalten der Nutzer von Elektrofahrzeugen mit den dargelegten Zielsetzungen zu beeinflussen, sind Preisanreize durch Schaffung neuer Produkte am Endkundenmarkt.

Neben der Gewinnung von Erkenntnissen zum Ladeverhalten von Elektrofahrzeugnutzern und deren Beeinflussbarkeit ist das Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung von Stromprodukten, die das Nutzerverhalten so steuern, dass Elektromobilität einen nennenswerten Beitrag zur Stabilisierung des elektrischen Energieversorgungssystems liefern kann. Die notwendigen Grundlagen dafür werden durch Analysen des Nutzerverhaltens inkl. der Akzeptanz gegenüber gesteuertem Laden und einer messtechnischen Erfassung der Ladevorgänge erhoben.

In Projekten wie dem vorliegenden muss es das Ziel der Akzeptanzforschung sein, Nutzeranforderungen zu ermitteln sowie akzeptanzförderliche Aspekte und potenzielle Markthemmnisse in Bezug auf die zu erprobenden Stromprodukte zu identifizieren und aus der Nutzerperspektive

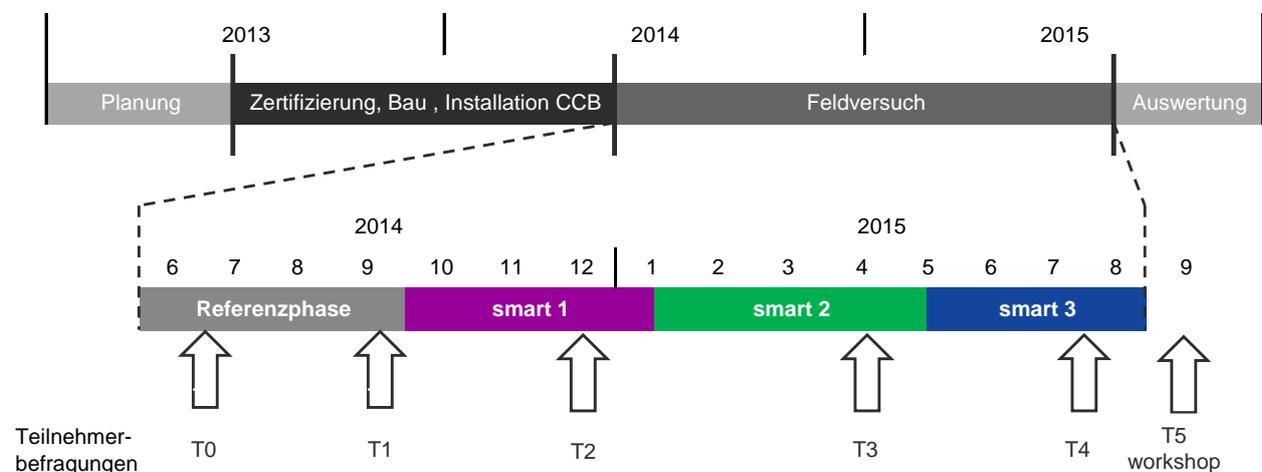
zu analysieren. Aus den Ergebnissen werden dann Ableitungen für eine optimierte Gestaltung der Stromprodukte zum gesteuerten Laden gezogen.

Die Verzahnung von Angebots- und Nachfrageseite wird durch die technische Schaltung von Ladevorgängen bei 30 privaten/gewerblichen externen TeilnehmerInnen und 10 Poolfahrzeugen getestet. Die gewonnenen Erfahrungen werden auf die bundesdeutsche Energiewirtschaft übertragen, um eventuell notwendige Anpassungen der Marktregeln abzuleiten.

Die Erfahrungen aus dem Projekt stellen unter energiewirtschaftlichen Gesichtspunkten einen wichtigen Baustein für den Ausbau der erneuerbaren Energien und die massentaugliche Einführung der Elektromobilität dar. Ein weiterer Nutzen des Projektes liegt in der Untersuchung des systemstabilisierenden Einflusses der Elektromobilität.

Das Projekt gliedert sich in 4 Phasen (**Abbildung 2.1**):

- Planungsphase: Konzeptionierung und Prototyp-Bau der CarConnectBox (CCB) mit den Fähigkeiten, Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen aufzuzeichnen, zu übertragen und aus der Ferne zu steuern, Vorbereitung Feldversuch und Befragungen der Teilnehmer
- Zertifizierung, Bau und Installation der CCB und Fortsetzung der Vorbereitung des Feldversuches und der Befragungen der Teilnehmer
- Feldversuch mit 4 Phasen und 5 Befragungen der Teilnehmer
- Auswertungsphase.



**Abbildung 2.1:** Projektta Ablaufplan

## 2.2 Vorstellung des Projektkonsortiums

### enercity Contracting GmbH (eCG)

Die enercity Contracting GmbH (eCG) ist ein bundesweit tätiges Wärmeversorgungs- und Contracting-Unternehmen. Als hundertprozentige Tochter der Stadtwerke Hannover AG konzipiert, baut und betreibt die eCG Energiezentralen für Kunden aus der Wohnungswirtschaft, für

private Immobilieneigentümer und Gewerbe- und Industrieunternehmen sowie öffentliche Einrichtungen.

Die eCG ist mit dem Geschäftsfeld "Mobilität" seit 1995 zur Erdgasmobilität aktiv. Seit 2010 bearbeitet die eCG auch den Bereich Elektromobilität bei enercity.

Mittlerweile betreibt die eCG an 14 Standorten insgesamt 21 öffentliche Ladestationen in Hannover (davon: 18 für Autos/E-Fahrzeuge, 3 für Pedelecs/E-Bikes). An allen eCG-Ladestationen können E-Mobile enercity UmweltStrom beziehen.

Durch die Kooperation mit dem Fahrstromdienstleister The New Motion können sowohl die eCG-Ladesäulen als auch europaweit weitere 25.000 Ladestationen über eine Ladekarte genutzt werden – davon bereits über 4.500 in Deutschland.

Neben dem Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur bietet die eCG immer wieder Schnupper-testfahrmöglichkeiten bei Tagesveranstaltungen in Hannover an. Mit verschiedenen langfristigen Kunden-Testaktionen (10 Wochen E-Roller, 3 Wochen Twizy, 1 Woche VW e-up! fahren) hat enercity seit November 2010 hunderte von Interessenten persönlich E-Mobilität erfahren lassen.

Seit September 2010 ist eine Förderprämie von der eCG im Angebot. Wer im enercity-Versorgungsgebiet beim Kauf eines Elektrozweirads oder eines Elektroautos einen enercity UmweltStrom-Vertrag abschließt, kommt in den Genuss einer Prämie von bis zu 150 Euro.

Im eigenen Fuhrpark macht enercity direkte Erfahrungen zur E-Mobilität im Arbeitsalltag. Die interne Tischler- und Malerwerkstatt testete 2010 und 2011 den aus Wunstorf stammenden EcoCarrier. Ab Dezember 2011 kamen drei E-Caddys von VW-Nutzfahrzeuge hinzu. Seit Ende November 2013 sind auch zehn VW e-up! im enercity-Fahrzeugpool im Einsatz.

Im Projekt hat eCG die Konsortialführung übernommen. Der Bau der CCB wurde in der Ausbildungswerkstatt von enercity durchgeführt. Die Durchführung des Feldversuches wurde von eCG organisiert und begleitet. Dazu gehören neben Nutzerrekrutierung, Vertragsabschluss und Prämienauszahlung auch der kontinuierliche Kontakt mit den Teilnehmern des Feldversuches bei Fragen und Störungen sowie der technische Support und die Leitung bei der Entwicklung der Lademodelle des Feldversuchs. Die erhobenen Messwerte wurden ausgewertet und werden als Grundlage für die Konzeption von massentauglichen Geschäftsmodellen herangezogen, die sowohl für die Kunden attraktiv sind als auch die energiewirtschaftlichen Herausforderungen berücksichtigen. Zum Test der Anbindung von Elektrofahrzeugen an ein Virtuelles Kraftwerk wurde für eine Fahrzeugflotte mit 10 Fahrzeugen an 2 Standorten in Zusammenarbeit mit dem IfES eine technische Anbindung projektiert und umgesetzt und eine Teilnahme am Regelenergiemarkt simuliert.

### **Institut für Elektrische Energiesysteme der Leibniz Universität Hannover (IfES)**

Das Institut für Elektrische Energiesysteme (<http://www.ifes.uni-hannover.de/>) besteht aus den drei Fachgebieten Elektrische Energieversorgung (Prof. Dr.-Ing. habil. L. Hofmann), Elektrische Energiespeichersysteme (Prof. Dr.-Ing. R. Hanke-Rauschenbach) und Hochspannungstechnik und Asset-Management (Prof. Dr.-Ing. P. Werle). Das Fachgebiet Elektrische Energieversorgung hat zurzeit elf wissenschaftliche Mitarbeiter, die sich mit der Entwicklung und dem Einsatz

von neuen Verfahren und Systemkomponenten in der elektrischen Energieversorgung, mit der Nutzung und Netzintegration regenerativer Energien sowie mit der Entwicklung und Optimierung von Modellen des Elektroenergiesystems für die Berechnung von stationären, dynamischen und transienten Betriebszuständen beschäftigen.

Das Fachgebiet ist Mitglied im Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050) der Leibniz Universität Hannover, im Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) sowie bei ForWind, dem gemeinsamen Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Bremen und Hannover.

Im Rahmen des Projektes hat das IfES die Aufgabe, die Hard- und Software der für den Feldversuch notwendigen Ladestationen und die serverseitige Ansteuerung der Ladestationen zu realisieren. Ferner ist das IfES an der praktischen Durchführung des Feldversuches beteiligt, da sich die Ansteuerung der Elektrofahrzeuge deutlich aufwendiger gestaltete als geplant (vgl. Abschnitt 4.4). Bei der Auswertung übernimmt das IfES den Part der Simulation der Einbindung in die Energiemärkte.

### **Institut für Transportation Design, Hochschule für Bildende Künste, Braunschweig (ITD)**

Das Institut für Transportation Design (ITD) der Hochschule für Bildende Künste Braunschweig (HBK) ist im Juni 2007 aus dem seit 2002 an der Hochschule bestehenden Fachbereich „Transportation Design & Social Sciences“ hervorgegangen. Es ist hochschulintern dem Fachbereich Industrial Design zugeordnet und hat neben zwei Designprofessuren auch eine sozialwissenschaftliche Professur. Das ITD beschäftigt sich in einem interdisziplinären Team mit der Zukunft der Mobilität. Es versteht Mobilität als wichtiges Feld, auf dem sich die aktuelle gesellschaftliche Transformation nicht nur erforschen und darstellen, sondern auch exemplarisch erproben lässt. Die hier seit 2002 mit verschiedenen Kooperations- und Projektpartnern aus Wissenschaft und Praxis bearbeiteten Themen umfassen E-Mobilität, Fahrradkultur, Maritime Mobilität, in jüngerer Zeit auch urbane und regionale Entwicklungen sowie die postfossile Luftfahrt. Alle Fragestellungen bewegen sich immer im produktiven Spannungsfeld unterschiedlicher Wissenskulturen und Forschungsparadigmen.

Im Rahmen des Projektes hat das ITD die sozialwissenschaftliche Begleitforschung während des Feldversuches durchgeführt. Mit quantitativen und qualitativen Erhebungsmethoden wurde u. a. die Akzeptanz der Geschäftsmodelle sowie Einstellungen zu gesteuertem Laden und Elektromobilität erhoben. Es wurden sowohl Befragungen unter den FeldversuchsteilnehmerInnen durchgeführt als auch unter den enercity MitarbeiterInnen, welche den Fahrzeugpool des Unternehmens nutzen.

### **3. KONZEPTION DES FELDVERSUCHS**

In einem Feldversuch wurden innovative Testprodukte mit verschiedenen Anreizen zur Beeinflussung des Nutzerverhaltens entwickelt, um Ergebnisse zur Beantwortung der im Rahmen des Vorhabens gestellten Forschungsfragen zu gewinnen. Ziel war es zu analysieren, welche innovativen Geschäftsmodelle und Produkte sowohl den energiewirtschaftlichen und technischen Anforderungen, den Wünschen der Nutzergruppen als auch einer nachhaltigen Wirtschaftlichkeit entsprechen.

In Bezug auf die Nutzer deuten bisherige Befunde darauf hin, dass die notwendige Kooperation zwischen Energieversorgungsunternehmen (EVU) und Nutzer – und somit die Nutzbarmachung von Elektrofahrzeugen für energiewirtschaftliche Belange – in starkem Maße von der Gestaltung der verwendeten Geschäftsmodelle in Bezug auf Preis und Rahmenbedingungen abhängen wird. Vor dem Feldversuch war aber z. B. noch nicht erforscht, welche Stärke diese Faktoren haben oder wie sich ihre Kombination auf das Nutzerverhalten auswirkt. Um diese Lücke zu schließen, wurden in einem vierstufigen Versuch (vier Phasen mit einer Dauer von jeweils ca. drei Monaten) verschiedene Tarifsysteme mit unterschiedlichen Anreizgestaltungen an den Nutzergruppen erprobt. Innerhalb dieser Phasen wurden verschiedene Tarife simuliert, welche die Nutzer nach ihren persönlichen Präferenzen auswählen konnten. Der Feldversuchs-Aufbau wurde vorab grob geplant, damit die Erfordernisse der Testprodukte durch die CCB abgebildet werden können. Dabei wurden bei der Entwicklung der Testprodukte von vornherein nachfolgende Überlegungen aus energiewirtschaftlicher Sicht berücksichtigt (vgl. Abschnitt 3.1). Im Laufe des Feldversuches wurden die Testprodukte noch ausgestaltet, wobei auch das Nutzerverhalten der schon abgelaufenen Versuchszeiträume berücksichtigt wurde - einem iterativen und kumulativen Prozess folgend.

Der Feldversuch startet mit Feldphase 1, bei der kein Tarif vorgegeben wird (Feldphase 1 entspricht somit einer Messung T0). Die Erkenntnisse, die während dieser T0-Messung in der Praxis gesammelt werden, fließen in die Entwicklung des Geschäftsmodells in Feldphase 2 ein. Dieser Prozess der Erkenntnissammlung und darauf aufbauenden Entwicklung von weiteren Geschäftsmodellen erfährt während des Versuchsaufbaus zwei weitere Iterationen. Am Ende dieses Prozesses steht die Identifizierung der relevanten Faktoren. Die durch die fluktuierenden Einspeisungen von Erzeugungsanlagen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Einspeisung) verursachten Netzengpässe und Spannungsbandverletzungen sowie die in Zukunft befürchtete zeitweilige Unausgeglichenheit der Leistungsbilanz sind wesentliche Gründe für die Notwendigkeit von Speichern. Daher bildet die unstetige EEG-Einspeisung die Grundlage für die Gestaltung der Tarifsysteme in den verschiedenen Phasen.

### **3.1 Übersicht über die Feldphasen**

Der Feldversuch wurde in vier Feldversuchsphasen eingeteilt und mit jeder neuen Phase konnten die TeilnehmerInnen eine höhere Incentivierung bei höherer Flexibilität erlangen. Die Grundidee der einzelnen Feldversuchsphasen wird im Folgenden dargestellt.

#### **Feldphase 1**

Diese Feldphase simulierte ein Energieversorgungssystem, in dem weder die Vertriebsgesellschaften noch die Netzbetreiber Anreize zur Beeinflussung des Nutzerverhaltens setzen. Ein kontinuierliches Laden bzw. ein Laden nach den Bedürfnissen der NutzerInnen ist jederzeit möglich. In dieser Feldphase wurde das durch Anreize unbeeinflusste Ladeverhalten der NutzerInnen erhoben. Es dient somit als Referenz zur Beurteilung der Anreizwirkungen in den folgenden Phasen.

#### **Feldphase 2**

Innerhalb dieser Feldphase hatten die NutzerInnen die Wahl, entweder ein Laden nur zu festgelegten Zeiten oder ein Laden nach ihren Wünschen durchzuführen. Simuliert wurde hier eine EEG-Einspeisung zu bestimmten Zeiten (hohe PV-Einspeisung in der Zeit von 11 Uhr–15 Uhr). Das Tarifsystem wurde so ausgestaltet, dass ein Anreiz zum Laden während der vom Energieversorger festgesetzten Zeiten besteht.

#### **Feldphase 3**

Diese Feldphase bildete eine fluktuierende EEG-Einspeisung in das Netz ab. Die NutzerInnen hatten zusätzlich zu den bereits bestehenden Lademodellen die Wahl, ein Laden zum Zeitpunkt hoher EEG-Einspeisung durchzuführen. Die Zeitpunkte hoher EEG-Einspeisung wurden anhand von Einspeiseprognosen gewählt und waren für die NutzerInnen nur eingeschränkt prognostizierbar. Das Tarifsystem sollte durch gezielte Anreize die Nutzer dahingehend animieren, die Batterien der Fahrzeuge zum Zeitpunkt hoher Einspeisungen zu laden.

#### **Feldphase 4**

Die Feldphase 4 ermöglichte zusätzlich zu den bestehenden Lademodellen auch die Möglichkeit, ein komplett flexibles Laden des Elektrofahrzeugs auszuwählen. Hier wurde auch ein Entladen der Fahrzeugbatterie auf bis zu 50 % simuliert. In dieser Feldphase soll die Idee abgebildet werden, dass Elektrofahrzeuge auch als Speicher regenerativ erzeugter Energie dienen können und Netzbetreiber oder Vertriebsgesellschaften diese Energie nach Bedarf abrufen können. Das Tarifsystem soll in diesem Fall die Bereitschaft der NutzerInnen fördern, ihre Fahrzeuge als Speicher zur Verfügung zu stellen.

Der Feldversuch mit seinen vier Phasen bot somit ein erfolgversprechendes Setting, in dem die Tragfähigkeit der einzelnen Geschäftsmodelle in der Praxis eruiert wurde. Dabei wurden die relevanten Faktoren aus Nutzersicht identifiziert und unterschiedliche Zielgruppen segmentiert. Dies trägt dazu bei, dass darauf aufbauend massentaugliche Stromprodukte und Abrechnungsmodelle für die Zukunft entwickelt werden können (vgl. Abschnitt 109), ohne die eine erfolgreiche Einbindung von Elektrofahrzeugen in das Energienetz nicht vorangetrieben werden kann.

### 3.2 Testprodukte für die Versuchsphase

Die Testprodukte für die Versuchsphasen wurden von der eCG in Zusammenarbeit mit ITD und IfES konkretisiert und wie folgt festgelegt:

- **sofort-Laden:** *Ladebeginn direkt nach Wahl des Lademodells (wählbar ab Feldphase 1)*  
direkter Ladebeginn ohne Einschränkungen für die Nutzer
- **smart1:** *Laden zu festen Zeiten (wählbar ab Feldphase 2)*  
verbrauchsschwache Zeiten oder Zeiten mit tendenziell hoher Solareinspeisung
  - Feldphase 2: feste Ladezeiten von 11 bis 15 Uhr und von 22 bis 6 Uhr
  - Feldphase 3: feste Ladezeiten von 11 bis 15 Uhr und von 23 bis 7 Uhr
- **smart2:** *Laden in flexiblen und zuvor bekannten Zeiträumen (wählbar ab Feldphase 3)*  
verbrauchsschwache Zeiten oder Zeiten mit hoher prognostizierter Wind- bzw. Solareinspeisung
  - Ladezeiten von 3 Stunden in verbrauchsschwachen Zeiten zwischen 0 und 6 Uhr garantiert  
Die Festlegung dieser nächtlichen Ladezeitfenster erfolgte teilweise anhand der höchsten prognostizierten EEG-Einspeisung und teilweise anhand der niedrigsten Residualast in diesem Zeitintervall.
  - zusätzliche täglich neu festgelegte Ladezeiträume bei hoher prognostizierter Wind- und/oder Solareinspeisung  
→ freigegebene Ladezeiten von 3 bis 24 Stunden pro Tag möglich

Die Ladezeiträume für den Folgetag konnten von den TeilnehmerInnen ab ca. 15:30 Uhr am Display der CCB eingesehen werden.

- **smart3:** *Laden nach Bedarf des Netzbetriebs (wählbar ab Feldphase 4)*  
Die TeilnehmerInnen konnten ihr Fahrzeug für eine von ihnen definierte Zeit zur Verfügung stellen, in der das Fahrzeug an das Netz angeschlossen war.  
Die TeilnehmerInnen gaben den Zeitpunkt an, zu dem sie losfahren wollten, sowie den dann benötigten Akkuladestand. Der Zeitpunkt konnte minutengenau angegeben werden, beim gewünschten Akkuladestand konnte zwischen 50 %, 75 % und 100 % gewählt werden.  
Da der aktuelle Batteriestand des Fahrzeugs von der CCB nicht ausgelesen werden konnte, mussten die TeilnehmerInnen zudem den aktuellen Batteriestand eingeben.  
Dabei konnte zwischen folgenden Batterieladeständen gewählt werden: 0 %, 25 %, 50 % und 75 %. Die TeilnehmerInnen sollten den Wert wählen, der dem Ladezustand ih-

res Autos am nächsten liegt, für z. B. einen Ladezustand von 13 % sollte „25 %“ gewählt werden.

Für das Lademodell *smart3* wurde eine Mindestanschlusszeit von 6 Stunden vorgegeben. So war gewährleistet, dass dem EVU eine gewisse Flexibilität zur Verfügung stand. Das Lademodell konnte vor dem Ablauf der ausgewählten Anschlusszeit abgebrochen werden, um den TeilnehmerInnen eine Notfalloption zu ermöglichen. Bei vorzeitigem Abbruch war jedoch nicht gewährleistet, dass der Ladevorgang bereits begonnen hatte. Bei einem nicht nur simulierten Entladen wäre es auch möglich gewesen, dass der Batterieladestand geringer als zum Anschlusszeitpunkt gewesen wäre.

Bei einer längeren Anschlusszeit als zuvor angegeben, erhielten die TeilnehmerInnen keine zusätzlichen finanziellen Anreize, da innerhalb dieses Zeitraumes das Elektrofahrzeug dem EVU nicht planungssicher zur Verfügung stand.

### **3.3 Notwendigkeit der Prämienzahlungen**

Während des Untersuchungszeitraumes wurden in den Feldphasen 2 bis 4, in denen die anreizgesteuerten Geschäftsmodelle einer Praxiserprobung unterzogen wurden, verhaltensabhängige Prämien an die Teilnehmer ausgeschüttet. Diese Prämien sollten die später einmal möglichen Einsparungen simulieren, welche Nutzer von Elektrofahrzeugen erwirtschaften können, wenn sie in Bezug auf ihr Fahrzeug mit einem EVU kooperieren. Im Feldversuch hatten die TeilnehmerInnen die Möglichkeit, innerhalb der Feldphasen eine Incentivierung sowie durch die Teilnahme an Befragungen eine zusätzliche Aufwandsentschädigung zu erhalten.

Bei einer vollständigen Erfüllung der Vorgaben des EVU gab es am Ende der jeweiligen Feldphase die volle Prämie. Differierte das tatsächliche Verhalten zu dem von dem jeweiligen Tarif intendierten Verhalten, nahm die Prämie je nach Abweichungsgrad entsprechend ab. Das simulierte die Praxis, wie sie sich nach einer großflächigen Markteinführung darstellen würde: Das eigene Verhalten hat direkte Auswirkungen auf die Höhe der Stromrechnung. Aufgrund der Panelsituation des Feldversuchs – dieselben Teilnehmer nehmen über den gesamten Zeitraum am Versuch teil – lassen sich so auch langfristige Verhaltensänderungen oder eine eventuelle Rückkehr zu alten Gewohnheiten beobachten und prognostizieren. Diese Analysen können dann am besten durchgeführt werden, wenn so viele Teilnehmer wie möglich über den gesamten Zeitraum dauerhaft am Versuch teilnehmen und es zwischendurch nicht zu einer hohen Panelmortalität kommt. Panelmortalität bezeichnet den Vorgang, wenn während des Untersuchungszeitraumes Teilnehmer vom Versuch zurücktreten bzw. nicht weiter teilnehmen wollen. Eine hohe Panelmortalität erschwert eine valide Auswertung der Daten – sowohl der Befragungsdaten der sozialwissenschaftlichen Erhebungen als auch der Messdaten aus den bei den Teilnehmern installierten CCB. Ist die Stichprobengröße von Beginn an klein, wiegt jeder Befragte, der die Teilnahme dauerhaft verweigert, umso schwerer. Aus diesem Grund erschien es sinnvoll, in der Testphase die mögliche Prämie etwas höher anzusetzen, als sie später bei einem massenmarktauglichen Geschäftsmodell tatsächlich durch die Nutzer zu erwirtschaften wäre. Sie bot so eine zusätzliche Incentivierung zur Teilnahme und eine Aufwandsentschädigung für die zu leistenden mehrmaligen Befragungen.

## Prämienabrechnung:

Für die Lademodelle *smart1* und *smart2* wurde eine Tagesprämie gewährt, die nicht anhand der geladenen Energiemenge differierte. Bei *smart3* wurde die Zeitspanne, in der das Auto dem Netzbetreiber zu Verfügung stand, vergütet. Daher wurde bei der Incentivierung von *smart3* die Dauer bis zum gewünschten Abfahrtszeitpunkt vergütet bzw. bei vorzeitigem Abbruch die Zeit bis zum Abbruchzeitpunkt.

Die genaue Incentivierung erfolgte in allen Feldphasen je Kalendertag (0 bis 24 Uhr) und wird für die einzelnen Feldphasen im Folgenden dargestellt:

- **In Feldphase 1** konnte nur *sofort-Laden* gewählt werden, es erfolgte keine Incentivierung.
- **In Feldphase 2** konnte sowohl *sofort-Laden* als auch *smart1* gewählt werden. Die Abrechnung erfolgte tageweise. Nach Wahl von *sofort-Laden* konnte am selben Tag weiterhin *smart1* gewählt werden, für diesen Tag wurde der Teilnehmerin / dem Teilnehmer jedoch keine Prämie gutgeschrieben.
- **In Feldphase 3** konnte sowohl *sofort-Laden* als auch *smart1* und *smart2* gewählt werden. Die Abrechnung erfolgte tageweise. Nach Wahl eines Lademodells konnten weiterhin die anderen Lademodelle gewählt werden. Es wurde immer die Prämie gutgeschrieben, die die geringste Prämie aller gewählten Lademodelle darstellte.
- **In Feldphase 4** wurde festgelegt, dass sich der Teilnehmende zwischen den Lademodellen entscheiden sollte. Grund hierfür war zum einen die bessere Abrechenbarkeit. Als weiterer Grund ist die Zielsetzung auf die Entwicklung späterer Geschäftsmodelle anzusehen. Bei der Wahl eines Stromproduktes muss sich der Kunde auch für eine Abrechnungsmethode entscheiden.

Somit gab es in **Feldphase 4** nur einmal am Tag die Möglichkeit, sich für ein gesteuertes Lademodell zu entscheiden. Die anderen Lademodelle wurden anschließend für den Kalendertag deaktiviert. Ausnahme blieb als Notfalloption das Lademodell *sofort-Laden*. Dieses konnte weiterhin aktiviert werden.

In dieser Feldphase wurde die Prämie für das gewählte Lademodell gutgeschrieben. Bei der Wahl von *sofort-Laden* an einem Kalendertag wurde wie in den vorangegangenen Feldphasen keine Prämie gezahlt.

Wie oben beschrieben wurde eine Incentivierung in Form von Tages- bzw. Stundenprämien festgelegt, da nicht alle TeilnehmerInnen im Versorgungsgebiet von enercity wohnen. Eine Reduktion des Strompreises als Incentivierung war somit nicht möglich.

## Übersicht der Prämien in den einzelnen Feldphasen:

### Feldphase 2:

- **smart1: Laden zu festen Zeiten**

Tagesprämie bei ausschließlicher Nutzung des Lademodells *smart1* am jeweiligen Tag

### Feldphase 3:

- **smart1: Laden zu festen Zeiten**

Tagesprämie bei Nutzung des Ladeprogramms *smart1*, wenn am jeweiligen Tag kein *sofort-Laden* gewählt wurde

Bonus zusätzlich für die Angabe des Ladezustands des Elektrofahrzeugs

- **smart2: Laden in flexiblen und zuvor bekannten Zeiträumen**

Tagesprämie (höher als Tagesprämie von *smart1*) bei ausschließlicher Nutzung des Ladeprogramms *smart2* am jeweiligen Tag

Bonus zusätzlich für die Angabe des Ladezustands des Elektrofahrzeugs

### Feldphase 4:

- **smart1: Laden zu festen Zeiten**

Tagesprämie bei Nutzung des Ladeprogramms *smart1* ohne Auswahl von *sofort-Laden*

Bonus zusätzlich für die Angabe des Ladezustands des Elektrofahrzeugs

- **smart2: Laden in flexiblen und zuvor bekannten Zeiträumen**

Tagesprämie (höher als Tagesprämie von *smart1*) bei ausschließlicher Nutzung des Ladeprogramms *smart2*

Bonus zusätzlich für die Angabe des Ladezustands des Elektrofahrzeugs

- **smart3: Laden nach Bedarf des Netzbetriebs**

hohe Stundenprämie bei gewünschtem Ladezustand von 50 % (bei einer Anschlusszeit von ca. 7 Stunden wird die Tagesprämie von *smart2* erreicht)

mittelhohe Stundenprämie bei gewünschtem Ladezustand von 75 % (bei einer Anschlusszeit von ca. 9 Stunden wird die Tagesprämie von *smart2* erreicht)

niedrige Stundenprämie bei gewünschtem Ladezustand von 100 % (bei einer Anschlusszeit von ca. 13 Stunden wird die Tagesprämie von *smart2* erreicht)

## 4. LADESTATION FÜR DEN FELDVERSUCH

In diesem Kapitel wird zunächst die Entwicklung und der Bau der in diesem Feldversuch verwendeten Ladestation beschrieben und auf Basis der Projekterfahrung ein Vorschlag für zukünftige Ladestationen unterbreitet. Da sich die Ansteuerung der Elektrofahrzeuge deutlich aufwendiger gestaltete als es geplant war, wird auf die gefundene Lösung eingegangen. Zum Abschluss erfolgt die Darstellung der Leitwarte.

### 4.1 Entwicklung der CarConnectBox (CCB)

Im Rahmen der Vorplanung der CCB für die Antragsstellung wurden als Anschlüsse für die Ladung von Elektrofahrzeugen eine Schutzkontakt- sowie eine CEE-Steckdose mit einer Strombelastbarkeit von 16 A vorgesehen. Während der Entwicklungsphase der CCB Anfang 2013 wurde seitens der EU-Kommission jedoch ein wichtiger Schritt zur Etablierung der Typ2-Ladedose als europaweiter Standard für das Laden von Elektrofahrzeugen vollzogen.

Um dieser Veränderung des Marktes Rechnung zu tragen, wurde dieser Anschluss in die Entwicklung der CCB aufgenommen. Zur Realisierung einer schnelleren Ladung, wurde darüber hinaus eine Erhöhung der Strombelastbarkeit der CCB auf 32 A beschlossen. Anfänglichen Wünschen der Teilnehmer nach einer 32-A-CEE-Steckdose konnte aufgrund fehlender Zulassung in der „DIN EN 61851 Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge“ nicht nachgegangen werden.

Gegenüber der ursprünglichen Planung aus der Antragsphase wurde die CCB um folgende Ausstattungsmerkmale erweitert:

- größeres Display mit höherer Auflösung und Touchscreen-Funktion
- Modem mit UMTS
- erweiterter Temperaturbereich bei elektronischen Komponenten
- geeignet für Festinstallation
- Hauptschalter
- größerer Schaltschrank (notwendig für ausgewählte Komponenten)
- Schaltschrank aus Edelstahl  
(Installation im Außenbereich und zur Einhaltung der EMV-Anforderungen)
- Verriegelung für Schaltschrank
- Auslegung für 32 A bei Version T (siehe unten)

Diese Änderungen haben einen erhöhten Zeitbedarf bei Entwicklung, Bau und Prüfung der CCB verursacht, so dass Modifikationen des Zeitplans erforderlich wurden. Um die gestiegenen Kosten zu kompensieren, wurde die Entscheidung gefällt, die CCB in zwei Varianten zu entwickeln:

- Version S: 16-A-Schutzkontakt-Steckdose
- Version T: 32-Typ2-Steckdose und 16-A-Schutzkontakt-Steckdose

Innerhalb einer Ladestation der Version S führt diese Lösung zu einer geringeren Anzahl an Komponenten und somit auch zu einem geringeren Platzbedarf. Beides resultiert in einer Kos-

tenreduktion verglichen mit einer Variante, die alle Anschlussmöglichkeiten für alle Ladestationen bietet.

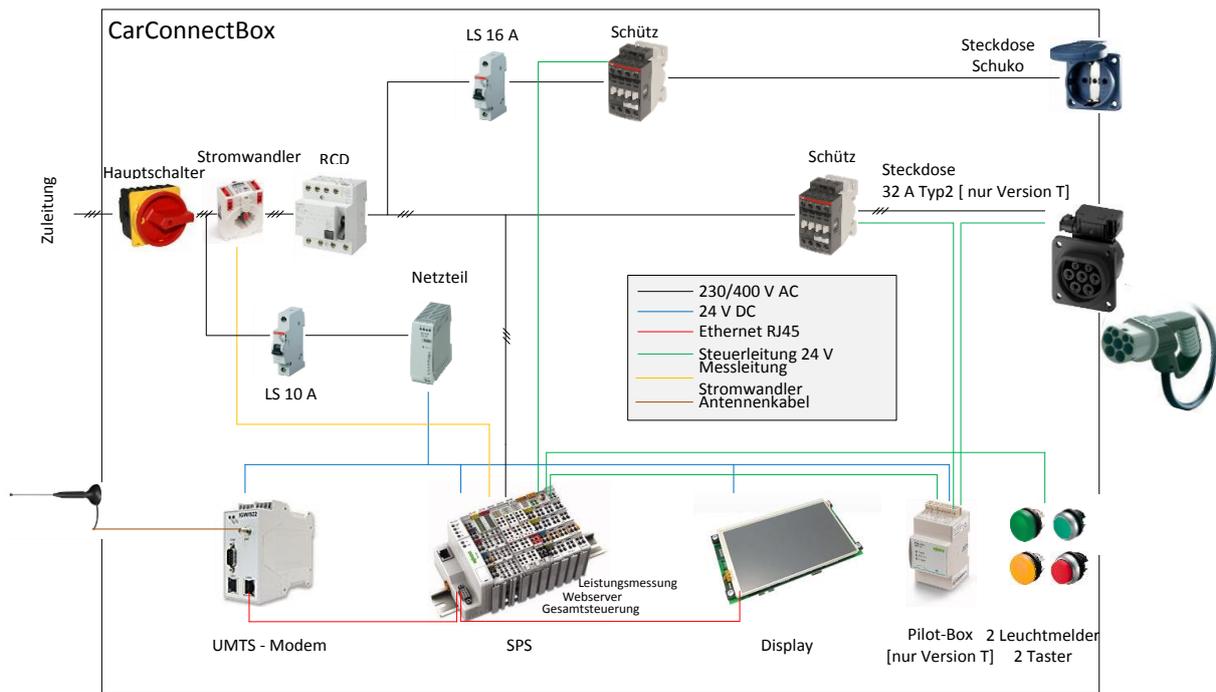


**Abbildung 4.1:** Installierte CCB in der Version T

Die CCB wurde durch akkreditierte Prüfinstitute auf Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) geprüft. Aufgrund der Tatsache, dass die verwendeten Industriekomponenten für eine hohe Leistung von bis zu 32 A ausgelegt sind und die EMV Auslegung nach der EN 55022 Klasse B (Wohnbereiche) erfolgen sollte, musste ein Edelstahlgehäuse eingesetzt werden. Dieses bringt ebenfalls einen höheren Preis und auch einen erhöhten Bearbeitungsaufwand mit sich. Nach Abschluss der Prüfungen wurde die EG-Konformitätserklärung für die CCB durch die Stadtwerke Hannover AG als Hersteller ausgestellt und die CCB mit dem CE-Kennzeichen versehen.

Der finale elektrische Aufbau der CCB ist in **Abbildung 4.1** skizziert. Der Leistungskreis beginnt mit einem Hauptschalter, den Messwandlern und dem Fehlerstromschutzschalter (FI-Schutzschalter). Dieser muss bei dreiphasigen Ladestationen als Typ B FI ausgeführt sein. Dahinter verzweigen sich die jeweils über einen Schütz steuerbaren Anschlusssteckdosen.

Der Steuerungsteil mit einer 24-V-Versorgungsspannung ist in der unteren Bildhälfte dargestellt und wird über einen 10-A-Leitungsschutzschalter direkt hinter dem Hauptschalter abgegriffen, um zum einen die Messwerterfassung nicht zu verfälschen und zum anderen die Erreichbarkeit der Steuerung nach Auslösung des Fehlerstromschutzschalters und die Erkennung dieses Zustands zu gewährleisten. Das UMTS-Modem stellt eine VPN-Verbindung zur Leitwarte (vgl. Abschnitt 3.1.3) her. Die SPS übernimmt die zentrale Steuerung der CCB. Auf dem Display wird der aktuelle Zustand der CCB angezeigt und die Benutzerinteraktion aufgenommen. Die Pilotbox ist für die Ansteuerung und Einhaltung der Sicherheitsfunktionen des Ladevorgangs nach Mode 3 an der Typ2-Steckdose verantwortlich.



**Abbildung 4.2:** Im Feldversuch verwendetes Aufbaukonzept der CCB

Die CCB weist die folgenden Schnittstellen zum Benutzer auf, die in **Abbildung 4.3** dargestellt sind:

- Display mit Touchfunktion
- Taster
- Leuchtmelder
- Hauptschalter
- Ladesteckdose(n)

Der Bildschirminhalt auf dem Display gliedert sich für alle Fenster in zwei Bereiche. Im oberen Bereich sind die aktuellen Auswahl- und Programminformationen dargestellt. Im Falle des Hauptbildschirms ist dies die Auswahl der Ladeprogramme. Im unteren Bereich werden die aktuellen Informationen über die CCB aufgeführt (**Abbildung 4.4**).

Alle Felder, die zum Anklicken geeignet sind, weisen eine lila bzw. eine graue Farbe auf. Die Registrierung des Klickens wird durch eine Farbänderung des entsprechenden Feldes zu der Farbe Rot deutlich gemacht.

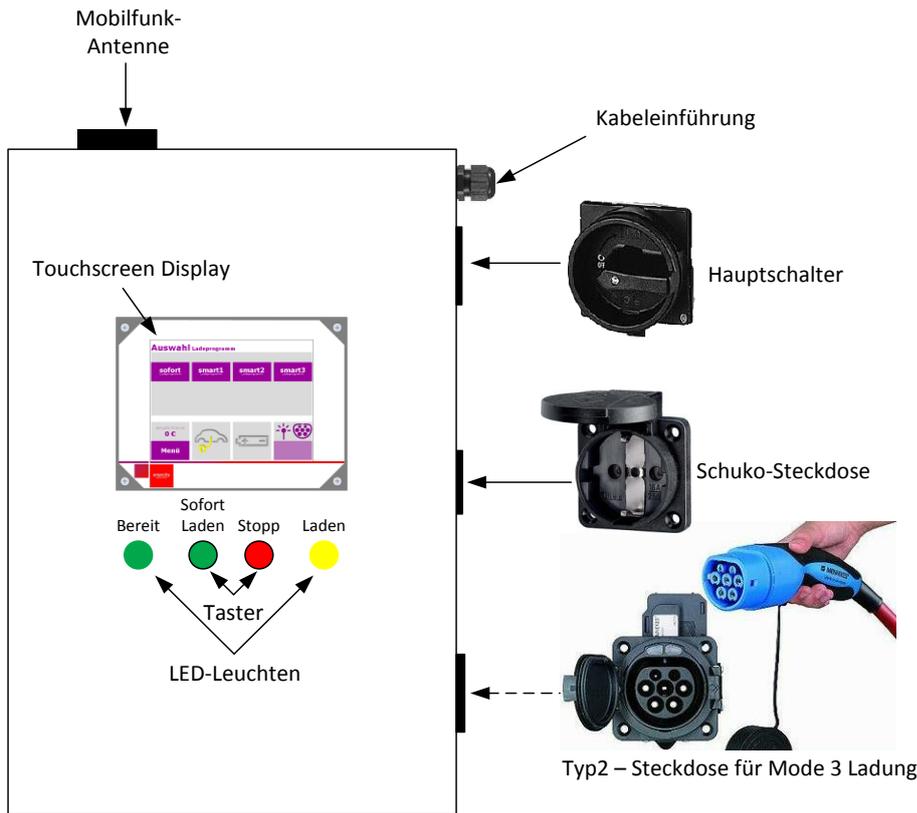


Abbildung 4.3: Bedienelemente der CCB

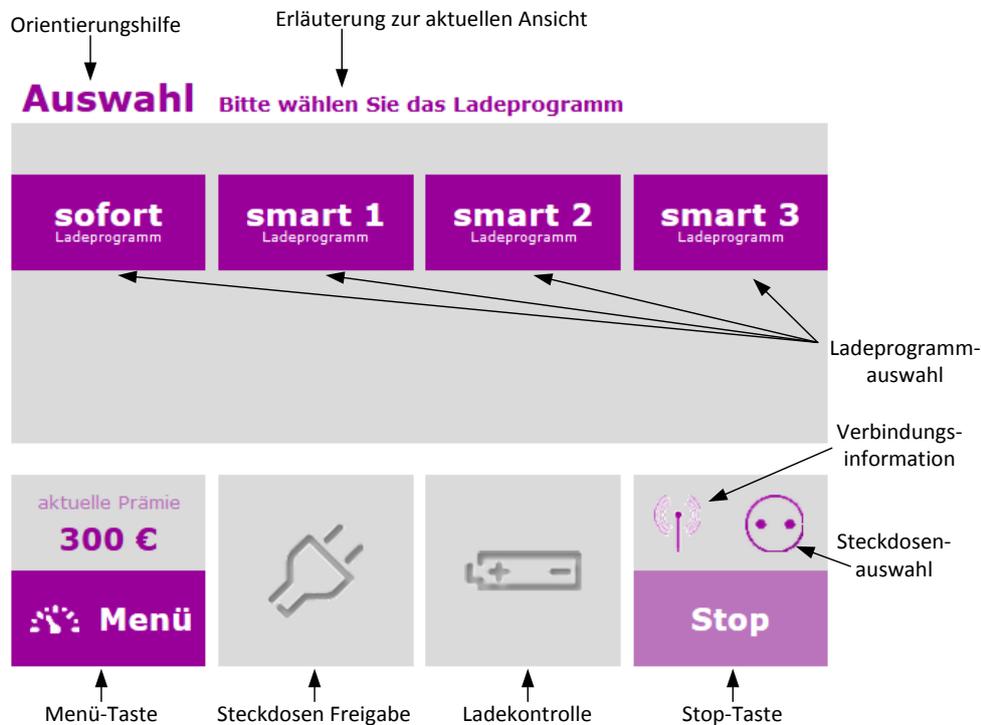


Abbildung 4.4: Hauptmenü mit Erläuterungen

## 4.2 Bau der CarConnectBox

Die 40 CCB wurden in der Ausbildungswerkstatt von enercity von Auszubildenden gebaut.

In der ersten Stufe wurden die Metallarbeiten durchgeführt, anschließend in der Elektrowerkstatt die elektrischen Komponenten eingebaut und verdrahtet. Nach Montage von Display und Steuerelementen wurden die CCB durch das IfES programmiert. Zum Abschluss folgte eine Funktions- und Sicherheitsüberprüfung.

Durch den Bauauftrag und den damit verbundenen Wissenstransfer von den technischen Projektpartnern wurde das Thema Elektromobilität Teil der Ausbildung für die beteiligten Auszubildenden.

Als weitere Bildungsaufgabe im Projekt wurde eine Vorstellung des Schaufensters Elektromobilität und des Projektes bei allen technischen Auszubildenden von enercity durchgeführt. Dabei hatten die Auszubildenden auch die Möglichkeit, ein Elektroauto zu fahren.

## 4.3 Konzept für zukünftige Ladestationen

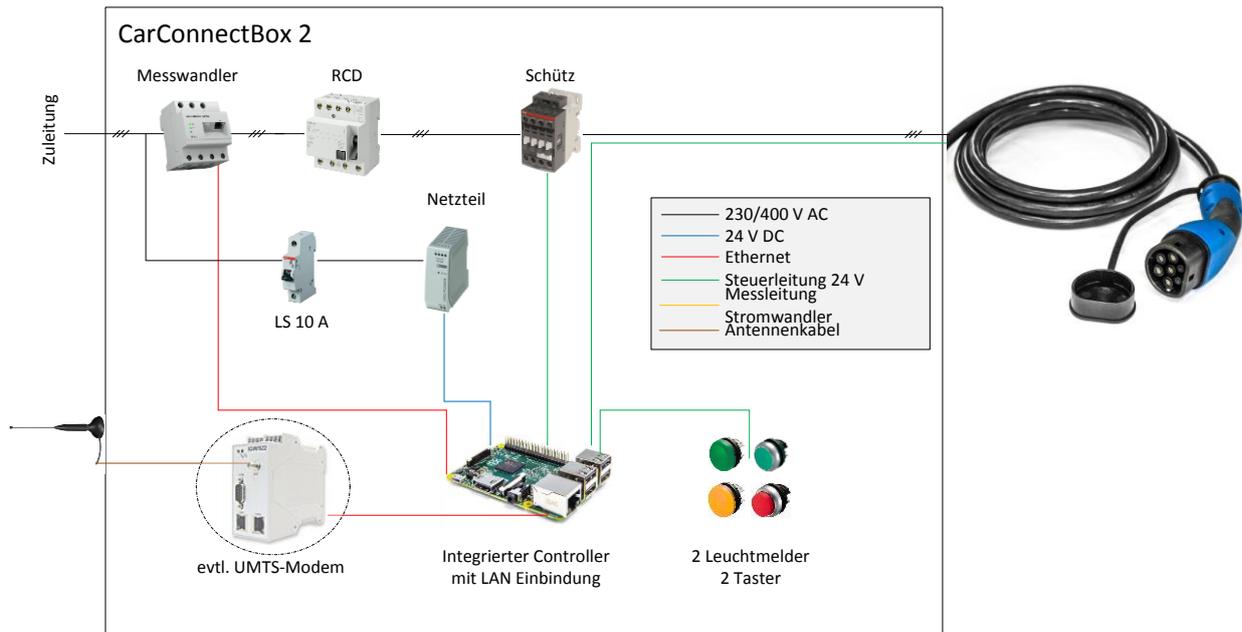
Im Rahmen des Feldversuches hat sich gezeigt, dass die aktuelle Version der CCB noch einige Schwachpunkte enthält. Die wesentlichen Schwachpunkte sind im Folgenden aufgeführt und es wird im Anschluss ein Zukunftskonzept für nachfolgende Projekte vorgestellt.

- Im Rahmen des Feldversuchs hat sich im Spätsommer gezeigt, dass die Touchfunktion der Displays offensichtlich nicht wie vom Hersteller angegeben für Außenbereiche geeignet ist. Mehrere Displays, die im Außenbereich montiert sind, haben im September innerhalb weniger Wochen die Touchfunktion verloren. Als eine Lösung wurde die Steuerung der Ladestation so modifiziert, dass die wichtigsten Funktionen über die beiden Taster und eine Webschnittstelle bzw. Handy-App bedient werden konnten. Aus diesem Grund wird in dem Zukunftskonzept auf ein Display verzichtet.
- Die UMTS-Verbindung verursacht zum einen zusätzliche monatliche Kosten für die erforderlichen Mobilfunkverträge und war zum anderen an vielen Orten nicht so zuverlässig verfügbar, wie es für das Projekt benötigt wurde. Aus diesem Grund wird das Zukunftskonzept standardmäßig mit einem Netzwerkanschluss ausgerüstet und nur noch optional mit einem Funkmodem.
- Die Realisierung der Kabelverbindung zum Elektrofahrzeug soll durch ein an der Ladestation angeschlossenes Kabel geschehen. Zum einen hat der Verriegelungsmotor der ladestationsseitigen Ladesteckdose oftmals zu Problemen beim Ladevorgang geführt, da die Signalisierung, ob das Kabel eingesteckt ist, schon erfolgt, bevor das Kabel vollständig eingesteckt ist. Dies führte in der Folge zu Problemen bei der Verriegelung und folglich konnte der Ladevorgang nicht starten. Zum anderen bietet ein fest an der Ladestation angeschlossenes Kabel für die Nutzer einen deutlichen Komfortgewinn, da nicht jedes Mal das Reisekabel aus dem Auto geholt werden muss. Ein zusätzliches Ladekabel für die heimische Ladestation ist für viele Nutzer wegen der hohen Kosten nur wenig attraktiv. Die Mehrkosten für das fest angeschlossene Ladekabel werden durch den Wegfall der Ladesteckdose kompensiert. Auch die mit einer weiteren Gehäuse-

durchführung verbundene zusätzliche Abführung von Kondens- oder Spritzwasser aus der Ladesteckdose kann bei ihrem Wegfall entfallen.

- Die Anzahl der Steuerungskomponenten (SPS, Modem, Display und Pilotbox) muss deutlich reduziert werden, gerade auch um den Kommunikationsbedarf zwischen den Geräten zu vereinfachen. Im Rahmen von Überlegungen hat sich gezeigt, dass in Verbindung mit einem Modbus-TCP fähigen Messwandler und dem Ersatz der Typ-2-Steckdose durch ein Anschlusskabel eine Hardware ähnlich dem Raspberry PI mit einer kleinen Erweiterungsplatine für alle Funktionen ausreicht.

Das durch diese Überlegungen entstandene Konzept ist in **Abbildung 4.5** dargestellt.



**Abbildung 4.5:** Zukünftiges Konzept einer Ladestation

#### 4.4 Problematik der Ansteuerung von Elektrofahrzeugen

Um vertiefend auf die Problematik der Ansteuerung von Elektrofahrzeugen eingehen zu können, wird zunächst der Typ-2-Standard erläutert, bevor auf die Probleme der Fahrzeuge eingegangen wird.

Als einheitliche Norm für Steckertypen und Lademodi für Elektrofahrzeuge existiert die Norm IEC 62196. Sie ist auf keine physische Steckertechnik bezogen, verweist aber in Teil 2 auf die IEC 60309 (CEE-Steckverbindungen) und übernimmt die Definition des Signalpins aus der IEC 61851.



**Abbildung 4.6:** Darstellung des Typ2-Steckers (Firma Mennekes)

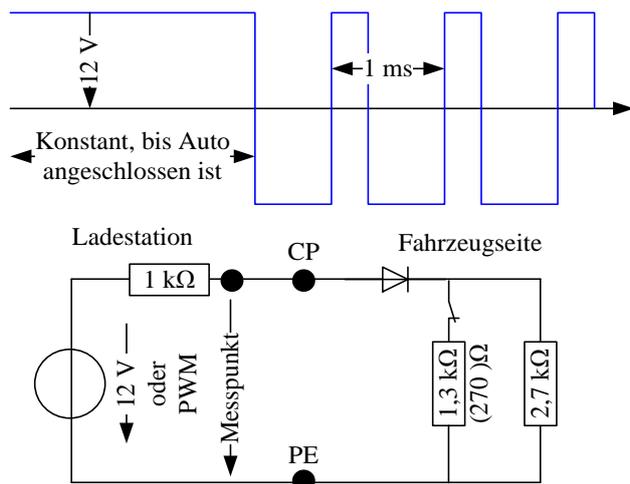
Die Typ2-Steckverbindung (vgl. **Abbildung 4.6**) gemäß der IEC 62196-2 ist in der Lage, in der Baugröße einer 16-A-CEE-Drehstromsteckdose dreiphasig Ströme bis zu 63 A zu übertragen. Da von dieser Steckdose aufgrund der hohen möglichen Absicherung eine potenzielle Gefahr im öffentlichen Raum ausgeht, darf keine Einschaltung der Steckdosen erfolgen, solange nicht sichergestellt ist, dass ein Elektrofahrzeug auf der Gegenseite angeschlossen ist. Daher sind zwei Signalkontakte in die Steckverbindung integriert worden, mit deren Hilfe die Leistungskontakte erst zugeschaltet werden, wenn eine sichere Fahrzeugverbindung besteht. Der erste dieser Kontakte ist der „Proximity Pilot“ (PP). Dieser ist auf Fahrzeug- und Ladestationsseite mit einem Widerstand gegen den Erdleiter (Earth / PE) verbunden. Der Wert des Widerstands steht stellvertretend für den Kabelquerschnitt und gibt somit an, wie groß die Stromtragfähigkeit des Kabels ist. **Tabelle 4.1** zeigt mögliche Werte des Widerstandes.

**Tabelle 4.1:** Widerstandstabelle Proximity Pilot gemäß IEC 61851

Widerstand PP-PE	1500 $\Omega$	680 $\Omega$	220 $\Omega$	100 $\Omega$
<b>max. Ladestrom</b>	13 A	20 A	32 A	63 A
<b>Querschnitt</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>

Da die beiden kableseitigen Steckverbinder mechanisch nicht kompatibel sind, ist eine Verlängerung der Anschlussleitung durch ein zweites Verbindungskabel sowohl mit einem gleichwertigen als auch einem anderen Kabelquerschnitt nicht möglich. Dies stellt eine zusätzliche Sicherheitsfunktion dar.

Der zweite Kommunikationskontakt ist der „Control Pilot“ (CP). Dieser Kontakt wird mit einem pulsweitenmodulierten Signal (PWM-Signal) belegt, welches die maximale Strombelastbarkeit der Ladestation codiert. Als Rückkanal wird der Schutzleiter verwendet. Auf diesem Weg erfolgt gleichzeitig auch eine ständige Überprüfung des Schutzleiters auf Durchgängigkeit (vgl. **Abbildung 4.7**). Durch unterschiedliche Widerstandskombinationen auf der Fahrzeugseite (vgl. **Tabelle 4.2**) wird der Ladestation der Zustand des Fahrzeuges mitgeteilt. Die Diode im Schaltkreis sorgt dafür, dass der am Messpunkt eintretende Spannungsabfall des PWM-Signals nur auf einer Halbwelle zu beobachten ist und verhindert somit ein Einschalten der Leistungsschütze beispielsweise bei einem widerstandsbehafteten Fehler zwischen PP und PE. Ein Widerstandswert kleiner als 880  $\Omega$  signalisiert der Ladestation eine Ladebereitschaft des Fahrzeuges, so dass die Station das Leistungsschütz zuschalten kann.



**Abbildung 4.7:** Darstellung des PWM-Signals und des Proximity-Signalkreises mit Autosimulation

**Tabelle 4.2:** Kommunikationswiderstände gemäß IEC 61851 für die Fahrzeugseite

Widerstand CP-PE	offen	2700 Ω	880 Ω	240 Ω
Status	Standby	Vehicle detected	ready	ready with ventilation

Durch Einstellung des Tastverhältnisses des PWM-Signals kann die Ladestation dem Elektrofahrzeug die an der Ladestation maximal mögliche Ladeleistung mitteilen. Die Berechnung zur Höhe des möglichen Ladestromes kann Tabelle 4.3 entnommen werden.

**Tabelle 4.3:** Tastverhältnis PWM-Signal gemäß IEC 61851

Tastverhältnis	Bedeutung
< 8 %	keine Ladung erlaubt
> 8 % - ≤ 10 %	Ladung mit 6 A
> 10 % - ≤ 85 %	Ladung mit Tastverhältnis · 0,6 A
> 85 % - ≤ 96 %	Ladung mit (Tastverhältnis-64 %) · 2,5 A
> 96 % - ≤ 97 %	Ladung mit 80 A
> 97 %	keine Ladung erlaubt

In der zukünftigen Norm ISO/IEC 15118 wird das Pilotsignal durch ein höher frequentes Signal überlagert, welches weitaus mehr Informationen über den Ladevorgang bidirektional übertragen kann – bspw. den aktuellen Ladezustand der Batterie.

Im Projektablauf sollen sowohl Elektrofahrzeuge, die mit einer herkömmlichen Schuko-Steckdose, als auch Fahrzeuge, die über eine Typ2-Steckdose laden, berücksichtigt werden. Durch die Sicherheitsphilosophie beim Laden von Elektrofahrzeugen über die Typ2-Steckdose ist das zeitlich gesteuerte Laden der Elektrofahrzeuge deutlich aufwendiger als dass lediglich das Schütz der Typ2-Steckdose eingeschaltet werden muss.

Die Norm IEC 61851, nach der die Elektrofahrzeuge des Feldversuchs gebaut sind, definiert nicht das Verhalten der Automobile für ein durch die Ladestation gesteuertes Laden. Aus die-

sem Grund reagieren die Elektrofahrzeuge grundsätzlich unterschiedlich, wie im Folgenden erläutert wird. Durch eine Untersuchung diverser Fahrzeugtypen konnten allerdings viele Gemeinsamkeiten im Fahrzeugverhalten ermittelt werden, so dass mithilfe von vier unterschiedlichen Ansteuerungen fast alle Fahrzeuge des Testfeldes erfolgreich zeitgesteuert geladen werden konnten. Da es sich bei der Kommunikation durch das PWM-Signal lediglich um eine rudimentäre Kommunikation handelt, ist es problematisch, wenn die Ladestation im Voraus nicht ermitteln kann, was für ein Elektrofahrzeug angeschlossen ist. Daher weiß die Ladestation nicht, auf welche Weise genau die Ladekommunikation stattfinden muss. Dadurch, dass die Ladestationen innerhalb des Forschungsvorhabens allerdings bei Privat- und Gewerbekunden installiert und somit einem festen Auto zugeordnet sind, ist ein individuelles Ladestationsverhalten für das zeitgesteuerte Laden tolerierbar. Weitere notwendige Informationen, wie die verfügbare Batteriekapazität und der Ladezustand, werden durch Nutzereingabe an der Ladestation abgefragt. In den folgenden Abschnitten werden die unterschiedlichen Lösungen der Fahrzeugansteuerungen vorgestellt, die im Projekt Anwendung finden.

#### **4.4.1 Schuko-Fahrzeuge**

Alle Elektrofahrzeuge, die innerhalb des Projektes über die Schuko-Steckdose geladen werden, beginnen den Ladevorgang selbstständig, sobald eine Spannung an der Steckdose anliegt.

Aus Sicherheitsgründen erfolgt in der Norm eine Begrenzung des Ladestroms auf 13 A an der Schuko-Steckdose. Dies ist erforderlich, weil durch die Bauart des Schuko-Stecksystems die Kontakte des Steckers nur wenig vor mechanischer Beschädigung geschützt sind und durch leichte Beschädigungen oder auch Verschmutzungen hohe Übergangswiderstände entstehen können. Ferner findet keine automatische Überprüfung statt, ob die Steckverbindung bis zum Anschlag gesteckt wurde. Durch die lange Belastungszeit bei hoher Ladeleistung kann dies zu starker Erwärmung und auch zu Bränden führen. Innerhalb des Projektes hat sich gezeigt, dass mehrere Elektrofahrzeuge sich nicht an die Norm halten und die Schuko-Steckdose über mehrere Stunden mit 16 A belasten, teils sogar noch mehr, da auf eine konstante Wirkleistung von 3,6 kW geregelt wird. Unter Einbeziehung der Blindleistung führt dies zu deutlich höheren Strömen, gerade wenn die Netzzinnenwiderstände an der Grenze des zulässigen Bereichs liegen.

Es zeigt sich, dass die Ladung von Elektrofahrzeugen über Schuko-Steckverbinder eine problematische Lösung ist, auch wenn sich die Ansteuerung und somit das zeitgesteuerte Laden in diesem Fall besonders einfach gestalten lassen.

#### **4.4.2 Typ2 - Fall A**

Eine Gruppe von Elektrofahrzeugen weist schon beim normalen Laden an vielen Ladesäulen Probleme auf. Dies liegt daran, dass die Fahrzeuge gleich nach dem Kabeleinsteckvorgang das PWM-Signal auf dem CP-Kontakt erwarten. Steckt der Fahrer zuerst das Kabel am Auto und dann erst in der Ladestation ein, fällt diese Gruppe sofort in einen Standby-Modus.

Durch ein kurzzeitiges Anlegen einer Gleichspannung von 12 V auf dem CP-Kontakt lässt sich die Fahrzeuggruppe allerdings beliebig oft wecken und der Ladevorgang kann erneut gestartet werden. Bei diesen Fahrzeugen lässt sich ein gesteuertes Laden ohne Probleme realisieren.

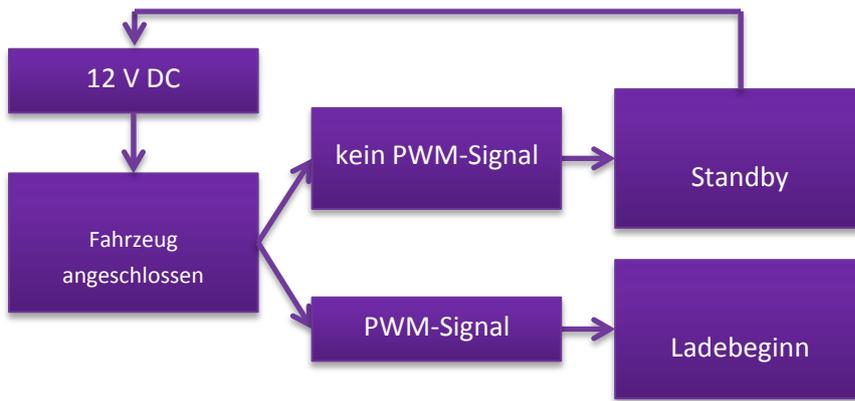


Abbildung 4.8: Ansteuerung von Elektrofahrzeugen über Typ-2 Variante A

#### 4.4.3 Typ2 - Fall B

Eine Sonderstellung nehmen die Elektrofahrzeuge eines einzelnen Herstellers ein. Sie verhalten sich ähnlich wie die Elektrofahrzeuge der Variante A, allerdings mit dem wesentlichen Unterschied, dass sie sich bis zu dreimal wecken lassen. Hierdurch ist eine Unterbrechung der Ladung bis zu zweimal möglich. Nach dem dritten Weckversuch fällt auch diese Fahrzeuggruppe in einen Fehlermodus. Ein gesteuertes Laden ist möglich, wenn beachtet wird, dass die Kommunikation erst bei Ladebeginn gestartet wird und der Ladevorgang zweimal vorzeitig beendet werden kann.

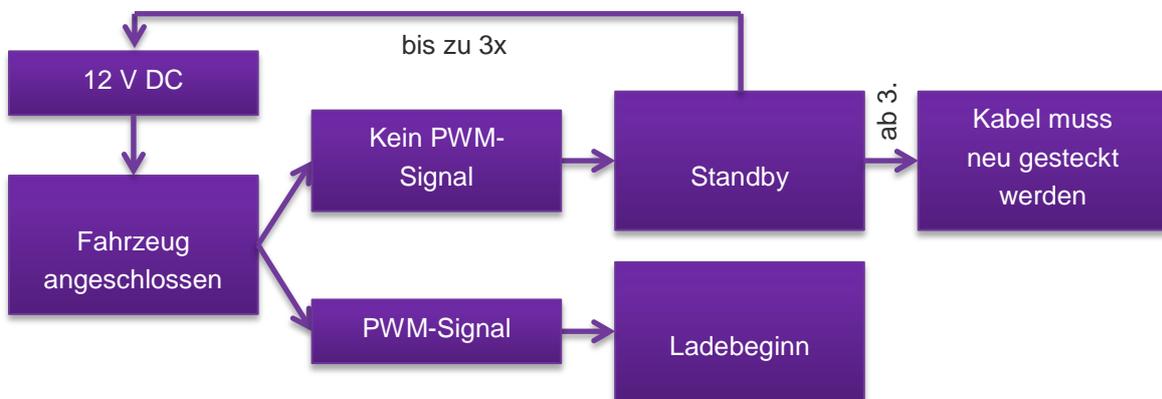


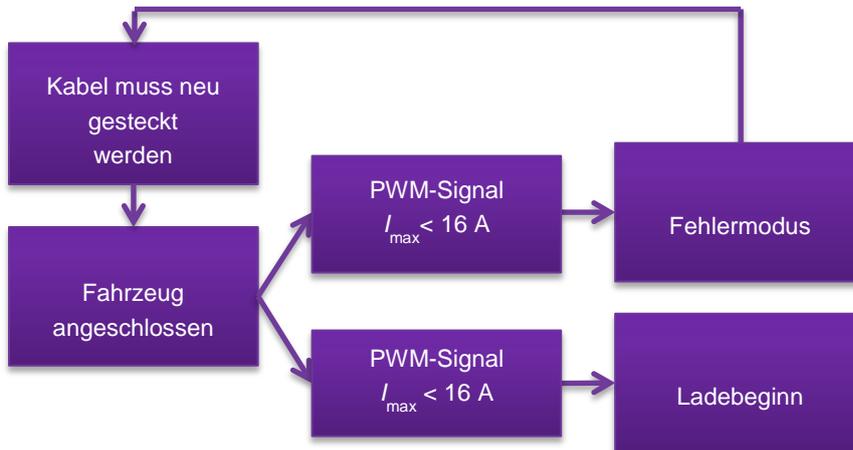
Abbildung 4.9: Ansteuerung von Elektrofahrzeugen über Typ-2 Variante B

#### 4.4.4 Typ2 - Fall C

Eine Gruppe von Elektrofahrzeugen weist die Eigenschaft auf, dass unmittelbar nach Beginn der PWM-Kommunikation eine Kontrolle der Netzspannung vorgenommen wird. Liegt diese nicht innerhalb von wenigen Sekunden an, fällt das Auto in einen Fehlermodus, der nur durch erneutes Kabelstecken verlassen werden kann. Aus diesem Grund erfolgt der Beginn der Ladekommunikation erst unmittelbar bevor die Ladung beginnen soll. Ein weiteres Problem dieser Elektrofahrzeuge ist es, dass eine Unterbrechung der Ladung nicht stattfinden darf, da ein erneutes Starten des Ladevorgangs auf Grund des Fehlermodus nicht möglich ist. Diese Eigenschaft kann dazu führen, dass das Elektrofahrzeug nicht weiter geladen werden kann, auch

wenn es nur zu einer kurzen Versorgungsunterbrechung der Ladestation kommt. Einige dieser Elektrofahrzeuge weisen ferner die Eigenschaft auf, dass eine Variation des Ladestromes nur oberhalb von 16 A möglich ist.

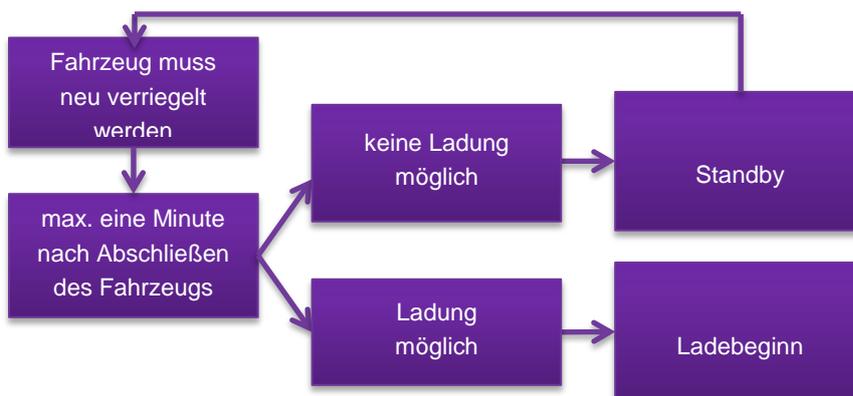
Ein gesteuertes Laden dieser Fahrzeuge ist möglich, wenn beachtet wird, dass die Kommunikation erst bei Ladebeginn gestartet wird, die Ladung nicht unter 16 A stattfindet und der Ladevorgang nicht vorzeitig beendet werden kann.



**Abbildung 4.10:** Ansteuerung von Elektrofahrzeugen über Typ-2 Variante C

#### 4.4.5 Typ2 - Fall D

Die letzte Fahrzeuggruppe weist keine Möglichkeit auf, eine zeitverzögerte Ladung zu realisieren. Sofern der Ladevorgang nicht innerhalb von einer Minute nach dem Abschließen des Fahrzeuges beginnt, fallen die Fahrzeuge in einen Standby-Modus, aus dem sie von der Ladestation nicht wieder geweckt werden können. In diesem Fall ist keine direkte Steuerung des Ladeverhaltens möglich, es kann lediglich eine Steuerung des Ladevorgangs durch eine Variation der Ladestromstärke erfolgen.



**Abbildung 4.11:** Ansteuerung von Elektrofahrzeugen über Typ-2 Variante D

Da im Feldversuch jeder Ladestation ein bestimmtes Fahrzeug zugeteilt ist, wurde jeder Ladestation folglich das zu diesem Fahrzeug passende individuelle Verhalten vorgegeben.

## 4.5 Entwicklung einer Leitwarte

Um den Zugriff durch alle am Projekt beteiligten Akteure zu vereinfachen, wurde die Leitwarte webbasiert realisiert. Dazu wurden am IfES ein VPN- sowie ein Web- und Datenbankservers aufgesetzt. Der VPN-Server dient dem Aufbau eines verschlüsselten privaten Netzwerkes auf Basis des Internets. Die Kommunikation und Steuerung der CCB erfolgt innerhalb dieses virtuellen privaten Netzwerkes.

Der Screenshot in **Abbildung 4.12** zeigt den Aufbau der Leitwarten-Oberfläche. Eine Interaktion der Teilnehmer mit der Leitwarte ist nicht vorgesehen, daher stand bei der Entwicklung vor allem die technische Umsetzung im Vordergrund. Die Ansicht unterteilt sich in folgende Unterseiten mit den aufgelisteten Eigenschaften:

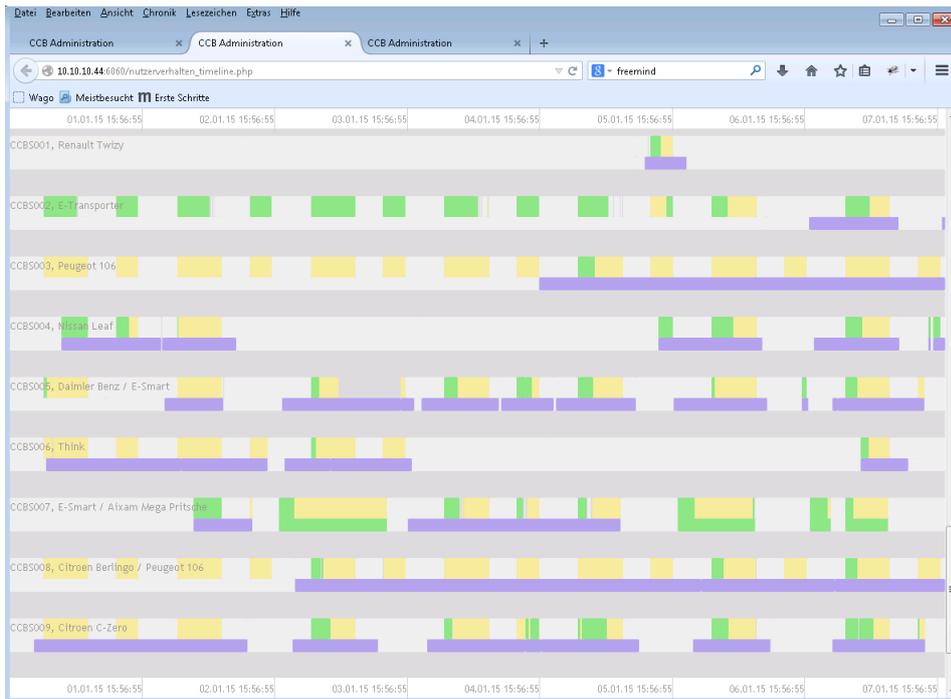
- Systemüberblick  
Statusmeldungen der Ladestationen
- Modus-Zeiten  
Eingabe der Schaltzeiten der Ladestationen für die Modi *smart1* und *smart2*
- CCB-Verwaltung  
Auswahl der angeschlossenen Fahrzeuge; Eingabe der maximal zulässigen Ladeströme
- Abrechnung und Prämienverwaltung  
Ausgabe und Korrekturmöglichkeit der von den Teilnehmern erzielten Prämien
- Messwertausgabe  
Export von Messwerten der Ladevorgänge mit variablen Zeitscheiben
- Nutzerverhalten  
tage-, wochen- und monatsweise grafische Ausgaben des Nutzerverhaltens; Filterungen nach bestimmen Nutzergruppen

The screenshot shows a web-based control room interface with a navigation bar at the top containing tabs for 'Systemüberblick', 'Modus-Zeiten', 'Boxverwaltung', 'Abrechnung', 'Prämienverwaltung', 'Messwerte', 'Nutzerverhalten', and 'Logout'. Below the navigation bar, there is a search field and a table with 10 columns: 'Box-ID/Online', 'letzte Meldung', 'Status', 'Verfügbarkeit wöchentlich', 'Meldung', 'abgerufene Leistung (W)', 'gewählter Modus', 'Modus-Zeit', and 'Prämienzähler'. The table contains 20 rows of data, each representing a charging station's status and performance metrics.

Box-ID/Online	letzte Meldung	Status	Verfügbarkeit wöchentlich	Meldung	abgerufene Leistung (W)	gewählter Modus	Modus-Zeit	Prämienzähler
	03.12.2014 - 23:01:59	gut	98,541 %	Stdos an, Auto lädt	6098	smart 1	03.12.2014 - 21:38:30	48 €
	03.12.2014 - 23:02:03	gut	93,225 %	Stdos an, Auto lädt	3596	smart 1	03.12.2014 - 19:23:37	52,5 €
	03.12.2014 - 23:02:06	gut	99,710 %	Stdos an, Auto lädt	3538	smart 1	03.12.2014 - 19:42:46	81 €
	03.12.2014 - 23:02:07	gut	99,764 %	Stdos an, Auto lädt	3500	smart 1	03.12.2014 - 17:53:59	16,5 €
	03.12.2014 - 23:02:04	gut	92,814 %	Stdos an, Auto lädt	3321	smart 1	03.12.2014 - 21:43:44	28,5 €
	03.12.2014 - 23:02:02	gut	93,228 %	Stdos an, Auto lädt	3148	smart 1	03.12.2014 - 19:17:52	76,5 €
	03.12.2014 - 23:02:03	gut	99,826 %	Stdos an, Auto lädt	2519	smart 1	03.12.2014 - 15:31:34	52,5 €
	03.12.2014 - 23:02:04	gut	99,897 %	Stdos an, Auto lädt	2222	smart 1	03.12.2014 - 18:12:35	57 €
	03.12.2014 - 23:02:01	gut	99,840 %	Stdos an, Auto lädt	1856	smart 1	03.12.2014 - 17:27:02	73,5 €
	03.12.2014 - 23:02:00	gut	91,553 %	Stdos an, Auto lädt	1598	smart 1	03.12.2014 - 12:35:43	58,5 €
	03.12.2014 - 23:02:00	gut	99,976 %	Regelenergie möglich	9	smart 1	24.11.2014 - 15:07:59	3 €
	03.12.2014 - 23:02:03	gut	96,338 %	Stdos an, Auto lädt nicht	2	sofort laden	01.12.2014 - 16:46:48	1,5 €
	03.12.2014 - 23:02:05	gut	97,777 %	Kabel verbunden	1	sofort laden	02.12.2014 - 17:25:46	3 €
	03.12.2014 - 23:02:02	gut	99,212 %	Kabel verbunden	1	Stop	03.12.2014 - 05:37:03	25,5 €
	03.12.2014 - 23:02:02	gut	99,229 %	kein Kabel eingesteckt	1	Stop	15.10.2014 - 10:48:11	1,5 €
	03.12.2014 - 23:02:02	gut	99,860 %	Stdos an, Auto lädt nicht	1	smart 1	03.12.2014 - 20:24:09	51 €
	03.12.2014 - 23:02:01	gut	99,732 %	Stdos an, Auto lädt nicht	1	smart 1	03.12.2014 - 19:28:41	45 €
	03.12.2014 - 23:02:01	gut	99,960 %	kein Kabel eingesteckt	1	Stop	01.12.2014 - 10:12:30	33 €

**Abbildung 4.12:** Grafische Oberfläche der Leitwarte

In **Abbildung 4.13** ist beispielhaft eine Möglichkeit der Auswertung des Nutzerverhaltens gezeigt.



**Abbildung 4.13:** Leitwarte - Überblick über das Nutzerverhalten

Auf Grund der Probleme mit den Displays in den Ladestationen und um den Nutzerkomfort zu steigern, erfolgte die Entwicklung einer weiteren webbasierten Schnittstelle für die TeilnehmerInnen, so dass eine Fernsteuerung der Ladestationen durch die Nutzer vom PC, Smartphone oder Tablet möglich wurde. Die vom ITD entwickelte Schnittstelle für das Touchdisplay konnte aus Handhabungsgründen nicht auf einer Webseite für mobile Geräte umgesetzt werden. Aus diesem Grund erfolgt eine an das Design angelehnte Neuentwicklung der Display-Software auf Basis von jQuery mobile (<http://jquerymobile.com/>). Für den Zugriff auf die Webseite wurde eine verschlüsselte Verbindung unter <https://ccb.iew.uni-hannover.de> aufgebaut. **Abbildung 4.14** zeigt einen Screenshot des mobilen Nutzerinterface.



**Abbildung 4.14:** Screenshot des mobilen Nutzerinterface

## **5. DURCHFÜHRUNG DES FELDVERSUCHS**

### **5.1 Rekrutierung der TeilnehmerInnen<sup>1</sup>**

Zur Erprobung der Lademodelle fand vom 27. Mai 2014 bis zum 31. August 2015 ein 15-monatiger Feldversuch mit 29 rekrutierten BesitzerInnen<sup>2</sup> von Elektroautos statt. Die Rekrutierung der Teilnehmer wurde von den Projektpartnern enercity und ITD gemeinsam vorgenommen. Das ITD entwickelte für die Rekrutierung den Screeningfragebogen, mit dessen Hilfe enercity potenzielle TeilnehmerInnen ansprechen und auswählen konnte. Die Rekrutierung hatte das Ziel, Besitzer von Elektrofahrzeugen, die ihre Elektrofahrzeuge aus eigenem Antrieb angeschafft hatten, für eine Teilnahme am Feldversuch zu gewinnen. Neben einer Varianz der demographischen Merkmale wurde vor allem auf eine Varianz von Elektrofahrzeugmodellen geachtet, um sicherzustellen, dass auch neuere Fahrzeugmodelle am Feldversuch teilnehmen konnten. Da einige Modelle (z. B. BMW i3) erst um den Jahreswechsel 2013/2014 käuflich erworben werden konnten, zog sich die Rekrutierungsphase bis ins Frühjahr 2014. Das angestrebte Ziel einer möglichst großen Modellvielfalt konnte erreicht werden.

Weitere 10 CCB wurden auf zwei Betriebshöfen von enercity installiert. Hier wurden Elektrofahrzeuge des Fahrzeugpools mit wechselnden Fahrern geladen.

### **5.2 Beschreibung des Feldversuches**

#### **5.2.1 Vertragsmanagement**

Für die Teilnehmergruppe des Feldversuches wurde ein Stromsondervertrag entwickelt, der den rechtlichen und datenschutzrechtlich Anforderungen entspricht. Der Vertrag regelt alle Belange der Installation und Nutzung der CCB im Feldversuch sowie die Teilnahme an den Befragungen der Nutzer und die Prämienzahlungen. Der Vertrag regelt nicht die Stromlieferung an die Kunden, diese wurde unabhängig vom Projekt weitergeführt wie bisher.

#### **5.2.2 Durchführung des Feldversuches**

Im Rahmen der Vorbereitung des Feldversuches wurden die möglichen Teilnehmenden von der eCG telefonisch kontaktiert und über das Vorhaben informiert.

Im Rahmen der Vertragsabschlüsse, zu der auch eine Vereinbarung zur Datensicherheit erstellt werden musste, wurden für die Fragen der TeilnehmerInnen eine telefonische Service Nummer sowie eine E-Mail Adresse zur Verfügung gestellt.

---

<sup>1</sup> Im Folgenden wird die Endung „Innen“ abwechselnd neben geschlechtsneutralen Formulierungen und der männlichen Form verwendet. Alle Formulierungen beziehen sich auf denselben Teilnehmerkreis, der aus 26 (27) Männern und 3 Frauen besteht.

<sup>2</sup> Der Feldversuch startete am 27. Mai 2014 mit 30 Teilnehmern. Im Laufe der Längsschnitterhebung gab es allerdings einen Paneldropout nach der Hälfte der Feldversuchsphase. In den Messwertauswertungen werden die Daten des Paneldropouts berücksichtigt, in den sozialwissenschaftlichen Analysen wird er entfernt.

Zur Vorbereitung der Installation der CCB vor Ort wurden zur Aufnahme des technischen Klärungsbedarfs Schulungworkshops mit den Installateuren durchgeführt. Im nächsten Schritt erfolgte eine telefonische Vorabklärung zur Hausinstallation, der benötigten Ladeleistung und der erforderlichen Steckervariante, um die zwei verschiedenen Modelle der CCB mit unterschiedlichen Anschlüssen bedarfsgerecht den Teilnehmern zuzuordnen.

Bei der Hälfte der Teilnehmenden erfolgte ein erster Besuch vor Ort, um die erforderlichen Änderungen an der Hausinstallation aufzunehmen und das weitere Vorgehen zur Umsetzung abzustimmen. Die Installation der Boxen vor Ort erfolgte dann bei diesen Teilnehmern erst beim zweiten Besuch, bei dem dann auch die Bedienung der Box ausführlich erklärt wurde.

Bei einigen Teilnehmenden waren in der Folge weitere Besuche aufgrund technischer Defekte oder Funktionsstörungen erforderlich, deren Ursachen im Folgenden erläutert werden.

- Installation einer zusätzlichen Außenantenne bei einem Teilnehmer aufgrund des schwachen Mobilfunknetzes
- Ausfälle der Touch-Displays aufgrund zu hoher Sonneneinstrahlung
- Halbjährliche Prüfung des FI-Schalters
- Einschalten von ausgelösten FI-Schaltern
- Austausch von zwei defekten FI-Schaltern mit einer temperaturabhängigen Fehlauslösung bei etwa 30 °C
- Austausch eines mechanisch auseinandergefallenen Ladeschützes

Besonders die Ausfälle der Displays führten zu großen Problemen und erforderten immer wieder Anfahrten seitens der Techniker. Da die Displays nur teilweise als Reklamation akzeptiert wurden, mussten zusätzliche Displays beschafft werden. Um die Zahl der erforderliche Anfahrten bezüglich dieser Problematik und die Dauer der Ausfälle der Boxen zu reduzieren, wurde in der Werkstatt der eCG eine Nachrüstung zum Sonnenschutz entwickelt und gebaut, der dann anschließend bei allen Teilnehmern mit Boxen im Außenbereich nachgerüstet wurde.

Mitarbeiter der eCG begleiteten den Feldversuch in den vier vorgesehenen Phasen (1. Feldphase ohne Anreiz als Referenzphase, 3 Phasen mit unterschiedlichen Anreizen). Jede Versuchsphase begann mit einer Erläuterung des Tarifs sowie der energiewirtschaftlichen Zusammenhänge, die in die Produktentwicklung eingeflossen sind. Darüber hinaus wurde erläutert, wie die Nutzer idealerweise ihr Ladeverhalten dem Tarif anpassen können. Die Versuchsteilnehmer konnten sich jederzeit an die eCG wenden, wenn sie weitere Fragen zum Versuch hatten.

Auf Basis des Abgleichs der aufbereiteten Informationen aus den CCB mit den Restriktionen der jeweiligen Versuchsphase durch die eCG berechnete die eCG die Prämie, die an die Teilnehmenden ausgezahlt wurde. Die Teilnehmenden konnten in jeder Versuchsphase mit vorgegebenem Anreiz bis zu 500 € Prämie erhalten. Die Höhe der Prämie richtete sich danach, in welchem Umfang die Nutzer die angebotenen Lademodelle der jeweiligen Versuchsphase ausgewählt hatten.

Den Teilnehmenden wurden im Verlauf des Feldversuchs insgesamt drei Veranstaltungen angeboten. Neben dem Treffen der Teilnehmer und der Möglichkeit zu einem Austausch fanden Vorträge mit Informationen zum Feldversuch, zu energiewirtschaftlichen Veränderungen und der Zukunft mit Elektromobilität statt. Beim dritten Treffen war das Hauptthema eine Gruppendiskussion, welche die Möglichkeit bot, einige Aspekte der Geschäftsmodelle abschließend mit der Teilnehmergruppe zu diskutieren. Diese Veranstaltungen fanden bei den Teilnehmenden eine große Resonanz.

Nach Beendigung des Feldversuchs führte die eCG den Rückbau der Ladestationen innerhalb von ca. 8 Wochen durch und stellte bei jedem Teilnehmer vor Ort den ursprünglichen Zustand wieder her.

## 6. ERGEBNISSE DER MESSWERTAUSWERTUNG

In diesem Kapitel werden auf den Messdaten basierende Auswertungen dargestellt. Diese Auswertungen stellen grundlegende Aussagen zum Ladeverhalten sowie zur Akzeptanz der Lademodelle dar, die zur weiteren Verwendung bei der Konzeption von massentauglichen Stromprodukten genutzt werden sollten. Das Potenzial der Nutzung von Elektrofahrzeugen im Regelenenergiemarkt wird in Abschnitt 9.2 und Abschnitt 9.3 untersucht und erläutert.

### 6.1 Auswertungen der Messwerte der TeilnehmerInnen

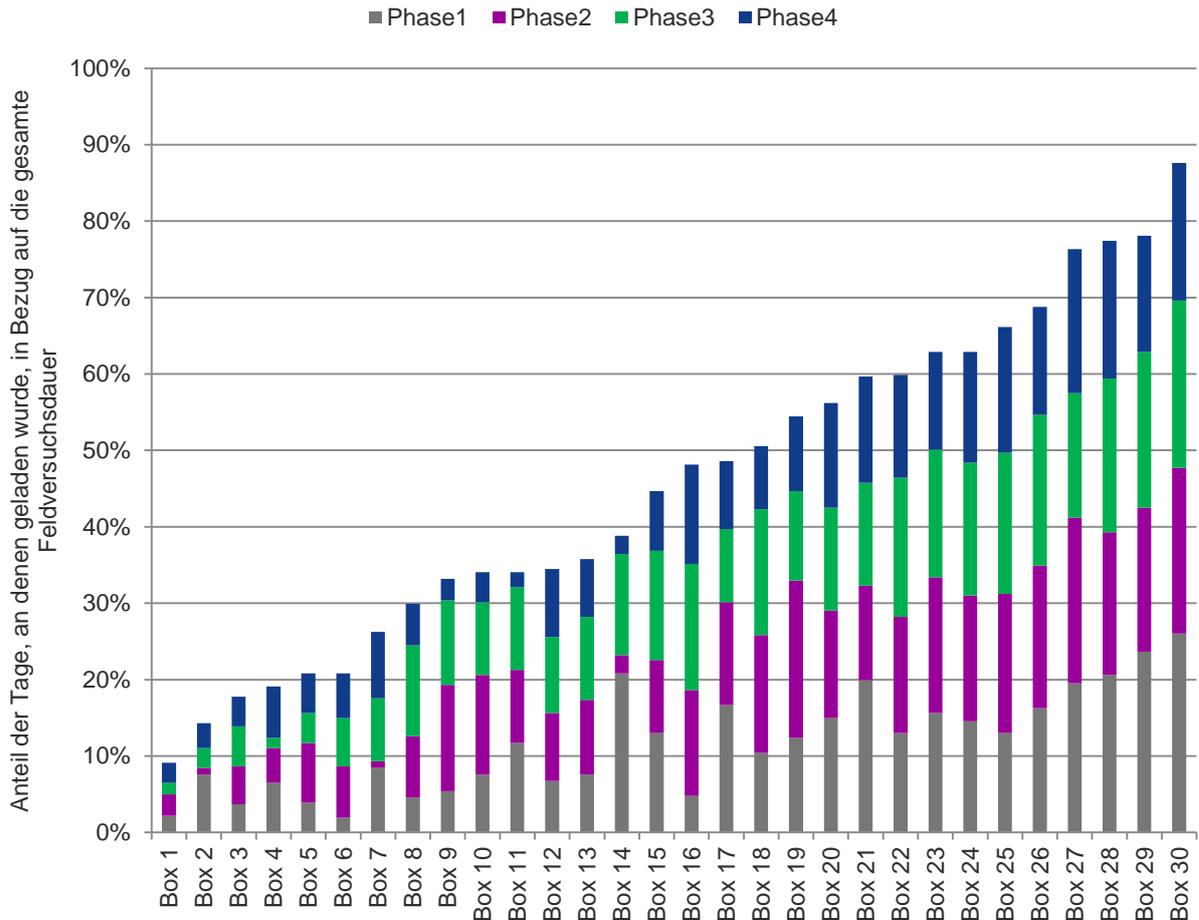
Während des Feldversuches zeigte sich, dass sich die Nutzung der CCB durch die TeilnehmerInnen stark von der Nutzung der CCB auf dem Betriebsgelände von enercity unterscheidet. Daher wurden die Auswertungen getrennt nach den Ladestationen der TeilnehmerInnen und den CCB auf dem Betriebsgelände durchgeführt. Zunächst werden die Auswertungen der Messwerte der Ladestationen der TeilnehmerInnen dargestellt, die Auswertung der CCB auf dem Betriebsgelände erfolgt anschließend in Abschnitt 6.2.

Wie später in Abschnitt 7.2.2 beschrieben, erfolgte bei der sozialwissenschaftlichen Auswertung ein Panel-Drop-out. Somit wurde die sozialwissenschaftliche Befragung nur mit 29 TeilnehmerInnen durchgeführt. Die dargestellten Auswertungen beinhalten jedoch die Messwerte aller 30 Ladestationen. Diese Entscheidung ist bewusst getroffen worden. Der Teilnehmer hat innerhalb der vier Feldphasen regelmäßig geladen. Nur für den Zeitraum von Anfang Juli 2015 bis Ende August 2015 wurde nicht geladen. Ähnlich lange Ausfälle sind jedoch auch bei anderen Ladestationen vorgekommen, z. B. bei der Einlagerung eines Elektrofahrzeugs über Winter oder aufgrund von Unfällen. Um nicht alle Ladestationen, an denen über einen gewissen Zeitraum nicht geladen wurde, aus der Auswertung nehmen zu müssen, wurde entschlossen, auch die Box des Panel-Drop-out insgesamt zu betrachten. Ein weiterer wesentlicher Grund für die Verwendung aller Messwerte ist zudem, dass die verschiedenen Ausfälle auch in der Realität regelmäßig vorkommen und somit in die Auswertung einbezogen werden sollten.

#### 6.1.1 Häufigkeit der Ladevorgänge

In der **Abbildung 6.1** wird die prozentuale Nutzung der einzelnen Ladestationen anonymisiert dargestellt. Dabei wurde ausgewertet, an wie vielen Tagen die einzelnen Ladestationen der TeilnehmerInnen geladen haben in Bezug auf den gesamten Feldversuchszeitraum. Der Mittelwert der Nutzung liegt bei den TeilnehmerInnen bei 45,7 %. Der Median, der robust gegen Ausreißer ist, liegt nahe des Mittelwertes bei 46,4 %.

Diese Abbildung zeigt aber, dass es eine starke Streuung der Häufigkeit der Ladevorgänge bei den TeilnehmerInnen gibt, dies zeigt auch die Standardabweichung von 21,0 %. Sowohl TeilnehmerInnen nahmen am Feldversuch teil, die nur selten ihr Elektrofahrzeug zuhause laden, als auch Personen, die diese Lademöglichkeit mit bis zu 87,6 % aller Tage sehr häufig nutzten. Diese Auswertung zeigt, dass keine homogene Versuchsgruppe vorliegt und dass Mittelwerte nur sehr wenig über das einzelne Nutzerverhalten aussagen können.

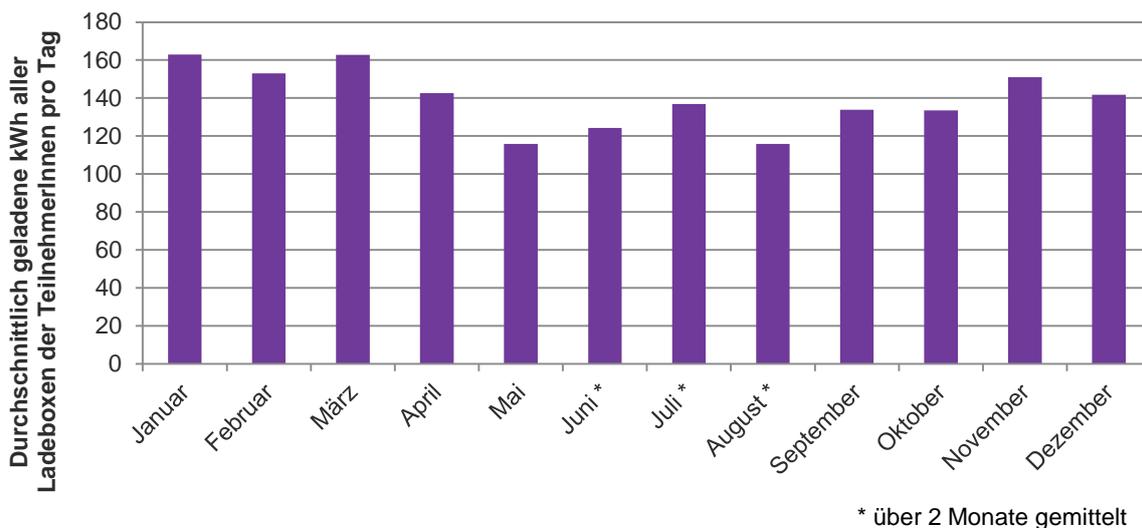


**Abbildung 6.1:** Prozentuale Nutzungshäufigkeit der einzelnen Ladestationen der TeilnehmerInnen während des Feldversuchs

Diese große Streuung innerhalb der Versuchsgruppe sollte bei der späteren Entwicklung von Geschäftsmodellen beachtet werden, da dies auf unterschiedliche Nutzergruppen hindeutet. Eine Unterteilung in unterschiedliche Nutzergruppen, die allein auf den Ladedaten basieren, konnte bei den vorliegenden Auswertungen jedoch nicht vorgenommen werden, da keine signifikanten Unterscheidungsmöglichkeiten identifiziert wurden. Dies erfolgt erst in Kapitel 7 unter Berücksichtigung der sozialwissenschaftlichen Auswertungen. Die Auswertung zeigt aber auch, dass sich bei einigen TeilnehmerInnen die Nutzung in einzelnen Feldphasen deutlich von den anderen Feldphasen unterscheidet. So zeigen beispielsweise die „Box 7“ und die „Box 14“ in der zweiten Feldphase eine deutliche geringere Teilnahme als innerhalb der übrigen Feldphasen.

### 6.1.2 Ladebedarf nach Monaten

Für die Feststellung eines variierenden Ladebedarfs in Abhängigkeit der Jahreszeiten wurde der Ladebedarf der Ladestationen der TeilnehmerInnen in Abhängigkeit der einzelnen Monate in **Abbildung 6.2** dargestellt. Dabei wurde der Ladebedarf des jeweiligen Monats auf die Anzahl der Tage bezogen, um die Auswirkung der unterschiedlichen Monatslängen in der Auswertung zu eliminieren. In den Monaten Juni bis August lagen Messwerte aus den Jahren 2014 und 2015 vor, so dass der Durchschnitt aus den beiden Zeiträumen ermittelt wurde.



**Abbildung 6.2:** Energiebedarf an den Ladestationen der TeilnehmerInnen nach einzelnen Monaten

In den Sommermonaten zeigte sich, dass weniger geladen wurde als in den Wintermonaten. Der tendenziell höhere Energiebedarf in den Wintermonaten könnte durch die Nutzung der Heizung hervorgerufen werden. Im Dezember ist der Ladebedarf auch geringer als in den anderen Wintermonaten.

Dieses sind jedoch alles keine belegten Erklärungen, sondern nur mögliche Überlegungen zu dem in **Abbildung 6.2** dargestellten Verlauf. Zumindest lässt sich aber anhand der Messwerte eindeutig feststellen, dass gewisse Schwankungen auftreten können.,

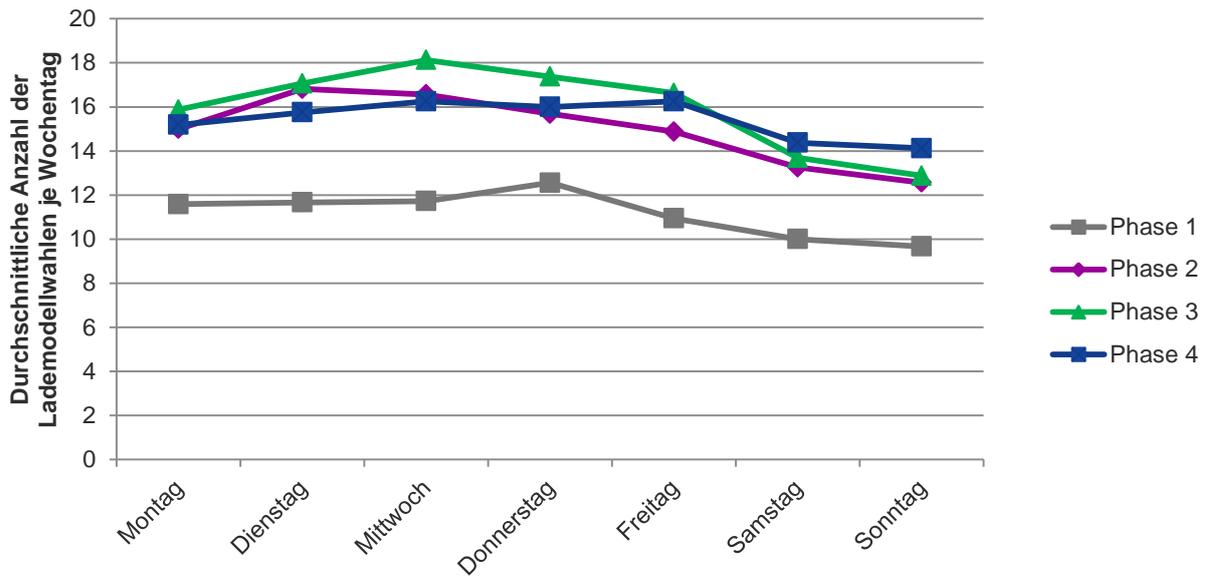
### 6.1.3 Verteilung der Ladevorgänge je nach Wochentag

Um eine Aussage treffen zu können, ob das Verhalten der Nutzer an den einzelnen Wochentagen unterschiedlich ist, wurde eine Auswertung zu den Wahlen der Lademodelle je nach Wochentag erstellt. Dabei wurde ermittelt, an wie vielen Ladestationen ein Ladevorgang am jeweiligen Tag gestartet wurde und ein Mittelwert über den gesamten betrachteten Zeitraum ermittelt. Es zeigt sich, dass in allen vier Feldphasen am Wochenende weniger Ladevorgänge gestartet wurden als Werktags. Eine Aussage, dass ein bestimmter Werktag vermehrt zum Laden genutzt wird, kann anhand der vorliegenden Daten nicht getroffen werden, da die Werte für die Werkstage in derselben Größenordnung liegen.

Anhand der durchschnittlichen Anzahl der Lademodellwahlen je Wochentag (vgl. **Abbildung 6.3**) kann festgestellt werden, dass in der ersten Phase deutlich weniger TeilnehmerInnen einen Ladevorgang starteten als in den darauffolgenden Phasen.

In der ersten Feldphase sollten die Nutzer wie gewohnt weiter laden. Nur der sofortige Ladestart (*sofort-Laden*) war möglich. Erst in der zweiten Phase hatten die Nutzer eine Wahl zwischen dem Lademodell *sofort-Laden* und dem Lademodell *smart1*. Eine Erklärung der im Durchschnitt häufigeren Nutzung der Ladestationen könnte sein, dass sich die TeilnehmerInnen zunächst an die Ladestation gewöhnen mussten, oder dass ab der zweiten Feldphase häufiger

das Elektrofahrzeug angeschlossen wurde, um ein Lademodell mit Incentivierung zu wählen.

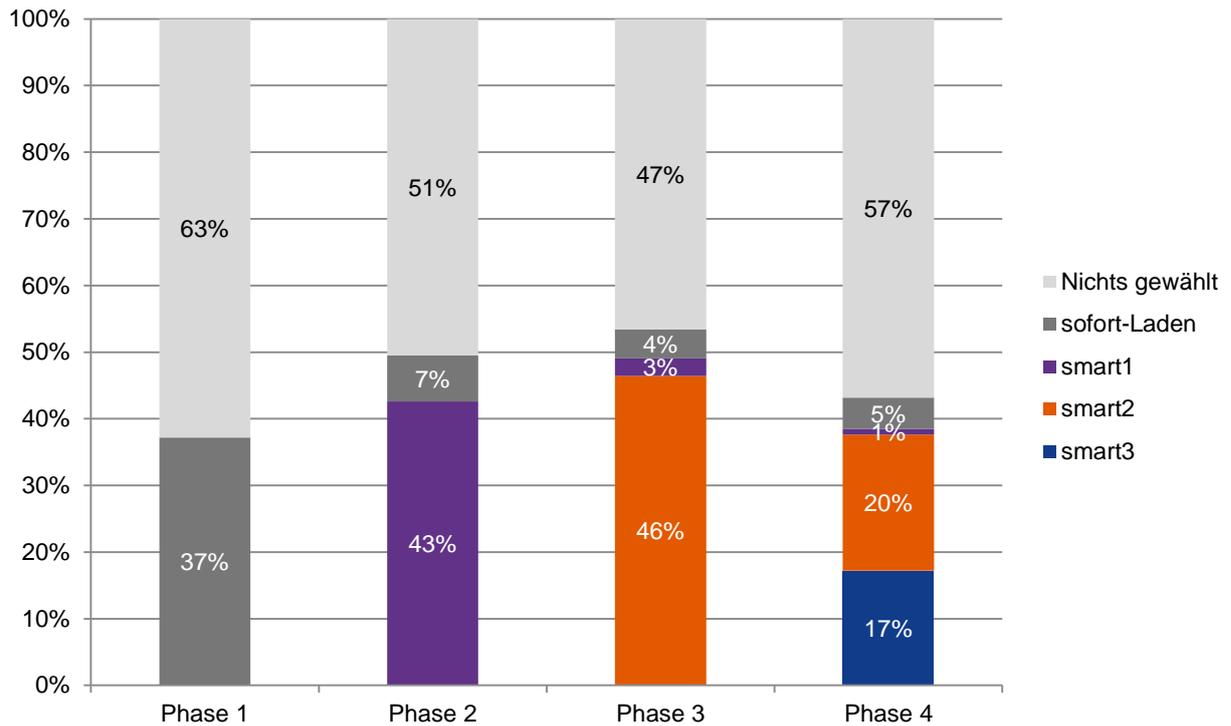


**Abbildung 6.3:** Durchschnittliche Häufigkeit der Lademodellwahl durch die TeilnehmerInnen nach Wochentagen in den Feldphasen 1 bis 4

### 6.1.4 Gewählte Lademodelle

Für die Entwicklung von Geschäftsmodellen ist insbesondere die Kenntnis der Akzeptanz der Lademodelle eine wesentliche Information. Die Ergebnisse, die aus den einzelnen Versuchsphasen gewonnen werden konnten, werden im Folgenden dargestellt und zur Konzeption von massentauglichen Stromprodukten verwendet (siehe Kapitel 10).

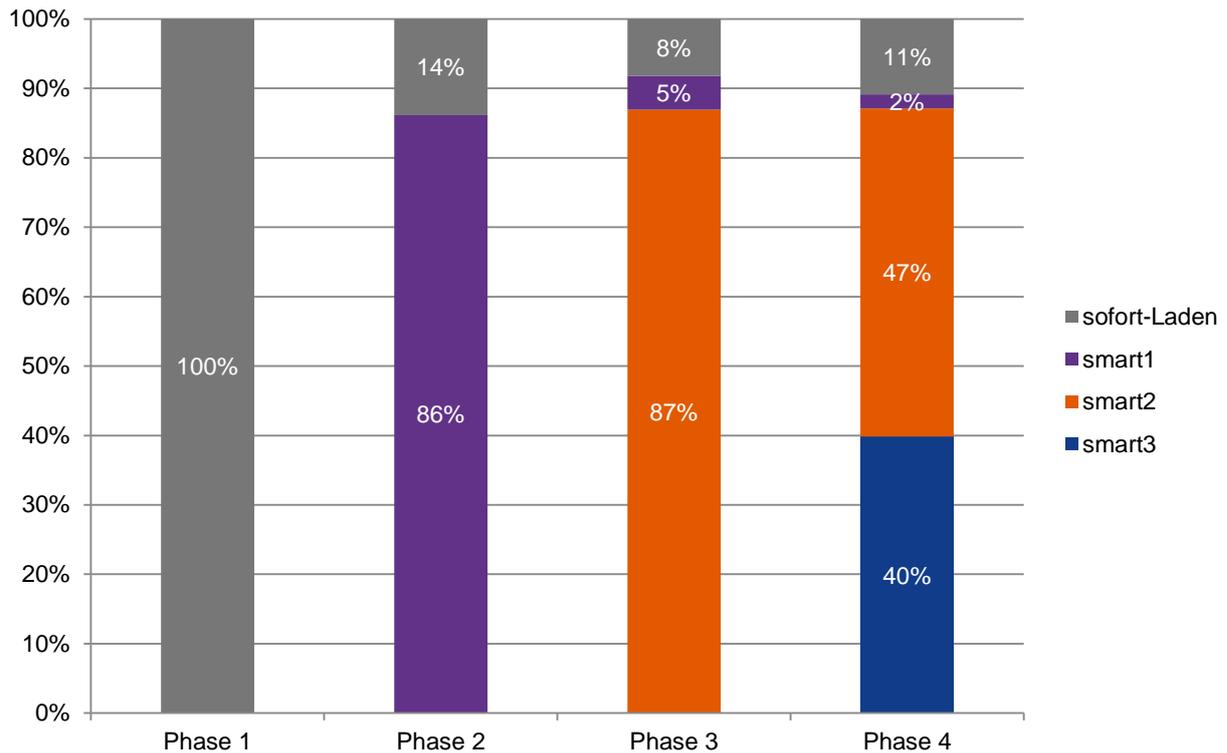
Für die Betrachtung der Häufigkeit der Nutzung der einzelnen Ladeprogramme wurde betrachtet, welcher Modus am jeweiligen Kalendertag gewählt wurde. Sind verschiedene Ladeprogramme am selben Tag gewählt worden, so wurde jeweils das Ladeprogramm gewertet, für welches die Teilnehmerin/der Teilnehmer die Prämie erhielten. Dabei handelte es sich in der Regel um das Lademodell mit der niedrigeren Prämie.



**Abbildung 6.4:** Wahlverhalten der TeilnehmerInnen in den einzelnen Versuchsphasen inkl. der Nichtwahlen

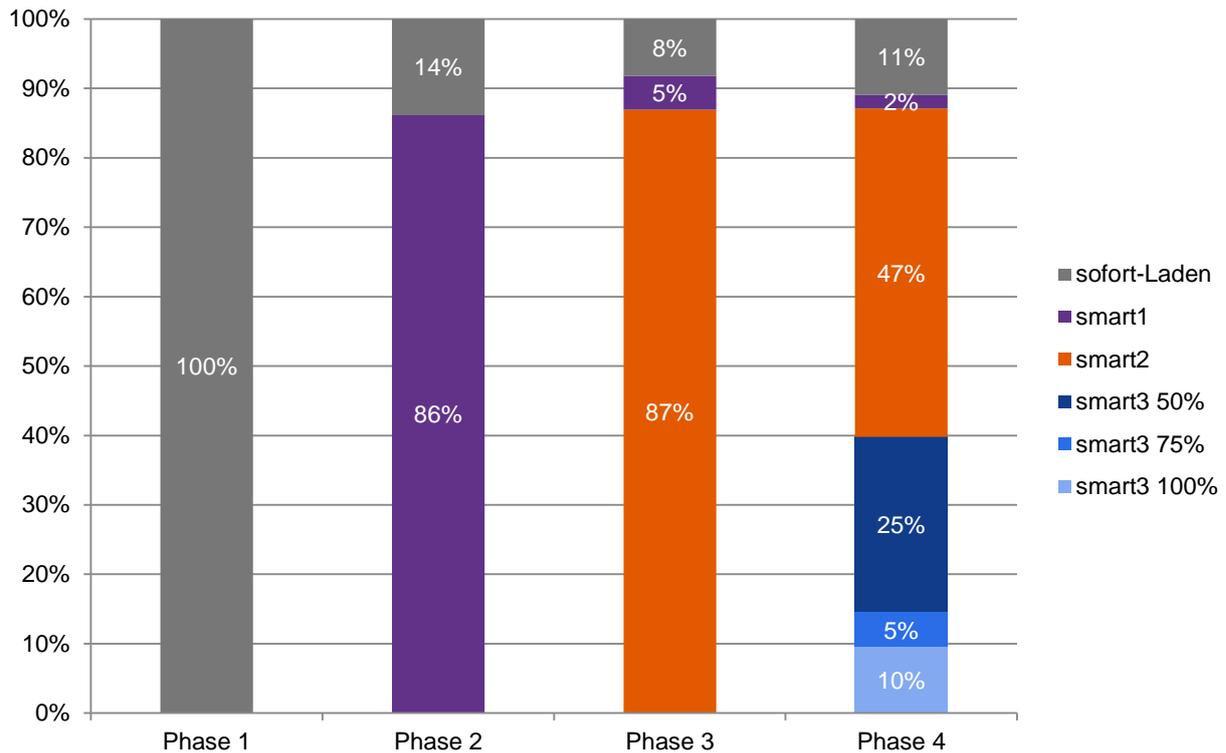
Zunächst wird das Wahlverhalten der TeilnehmerInnen inkl. der Nichtwahlen betrachtet (vgl. **Abbildung 6.4**). Diese Darstellung zeigt deutlich, dass in der Referenzphase (erste Versuchsphase) deutlich weniger Versuchsteilnehmer über die CCB luden als nach Einführung der anreizgesteuerten Lademodelle.

Für eine bessere Übersichtlichkeit wurde in **Abbildung 6.5** nur die prozentuale Verteilung der gewählten Lademodelle dargestellt. Es zeigte sich, dass eine hohe Nutzung der gesteuerten Lademodelle bei den Nutzern vorhanden war. Vor allem das Ladeprogramm *smart2* wurde in der dritten Feldphase, in der es eingeführt wurde, besonders häufig gewählt.



**Abbildung 6.5:** Wahlverhalten der TeilnehmerInnen in den einzelnen Versuchsphasen

Die Wahlhäufigkeit von *smart3*, das in der vierten Feldphase eingeführt wurde, war innerhalb dieser Feldphase sogar geringer als die Wahlhäufigkeit von *smart2*. Eine Untergliederung der Wahlen von *smart3* wurde in **Abbildung 6.6** vorgenommen. Es zeigt sich, dass der überwiegende Teil der *smart3*-WählerInnen als gewünschten Akkuladestand für die Abfahrt 50 % gewählt hat.

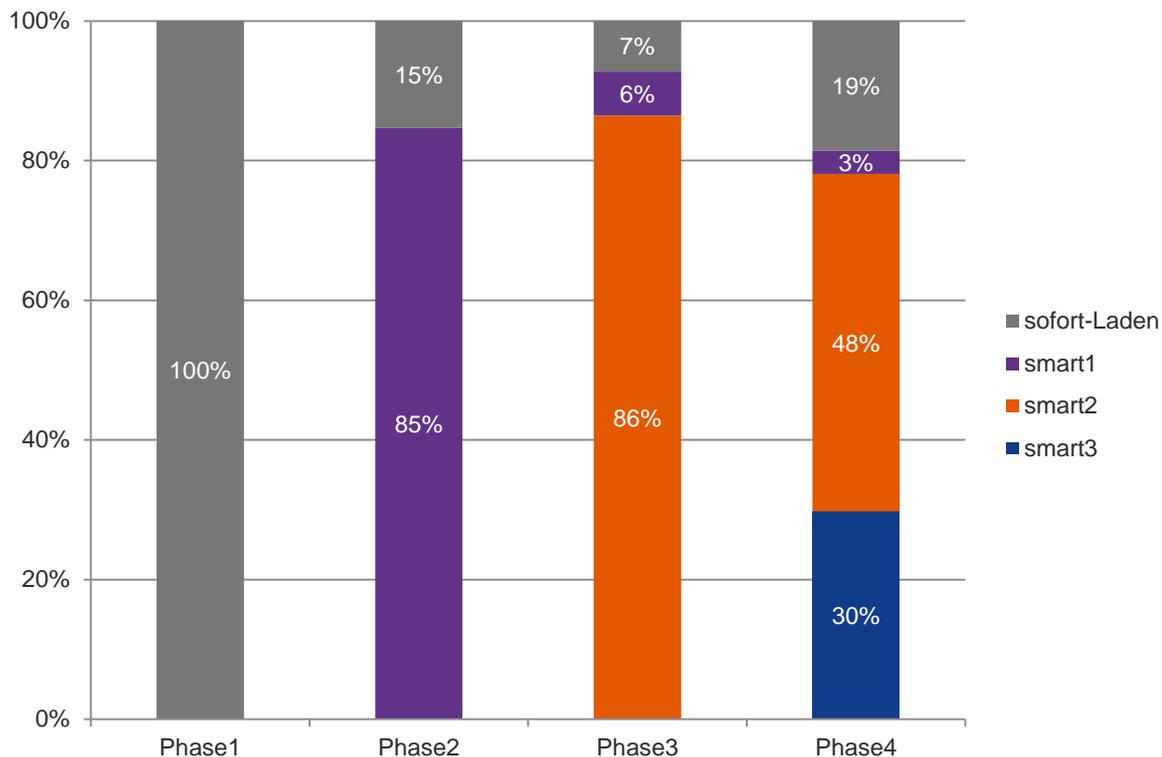


**Abbildung 6.6:** Wahlverhalten der Lademodelle in den einzelnen Versuchsphasen durch die TeilnehmerInnen

### 6.1.5 Geladene Energiemenge der einzelnen Lademodelle

In Abschnitt 6.1.4 wurde ausschließlich das Wahlverhalten analysiert. Um Aussagen über die Nutzung der Lademodelle treffen zu können, wurde die jeweils geladene Energiemenge durch die einzelnen Lademodelle ermittelt. Dazu wurden die Messwerte der Leistung der einzelnen Ladestationen mit der letzten zuvor getätigten Wahl des Lademodells verknüpft. Somit kann gezeigt werden, welche Energiemenge flexibel verschoben werden konnte. Die **Abbildung 6.7** zeigt, dass die geladene Energiemenge beim jeweils gewählten Lademodell annähernd dem Wahlverhalten der Lademodelle aus Abschnitt 6.1.5 entspricht.

Nur in der vierten Phase tritt vor allem bei *smart3* eine große Differenz zwischen der prozentualen Lademodellwahl von 42 % und der prozentual durch dieses Lademodell geladenen Energiemenge von 30 % auf. Dieser Unterschied lässt sich auf die nicht vollständige Ladung der Fahrzeuge bei der Wahl eines geringeren Ladezustands (*smart3* 50 % und *smart3* 75 %) zurückführen.

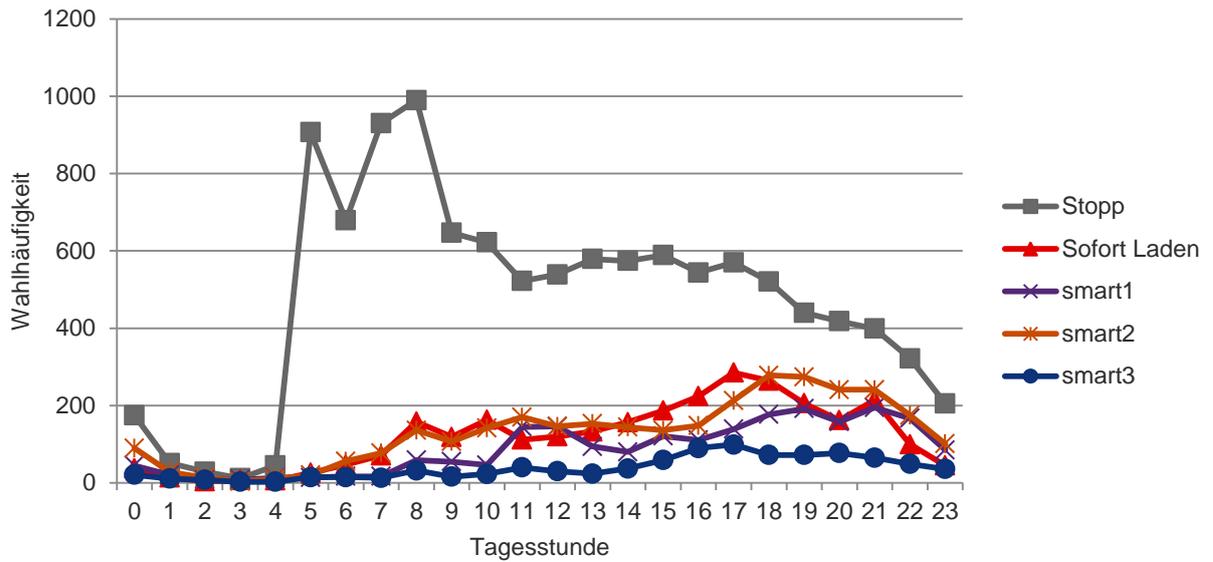


**Abbildung 6.7:** Prozentuale Verteilung der geladenen Energiemenge der Ladestationen der TeilnehmerInnen je nach Lademodell

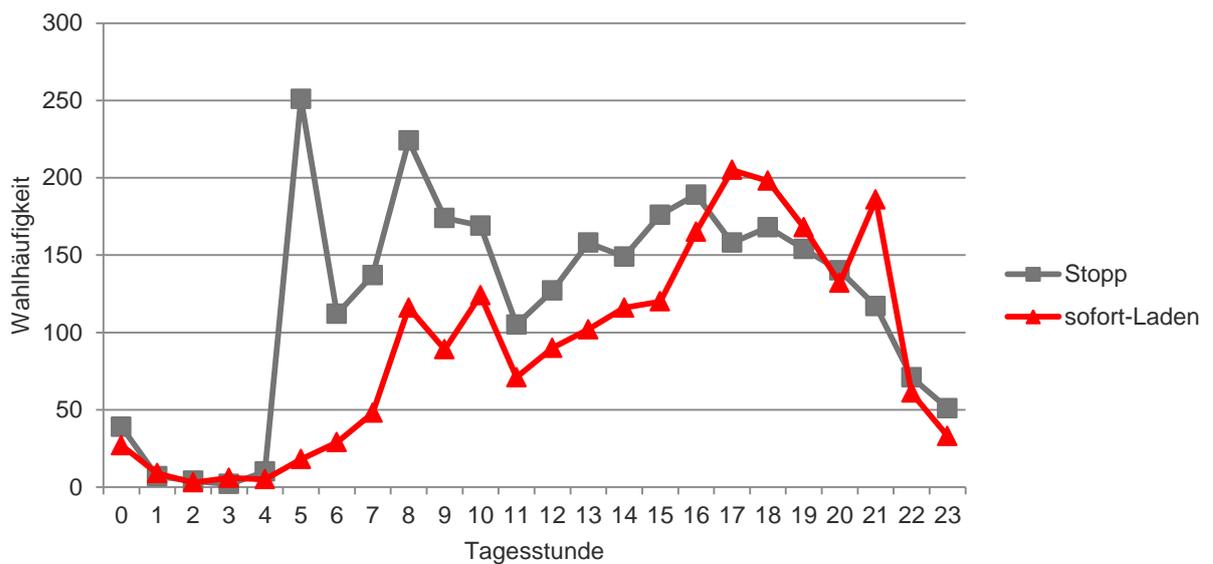
### 6.1.6 Zeiten der Lademodellwahlen

Die folgenden Auswertungen zeigen das Verhalten der TeilnehmerInnen im Hinblick auf die Startzeiten der Ladevorgänge und die Zeiten, an denen diese beendet werden. Dabei wurde in Stundenkategorien ausgewertet, wie häufig innerhalb der Zeitspanne das Ladeprogramm innerhalb des betrachteten Zeitraums von den TeilnehmerInnen gewählt wurde. Zur Stundenkategorie 0 zählt dabei beispielsweise der Zeitraum von 00:00:00 Uhr bis 00:59:59 Uhr.

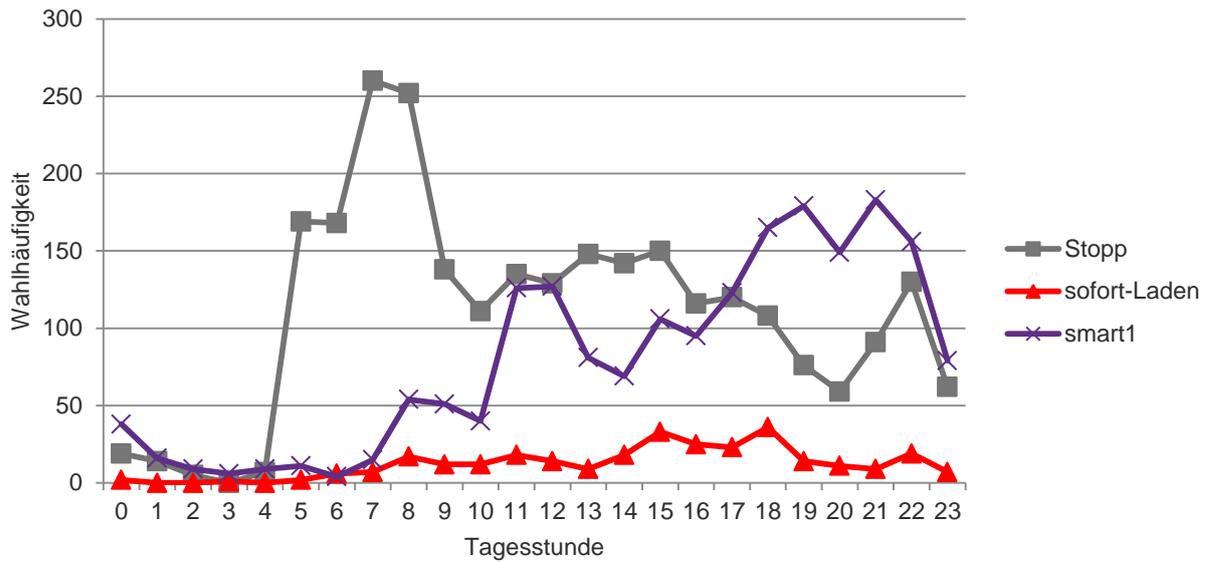
Ein Abbruch des Ladevorgangs mittels der Stopp-Taste wurde allgemein in den Morgenstunden am häufigsten vorgenommen. In Feldphase 1 konnte nur *sofort-Laden* gewählt werden, daher ist der Anteil der Wahl dieses Lademodells in der Gesamtübersicht (**Abbildung 6.8**) hoch. Bei einer Differenzierung nach den einzelnen Phasen zeigt sich, dass in den Phasen, in denen weitere Lademodelle angeboten werden, die Wahl von *sofort-Laden* gehäuft in der Mittags- und Nachmittagszeit auftritt und in den Abendstunden vorwiegend ein gesteuertes Lademodell ausgewählt wird (vgl. z. B. **Abbildung 6.10** und **Abbildung 6.11**).



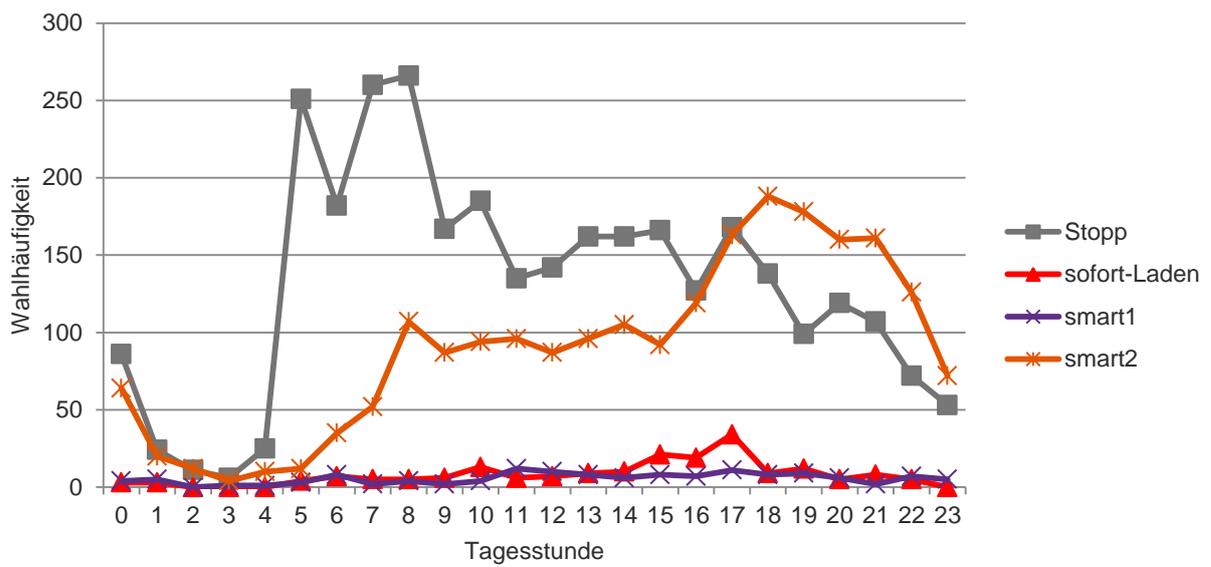
**Abbildung 6.8:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle während des gesamten Feldversuchs durch die TeilnehmerInnen



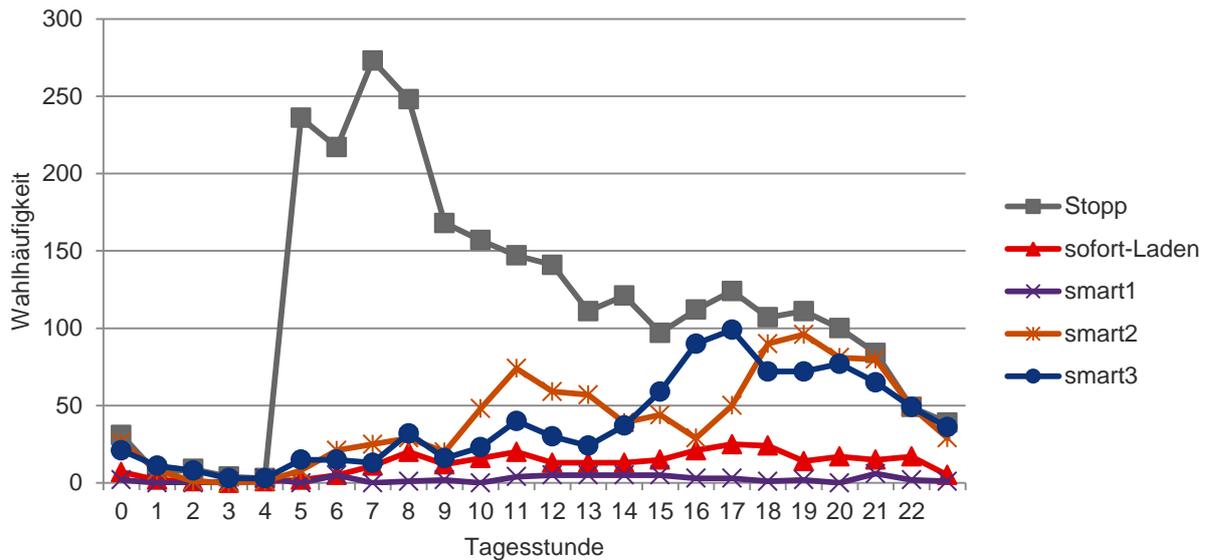
**Abbildung 6.9:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 1 durch die TeilnehmerInnen



**Abbildung 6.10:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 2 durch die TeilnehmerInnen



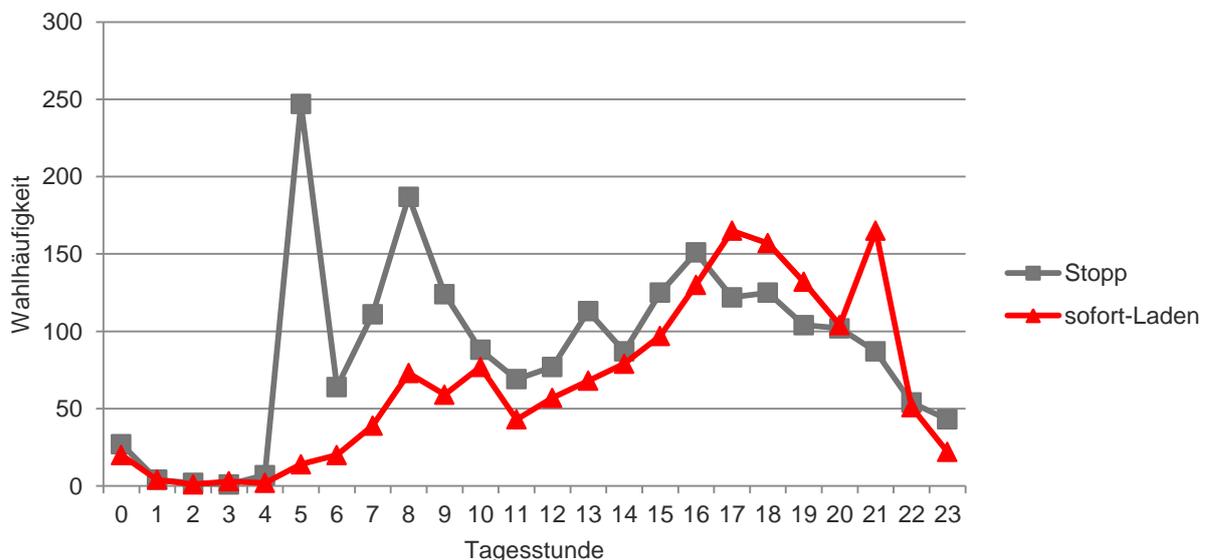
**Abbildung 6.11:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 3 durch die TeilnehmerInnen



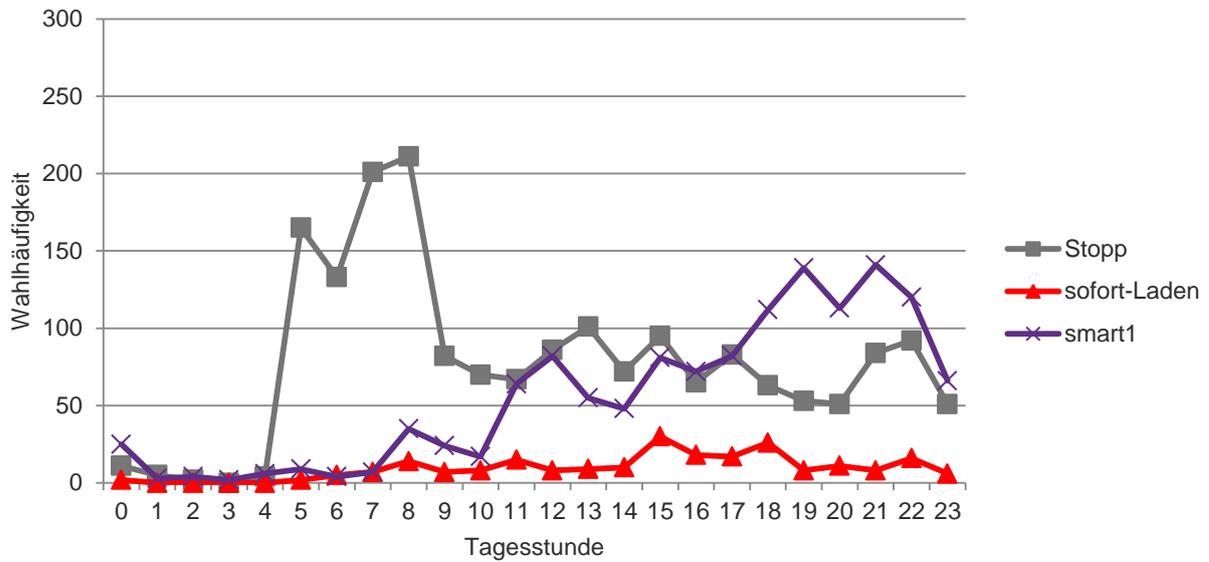
**Abbildung 6.12:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 4 durch die TeilnehmerInnen

Eine Differenzierung nach Werk- und Wochentagen wurde vorgenommen. So ist an Werktagen überwiegend die Beendigung des Ladevorgangs in den frühen Morgenstunden zu erkennen (**Abbildung 6.13** bis **Abbildung 6.16**). Im Vergleich dazu findet am Wochenende die Beendigung des Fahrzeuganschlusses deutlich später statt (**Abbildung 6.17** bis **Abbildung 6.20**).

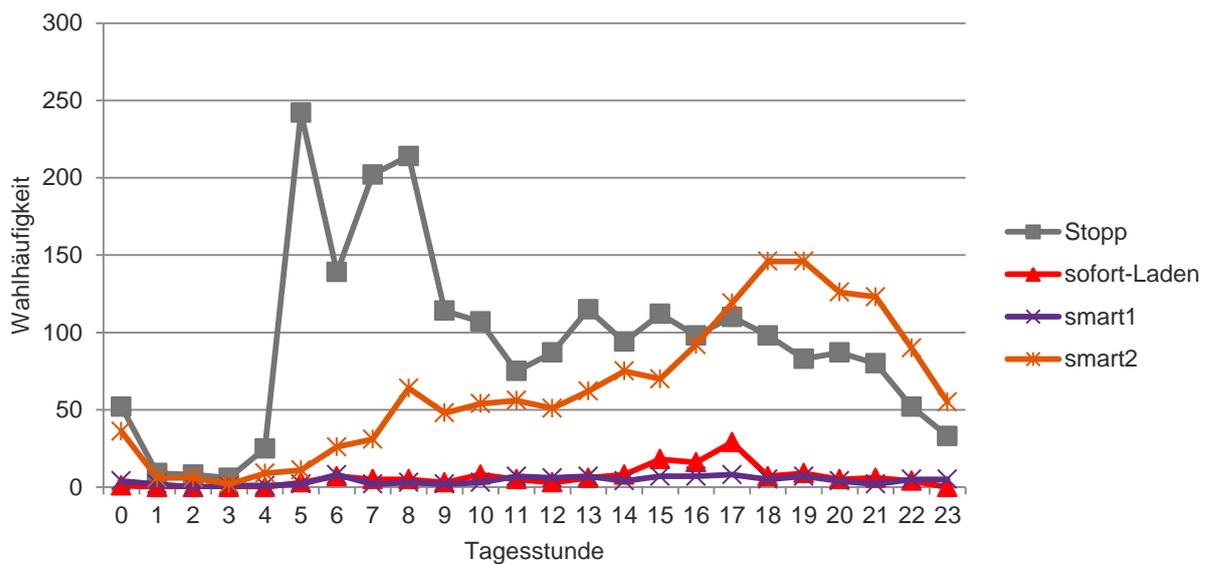
An Werktagen wurden die Elektrofahrzeuge am häufigsten in den Nachmittagsstunden wieder zum Laden angeschlossen. Am Wochenende hingegen wurden bereits in den Morgenstunden viele Ladevorgänge gestartet.



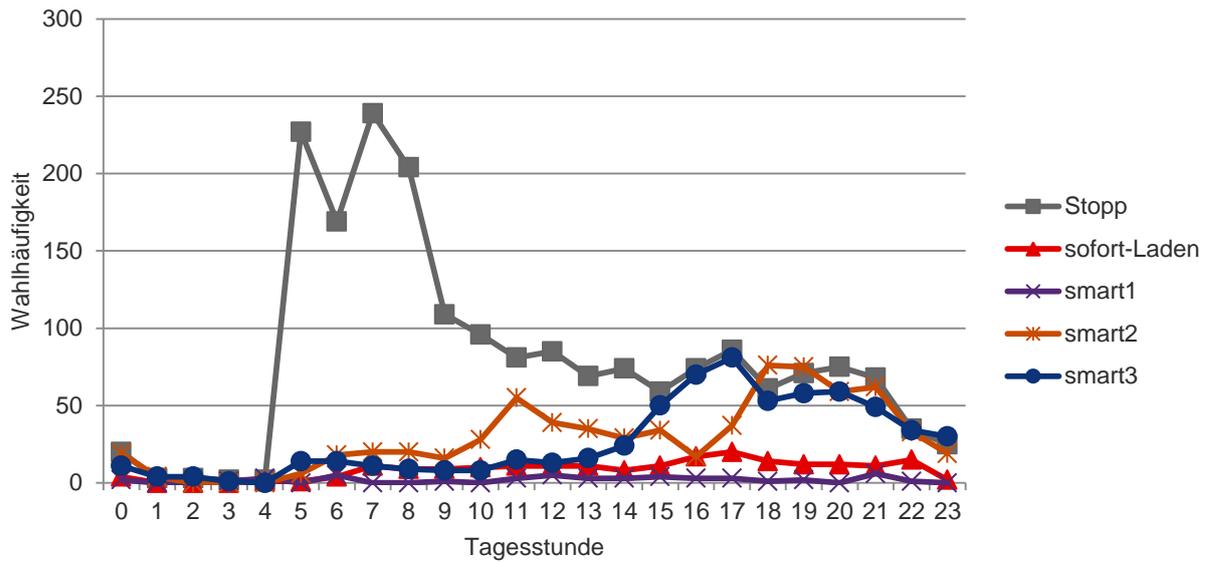
**Abbildung 6.13:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 1 durch die TeilnehmerInnen an Werktagen



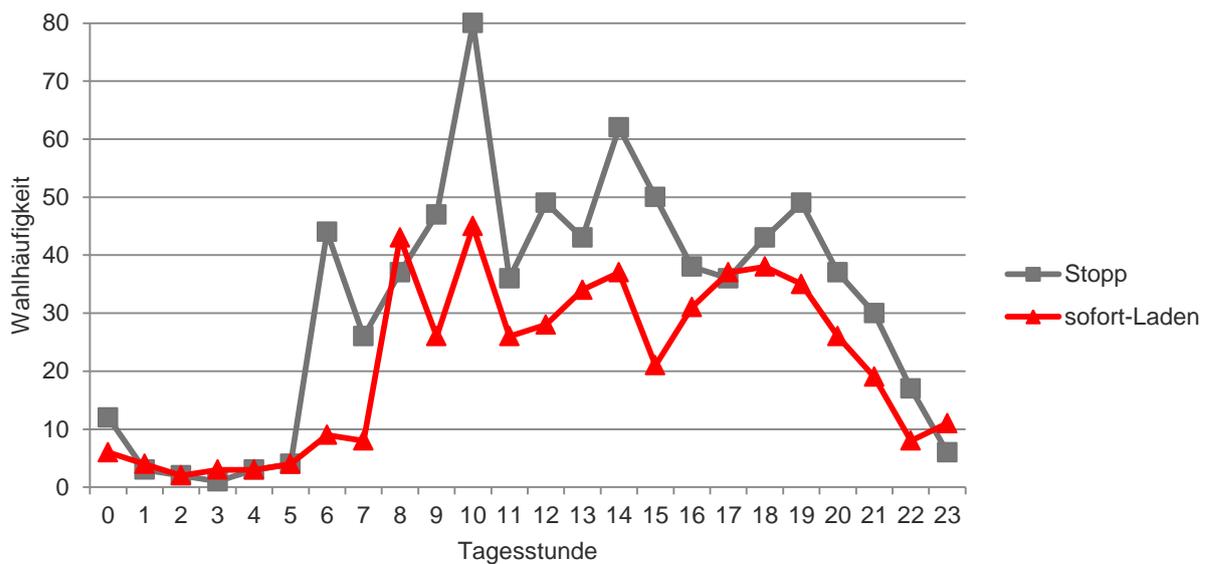
**Abbildung 6.14:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 2 durch die TeilnehmerInnen an Werktagen



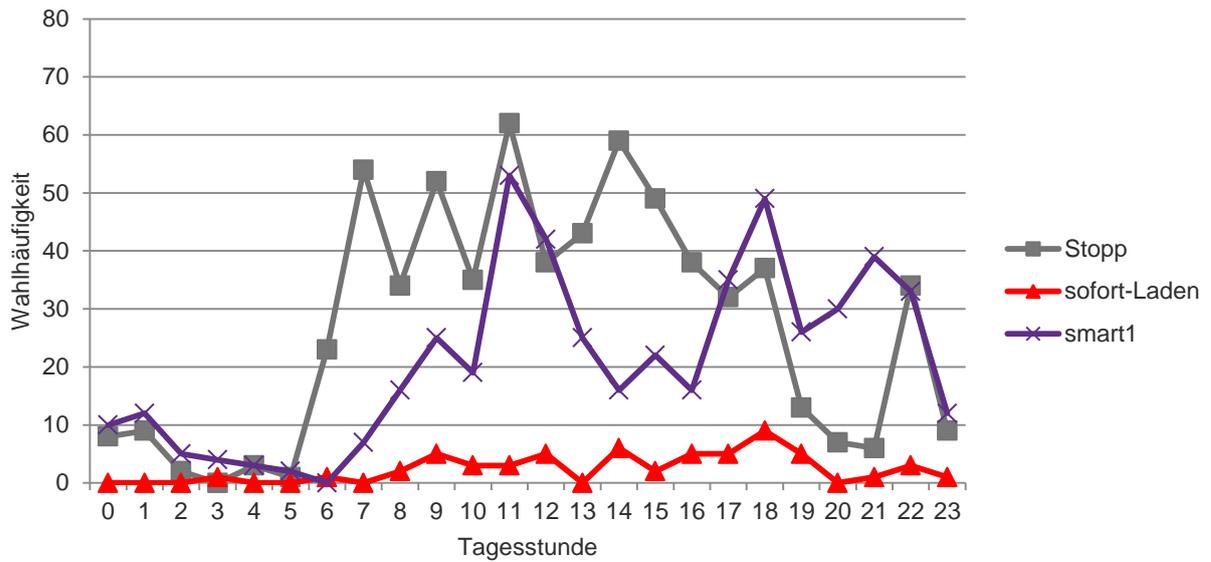
**Abbildung 6.15:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 3 durch die TeilnehmerInnen an Werktagen



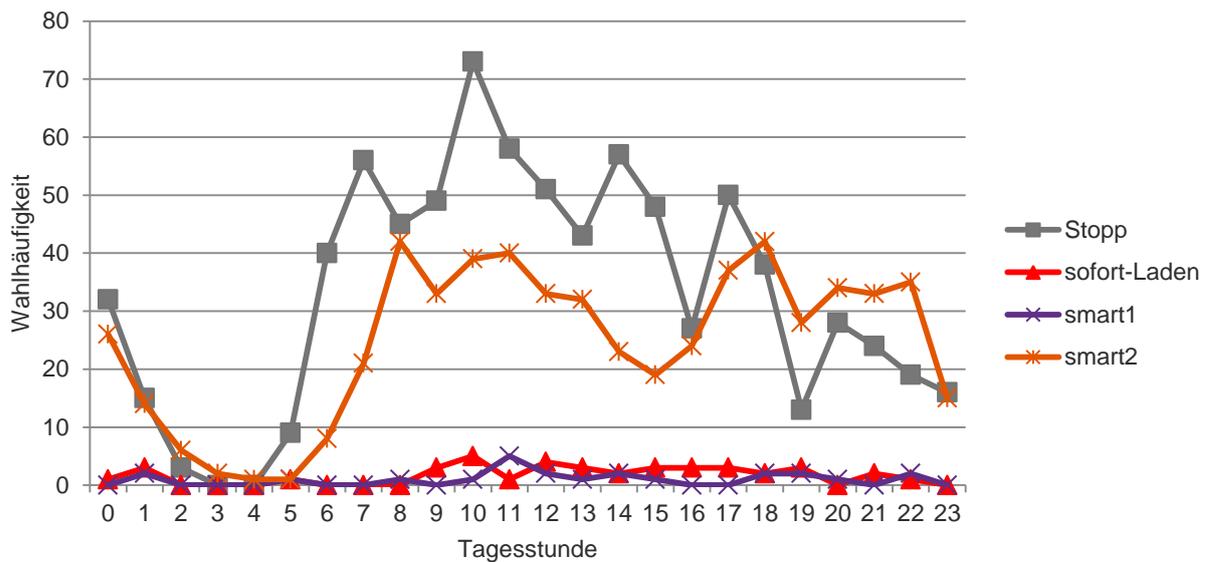
**Abbildung 6.16:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 4 durch die TeilnehmerInnen an Werktagen



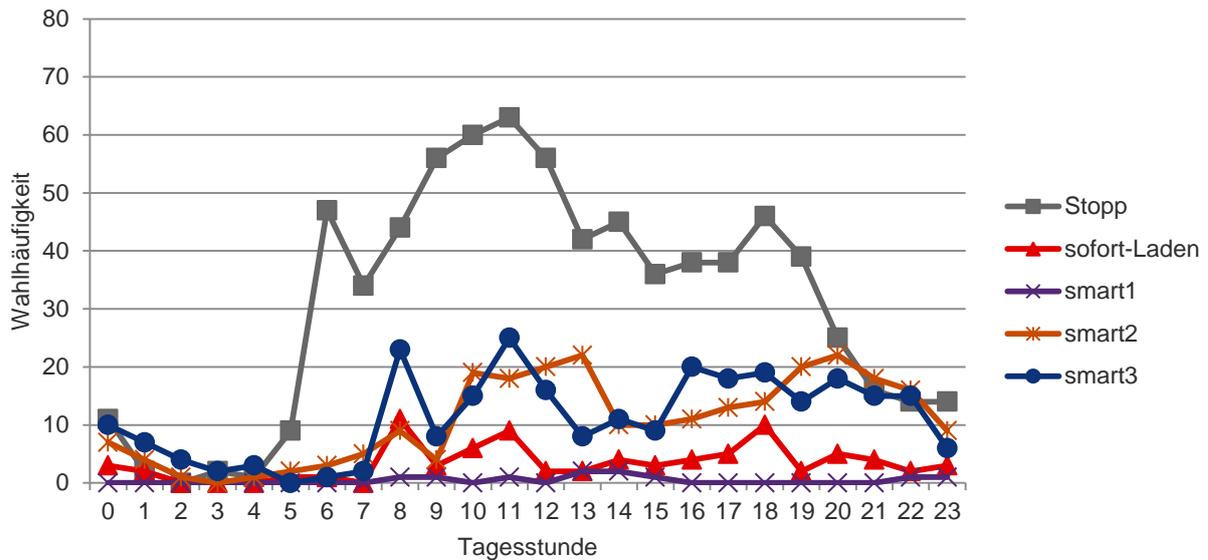
**Abbildung 6.17:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 1 durch die TeilnehmerInnen an Wochenenden



**Abbildung 6.18:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 2 durch die TeilnehmerInnen an Wochenenden



**Abbildung 6.19:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 3 durch die TeilnehmerInnen an Wochenenden



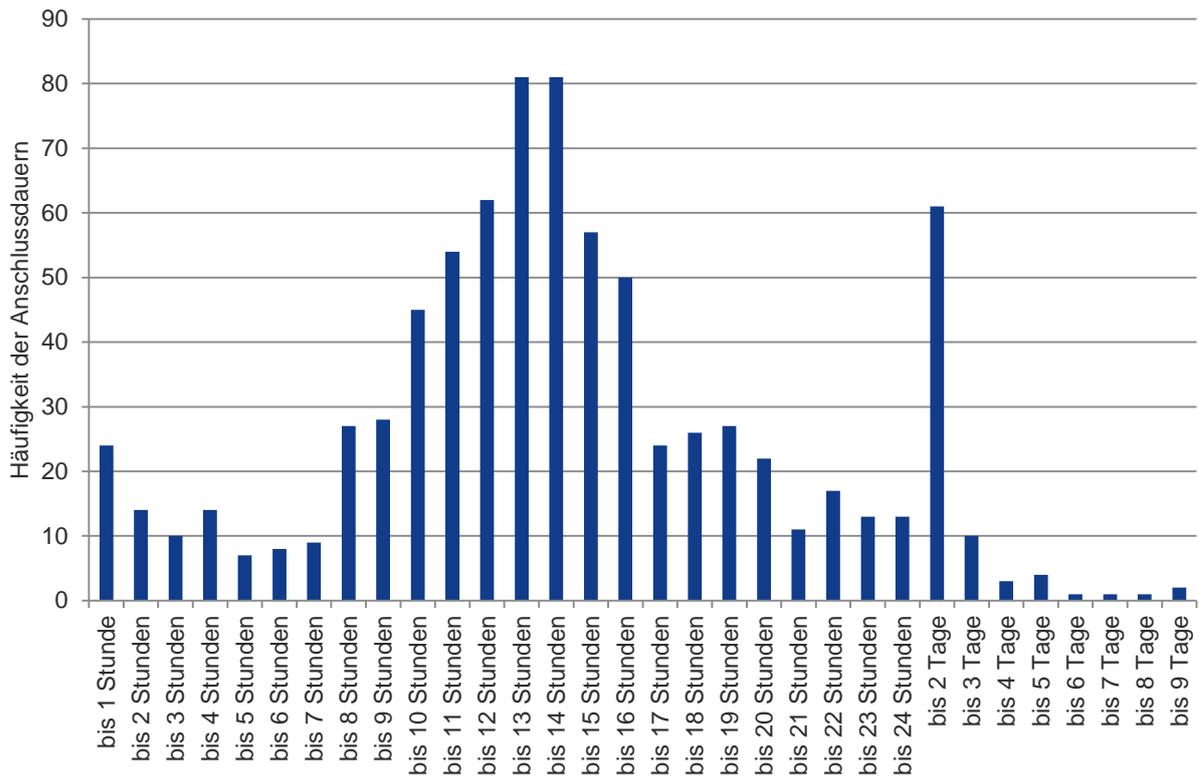
**Abbildung 6.20:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 4 durch die TeilnehmerInnen an Wochenenden

### 6.1.7 Durchschnittliche Anschlussdauer bei *smart3*

Um für spätere Geschäftsmodelle zu ermitteln, wie lange Fahrzeuge angeschlossen bleiben, wurde eine Auswertung zur durchschnittlichen Anschlussdauer bei *smart3* erstellt. Die Anschlussdauer, die auch für die Berechnung der Prämie zugrunde gelegt wurde, wurde als die Zeit festgelegt, bei dem die Fahrzeugbatterie dem Energieversorger vollständig zur Verfügung stand. Daher berechnet sich die Anschlussdauer vom Zeitpunkt, an dem *smart3* gewählt wurde, bis zur geplanten Abfahrtszeit. Ein vorzeitiges Beenden des Ladevorgangs war jedoch jederzeit möglich, so dass bei vorzeitigem Abbruch das Fahrzeug nur bis zu diesem Zeitpunkt für die Flexibilitätsvermarktung zur Verfügung stand und somit auch die Anschlussdauer nur bis zu diesem Zeitpunkt berechnet wurde.

Bei Wahl des Lademodells *smart3* wurde eine Mindestanschlusszeit von sechs Stunden vorgegeben (vgl. Abschnitt 3.2). Bei einer früheren gewollten Abfahrt musste ein anderes Lademodell gewählt werden. Die Anschlussdauern der Elektrofahrzeuge bei der Wahl des Ladeprogramms *smart3* weisen daher im Bereich der Stundenkategorien bis sechs Stunden nur eine geringe Anzahl an Ladevorgängen auf (vgl. **Abbildung 6.21**).

Am häufigsten wurden die Fahrzeuge 12 bis 14 Stunden angeschlossen. Die mittlere Anschlussdauer liegt bei über 15 Stunden, der Median bei gut 13 Stunden.



**Abbildung 6.21:** Häufigkeit der Anschlussdauern der Elektrofahrzeuge bei der Wahl von *smart3*

### 6.1.8 Lastverläufe

Die im Folgenden dargestellten Lastverläufe wurden anhand der gemessenen Ladeleistungen der Fahrzeuge ermittelt. Dabei wurden die Werte der einzelnen Viertelstunden über die gesamte Versuchsphase gemittelt. Zudem wurde der Lastverlauf sowie das Standardlastprofil auf einen Durchschnittswert von 1000 W normiert. Der Zeitraum von 00:00:00 Uhr bis 00:14:59 Uhr ist dabei die Viertelstunde 00:15.

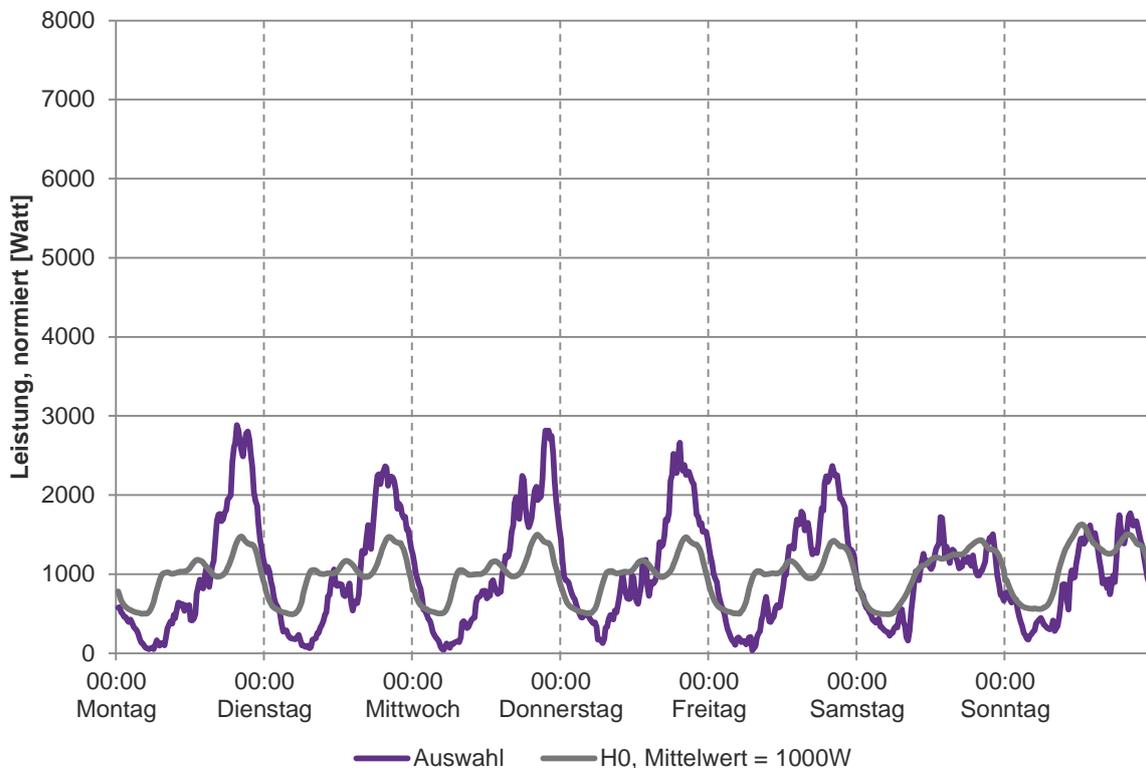
Das Standardlastprofil von Haushaltskunden stellt den durchschnittlichen Verbrauch dieser Kundengruppe dar. Das Standardlastprofil zeigt an Werktagen typischerweise ein tiefes Tal in den Nachtstunden und drei Spitzen am Tag, morgens, mittags und abends. Die größte Last liegt in den Abendstunden zwischen etwa 18 und 22 Uhr, wenn die Bewohner nach Hause kommen und ihre elektrischen Verbraucher anstellen.

#### 6.1.8.1 Referenzphase

In **Abbildung 6.22** ist der Lastverlauf in der Referenzphase abgebildet. Dieser zeigt die ungesteuerte Last aller Ladestationen der TeilnehmerInnen in der ersten Feldphase. In der Referenzphase ist das Lastprofil der Fahrzeuge ähnlich dem Lastverlauf der Haushalte. Nach der Ankunft wird das Elektrofahrzeug angeschlossen und erhöht die bereits bestehende abendliche Lastspitze zusätzlich.

Bei einer späteren hohen Verbreitung von Elektrofahrzeugen müssen solche Lastspitzen vermieden werden. Zum einen müsste das lokale Verteilnetz ausgebaut werden, da dieses zwar

für eine alleinige Spitzenleistung von etwa 30 kW je Hausanschluss, allerdings unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit nur für eine durchschnittliche Haushaltslast von 3 – 4 kW ausgelegt ist. Im Feldversuch hat sich gezeigt, dass eine Vielzahl der Fahrzeuge bereits mit 11 oder auch 22 kW Ladeleistung an den privaten Hausanschlüssen lädt.

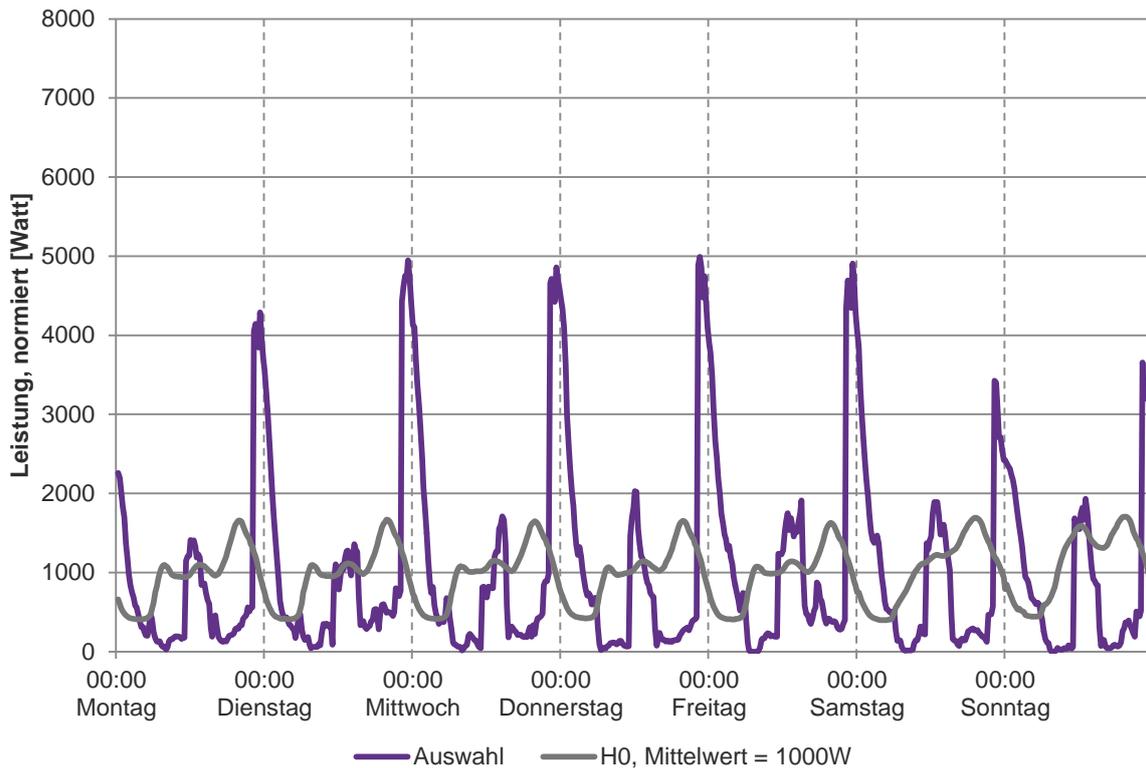


**Abbildung 6.22:** Lastverlauf der Ladestationen der TeilnehmerInnen in der Referenzphase

### 6.1.8.2 Feldphase 2

In der zweiten Feldphase wurde zusätzlich zum *sofort-Laden* das Lademodell *smart1* angeboten, bei dem nur innerhalb der Zeiträume 22 bis 6 Uhr sowie 11 bis 15 Uhr geladen wurde. Daher ist zu den Zeitpunkten 22:15 Uhr und 11:15 Uhr jeweils ein Sprung im Lastverlauf vorhanden. Bei der nächtlichen Ladezeit ist für etwa 3 Stunden eine hohe Ladeleistung vorhanden (vgl. Abschnitt 3.2). Danach sind viele der Autos vollständig geladen und die Ladeleistung sinkt wieder. Einige Fahrzeuge mit geringer Ladeleistung benötigen längere Zeit zum Laden und daher ist auch nachts noch eine geringe Grundlast vorhanden.

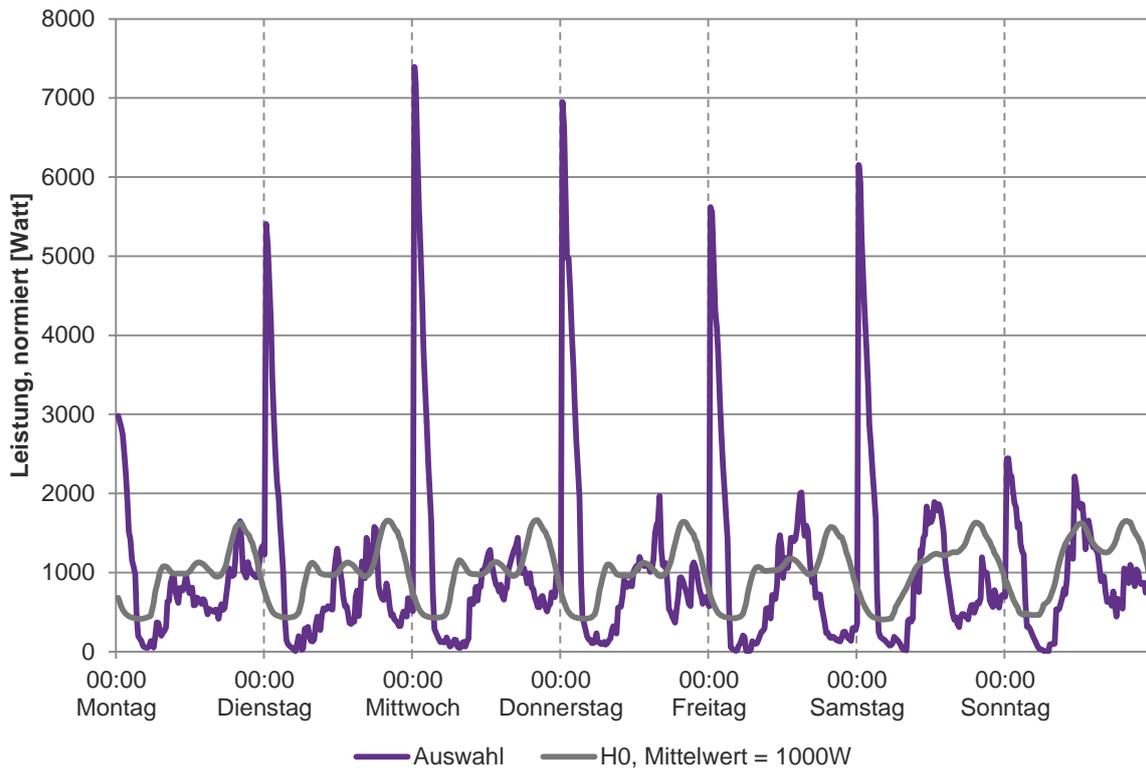
Anhand der Messwerte lässt sich zeigen, dass eine Verschiebung der Ladezeiten von Elektrofahrzeugen möglich ist.



**Abbildung 6.23:** Lastverlauf der Ladestationen der TeilnehmerInnen in der Feldversuchsphase 2

### 6.1.8.3 Feldphase 3

Bei der dritten Feldphase wurde häufig das Lademodell *smart2* gewählt. Die drei garantierten freigegebenen Stunden in der Nacht von 0 bis 6 Uhr wurden innerhalb dieser Feldphase um 0 Uhr gestartet. Daher ergibt sich um 0 Uhr eine sehr stark ansteigende Ladeleistung der Elektrofahrzeuge. Da die restlichen freigegebenen Zeiten nach der EEG-Einspeisung freigegeben wurden, ist aufgrund der Mittelung über die Wochen im Gegensatz zur Feldphase 2 kein starker Ansprung der Ladeleistung zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Mittagszeit vorhanden.

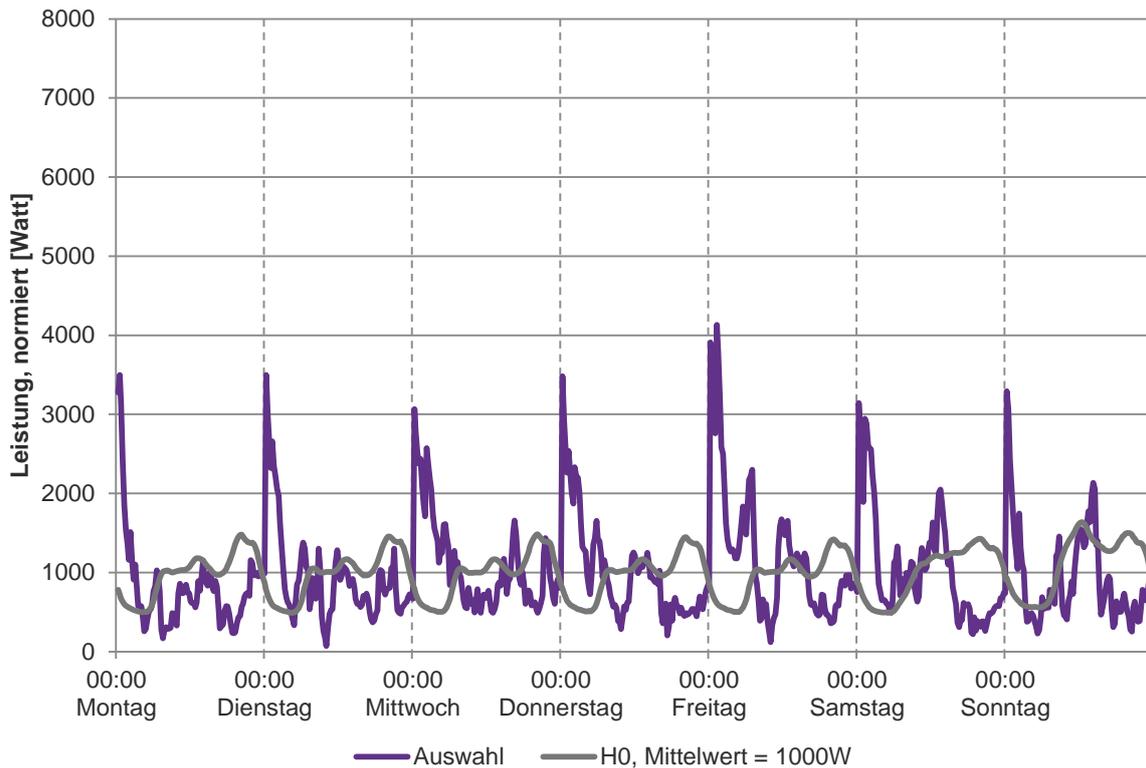


**Abbildung 6.24:** Lastverlauf der Ladestationen der TeilnehmerInnen in der Feldversuchsphase 3

#### 6.1.8.4 Feldphase 4

In der Feldphase 4 wurden die Lademodelle *smart2* und *smart3* etwa gleich häufig gewählt (vgl. Abschnitt 6.1.4). Es ist immer noch innerhalb der nächtlichen Stunden eine Lastspitze vorhanden. Die drei Stunden Ladezeit, die zwischen 0 und 6 Uhr garantiert waren, wurden aber hier im Gegensatz zur Feldphase 3 nicht immer um 0 Uhr gestartet, sondern in Abhängigkeit der geringsten prognostizierten Residuallast.

Durch die Berücksichtigung der Residuallast und der Steuerung des Ladens nach *smart3* konnten sowohl innerhalb der nächtlichen Lasttäler des Standardlastprofils viele Ladevorgänge stattfinden als auch in Zeiten hoher Einspeisung durch erneuerbare Energien.



**Abbildung 6.25:** Lastverlauf der Ladestationen der TeilnehmerInnen in der Feldversuchsphase 4

## 6.2 Auswertungen der Messwerte auf den enercity-Betriebshöfen

Auf den Betriebshöfen von enercity waren zum Ende des Feldversuchs insgesamt zehn CCB installiert. Während der ersten drei Phasen waren acht Ladestationen installiert, die letzten beiden Ladestationen wurden erst am 20.06.2015, also während der vierten Feldphase, in Betrieb genommen.

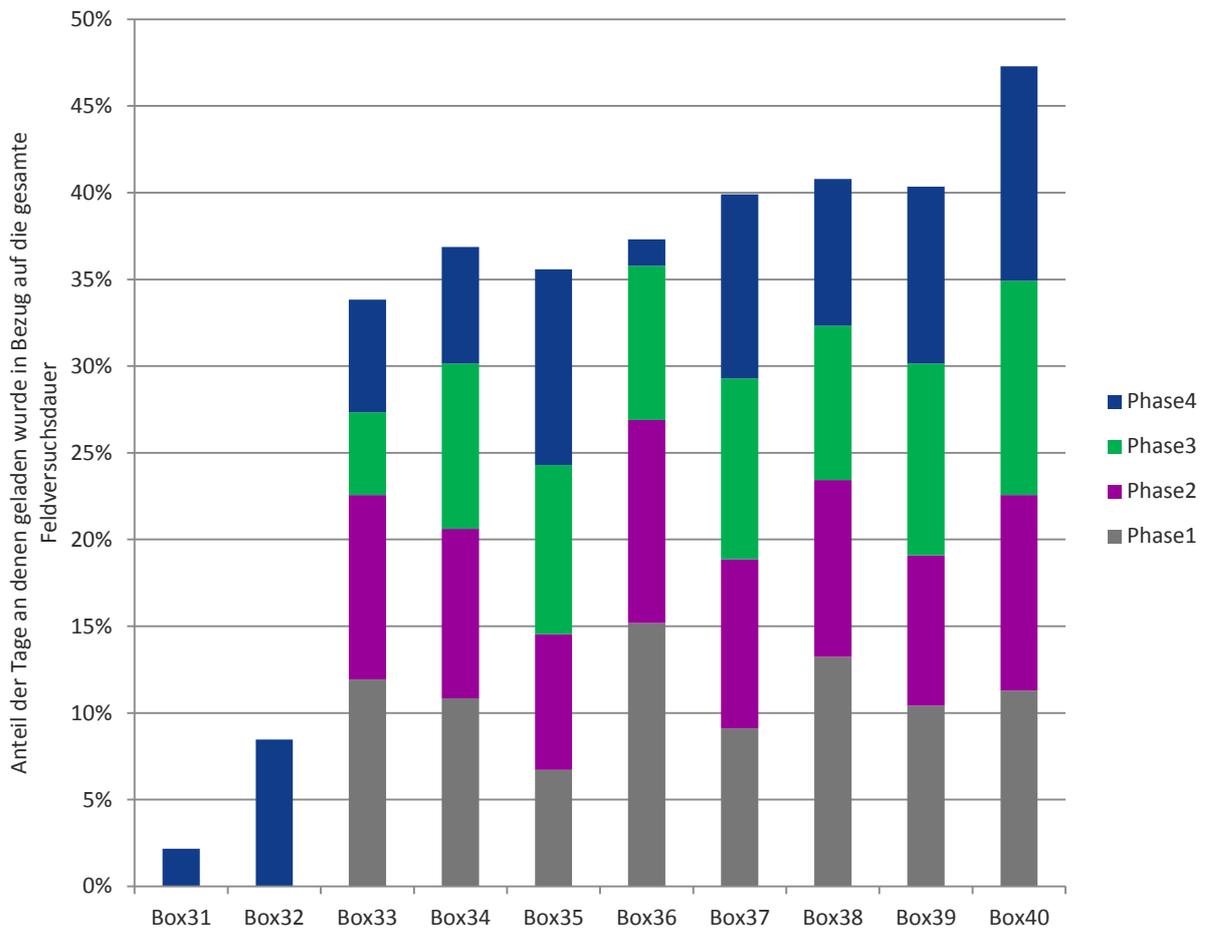
An den Ladestationen wurden überwiegend die Poolfahrzeuge geladen. Zudem wurden Ladevorgänge durch einen Mitarbeiter vorgenommen sowie durch die ProjektteilnehmerInnen während der Projekttreffen.

Für die Auswertungen wurden alle Ladestationen betrachtet. Abweichungen davon werden bei der jeweiligen Auswertung im Text angegeben.

### 6.2.1 Häufigkeiten der Ladevorgänge

Die **Abbildung 6.26** zeigt, dass die Ladestationen auf den Betriebshöfen im Vergleich zu den Ladestationen der TeilnehmerInnen deutlich seltener genutzt werden. Die am häufigsten genutzte Ladestation wurde nur an gut 47 % der Tage innerhalb des Feldversuchs genutzt. Die geringere Nutzung der Poolfahrzeugboxen ergibt sich zum Teil aus der Nichtnutzung dieser Ladestationen an den Wochenenden. Die beiden Ladestationen „Box 31“ und „Box 32“ weisen eine deutlich geringere Nutzung auf, die zudem nur in Phase 4 stattfand, da diese erst während der letzten Feldphase in Betrieb genommen wurden. Daher ist auch die Bildung eines Mittelwertes nur über die anderen acht Ladestationen sinnvoll. Dieser Mittelwert beträgt über die vier

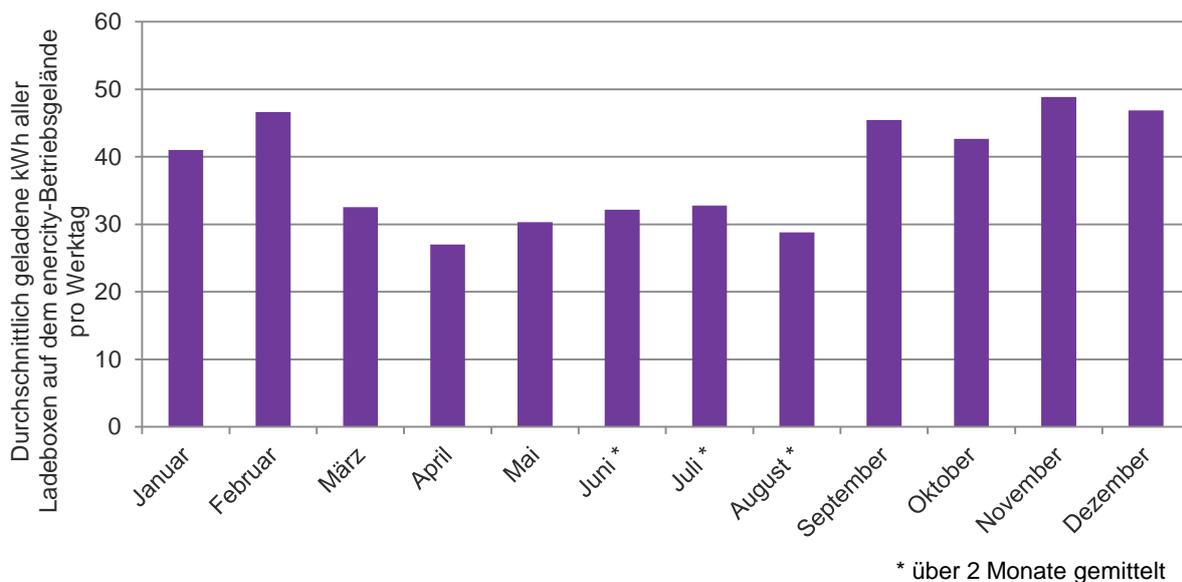
Feldphasen im Schnitt 39 %. Die Standardabweichung ist im Vergleich zu den Ladestationen der TeilnehmerInnen mit 4,1 % deutlich geringer.



**Abbildung 6.26:** Prozentuale Verteilung der Teilnahme der einzelnen enercity-Ladestationen während des Feldversuchs

## 6.2.2 Ladebedarf nach Monaten

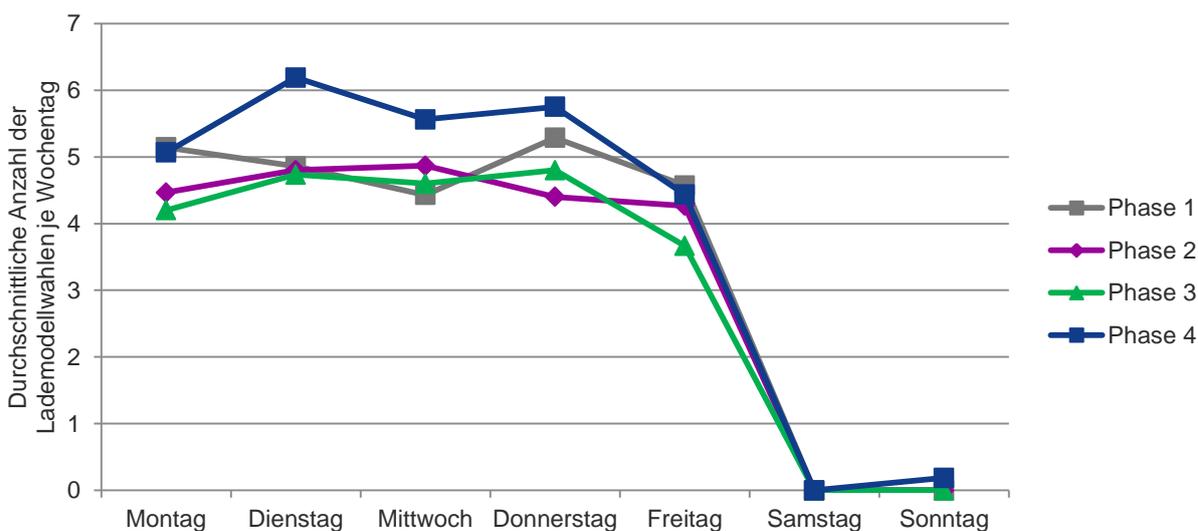
Auch bei den Ladestationen auf dem enercity-Betriebsgelände zeigt sich, dass in den Sommermonaten tendenziell weniger geladen wird als innerhalb der kälteren Monate. In **Abbildung 6.27** ist der durchschnittliche Ladebedarf pro Werktag dargestellt. Bei der Auswertung wurden nur die acht CCB betrachtet, die während des gesamten Feldversuches installiert waren. Die Messwerte der Monate Juni, Juli und August wurden wiederum aus den beiden Jahren gemittelt. Als Werktag wurden hier die Tage Montag bis Freitag definiert. Dabei wurden die Feiertage in Niedersachsen sowie der 24.12. und der 31.12. nicht als Werktag gezählt.



**Abbildung 6.27:** Ladebedarf an den Ladestationen auf dem enercity-Betriebsgelände nach einzelnen Monaten

### 6.2.3 Verteilung der Ladevorgänge je nach Wochentag

Die folgenden Grafiken zeigen den Einfluss der einzelnen Tage auf die Wahl eines Lademodells. Bei den Ladestationen, die auf dem Betriebshof installiert worden sind, wurden am Wochenende keine Wahlen von Lademodellen vorgenommen. Eine Ausnahme stellt der Sonntag dar, an dem der „EINFACH ELEKTRISCH - Mobilität neu erfahren - Die Sieben-Städte-Tour 2015“ durchgeführt wurde. An diesem Wochenende wurden die Fahrzeuge für Probefahrten von interessierten BürgerInnen verwendet und anschließend am Sonntag wieder zum Laden zu den Ladestationen zurückgebracht. Dieser Sonntag war der 17.05.2015 und lag somit in Feldphase 4 (vgl. **Abbildung 6.39**).



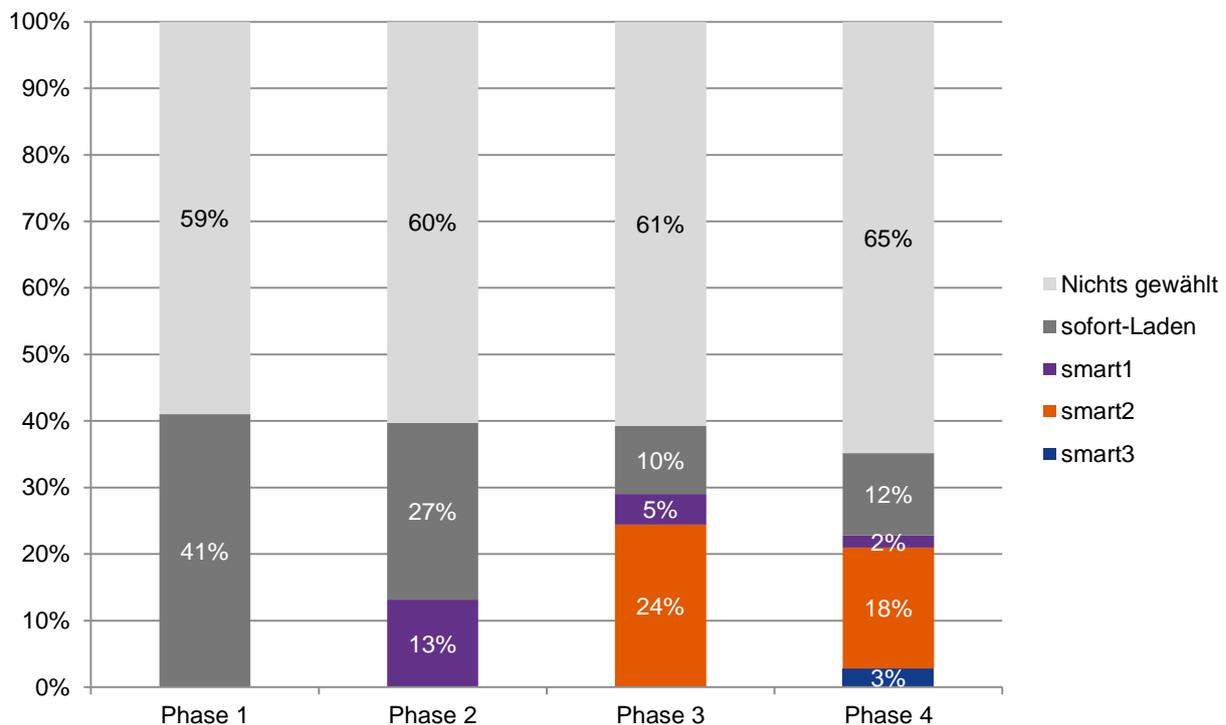
**Abbildung 6.28:** Häufigkeit der Lademodellwahl nach Wochentagen in der Referenzphase der Ladestationen auf dem Betriebsgelände

## 6.2.4 Gewählte Lademodelle

Bei der Auswertung der gewählten Lademodelle an den CCB auf den enercity-Betriebshöfen wurde analog zur Systematik der Ladestationen der TeilnehmerInnen vorgegangen (vgl. Abschnitt 6.1.4).

Bei dieser Auswertung wurden die beiden später installierten CCB aus der Betrachtung herausgenommen, da diese erst mitten in der vierten Feldphase installiert wurden.

Die Auswertung der Auswahl der Lademodelle (vgl. **Abbildung 6.29**) zeigt, dass in allen vier Feldphasen an etwa 60 % der Tage kein Lademodell gewählt wurde. Dieser Wert ist in allen vier Feldphasen annähernd konstant. Dies ist ein großer Unterschied zu den Ladestationen der TeilnehmerInnen, bei dem die Beteiligung innerhalb des Feldversuchszeitraumes anstieg.

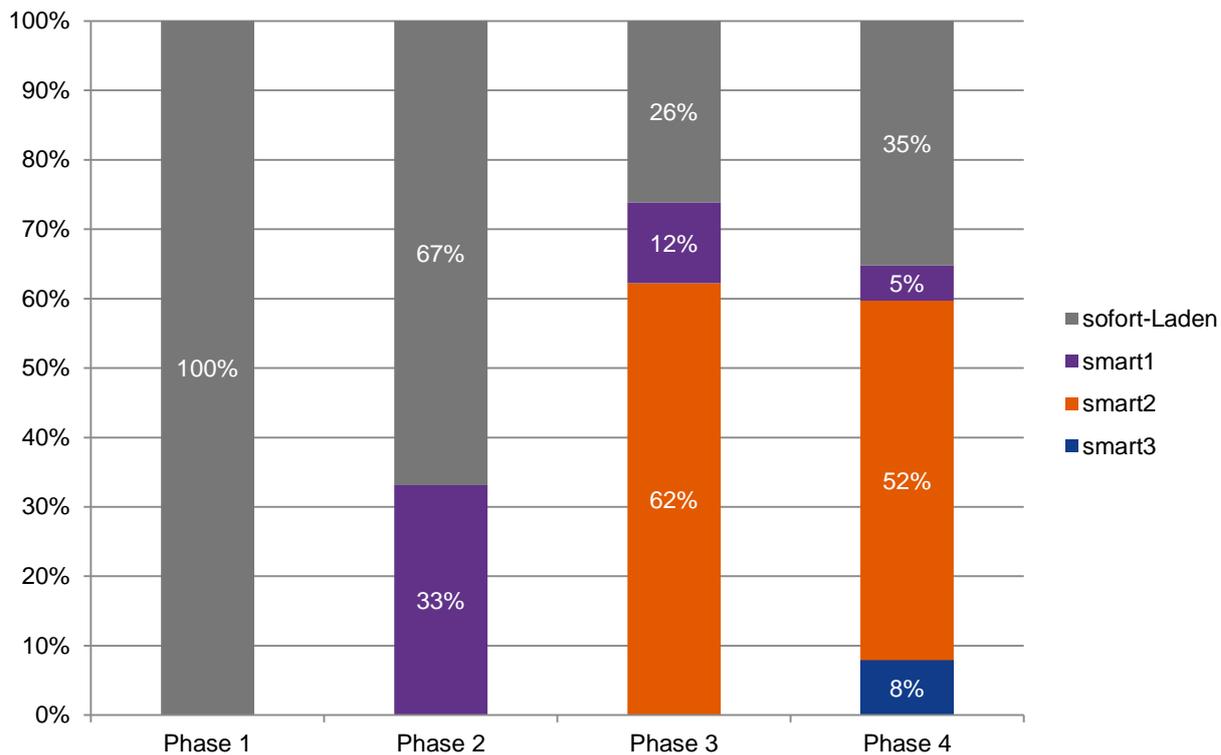


**Abbildung 6.29:** Prozentuale Verteilung der gewählten Lademodelle inklusive der Nichtwahlen der Ladestationen auf den Betriebshöfen

Bei den Ladestationen auf dem Betriebshof wurde keine Prämie vergütet. Trotzdem wählten in der zweiten Feldversuchsphase bereits 34 % der PoolfahrzeugnutzerInnen das Lademodell *smart1* (vgl. **Abbildung 6.30**). In der dritten Feldversuchsphase wurde eine Empfehlung an die Ladestationen angebracht, nach Möglichkeit *smart2* zu wählen. Dies verringerte die Wahl von *sofort-Laden* signifikant.

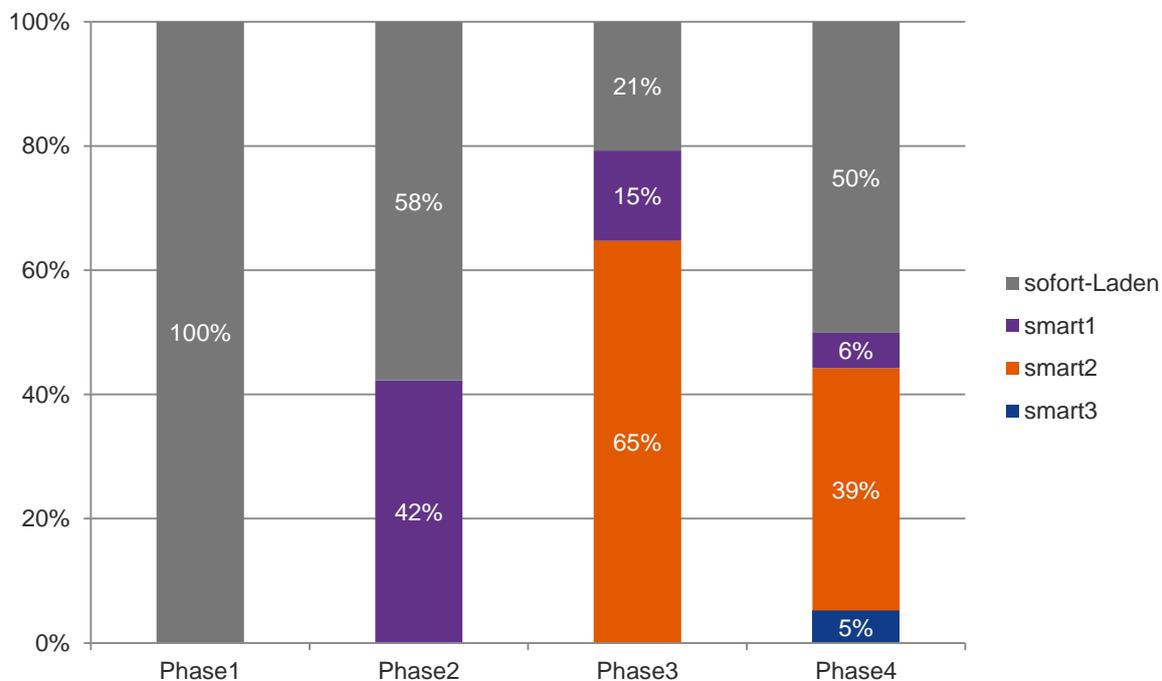
Daher ist zu schlussfolgern, dass auch gesteuertes Laden ohne Prämienzahlung für den einzelnen Nutzer bei Poolfahrzeugen möglich ist.

Eine Software, die automatisch erkennt, wann das Elektrofahrzeug das nächste Mal genutzt werden soll, möglichst mit dem Wissen, welche Strecke zurückzulegen ist, wäre für Poolverleihsysteme sinnvoll. Dann könnte je nach Fahrbedarf das geeignete Fahrzeug ausgewählt werden sowie die stehende Flotte optimal in den Regelenergiemarkt eingebunden werden.



**Abbildung 6.30:** Prozentuale Verteilung der gewählten Lademodelle der Ladestationen auf den Betriebshöfen

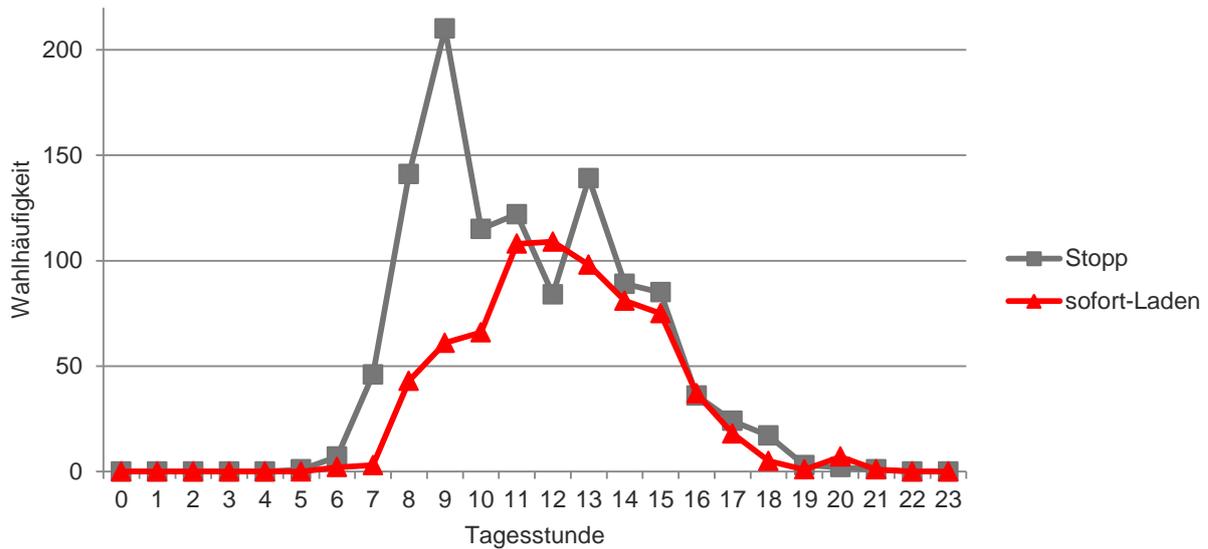
**Abbildung 6.31** zeigt die geladenen Energiemengen während der einzelnen Feldphasen für die einzelnen Lademodelle auf.



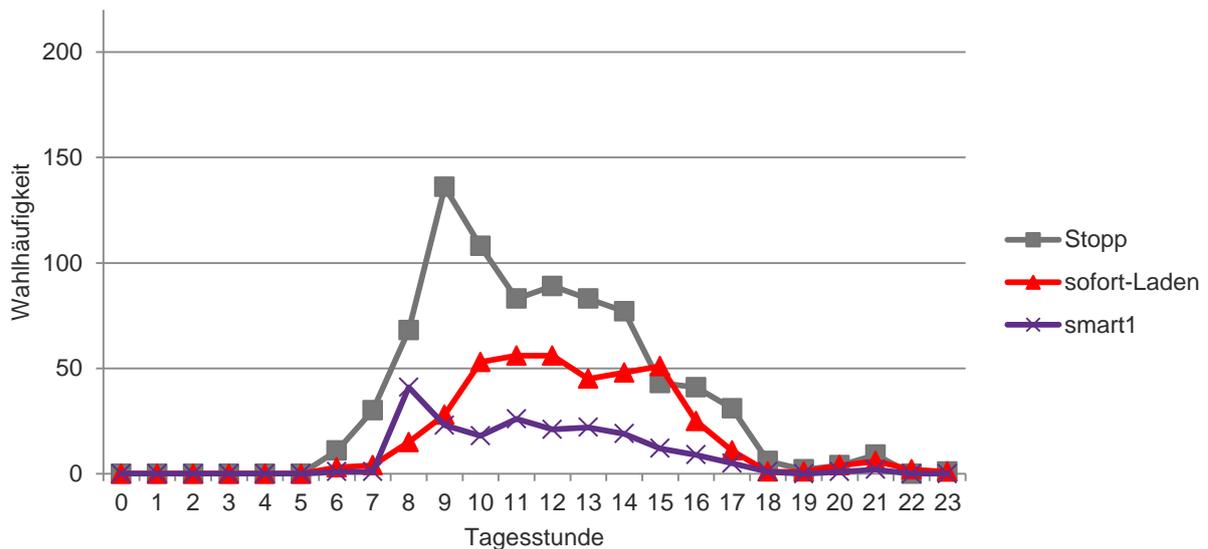
**Abbildung 6.31:** Geladene Energiemenge der Ladestationen auf den Betriebshöfen in den einzelnen Projektphasen

## 6.2.5 Zeiten der Lademodellwahlen

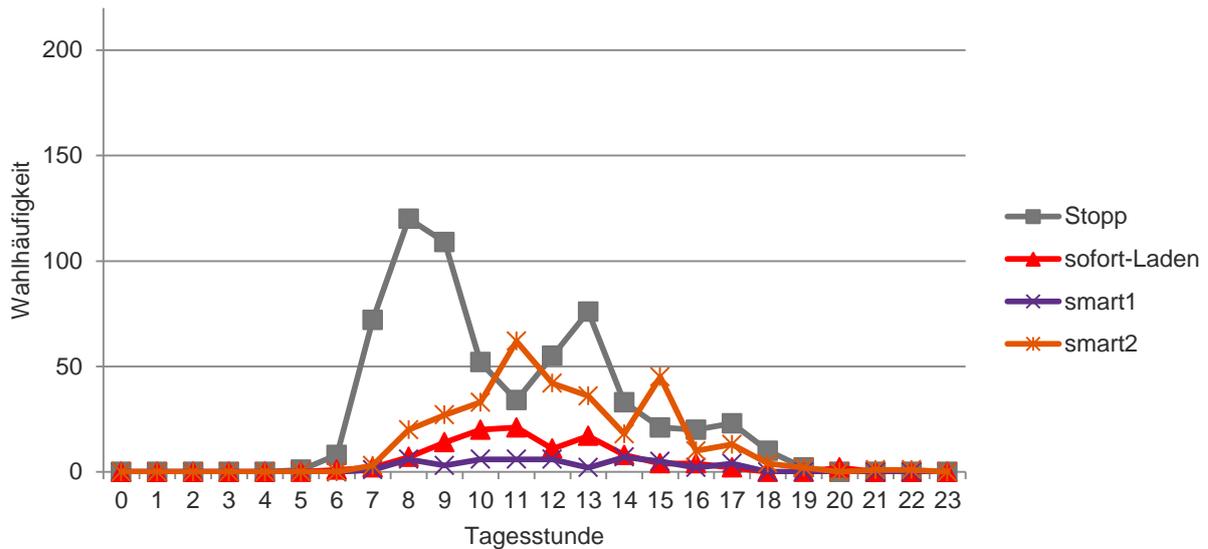
Die folgenden Grafiken zeigen die Auswahlzeiten der einzelnen Lademodelle durch die Nutzer der enercity-Poolfahrzeuge. Die Ladevorgänge werden häufig in den Morgenstunden beendet. Die häufigsten Nutzungszeiten der Poolfahrzeuge liegen im Zeitraum von 6 bis 18 Uhr. Die Fahrzeuge werden, bis auf wenige Ausnahmen, nur an Werktagen ausgeliehen und zurückgebracht.



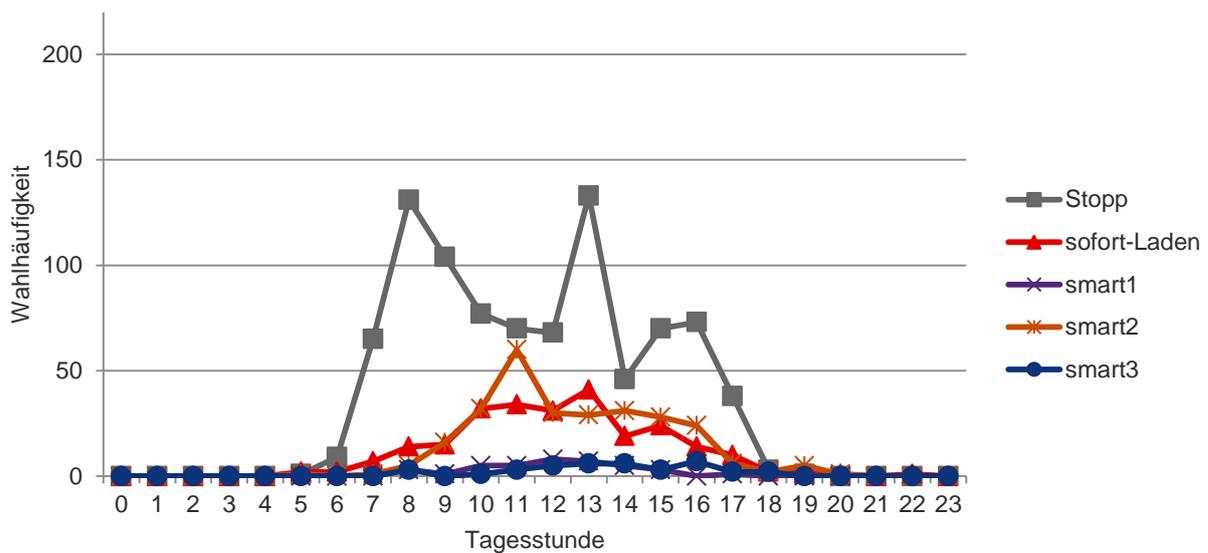
**Abbildung 6.32:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 1 bei den Ladestationen auf dem Betriebsgelände



**Abbildung 6.33:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 2 bei den Ladestationen auf dem Betriebsgelände



**Abbildung 6.34:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 3 bei den Ladestationen auf dem Betriebsgelände



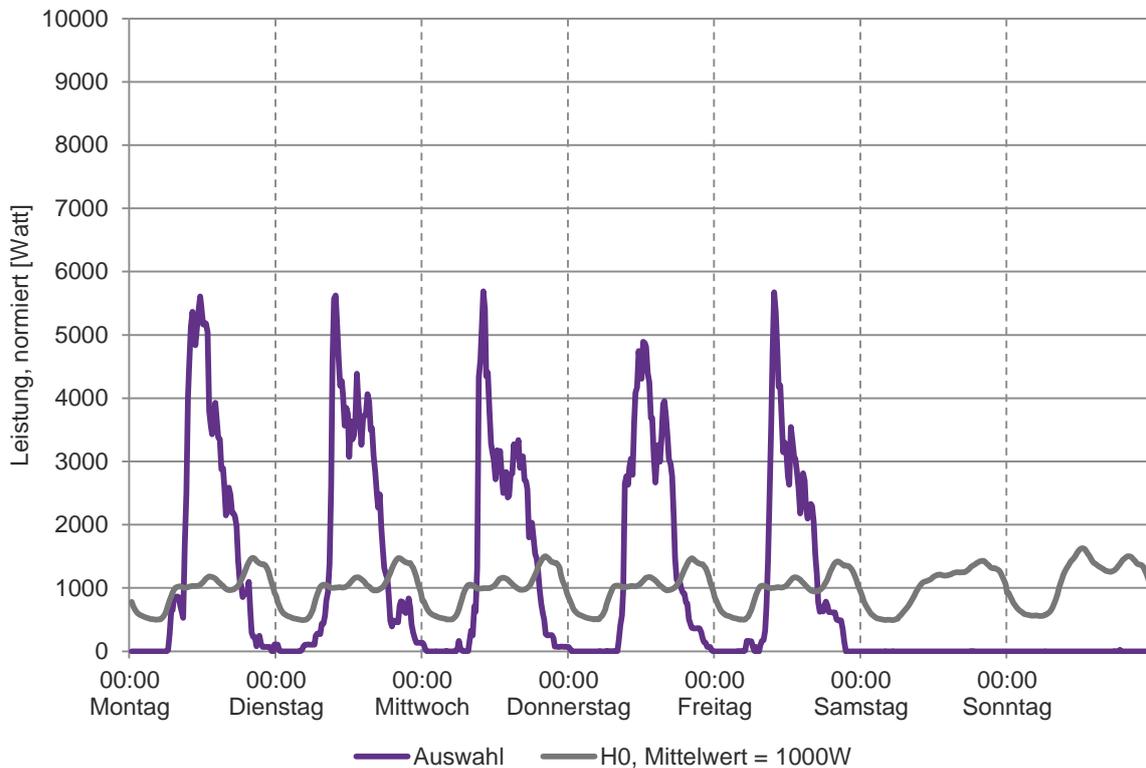
**Abbildung 6.35:** Zeitlicher Verlauf des Wahlverhaltens der Lademodelle in Feldversuchsphase 4 bei den Ladestationen auf dem Betriebsgelände

### 6.2.6 Durchschnittliche Anschlussdauern bei *smart3*

Für die Ladestationen auf den Betriebshöfen wurde in der vierten Feldversuchsphase empfohlen, bei Unkenntnis der nächsten Abfahrtszeit den Lademodus *smart2* zu wählen. Daher ist nur eine sehr geringe Anzahl an *smart3* Ladevorgängen bei diesen Ladestationen zu verzeichnen. Aus diesem Grund ist die Darstellung der Anschlussdauern und die Bestimmung einer durchschnittlichen Anschlussdauer nicht zielführend.

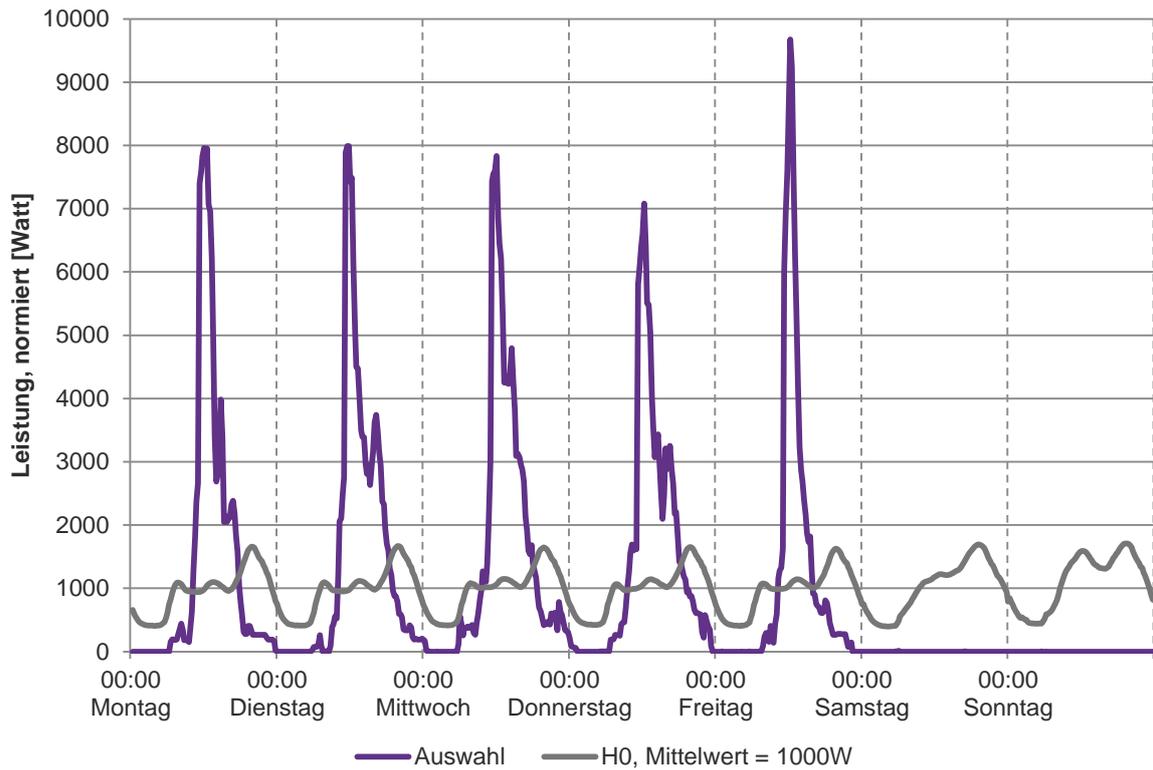
## 6.2.7 Lastverläufe

Die Lastverläufe der auf dem Betriebsgelände installierten Ladestationen zeigen, dass in der Regel nur an Werktagen Fahrzeuge ausgeliehen werden und somit samstags und sonntags nicht geladen wird. Die Referenzphase zeigt das übliche Ladeverhalten (vgl. **Abbildung 6.36**). Werktags wird vormittags bis nachmittags geladen. Nur wenige Ladevorgänge starten erst in den Abendstunden.

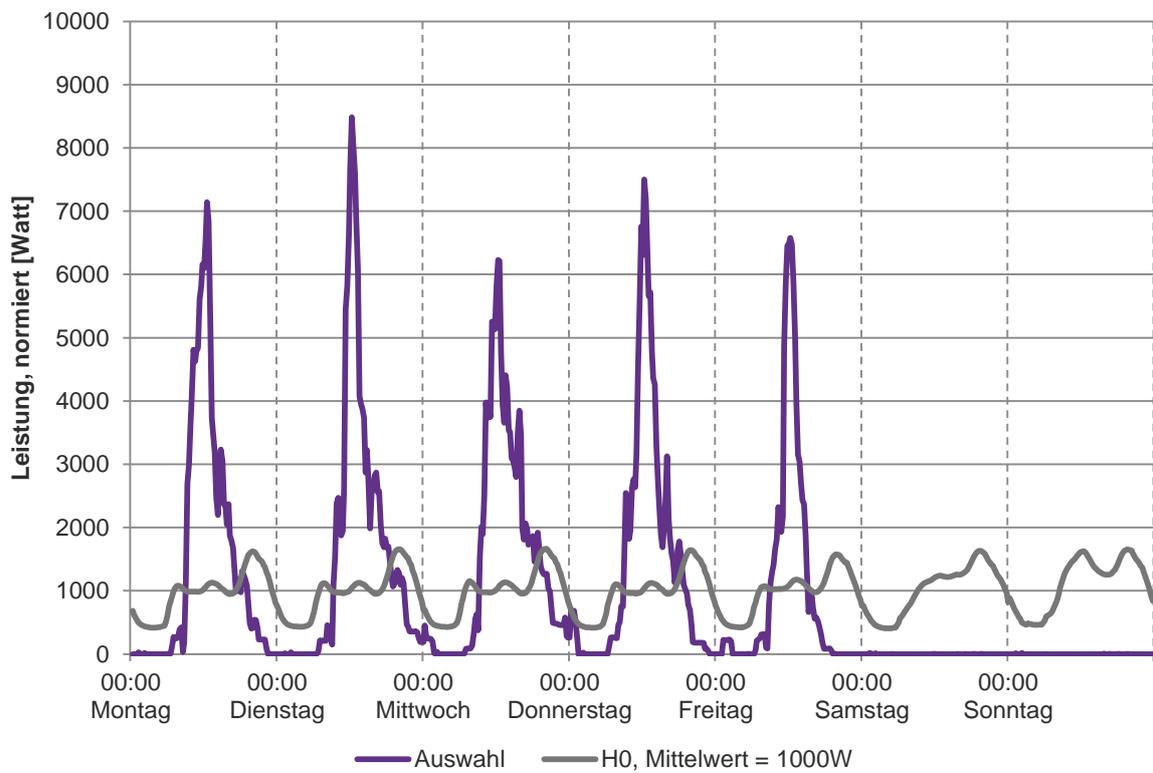


**Abbildung 6.36:** Lastverlauf der CCB auf den enercity-Betriebshöfen in der Referenzphase

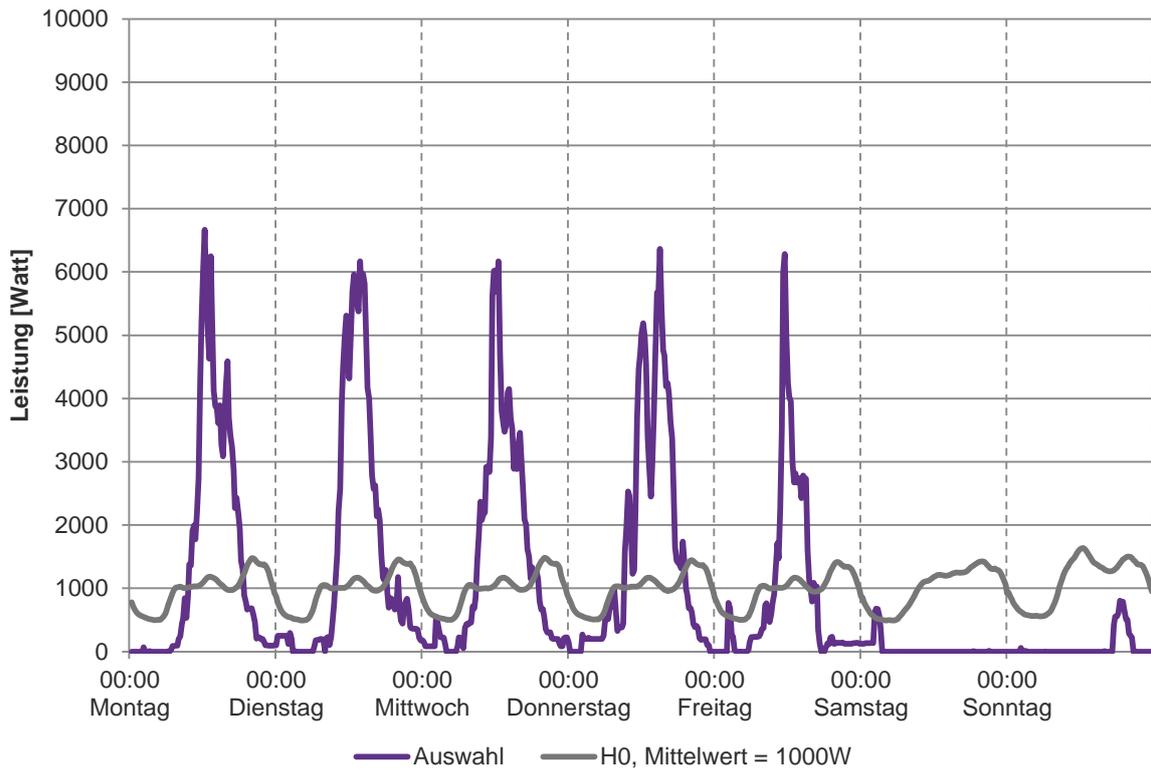
Der Fahrzeugpool besteht aus VW e-up!, die nur sofort mit dem Laden beginnen können, da sie sonst in einen Schlafmodus fallen (vgl. Abschnitt 4.4.5). Daher musste der Ladevorgang direkt nach dem Anschluss der Fahrzeuge gestartet werden. In freigegebenen Zeiträumen wurde mit der maximal vorgesehenen Stromstärke von 16 A und in nicht freigegebenen Zeiträumen mit einer geringerer Stromstärke von 6 A geladen. Daher ist in den Lastverläufen mit gesteuertem Laden (**Abbildung 6.37**, **Abbildung 6.38** und **Abbildung 6.39**) auch keine Verschiebung des Ladestarts im Gegensatz zum Lastverlauf der Ladestationen der TeilnehmerInnen ersichtlich.



**Abbildung 6.37:** Lastverlauf der Poolfahrzeug-Ladestationen in der Feldversuchsphase 2



**Abbildung 6.38:** Lastverlauf der Poolfahrzeug-Ladestationen in der Feldversuchsphase 3



**Abbildung 6.39:** Lastverlauf der Poolfahrzeug-Ladestationen in der Feldversuchsphase 4

Eine Besonderheit zeigt der Lastverlauf in der vierten Versuchsphase, da „EINFACH ELEKTRISCH - Mobilität neu erfahren - Die Sieben-Städte-Tour 2015“ stattfand, wie in Abschnitt 6.2.5 erwähnt.

## 7. FELDVERSUCH – SOZIALWISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

### 7.1 Einleitung

Die erfolgreiche Einführung von Geschäftsmodellen, welche das Laden eines Elektrofahrzeugs steuern, hängt neben der technischen und ökonomischen Machbarkeit entscheidend von der Akzeptanz der FahrerInnen und BesitzerInnen ab. Dabei erfolgt die Nutzerakzeptanz nicht automatisch, wenn nur die technischen Parameter „stimmen“, sondern eine neue Technologie, wie z. B. das Elektrofahrzeug oder ein neues Geschäftsmodell, muss von den Nutzern aktiv angeeignet werden (vgl. [3]).

Die sozialwissenschaftliche Begleitforschung im Projekt Demand Response fokussiert auf die Analyse von Akzeptanztreibern und -hemmnissen zu einem frühen Zeitpunkt der Geschäftsmodellentwicklung. Um die Aneignungsprozesse im Zeitverlauf detailliert analysieren zu können, wurden die rekrutierten 30 TeilnehmerInnen in einem 15-monatigen Feldversuch wissenschaftlich begleitet. Bei allen TeilnehmerInnen handelt es sich um die Besitzer der entsprechenden Elektrofahrzeuge, was eine hervorzuhebende Besonderheit dieses Projektes ist. Dadurch konnten die Lademodelle in Bezug auf die Einstellungs- und Verhaltensebene unter realitätsnahen Bedingungen getestet werden.

Vor Beginn des Projektes im Jahr 2013 gab es erst wenige Erkenntnisse über empirisch erhobene Nutzerakzeptanz in Bezug auf gesteuertes Laden von Elektroautos und hinsichtlich der Motive, diese zu nutzen<sup>3</sup>. Deswegen wurde ein Untersuchungsdesign gewählt, das eine explorative Perspektive ermöglicht.

### 7.2 Untersuchungsdesign

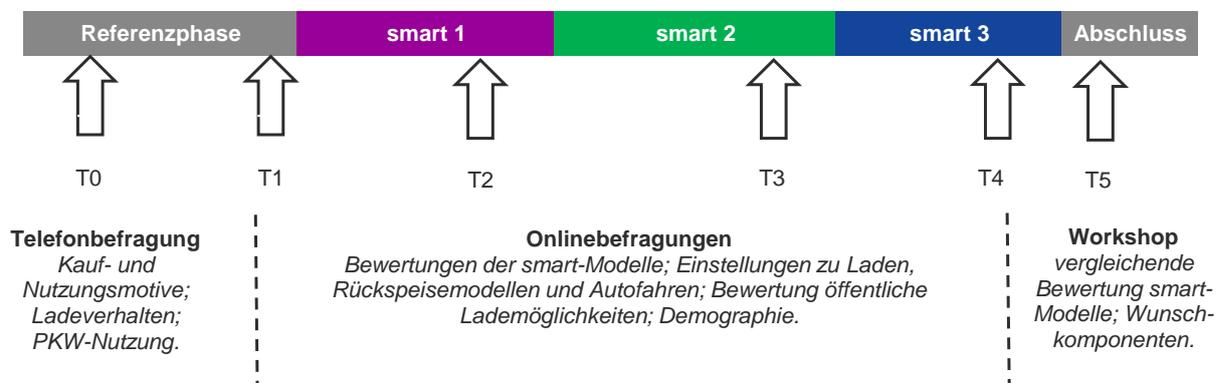
Um die Frage nach Treibern und Hemmnissen der Akzeptanz der entwickelten Lademodelle im Rahmen des Feldversuchs untersuchen zu können, wurde eine Längsschnittstudie<sup>4</sup> durchgeführt, in deren Verlauf alle Teilnehmer zu fünf verschiedenen Zeitpunkten (T0-T4) befragt wurden. Das Untersuchungsdesign setzte sich aus einem Methodenmix aus qualitativen und quantitativen Erhebungsinstrumenten zusammen, wobei das quantitative Erhebungsinstrument (Onlinebefragung) mit ergänzenden offenen Fragen so gestaltet war, dass es einen hohen qualitati-

---

<sup>3</sup> Vgl. auch [4] und [5]. Einen Überblick über frühere Forschungsergebnisse zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen mit Berücksichtigung der Nutzerperspektive geben [6].

<sup>4</sup> Mit Längsschnittstudien können Einstellungs- und Verhaltensänderungen einer Stichprobe über einen längeren Zeitraum hinweg zu verschiedenen Befragungszeitpunkten gemessen werden. Neben dem Vorteil, eine Befragtegruppe über einen längeren Zeitraum begleiten zu können, gibt es aber auch verschiedene Nachteile. Zwei davon sind der Panel- bzw. Lerneffekt der Teilnehmer (vgl. [7] und die Gefahr von Panelmortalität bzw. Erhöhung der Non-Response-Quote (zu den methodischen Implikationen vgl. [8])). In der vorliegenden Studie konnte aufgrund der sehr spezifischen Zusammensetzung der Teilnehmer kein Rotationsplan aufgestellt werden, um sukzessive frische Teilnehmer in das Panel aufzunehmen. Lerneffekte sind somit nicht auszuschließen und müssen bei der Interpretation der Lademodellbewertungen beachtet werden. Um die Panelmortalität so gering wie möglich zu halten, wurde über den Feldversuch hinweg eine intensive Panelpflege betrieben. Den Teilnehmern wurden u.a. persönliche Ansprechpartner genannt. Zusätzlich wurde zu Beginn und nach Abschluss des Feldversuchszeit eine monetäre Incentivierung an jeden Teilnehmer ausgezahlt. Mit diesen Maßnahmen ist es gelungen, das Feld der 30 Teilnehmer sehr stabil zu halten, die Panelmortalität während des 15-monatigen Feldversuches betrug nur eine Person.

ven Anteil enthielt. Zu einem sechsten Befragungszeitpunkt (T5) wurde zusätzlich eine Gruppendiskussion durchgeführt. **Abbildung 7.1** gibt einen Überblick über das Untersuchungsdesign der Längsschnittstudie.



**Abbildung 7.1:** Längsschnitt-Untersuchungsdesign der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung

### 7.2.1 Telefonbefragung (T0)

Die sozialwissenschaftlichen Erhebungen der Längsschnittstudie starteten mit einer Telefonbefragung aller TeilnehmerInnen. Die telefonischen Interviews wurden mit der Methode des problemzentrierten Interviews geführt (vgl. [9] [10] [11]). In ihrem Verlauf wurden die subjektiven Sinnbezüge sowie die Sicht-, Erfahrungs- und Handlungsweisen der TeilnehmerInnen im Themenfeld Elektrofahrzeug (Anschaffung, Nutzung, Laden) eruiert.

Mit den qualitativen Vorherinterviews wurde sowohl das Kauf- und Nutzungsverhalten als auch das Ladeverhalten der TeilnehmerInnen bzw. deren Bewertungen des Ladevorgangs exploriert. Diese explorative Phase trug dazu bei, die individuelle Bedeutung des Themas Elektrofahrzeug und Laden umfassend zu analysieren. Die Aussagen aus den Telefoninterviews dienten zusätzlich dazu, die späteren Bewertungen der Lademodelle in den Gesamtkontext des Themas „Laden“ einordnen zu können.

Zur Durchführung des teilstrukturierten Interviews wurde ein Leitfaden entwickelt, der folgende Themenblöcke behandelt:

- Fragen bzgl. der Anschaffung (grundsätzliche Überlegungen, wichtige Entscheidungskriterien, Reaktionen des Umfelds).
- Fragen zu Parken und Laden (wo parkt das Elektrofahrzeug tagsüber und nachts, Ladehäufigkeiten und -uhrzeiten, Ladeorte, Treiber und Hemmnisse beim Laden, Beurteilung der öffentlichen Ladeinfrastruktur).
- Fragen zur Nutzung des Elektrofahrzeugs (wie und wo wird das Elektrofahrzeug genutzt, Gründe für die Nutzung, Gründe für Nichtnutzung, Erfahrungen mit dem Elektrofahrzeug).
- Fragen zur allgemeinen Verkehrsmittelwahl (welche sonstigen Verkehrsmittel werden genutzt, gibt es noch konventionelle PKW im Haushalt, Hauptverkehrsmittel für die Bereiche Arbeit, Freizeit, Versorgungswege).

Die Telefoninterviews wurden von MitarbeiterInnen des Instituts für Transportation Design im Zeitraum vom 13.06.2014 bis 22.08.2014 durchgeführt<sup>5</sup>. Sie wurden im Einverständnis mit den TeilnehmerInnen mit einem digitalen Aufnahmegerät aufgezeichnet und zur weiteren Auswertung in Anlehnung an die Transkriptionsregeln nach Kallmeyer und Schütze wörtlich in normales Schriftdeutsch transkribiert (vgl. [12]). Dabei wurden evtl. auftretende Dialekte bereinigt, Grammatikfehler jedoch beibehalten. Da die Transkripte als Basis für eine sozialwissenschaftliche und keine sprachwissenschaftliche Inhaltsanalyse dienten, erschien dieses Vorgehen unter forschungspragmatischen Gründen als angemessen. Auffälligkeiten in der Sprache wurden jedoch festgehalten. Die Interviews wurden anschließend in die Software MAXQDA10 eingepflegt und codiert.

## 7.2.2 Onlinebefragungen (T1-T4)

Im Verlauf des Feldversuchs wurden vier Onlinebefragungen durchgeführt; sie wurden zum Ende der jeweiligen Feldphase mit den nachfolgenden Themenschwerpunkten freigeschaltet.

### Zeitpunkt T1 - Referenzphase mit der Möglichkeit *sofort-Laden*<sup>6</sup>

- Angaben zum Elektrofahrzeug (Hersteller, Modell, Baujahr, Anschaffungsdatum)
- Nutzung des Elektrofahrzeugs, Jahreskilometer und Reichweitenangaben
- Fragen zu Elektromobilität allgemein
- Ladehäufigkeit und benötigter Batterieladestand
- Einstellungen zum Laden
- Fragen zur CCB
- Soziodemographie

### Zeitpunkt T2 - Aktivierung von Lademodell *smart1*

- Veränderungen / Fuhrpark Elektrofahrzeug
- Bewertung des Ladens mit *smart1*
- Abfrage evtl. auftretender Ladeprobleme
- Öffentliches Laden

### Zeitpunkt T3 - Aktivierung von Lademodell *smart2*

- Veränderungen / Fuhrpark Elektrofahrzeug
- Bewertung des Ladens mit *smart2*
- Änderungen im Ladeverhalten
- Durchschnittliche Ladehäufigkeit Elektrofahrzeug
- Standorte Elektrofahrzeug und Planungsgrad der Fahrten, Fahrtziele

---

<sup>5</sup> Die Interviews dauerten im Schnitt 55 Minuten, der Range umfasste 33 bis 90 Minuten.

<sup>6</sup> Eine detaillierte Beschreibung der Lademodelle und der Versuchsphasen befindet sich Abschnitt 3.1.

- Einstellungen zum Autofahren allgemein

#### **Zeitpunkt T4** - Aktivierung von Lademodell *smart3*

- Veränderungen / Fuhrpark Elektrofahrzeug
- Bewertung des Ladens mit *smart3* und der Tagesprämie
- Änderungen im Ladeverhalten
- Einstellungen zum Laden
- Fragen zu Lademodellen mit Rückspeisefunktion

Die Onlinebefragungen wurden – bis auf diejenige zu Zeitpunkt T4 – jeweils innerhalb der letzten zwei Wochen der jeweiligen Feldphase durchgeführt. Eine Feldphase umfasste in der Regel 16 Wochen, eine Ausnahme bildete die Referenzphase am Anfang, in der die Teilnehmer 18 Wochen Zeit hatten, Erfahrungen mit der CCB zu sammeln. In den Onlinebefragungen wurde u. a. nach einer Bewertung des zuletzt aktivierten *smart*-Modells gefragt. Deshalb wurde der Zeitpunkt der jeweiligen Erhebungen so gewählt, dass vor Beginn der Befragung genügend Zeit für die Teilnehmer vorhanden war, um ein *smart*-Modell im Alltag zu testen. Die Befragung wurde aber abgeschlossen, bevor das nächste *smart*-Modell aktiviert wurde, damit dieses keine Effekte auf die Bewertung des Vorgängermodells ausüben konnte. Eine Ausnahme bildete der Zeitpunkt der letzten Befragung T4. Diese wurde u. a. aufgrund der Sommerferien in Niedersachsen, die im Jahr 2015 auf die letzten sechs Wochen des Feldversuches fielen, erst nach dem Ende der letzten Versuchsphase durchgeführt. Alle Terminierungen beinhalteten Pufferzeiten für Reminderaktionen.

Die Onlinebefragungen wurden in den folgenden Zeiträumen durchgeführt:

- T1: 11. bis 18.09.2014
- T2: 05. bis 13.01.2015
- T3: 22.04. bis 04.05.2015
- T4: 02. bis 14.09.2015

Am Stichtag wurde allen TeilnehmerInnen eine Einladungsmail mit personalisiertem Link zur Onlinebefragung gesendet.

Die sozialwissenschaftlichen Erhebungen des Feldversuchs starteten mit 30 TeilnehmerInnen und wurden zum Stichtag T4 mit 29 TeilnehmerInnen beendet. Die Nettorücklaufquote beträgt über den gesamten Zeitraum 96,7 %; der Panel-Drop-out ist mit einer Person also sehr gering. Die Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Auswertungen basieren auf den 29 verbleibenden Personen, die vollständige Umfragedatensätze geliefert haben.

Die Onlinebefragungen wurden mit der Software „EFS Survey“ des Anbieters Questback durchgeführt. Nach Abschluss der Befragungen konnten die SPSS-Datensätze exportiert werden. Sie wurden einer Plausibilitätskontrolle unterzogen und nach der letzten Befragung (T4) um den o. g. Panel-Drop-out bereinigt.

### **7.2.3 Diskussionsrunde (T5)**

Nach dem Ende der Feldversuchsphase wurden alle TeilnehmerInnen zu einer abschließenden Diskussionsrunde eingeladen. Der Workshop fand am 14.09.2015 in Hannover in den Räum-

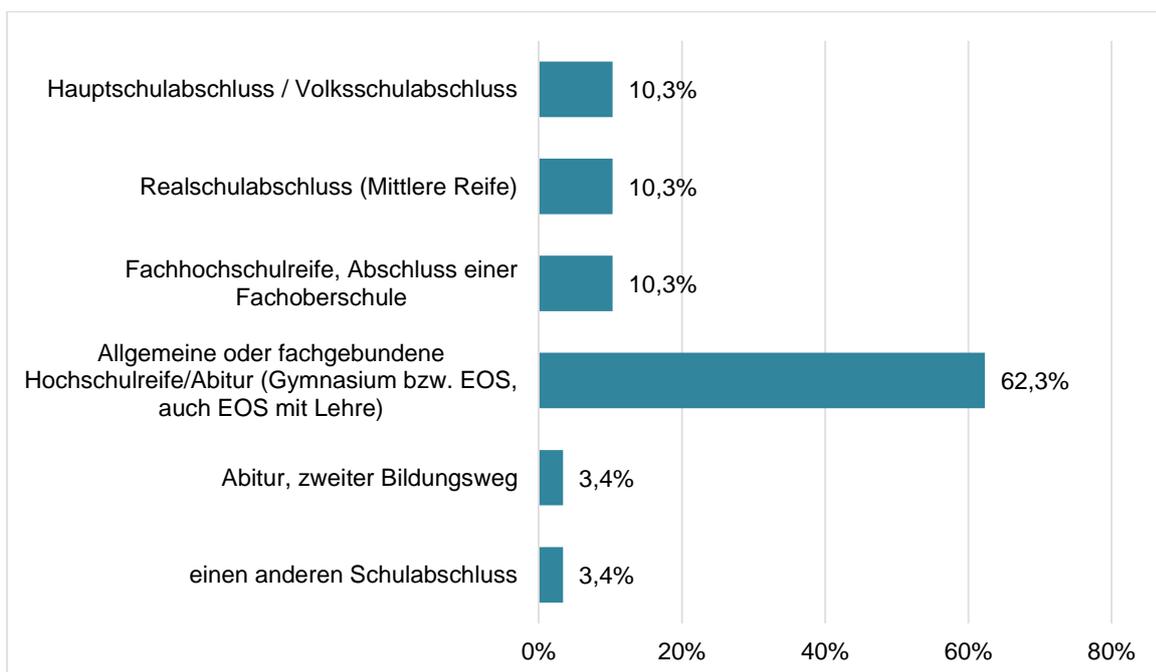
lichkeiten von enercity statt. Es waren 22 TeilnehmerInnen und 6 Personen aus dem Projektteam anwesend. Über die standardisierte Form der Onlinebefragungen hinaus sollte in einer offenen und leitfadenstrukturierten Gesprächsatmosphäre die Möglichkeit für das Forscherteam gegeben werden, noch einmal gezielt Bewertungen und Einstellungen zu den Lademodellen eruieren zu können. Die Gruppendiskussion war in zwei inhaltliche Blöcke aufgeteilt: Im ersten Block wurde eine Bewertung der drei Lademodelle vorgenommen, an die sich eine Diskussion über die Bewertungs- und Akzeptanzkriterien anschloss. Danach wurden die TeilnehmerInnen gebeten, für die Entwicklung eines „idealen“ Lademodells die aus ihrer Sicht notwendigen Komponenten für verschiedene Nutzungstypen zu sammeln.

### 7.3 Stichprobenbeschreibung

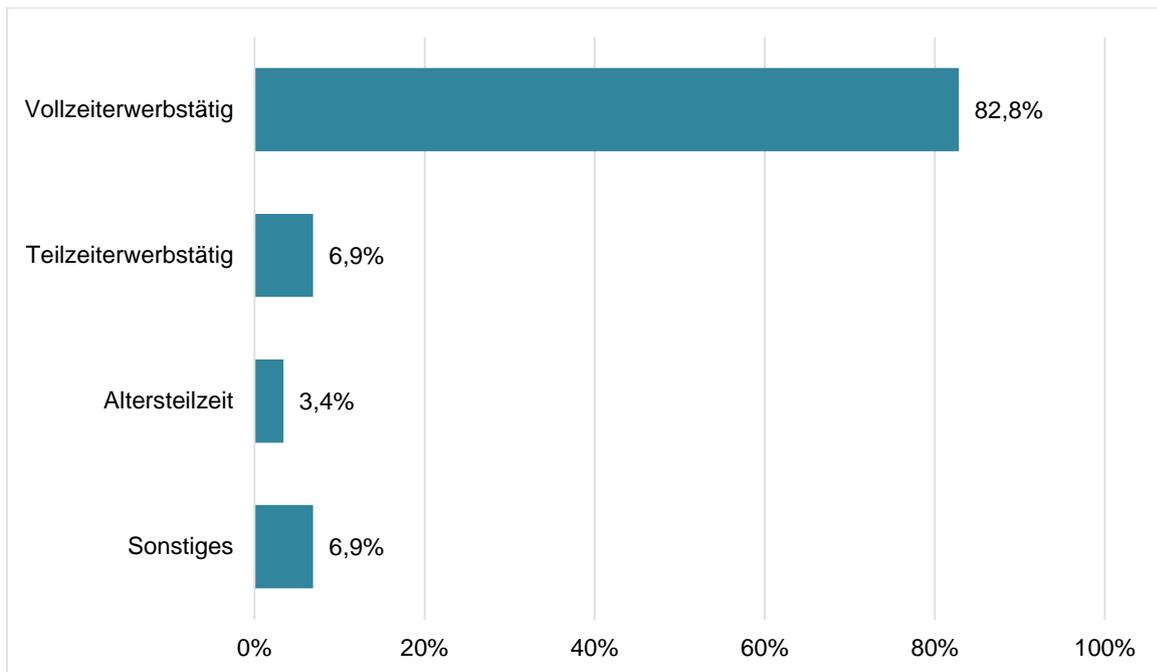
Zunächst werden die demographischen Daten vorgestellt, bevor eine Beschreibung der Stichprobe in Bezug auf die Kauf- und Nutzungsgründe und das Ladeverhalten vorgenommen wird.

#### 7.3.1 Teilnehmerkreis – Demographie

Die Teilnehmergruppe setzt sich aus 26 Männern und 3 Frauen im Alter von 26 bis 70 Jahren zusammen, der Altersdurchschnitt beträgt zum Start des Feldversuches 50 Jahre. Betrachtet man die Schulabschlüsse der Befragten in **Abbildung 7.2**, so ist auffällig, dass mit 62,1 % überdurchschnittlich viele Personen der Stichprobe eine allgemeine oder fachgebundene Hochschulreife/Abitur besitzen. Auch liegt eine hohe Erwerbsquote vor (vgl. **Abbildung 7.3**).



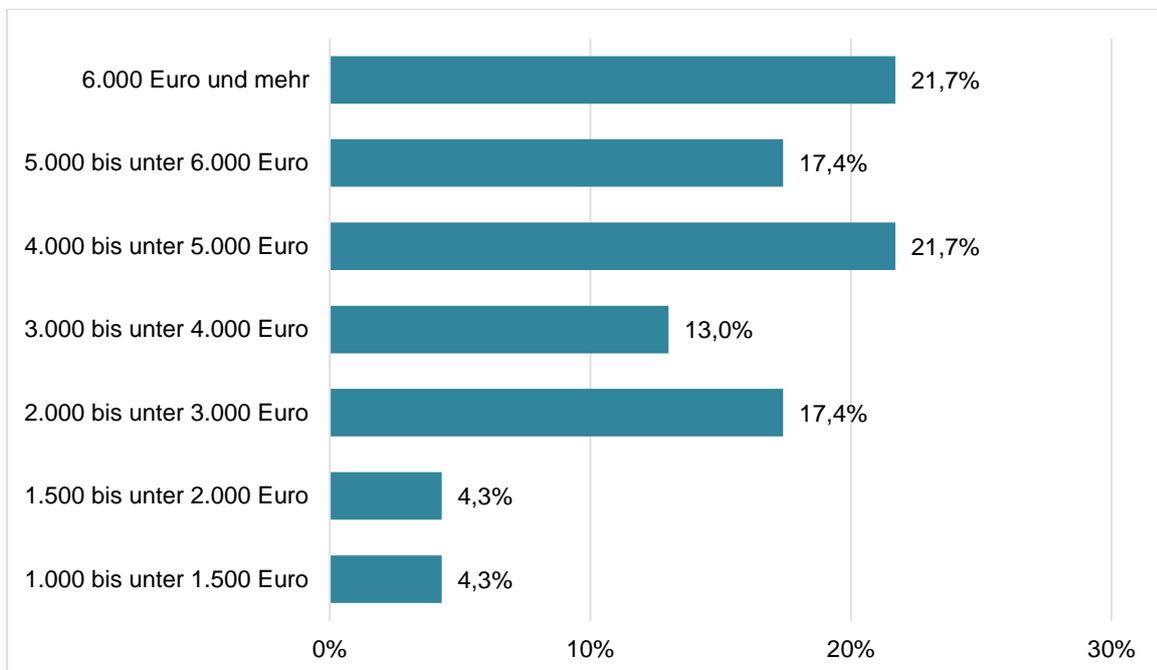
**Abbildung 7.2:** Schulabschluss, N = 29



**Abbildung 7.3:** Erwerbssituation, N = 29

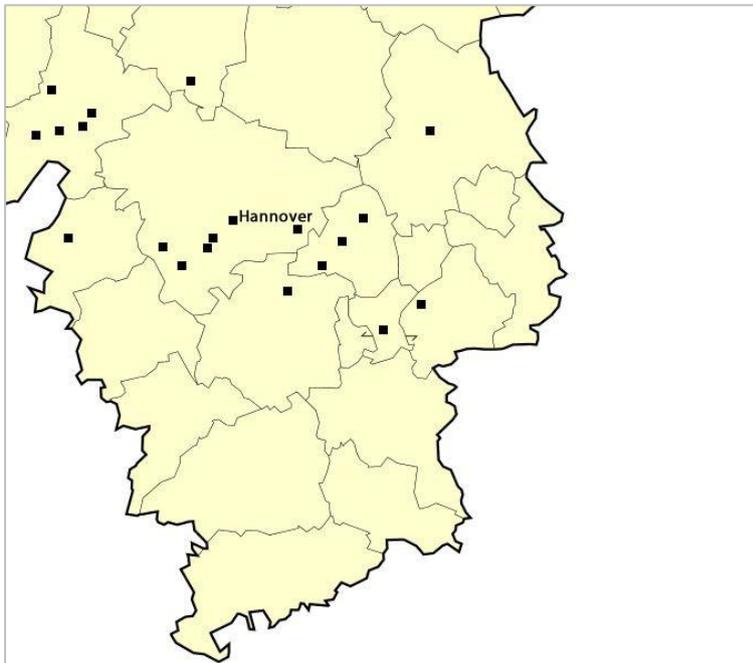
Die TeilnehmerInnen leben in Haushalten von einer bis fünf Personen, wobei Ein- und Fünf-Personenhaushalte jeweils nur einmal vertreten sind, Zwei-Personen-Haushalte insgesamt sechsmal und Drei- und Vier-Personen-Haushalte jeweils zehnmal (ohne Abbildung). Die durchschnittliche Haushaltsgröße der Stichprobe beträgt 3 Personen.

**Abbildung 7.4** zeigt die Angaben zum Haushaltsnettoeinkommen der Teilnehmer.



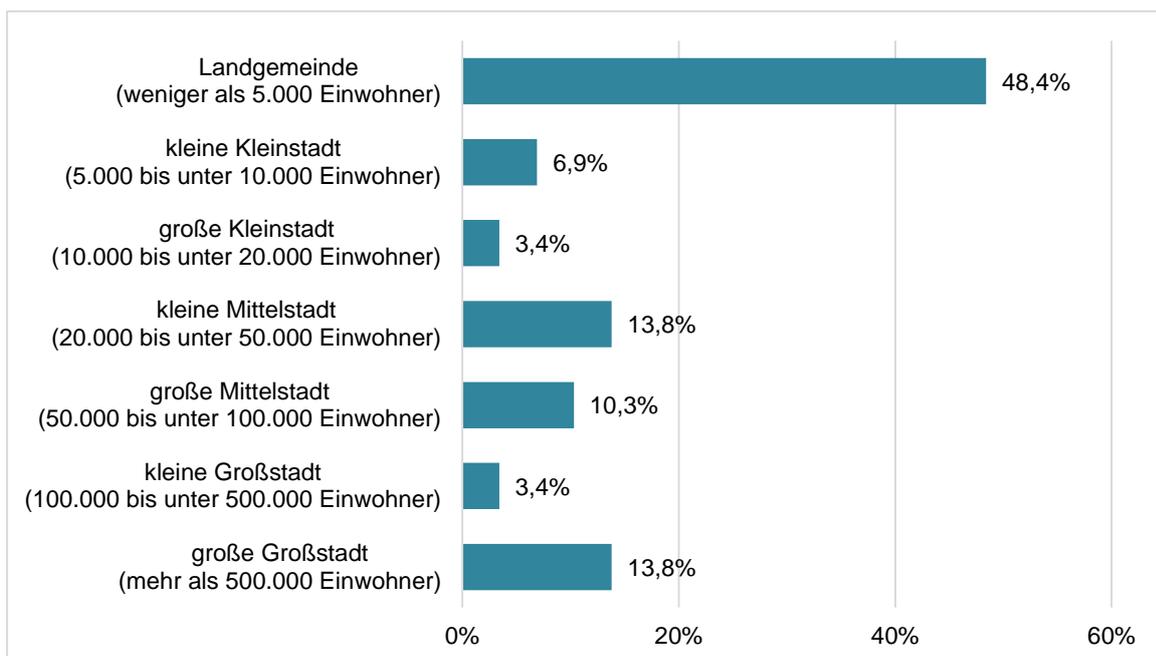
**Abbildung 7.4:** Monatliches Haushaltsnettoeinkommen, N = 23

Der Radius der Wohnorte der Teilnehmer liegt ca. 60-80 km im Umkreis von Hannover. Da es für den Feldversuch unerlässlich war, die entwickelte CCB bei den TeilnehmerInnen zu Hause zu installieren, mussten die Wohnorte für die Techniker gut zu erreichen sein. Dies galt nicht nur für die Installation, sondern auch für evtl. nötige Wartungsarbeiten an der CCB während des Feldversuches. Einen Überblick über die Verteilung der Wohnorte gibt **Abbildung 7.5**.



**Abbildung 7.5:** Wohnorte der TeilnehmerInnen

Fast die Hälfte des Teilnehmerkreises wohnt in Landgemeinden mit weniger als 5.000 Einwohnern, wie **Abbildung 7.6** zeigt. In einer Großstadt leben insgesamt nur ca. 17 % der teilnehmenden Personen.



**Abbildung 7.6:** Gemeindegrößenklassen der Wohnorte, N = 29

### 7.3.2 Teilnehmerkreis – Fahrzeuge

Der Feldversuch startete am 27.05.2014 mit den folgenden 37 Elektrofahrzeugen (vgl. **Tabelle 7.1**):

**Tabelle 7.1:** Elektrofahrzeuge in der Stichprobe zum Zeitpunkt T1

Hersteller	Modell	Baujahr	Anzahl
Aixam	Mega	2005	1
BMW	i3	2014	3
Citroen	Berlingo	2001	1
Citroen	C-Zero	2012	2
Citroen	Saxo	2002, 2003	2
Daimler	Smart	2012, 2013, 2014	3
EcoCraft Automotive	Eco Carrier	2010	2
German E-Cars	Stromos	2010	1
H <sup>2</sup> O e-Mobile	Elano	2013	1
Nissan	Leaf	2013, 2014	2
Peugeot	106	1997, 2000(2x)	3
Renault	Fluence ZE	2012	1
Renault	Kangoo	2012	1
Renault	Twingo	1998	1
Renault	Twizy	2012	2
Renault	ZOE	2013	8
Tesla	Roadster 2.5	2011	1
VW	e-up!	2014	1
VW	e-Golf	2014	1

Die Spannweite der Baujahre erstreckt sich vom Jahr 1997 bis ins Jahr 2014. Das Gros von 25 Fahrzeugen ist neueren Datums, es entstammt den Baujahren 2012 bis 2014.

22 der 29 Teilnehmer besitzen zu Beginn des Feldversuches ein Elektrofahrzeug im Haushalt, in vier Haushalten sind zwei Elektrofahrzeuge vorhanden und in jeweils einem Haushalt drei bzw. vier Elektrofahrzeuge<sup>7</sup>. Im Durchschnitt fahren die Teilnehmer ca. 16.000 km pro Jahr elektrisch. Im Vergleich dazu legen die Teilnehmer mit ca. 8.300 Jahreskilometern deutlich we-

<sup>7</sup> Bei dieser Aufzählung werden nur 28 Haushalte berücksichtigt. Die Diskrepanz kommt dadurch zustande, dass aus einem Haushalt zwei Mitglieder an dem Feldversuch teilgenommen haben.

niger Kilometer mit einem „konventionellen“ PKW zurück<sup>8</sup>. Fünf Personen haben keinen zusätzlichen konventionellen PKW im Haushalt, 17 Personen noch einen PKW mit Verbrennungsmotor und in sieben Haushalten sind noch zwei konventionelle PKW zusätzlich zum Elektrofahrzeug vorhanden. 19 Personen haben angegeben, dass sie mit dem Elektrofahrzeug ein Auto mit Verbrennungsmotor ersetzt haben. Die rekrutierte Stichprobe bewegt sich im automobilen Bereich also hauptsächlich elektrisch fort.

Die einfache Pendelstrecke zur Arbeit liegt größtenteils im Bereich von 2 bis 36 km. Nur drei Teilnehmer haben mit jeweils 50 km, 75 km und 100 km einen längeren einfachen Arbeitsweg. Der durchschnittliche einfache Arbeitsweg aller TeilnehmerInnen beträgt 22,5 km.

### 7.3.3 Anmerkungen zur Stichprobe

Bei dem hier gewählten qualitativen Untersuchungsdesign und der Randbedingung, nur eine relativ kleine Stichprobe von 29 Personen intensiv betrachten zu können, die zudem der spezifischen Population der Elektroautobesitzer angehören, ist es nicht zielführend und auch nicht möglich, Aussagen zur quantitativ-statistischen Repräsentativität zu tätigen. Ziel des gewählten, vorwiegend qualitativ orientierten Untersuchungsansatzes ist es, Motive und Sinnstrukturen zum Themenkomplex Laden detailliert zu untersuchen, um zukünftige Lademodelle für die Anforderungen und Bedürfnisse von Elektroautofahrern entwickeln zu können. Gleichwohl wurde ein Vergleich der demographischen Daten der vorliegenden Untersuchung mit denjenigen aus einer 2015 veröffentlichten Studie des Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR, vgl. [13]) vorgenommen. In dieser Studie wurden deutschlandweit 3.111 private und gewerbliche Nutzer von Elektrofahrzeugen (sowohl BEV als auch PHEV) mittels einer Onlinebefragung zu ihrem Nutzungsverhalten befragt.<sup>9</sup> Ein Vergleich der demographischen Angaben der Privatnutzer (1.946 Personen)<sup>10</sup> mit den 29 TeilnehmerInnen des Feldversuches in Demand Response (im Folgenden DR abgekürzt) zeigt, dass die soziodemographische Struktur der beiden Stichproben durchaus vergleichbar ist. Bei den Nutzern von Elektrofahrzeugen handelt es sich überwiegend um Männer (DLR: 89 %; DR: 89,7 %) mit einem Durchschnittsalter von 51 Jahren (DLR) bzw. 50 Jahren (DR). Die Mehrheit der Befragten hat einen hohen Bildungsabschluss: In der DLR-Studie hat jeder zweite private Nutzer ein Hochschulstudium absolviert. In der Gruppe der DR-Teilnehmer wurde nicht nach Berufsabschlüssen gefragt, sondern nur nach Schulabschlüssen. Hier besitzen ca. zwei Drittel der Befragten mit der allgemeinen oder fachgebundenen Hochschulreife/Abitur ein ebenfalls hohes Bildungsniveau. Die Vollzeitberufstätigkeit ist in beiden Stichproben sehr hoch. In der DR-Studie mit 82,8 % etwas höher als in der Stichprobe des DLR mit 70 %. In beiden Stichproben wird ein relativ hohes monatliches Haushaltsnettoeinkommen angegeben, die oberen Einkommenskategorien sind in der DR-Studie allerdings stärke-

---

<sup>8</sup> Der niedrige Mittelwert bei den konventionellen PKW-Kilometer erklärt sich auch aus der Tatsache, dass fünf Personen in der Stichprobe keinen konventionellen PKW im Haushalt besitzen. Werden diese fünf Personen von der Berechnung des Mittelwertes ausgeschlossen, steigt der Betrag der konventionell gefahrenen Jahreskilometer auf ca. 10.000 km, liegt also immer noch deutlich unter dem Betrag der elektrischen Jahreskilometer.

<sup>9</sup> Für eine detaillierte Beschreibung des Untersuchungsdesigns vgl. [13].

<sup>10</sup> Die folgenden demographischen Angaben finden sich bei [13].

ker besetzt als in der DLR-Befragung. Hier wie dort leben vergleichbar viele Befragte in Groß- und Mittelstädten. Während die Befragten der DLR-Studie jedoch vorwiegend in Kleinstädten leben tun dies die Feldversuchsteilnehmer überwiegend in Landgemeinden. In Bezug auf die Haushaltsgröße gibt es nur eine tendenzielle Übereinstimmung an den Randkategorien (1-Personen-Haushalte und ab 4-Personen-Haushalte). Die Verteilung der 2- und 3-Personen-Haushalte ist in den beiden Stichproben mit umgekehrten Größenkategorien besetzt.

Auch die PKW-Ausstattung ist vergleichbar: In den Haushalten der DLR-Studie besitzen 80 % der Privatnutzer zumindest ein weiteres konventionelles Fahrzeug, bei den Teilnehmern der DR-Studie sind es 82,7 %. Die durchschnittliche rein elektrische Jahresfahrleistung der DLR-Studie ist mit 10.300 km<sup>11</sup> geringer, als diejenige der DR-Teilnehmer mit 16.000 Jahreskilometern. Sie wird mit 11.717 Jahreskilometer allerdings größer, wenn man bei den BEV die Leichtfahrzeuge nicht berücksichtigt, sondern nur die PKW-Angaben<sup>12</sup>.

Die Ergebnisse zeigen, dass die 29 Teilnehmer-Stichprobe des Feldversuches im Vergleich zur Stichprobe der deutschlandweit durchgeführten Onlinebefragung des DLR einen realitätsnahen Ausschnitt darstellt. Obwohl aufgrund der externen Randbedingungen bestimmte Vorgaben einzuhalten waren, z. B. eine Stichprobe aus Niedersachsen und möglichst aus dem Großraum Hannover zu ziehen, ist es trotzdem gelungen, eine im Vergleich zu repräsentativ angelegten Studien proportionale Stichprobe in Bezug auf private Elektrofahrzeugnutzer zu erhalten.

## 7.4 Kauf- und Nutzungsgründe für das Elektrofahrzeug

Um die späteren Befragungsergebnisse zu den entwickelten *smart*-Lademodellen besser interpretieren zu können, wurde vor dem eigentlichen Feldstart ein Telefoninterview zum Zeitpunkt T0 mit jedem Teilnehmenden durchgeführt. In diesen Telefoninterviews wurden die Kauf- und Nutzungsmotive für das Elektrofahrzeug erhoben sowie das Ladeverhalten und die Bewertung von Begleitumständen des Ladens. Um mögliche Unterschiede deutlich herausarbeiten zu können, wurden die Kaufgründe und die Nutzungsgründe separat ausgewertet.<sup>13</sup>

### 7.4.1 Kaufgründe

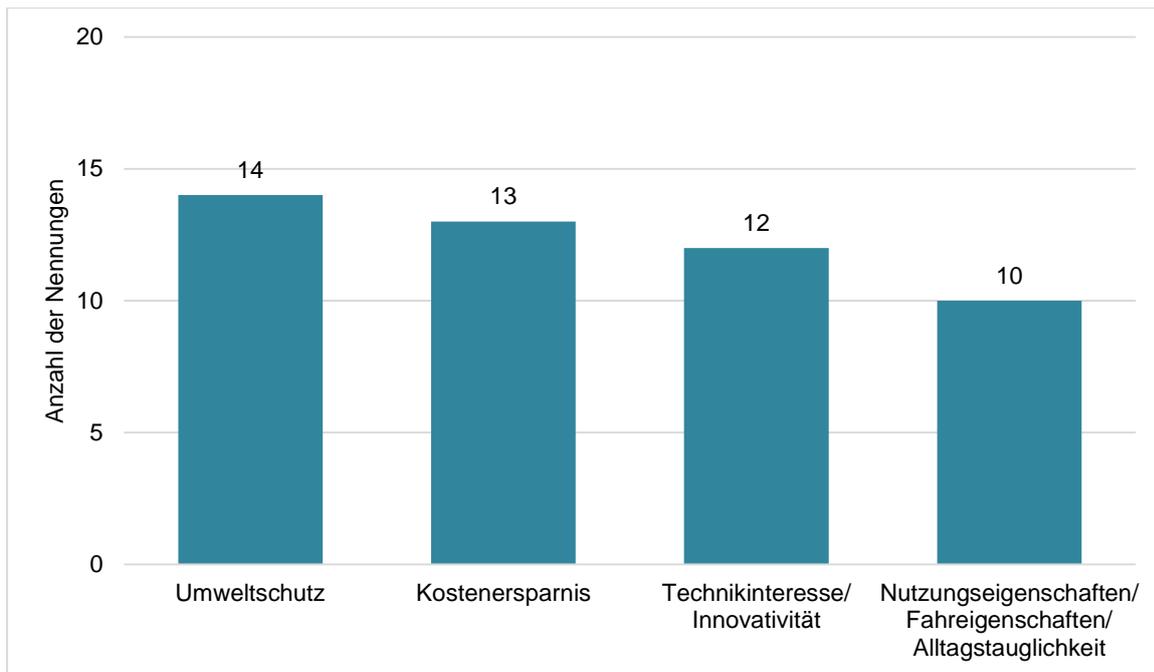
Es gibt vier Beschaffungsgründe, die in den Telefoninterviews von relativ vielen Teilnehmern angesprochen wurden. Einen Überblick über die Hauptkategorien, die von den Teilnehmern als Kaufgründe genannt wurden, gibt **Abbildung 7.7**.

---

<sup>11</sup> vgl. [13].

<sup>12</sup> vgl. [13].

<sup>13</sup> Die Kategorien der Kauf- und Nutzungsgründe wurden aus den Antworten der Feldteilnehmer gebildet. Sie waren nicht von den Interviewern bzw. dem Leitfaden vorgegeben.



**Abbildung 7.7:** Kaufgründe für Elektrofahrzeuge, Mehrfachnennungen möglich<sup>14</sup>

In jeder der Hauptkategorien sind verschiedene thematische Schwerpunkte integriert. Im Folgenden werden die getätigten Aussagen in den einzelnen Bereichen detaillierter vorgestellt.

#### 7.4.1.1 Umweltschutz

Die Kategorie Umweltschutz beinhaltet mehrere Schwerpunkte. Der am häufigsten genannte Schwerpunkt betrifft den Wunsch nach Effizienz aus Gründen der Ressourcenschonung. Dieser Grund für die Beschaffung von Elektrofahrzeugen wurde von elf Feldteilnehmern angesprochen:

*„...also für mich habe ich Autofahren immer gesehen als problematisch, was die Umweltauswirkungen betrifft. Ja, mit Verbrennungsmotoren verballern wir da wertvolle Ressourcen, die wir anderweitig ganz gut dringender bräuchten. Die sind dann weg, der Wirkungsgrad ist schlecht, die Effizienz ist grottig, und das war für mich immer so ein Grund, zu gucken: O.k., ich brauche ein privates Auto bzw. auch ein berufliches Auto, ich bin selbstständig und habe immer ein Auto für beide Zwecke und habe dann auch immer geguckt, dass ich das so mit geringstmöglichem Umweltimpact eigentlich betreiben kann.“ (TeilnehmerIn\_18<sup>15</sup>)*

<sup>14</sup> Die Angabe von N bezieht sich auf die Anzahl der Teilnehmer, die eine Aussage in dem jeweiligen Themenbereich getätigt haben. Die Kategorien wurden nachträglich aus den Beiträgen der Teilnehmer extrahiert, deswegen schwankt die Anzahl der Wortbeiträge pro Kategorie.

<sup>15</sup> Aus Gründen der Anonymisierung wurde im vorliegenden Abschlussbericht die Nummerierung der Teilnehmenden bei der Darstellung der Zitate durch ein randomisiertes Verfahren ermittelt. Die Nummerierungen entsprechen somit nicht den Identifikationsnummern der CCBs und können nicht mit dem berichteten Ladeverhalten gematcht werden.

Neben der Verbindung Umweltschutz und Effizienz wurde von sieben Feldteilnehmern angemerkt, dass ein Elektrofahrzeug angeschafft wurde, da es die Möglichkeit bietet, regenerative Energien zu nutzen. Dabei wurde in vier Fällen in diesem Kontext auch die Möglichkeit zur Nutzung selbstproduzierter Energie angesprochen:

*„...wenn ich so viel Strom produziere [...] wenn ich das dann eben für die Autos nutze, dann ist das eben einmal so rein gedacht eine gute Sache. Ökologisch gesehen kann ich mir in den letzten Jahren immer mehr Energieverbrauch elektrischer Art vorstellen, weil ja immer mehr ökologisch oder erneuerbar eben produziert wird...“ (TeilnehmerIn\_16)*

Dem folgt, genannt von sechs Feldteilnehmern, ein Beschaffungsgrund, der Umweltschutz aus einer weiteren Perspektive adressiert. Es wird die Vermeidung oder Reduzierung von generellen (globalen) oder lokalen Emissionen thematisiert:

*„Ja, klar, das Thema Elektromobilität hinsichtlich ökologischer Auswirkung, wenn man jetzt mal von einem zukünftig kommenden Energiemix der eher regenerativ, also irgendwie emissionsarm ist, das ist ein starker Beweggrund gewesen...“ (TeilnehmerIn\_23)*

Während manche Teilnehmer sich klar zu ökologischen Gründen bekennen...

*„Eher ökologisch begründet. Definitiv nicht ökonomisch.“ (TeilnehmerIn\_13)*

...und sonst auch keine weiteren Beschaffungsgründe benennen, wirken ökologische Gründe bei anderen Teilnehmern allerdings eher wie ein Zusatz und nicht letztendlich ausschlaggebend für den Kauf:

*„...für mich war es eigentlich eher, dass ich es als zukunftsweisend sehe [...], dass ich im Endeffekt auch ein bisschen Umweltschutzgedanke auch hatte und auch das die Unterhaltung an sich günstiger ist. Das hat den höheren Kaufpreis für mich auch wett gemacht und das ist ja noch ein Nachteil...“ (TeilnehmerIn\_21)*

Der ökonomische Faktor wird von einzelnen Teilnehmern detaillierter ausgeführt, diese Ausführungen werden in der folgenden Kategorie Kostenersparnis zusammengefasst.

#### **7.4.1.2 Kostenersparnis**

Ein weiterer genannter Kaufgrund ist die kostengünstige Unterhaltung und Nutzung von Elektroautos. Dieser Grund wird von sechs Feldteilnehmern erwähnt, wobei fünf Teilnehmer angeben, dass insbesondere die Reduzierung von Fahrtkosten bei einem Elektroauto von Bedeutung sei:

*„...was kostet der Strom, dann sage ich ja mich erst mal so jetzt nichts. Aber 30 Cent die Kilowattstunde, rechne ruhig mit 15 Kilowattstunden pro 100 Kilometer, das schwankt zwischen 11 und 16 irgendwo oder 17 im Winter. Und dann kannst du das ausrechnen,*

*das kostet eben 100 Kilometer, die Hälfte wie bei einem sparsamen anderen Auto. Und was besonders interessant ist, wenn ich dann öffentlich tanke, wenn ich dann z.B. einkaufe oder so, dann bietet sich hier die Gelegenheit, man muss sowieso parken, und dann kann man eben an verschiedenen Stellen, hier in [Ortsname]<sup>16</sup> gibt es zwei Stellen, wo man dann parkt und Parkgebühren bezahlt aber in der Zeit auch Aufladen kann, was nichts extra kostet...“ (TeilnehmerIn\_12)*

In diesem Zusammenhang spielt auch der Wunsch des Unabhängig-Seins von Benzinpreisen eine Rolle, der von sechs Feldteilnehmern genannt wurde:

*„Ich warte seit Jahren darauf, dass ich kein Mineralöl brenne [...] keinen Sprit mehr brauche. Also ganz einfach unabhängig vom Spritpreis, vom Spritverbrauch zu sein. Ganz, ganz platt [...] Ich sage mal, wirklich unabhängig von der Mineralölindustrie zu sein.“ (TeilnehmerIn\_6)*

In Bezug auf den Kostenfaktor wird also ein höherer Kaufpreis akzeptiert, weil eine Amortisierung über die günstigen Unterhaltskosten adressiert und die Unabhängigkeit von Mineralölpreisen und deren Schwankungen favorisiert wird. Der Wunsch nach Unabhängigkeit hat für einige Teilnehmer neben der wirtschaftlichen Komponente zusätzlich eine politische und auch ökologische. Die „Autarkiebestrebungen“ können deswegen nicht klar einer der beiden Kategorien zugeordnet werden, sondern ziehen sich sowohl durch Überlegungen bzgl. Umweltschutz als auch bzgl. einer Kostenersparnis:

*„...also ich möchte die nahezu vollständige Autarkie. Aus Umweltschutzgründen und auch aus politischen Gründen. [...] politisch ist es so gemeint, dass wenn Sie sich Deutschland anschauen, dass unser Staat nun mal nicht über bestimmte Rohstoffe verfügt, dass man sich davon nicht abhängig machen sollte, obwohl man eben weiß, was die Folgen dieser Abhängigkeit, das heißt also, dieses Konsums eben sind [...] das sind ja nicht nur Kriege, das ist ja die Spitze des Eisberges, es ist ja auch eine massive Umweltzerstörung und tägliches Risiko.“ (TeilnehmerIn\_12)*

*„Da ist es ja besser, wenn man so viel wie möglich von der selbst produzierten Energie dann vor Ort selber verbraucht [...] gerade hier in [Ortsname] haben wir ja Strom ohne Ende. Der Flecken [Ortsname] produziert mehr als doppelt viel Strom wie hier verbraucht wird. Und wir haben Energie ohne Ende. Und dann ist es für mich ein bisschen widersprüchlich, dass wir dann immer noch stark auf fossile Energieträger angewiesen sind, die dann von weit her hier her kommen müssen. Und die ganzen Schwierigkeiten, die damit verbunden sind. Instabile Länder in denen die dann gefördert werden. Umweltschäden, Emissionen und die ganzen, ganzen Nebenerscheinungen. Die machen es ja eigentlich ganz uninteressant, mit fossilen Energieträgern weiter zu machen.“ (TeilnehmerIn\_5)*

---

<sup>16</sup> Die Ortsnamen werden in den Zitaten nur anonymisiert dargestellt.

Auch das Thema Effizienz, das in Zusammenhang mit Umweltschutz und einer beabsichtigten Ressourcenschonung genannt wurde, wird im Themenbereich Kostenersparnis noch einmal adressiert.

*„Ja, damals war so die Benzinpreiswelle und man hatte dann immer eben diese kleineren Fahrten, so eben zwei, drei, vier, fünf Kilometer, die eben immer anfallen zum Einkaufen, zum was weiß ich, was eben so alles ist an Fahrten und die lassen dann beim Verbrennerfahrzeug natürlich immer den Durchschnittsverbrauch deutlich über dem liegen, als das, was angegeben ist. [...] Und ja, dann war eben die Überlegung [...] Können wir nicht für diese ganzen Kleinfahrten irgendwie was anderes machen? Und dann kam es dann irgendwie auf Elektroauto...“ (TeilnehmerIn\_22)*

#### **7.4.1.3 Technikinteresse/Innovativität**

Von acht Feldteilnehmern wurde angesprochen, dass das Interesse an der speziellen Technik, der technischen Funktionsweise oder den technischen Möglichkeiten von Elektrofahrzeugen sehr hoch ist:

*„...weil ich [...] die Technik einfach spannend finde und einfach jetzt von Anfang mit eben dabei zu sein und einfach die Möglichkeit damit auszuloten.“ (TeilnehmerIn\_9)*

Damit zusammenhängend kam bei sechs Feldteilnehmern auch das vertiefte Interesse an der spezifischen Technik von Elektrofahrzeugen, insbesondere den Elektromotoren und Batterien zum Ausdruck:

*„...ich bin Elektrotechnikingenieur und solche Techniken, das ist eigentlich so mein Leben. [...] und als ich von dem Auto gehört habe, da ist das Interesse natürlich erstmal groß. Als ich dann so die ersten Bilder und die ersten Fahrberichte gesehen habe und die genauen technischen Daten, da war eigentlich klar, so ein Auto muss ich haben...“ (TeilnehmerIn\_19)*

Bei einigen Feldteilnehmern wurde deutlich, dass sie Freude und Spaß am Experimentieren mit der neuen Technik und deren Ausprobieren haben:

*„Das es ja mehr ein Experimentierstatus ist, den man dann ja hat. Wenn man so ein Ding hat, dann muss man auch ein bisschen basteln können, mit so einem [Fahrzeugname], das ist ja ein Erlebnisauto. Das ist ein gebrauchter, der ist 10 Jahre alt, der kommt direkt aus Frankreich, und dann geht es los. Wie fährt das? Wie funktioniert das? Dann braucht man ein Handbuch, da ist ja nichts bei. Und dann gibt's ja Internet und dann gibt es Foren und dann helfen einen auch Leute, die auch so ein Ding fahren und von daher, dann braucht man noch dieses Ersatzteil und was passiert wenn das lauter lädt oder wenn das brummt beim Laden. Ich weiß nicht was da alles für Möglichkeiten waren. Das ist ein richtiges Erlebnis.“ (TeilnehmerIn\_26)*

Für andere Teilnehmer hingegen, die ebenfalls technisch interessiert sind, musste die Technik von Elektrofahrzeugen erst ausgereifter werden, um die bereits vorhandene Kaufabsicht in die Tat umzusetzen. Diese Personen haben ausgesagt, dass sie schon länger darüber nachgedacht haben ein Elektrofahrzeug anzuschaffen, allerdings u. a. noch darauf gewartet hätten, dass der Preis angemessen sei, eine gewisse Alltagsauglichkeit erreicht werde und „vernünfti-

ge“ oder „richtige“ Autos hergestellt werden, die den Experimentierpunkt überschritten hätten. Erst als diese Voraussetzungen in ihren Augen erfüllt waren, schritten sie zum Autokauf.

*„...das Auto, was ich jetzt fahre, das Renault-Zoe-Modell, ist dann in Preisregionen gerutscht, die dann für mich attraktiv waren, und auch von der Technologie her, was die Reichweite betrifft, was das Komfort-Level beim Fahren betrifft. Das sind also nicht mehr experimentelle Autos, die auch komisch aussehen, sondern das sind wirklich alltags-taugliche Autos, [...] ja, dann wurde es eben interessant für mich...“ (TeilnehmerIn\_18)*

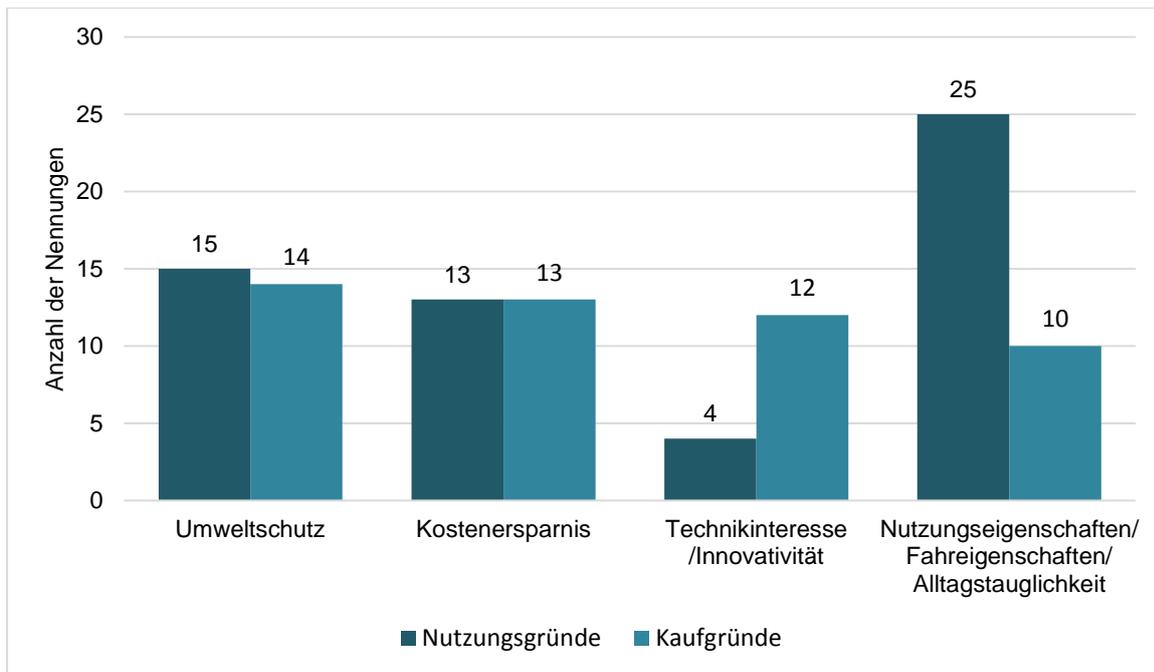
Der Grad der Innovationsbereitschaft unterscheidet sich zwischen den Teilnehmern. Während einige es faszinierend finden, zu einem relativ frühen Zeitpunkt das Abenteuer Elektroauto zu wagen, vollziehen andere den Schritt zum Kauf erst, nachdem das Stadium des Experimentierens überwunden ist und die Fahrzeuge eine gewisse Alltagstauglichkeit erlangt haben.

#### **7.4.1.4 Nutzungseigenschaften**

Obwohl vereinzelt auch Nutzungsgründe als Kaufmotive genannt wurden, ragt im Themenbereich der Nutzungseigenschaften/Fahreigenschaften/Alltagstauglichkeit kein Kaufgrund durch eine besonders hohe Nennung hervor. Hier wird eine Bandbreite von spezifischen Faktoren jeweils von wenigen Teilnehmern angesprochen. Dieser Themenbereich wird im folgenden Kapitel der Nutzungsgründe ausführlicher beschrieben.

#### **7.4.2 Nutzungsgründe**

Nachdem die Gründe für die Beschaffung von Elektrofahrzeugen im letzten Abschnitt im Vordergrund standen, liegt der Fokus in diesem Abschnitt auf den Gründen für die Nutzung. Die folgende **Abbildung 7.8** zeigt eine Stabilität in den Bereichen Umweltschutz und Kostenersparnis. Die Anzahl der Nennungen bleibt hier relativ konstant. Veränderungen gibt es in den beiden anderen Themenbereichen. Die Anzahl der Nennungen im Bereich Technikinteresse/ Inno-vativität nimmt ab, hat also für die Nutzung eine geringere Bedeutung als für die Anschaffung. Die Nennungen im Bereich Nutzungseigenschaften nehmen hingegen deutlich zu.



**Abbildung 7.8:** Nutzungsgründe des Elektrofahrzeugs im Vergleich zu den Kaufgründen, Mehrfachnennungen möglich<sup>17</sup>

Im Folgenden werden die Themenbereiche wieder separat betrachtet.

#### 7.4.2.1 Umweltschutz

In diesem Bereich fokussieren die Antworten der Feldteilnehmer auf einige schon bekannte Nutzungsgründe, die auch bei den Kaufmotiven genannt wurden, z.B. allgemeine Umweltfreundlichkeit, Vermeidung von Emissionen, Kauf im Einklang mit dem eigenen Umweltbewusstsein:

*„Weil es umweltfreundlich ist, energiesparend, ich verbrauche nur 13,5 kW pro 100 Kilometer mit dem Ding und es ist leise. Tja und hat bei mir mehr Komfort als der Diesel, den ich da noch habe. Und deswegen nehme ich den.“ (TeilnehmerIn\_26)*

Spezifischer wird dann noch von sechs Feldteilnehmern die Vermeidung von lokalen Emissionen als Nutzungsgrund angesprochen:

*„Na, dass man die Luft in der Stadt nicht weiter verpestet. Gibt ja nichts Schlimmeres wie einen laufenden Motor neben einem, wenn man irgendwo langgeht. Um elektrisch, [...] ja, den Luxus und den Komfort eines Autos halt zu nutzen, ohne die Umwelt zu belasten.“ (TeilnehmerIn\_11)*

<sup>17</sup> Die Angabe von N bezieht sich auf die Anzahl der Teilnehmer, die eine Aussage in dem jeweiligen Themenbereich getätigt haben. Die Kategorien wurden nachträglich aus den Beiträgen der Teilnehmer extrahiert, deswegen schwankt die Anzahl der Wortbeiträge pro Kategorie.

Weiterhin wird von fünf Teilnehmern als Nutzungsgrund angesprochen, dass regenerativ erzeugte Energie verwendet wird oder verwendet werden kann:

*Und natürlich rationale Gründe, wie die Möglichkeit der Eigenproduktion, umweltfreundlichen Eigenproduktion von Fahrstrom. Das ist ein Grund. Sage ich mal, ein relativ gutes Gewissen dabei. Wenn man dann die eigentlich ökologisch unsinnige Individualmobilität nutzt. (TeilnehmerIn\_13)*

Auch der Zusammenhang zwischen dem Wunsch nach automobiler Fortbewegung und die Nutzung ihrer Vorteile bei gleichzeitigem Schutz der Umwelt wird thematisiert. Zwölf der 29 Feldteilnehmer haben angesprochen, dass die Nutzung des Elektrofahrzeugs ihnen die Möglichkeit gibt, die Vorteile eines Autos bzw. eines *Elektroautos* zu nutzen und gleichzeitig ein gutes Gefühl oder Gewissen gegenüber der Umwelt zu haben. Ein Feldteilnehmer betonte, dass diese Synergie verstärkt wird, wenn selbstproduzierte, regenerative Energie genutzt wird:

*„Also einmal ist es sehr angenehm leise, das gefällt mir sehr gut, das ist eine schöne Eigenschaft und zum anderen ist es halt auch so eine Geschichte, das ich in Sachen Nachhaltigkeit, möchte ich das gerne später mal über meine Photovoltaikanlage laden, das geht momentan noch nicht, aber das wäre sozusagen für mich mein Plan, wenn ich dann eben über selbsterzeugte Energie mein Auto lade, dann hat man sozusagen ein gutes Gewissen, dass eben hinten aus dem Auto nichts rauskommt, an Abgasen, und man eben auch nicht kohleproduzierten Strom verwendet oder Atomstrom verwendet, das ist so das, was das ganz für mich angenehm macht und wo ich sage, da habe ich ein gutes Gefühl wenn ich damit fahre.“ (TeilnehmerIn\_29)*

Die Nennung des Wunsches nach einem „guten Gewissen“ bei der motorisierten individuellen Fortbewegung scheint vor allem mit den Nutzungsgründen assoziiert zu sein. Bei der Explikation der Kaufgründe wird dies nicht thematisiert.

#### **7.4.2.2 Kostenersparnis**

Im Nutzungskontext wird von den Teilnehmern noch einmal hervorgehoben, wie günstig die Fahrt- und Nutzungskosten eines Elektrofahrzeugs sind, vor allem im Kurzstreckenbereich. Das wurde von neun Feldteilnehmern thematisiert.

*„...und letztendlich finde ich aber auch die gesamte Verbrauchersituation ist in meinen Augen auch ein Highlight. Dass ich damit insgesamt viel günstiger fahre, als wenn ich mein konventionelles Auto nehme. Zumindest was diesen Kurzstreckenbereich angeht über den wir jetzt hier im Stadtverkehr reden.“ (TeilnehmerIn\_9)*

Fünf Feldteilnehmer sprachen in diesem Kontext die geringeren Treibstoffkosten an:

*„Ja, also zumindest wenn ich das mal an reinen Verbrauchskosten sehe [...] dann komme ich ungefähr auf ein Drittel von dem [...] was mein konventionelles Auto verbrauchen würde.“ (TeilnehmerIn\_9)*

In drei Fällen wurde deutlich hervorgehoben, dass der Effekt der geringeren Nutzungskosten verstärkt wird, wenn genutzter Strom selbst produziert wird:

*„...und billiger geht es wirklich nicht. Naja gut das Auto muss man ja erst mal kaufen [...] das ist dann etwas teurer aber auf die Dauer ist das dann mit dem Strom günstiger. Wir haben eine Photovoltaikanlage auf dem Dach. Am Wochenende kann man dann da sehen, sonnabends oder sonntags, wenn die Sonne scheint, dann wird dann geladen. Das geht dann direkt von der Solaranlage in die Ladestation und unten ins Auto. (TeilnehmerIn\_26)*

#### **7.4.2.3 Technikinteresse/Innovativität**

Der Einfluss des Themenbereichs Technikinteresse/Innovativität auf die Nutzungsgründe wird nur von wenigen Teilnehmern angesprochen, so dass keine Schwerpunktbildung möglich ist. Deshalb wird an dieser Stelle keiner der Nutzungsgründe aus diesem Bereich hervorgehoben. Insgesamt sind die Nennungen in diesem Bereich im Vergleich zu den Kaufgründen zurückgegangen. Das lässt grundsätzlich darauf schließen, dass das Technikinteresse und die Faszination, die der innovative Antrieb auslöst, eher für den Kauf ausschlaggebend ist und eine weniger große Rolle bei der Nutzung spielt.

#### **7.4.2.4 Nutzungseigenschaften**

Es gibt sehr viele unterschiedliche Nutzungsgründe, die von den Feldteilnehmern genannt wurden und in diesen Themenbereich fallen. Von 16 Teilnehmern angesprochen, und damit von besonders vielen Personen erwähnt, wird der Nutzungsgrund des lautlosen, ruhigen oder zumindest leisen Fahrens angegeben. Dieser wird von fünf Feldteilnehmern gemeinsam mit stressfreiem, geradezu entspanntem, gleitendem Fahren als Nutzungsgrund benannt:

*„...das klingt wirklich witzig, aber ich bin sonst nicht so ein Autofanatiker, aber ich steige jedes Mal wieder gerne in dieses Elektroauto ein und freue mich wirklich auf jede Fahrt, weil das einfach ein unvergleichlich angenehmes Fahrgefühl ist. Das ist ruhig, es ist vollkommen vibrationsfrei. Das ist etwas, was ich auch [...] am erstaunlichsten fand, weil das mir gar nicht so klar war, wie eigentlich in einem Auto, was mit Verbrennungsmotor angetrieben wird, dass man da immer Vibrationen hat. Das ist so, das kriegt man schon gar nicht mehr so bewusst mit. Aber wenn man dann mal elektrisch fährt und die einfach nicht da sind, dann fällt einem das auf. Sehr angenehm. Also das Fahrgefühl im Elektroauto ist wirklich sehr, sehr angenehm und ganz, ganz stressfrei.“ (TeilnehmerIn\_18)*

*„...wer mal elektrisch gefahren ist, weiß ja auch, dass es irgendwie was ganz anderes ist. Und eben allein der Spaß so sanft über die Landschaft zu gleiten...“ (TeilnehmerIn\_22)*

Ebenfalls von zehn Feldteilnehmern werden die Faktoren allgemeiner Fahrspaß oder die allgemeine Fahrfreude angesprochen. Zusätzlich gibt es zehn Nennungen zu den Themen Beschleunigung und Fahrdynamik bzw. das hohe Drehmoment:

*„Naja mit jedem Elektrofahrzeug die Lautlosigkeit und der Drehmoment, der hohe Drehmoment. Die Kraft ohne Geräusch. Und der sich ergebende Fahrspaß.“ (TeilnehmerIn\_7)*

Als nächstes wird von neun Feldteilnehmern das allgemein schöne, gute und angenehme Fahrgefühl als Nutzungsgrund angesprochen:

*„Also jeder, der sich da rein setzt und fährt, findet das sagenhaft...“ (TeilnehmerIn\_28)*

*„Also ich mag an sich gerne Autofahren, ich bin einer der gerne Auto fährt und eben das Fahren mit dem Elektroauto ist für mich zum einen besonders angenehm, vom Komfort her und weil es eben leise ist und weil es eben was Besonderes ist und man gerne an der Ampel mit so einem Elektroauto steht. Also es [...] hat einen absolut tollen Reiz, mit dem Elektroauto in der Stadt zu fahren. Also noch lieber in der Stadt als auf der Landstraße.“ (TeilnehmerIn\_24)*

Von sechs der 29 FeldteilnehmerInnen wird angesprochen, dass die Nutzung von Elektrofahrzeugen in urbanen Gebieten besonders attraktiv ist. Im Hinblick auf Stadtgebiete heben die Teilnehmer die zahlreichen Ampeln, ein ständiges Stop-and-go sowie die vielen kurzen (Alltags-)Strecken hervor. In diesem Kontext kommen die speziellen Fahreigenschaften der Elektroautos, wie die Beschleunigung, die geringen Fahrgeräusche und das schaltungslose Fahren laut den Teilnehmenden besonders zum Tragen. Außerdem werden gerade im Stadtgebiet vorhandene Vorteile eines Elektroautos, im Vergleich zu einem Pkw mit Verbrennungsmotor, wie höhere Effizienz (und dadurch auch Kostenersparnis), geringere Emissionen und geringerer Verschleiß hervorgehoben:

*„Das macht besonders Spaß, weil man ja fast nichts verbraucht in der Stadt, weil der ja fast immer rekurert und sich wieder auflädt. Das ist ein schönes Fahren. Ein ganz witziger Effekt ist, seitdem ich das Elektroauto habe, liebe ich rote Ampeln, weil man danach so schön Gas geben kann. Das war vorher eher kein schönes Thema [...]. Alles andere, sagen wir mal, Bundesstraße fahren, so dahingleiten, da ist der Unterschied dann zu einem Diesel, der auch leise ist, also, das Geräusch ist schon ein Unterschied, aber ansonsten ist dann vom Fahrverhalten nicht mehr so groß was zu merken, ob es elektrisch ist oder ein anderes Auto ist. Da ist einfach der Unterschied nicht mehr groß, der ist in der Stadt am größten.“ (TeilnehmerIn\_23)*

#### **7.4.2.5 Nichtnutzung des Elektrofahrzeugs**

Die Teilnehmer wurden in der telefonischen Befragung ebenfalls gefragt, ob es Gelegenheiten gibt, bei denen das Elektrofahrzeug nicht zum Einsatz kommt und stattdessen auf das konventionelle Fahrzeug oder andere Verkehrsmittel ausgewichen wird. Grundsätzlich wird das Elektrofahrzeug für den normalen Alltag als völlig ausreichend geschildert. Aber von fast allen Teilnehmern wurden übereinstimmend zwei Gründe genannt, das Elektrofahrzeug stehen zu lassen: Bei weiten Strecken oder Urlaubsfahrten, wenn abzusehen ist, dass die Batteriekapazität nicht ausreicht. Die Nichtnutzung erfolgt entweder aufgrund des Zeitverlustes, den man durch häufiges Zwischenladen hinnehmen müsste, oder aber aufgrund fehlender Lademöglichkeiten auf der Strecke. Die Teilnehmer weichen ebenfalls auf andere Verkehrsmittel aus, vor allem auf den konventionellen PKW, wenn die Transportkapazitäten des Elektrofahrzeugs nicht ausreichen, sei es wegen des kleineren Raumangebots oder wegen einer fehlenden Anhängerkuppelung.

### 7.4.3 Zusammenfassung der Kauf- und Nutzungsgründe

Sowohl bei den Beschaffungs- als auch bei den Nutzungsgründen ist als Grund die allgemeine Umweltfreundlichkeit, das allgemeine ökologische Bewusstsein/Gewissen und/oder grundsätzlich die Umweltauswirkungen des Autofahrens zu reduzieren verbreitet. Im Zuge des entsprechenden Themenbereiches Umweltschutz wird ebenfalls die Vermeidung oder zumindest Reduzierung von lokalen Emissionen sowohl im Rahmen der Beschaffungs- als auch Nutzungsgründe von diversen Teilnehmern angesprochen. Ein kleiner Unterschied im Kontext des Umweltschutzes zeigt sich hingegen bei der Motivation erneuerbare/regenerativ erzeugte Energie und selbst/lokal produzierte Energie nutzen zu können. Dieser Grund wird etwas häufiger bei den Beschaffungsgründen erwähnt. Bei den Nutzungsgründen wird dann zusätzlich das ökologische Gewissen thematisiert, das durch das Fahren eines Elektroautos beruhigt sei. Dieser Punkt wird bei den Kaufgründen noch nicht angesprochen.

Im Hinblick auf den Kontext des Kostensparens sind das Thema Benzinpreise und bedingt auch Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen bei den Beschaffungs- und bei den Nutzungsgründen in etwa gleich stark von Bedeutung. Die Anzahl der Teilnehmer, die diesen Grund ansprechen, variiert nur leicht. Eine weitere Gemeinsamkeit bzgl. der Beschaffungs- und der Nutzungsgründe ist die Bedeutung des Themas kostengünstiger Unterhalt und Nutzung (zumindest im Kurzstreckenbereich). Als Beschaffungsgrund wurde dieser Aspekt von sechs Feldteilnehmern erwähnt und auch im Rahmen der Nutzungsgründe war dieser Punkt von Bedeutung. Hier wurde er sogar von neun Teilnehmern angesprochen. Das spricht dafür, dass dieser Aspekt sich in der Nutzung bestätigt und von Nutzern wahrgenommen wird, die während der Kaufentscheidung noch nicht damit gerechnet haben.

Für den Bereich Nutzungseigenschaften/Fahreigenschaften/Alltagstauglichkeit unterstreicht die Betrachtung einzelner Gründe dessen Zunahme an Bedeutung im Kontext der Nutzungsgründe. Nach dem „Erfahren“ der elektrischen Mobilität steigt – nicht überraschend – die Anzahl der genannten Gründe und zusätzlich erweitert sich auch die Breite des genannten Spektrums an Gründen.

Im Themenbereich Themeninteresse/Innovativität ist hingegen ein entgegengesetzter Effekt zu beobachten: Dieser Bereich hat bei der Erläuterung der Kaufgründe eine höhere Bedeutung als bei der späteren Nutzung. Die Anzahl und Diversifikation der Nennungen nimmt im Zusammenhang mit den Nutzungsgründen deutlich ab.

Aus den Ergebnissen der T0-Befragung kann das Fazit gezogen werden, dass dieselben Gründe bezüglich Umwelt und Kostenersparnis sowohl bei der Anschaffung als auch bei der Nutzung eines Elektrofahrzeugs von Bedeutung sind, selbst wenn es nuancierte Unterschiede gibt. Die Technologie und Innovativität von Elektrofahrzeugen werden von den Teilnehmern grundsätzlich als spannend empfunden, dieser Themenbereich hat aber einen größeren Einfluss auf den Kauf als auf die Nutzung. Bei der tatsächlichen Nutzung überzeugen dann Nutzungseigenschaften, Fahreigenschaften und/oder Alltagstauglichkeit in einem Ausmaß, welches im Vorfeld noch nicht antizipiert werden konnte.

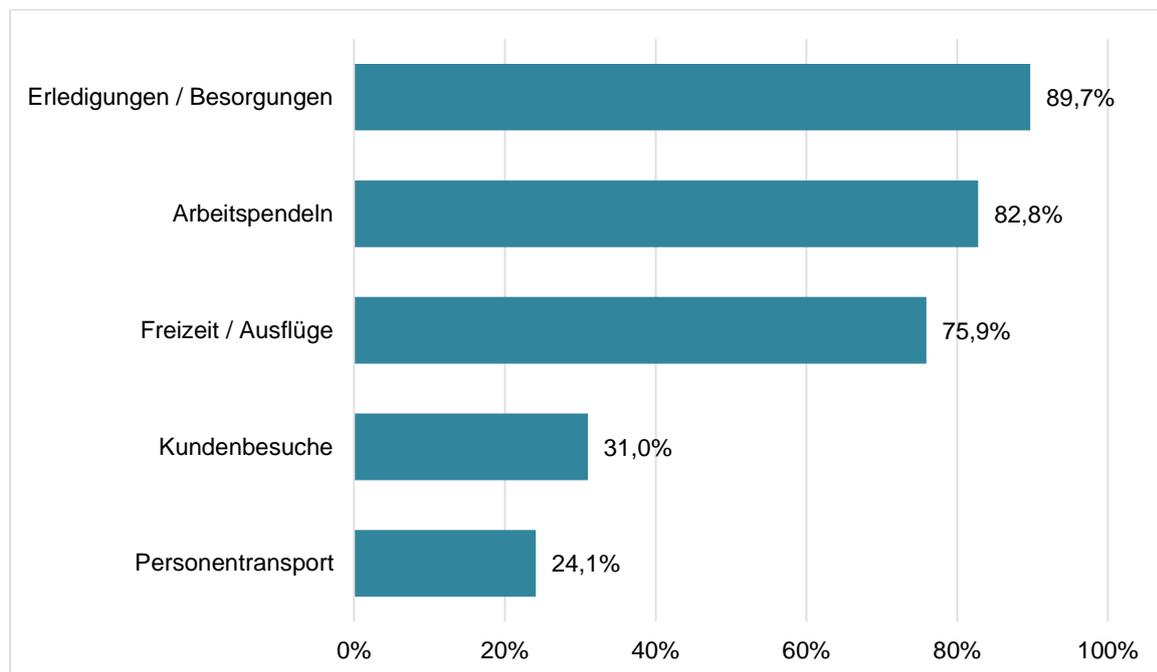
## 7.5 Alltagsnutzung und Einstellungen zum Elektrofahrzeug

Nach der differenzierten Betrachtung der Kauf- und Nutzungsgründe soll nun die tatsächliche Nutzung des Elektrofahrzeugs im Teilnehmerkreis im Fokus stehen.

### 7.5.1 Nutzung des Elektrofahrzeugs

Bei dem Teilnehmerkreis handelt es sich um eine sehr autoaffine Gruppe, Fahrzeuge des ÖPNV werden eher selten frequentiert. Nur fünf Personen geben an, auch einmal öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen. Immerhin 21 Personen fahren Fahrrad; die meisten vorwiegend in der Freizeit oder für kurze Strecken. 15 Personen geben an, ab und zu die Fernbahn zu nutzen. Das vorwiegend genutzte Verkehrsmittel ist bei 23 Teilnehmenden das Elektrofahrzeug, bei drei Teilnehmern teilt sich das Elektrofahrzeug den ersten Platz mit dem Fahrrad oder der Bahn, von jeweils einem Teilnehmer wird entweder das konventionelle Auto, das Fahrrad oder die Bahn vorwiegend genutzt. Auf die Frage, welches Verkehrsmittel am meisten fehlen würde, wenn es nicht mehr zur Verfügung stünde, antworten dann auch 18 Personen, dass dies beim Elektroauto der Fall sei. Sechs Personen würden den konventionellen PKW vermissen, drei Personen das Fahrrad und zwei Personen die Fernbahn.

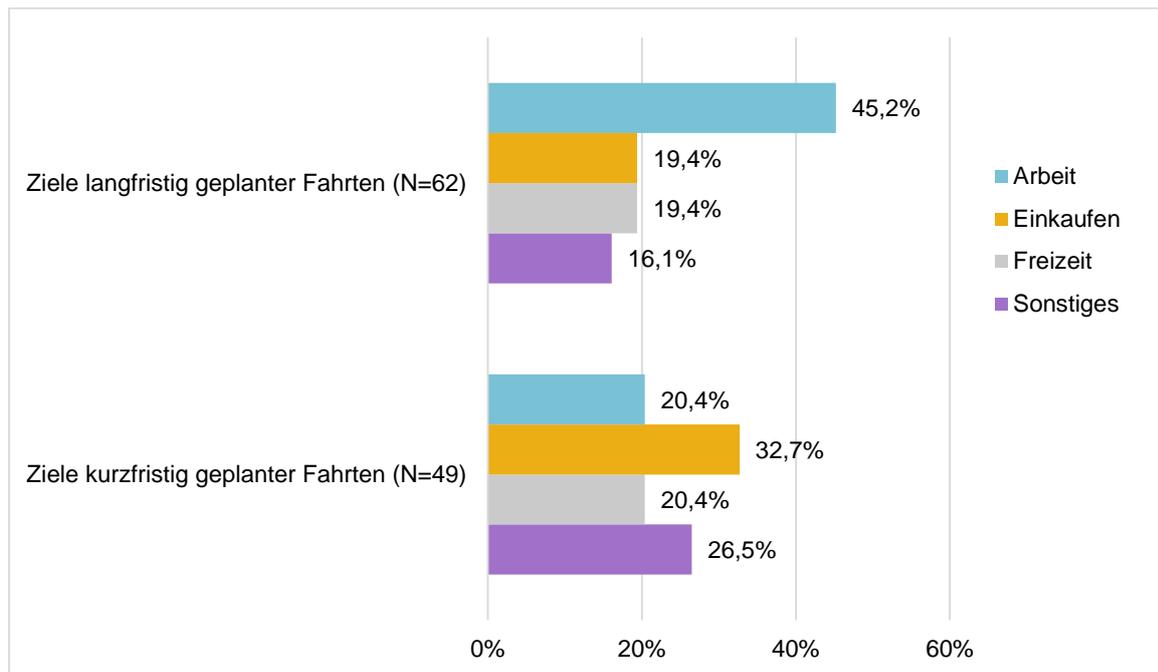
Die überwiegende Mehrheit der Teilnehmer nutzt das Elektrofahrzeug für Erledigungen und Besorgungen, für Fahrten zur Arbeit und ebenso für Freizeitfahrten und Ausflüge. Weniger häufig wird das Fahrzeug für Kundenbesuche und für den Personentransport eingesetzt (vgl. **Abbildung 7.9**).



**Abbildung 7.9:** Wegezwecke des Elektrofahrzeugs, Mehrfachnennungen möglich, N = 29

Neben den Wegezwecken und Zielen wurde auch der Planungsgrad der Fahrten erhoben; hier wurde nach langfristig und kurzfristig geplanten Fahrten unterschieden. Dabei wurde der Zeitraum relativ weit gefasst: Als langfristig geplante Fahrten werden diejenigen Fahrten klassifiziert, deren Antritt entweder über 12 Stunden im Voraus geplant ist oder bei denen es sich um

Fahrten handelt, die regelmäßig unternommen werden, wie z. B. Fahrten zur Arbeit. Als kurzfristig geplante Fahrten sind solche definiert, deren Antritt weniger als 12 Stunden im Voraus geplant wird. Die Teilnehmer legen im Durchschnitt 70 % ihrer Fahrten langfristig geplant zurück, bei 30 % der Fahrten beträgt die Planungsdauer unter 12 Stunden. Auch wenn es sich hierbei nur um eine grobe Schätzung handeln kann, da der Durchschnitt sowohl über Werktage als auch Wochenenden gebildet werden sollte, zeigt sich doch eine Tendenz zu längerfristig geplanten Fahrten. Die Teilnehmer wurden ebenfalls gebeten, anzugeben, welche Ziele die jeweiligen Fahrten haben (offene Antwortkategorie). Die Kategorisierung wird in **Abbildung 7.10** gezeigt.



**Abbildung 7.10:** Ziele von langfristig (>12 h im Voraus) und kurzfristig (<12 h im Voraus) geplanten Fahrten, Mehrfachnennungen möglich.

Mit 62 Nennungen werden mehr Ziele für langfristig als für kurzfristig geplante Fahrten genannt; in die letztgenannte Kategorie fallen 49 Fahrtziele. Bei den geplanten Fahrten überwiegen mit ca. 45 % die Fahrten im Arbeitskontext. Mit jeweils ca. 19 % werden geplante Fahrten zum Einkaufen und Freizeitfahrten (z. B. wöchentliche Sporttermine; Vereinstätigkeiten oder kulturelle Veranstaltungen) angegeben, ca. 16 % der Fahrten werden in der Kategorie Sonstiges zusammengefasst, da sie kein einheitliches Ziel beinhalten. Bei der Nennung der kurzfristig geplanten Fahrten zeigt sich, dass die Fahrten zur Arbeit abnehmen und nur noch ca. 20 % der Gesamtnennungen betragen. Es handelt sich vor allem um kurzfristig anberaumte Kundenbesuche. Kurzfristig geplante Einkaufsfahrten werden hingegen mit knapp 33 % häufiger unternommen als langfristig geplante Einkäufe. Der Anteil kurzfristig geplanter Freizeitfahrten - hier vor allem spontane Restaurant- oder Kinobesuche - entspricht mit ca. 20 % dem Anteil geplanter Freizeitfahrten. Die Kategorie Sonstiges nimmt mit ca. 26 % etwas zu.

Neben der Nutzung sind im Hinblick auf die Projektinhalte auch die Standorte der Elektrofahrzeuge von Interesse. Deswegen wurden die Teilnehmer zum Zeitpunkt T3 gebeten, diese anzugeben. Um die Antwortmöglichkeiten nicht zu detailliert zu erfragen, wurden drei Abstellorte

und vier Zeiträume vorgegeben.<sup>18</sup> Nicht überraschend für die hohe Erwerbsquote der Stichprobe zeigt die nachfolgende **Tabelle 7.2**, dass die Fahrzeuge werktags von 8:00 - 18:00 Uhr in der Regel am Arbeitsort oder in dessen Nähe abgestellt werden. Ab 18:00 Uhr stehen werktags aber bereits über 65 % der Fahrzeuge wieder zu Hause, im Zeitraum ab 23:00 Uhr erhöht sich dieser Anteil noch einmal und erreicht über 90 %. Wenn sonstige Orte aufgesucht werden, geschieht dies vorwiegend in den Zeiten von 13:00 - 23:00 Uhr. Eine interessante Erkenntnis betrifft das Standverhalten am Wochenende. An einem normalen Wochenende stehen mehr als 75 % der Elektrofahrzeuge zu Hause und werden im Vergleich zu den Werktagen weniger bewegt.

**Tabelle 7.2:** Standorte der meistgenutzten Elektrofahrzeuge, N=25-29 Fahrzeuge

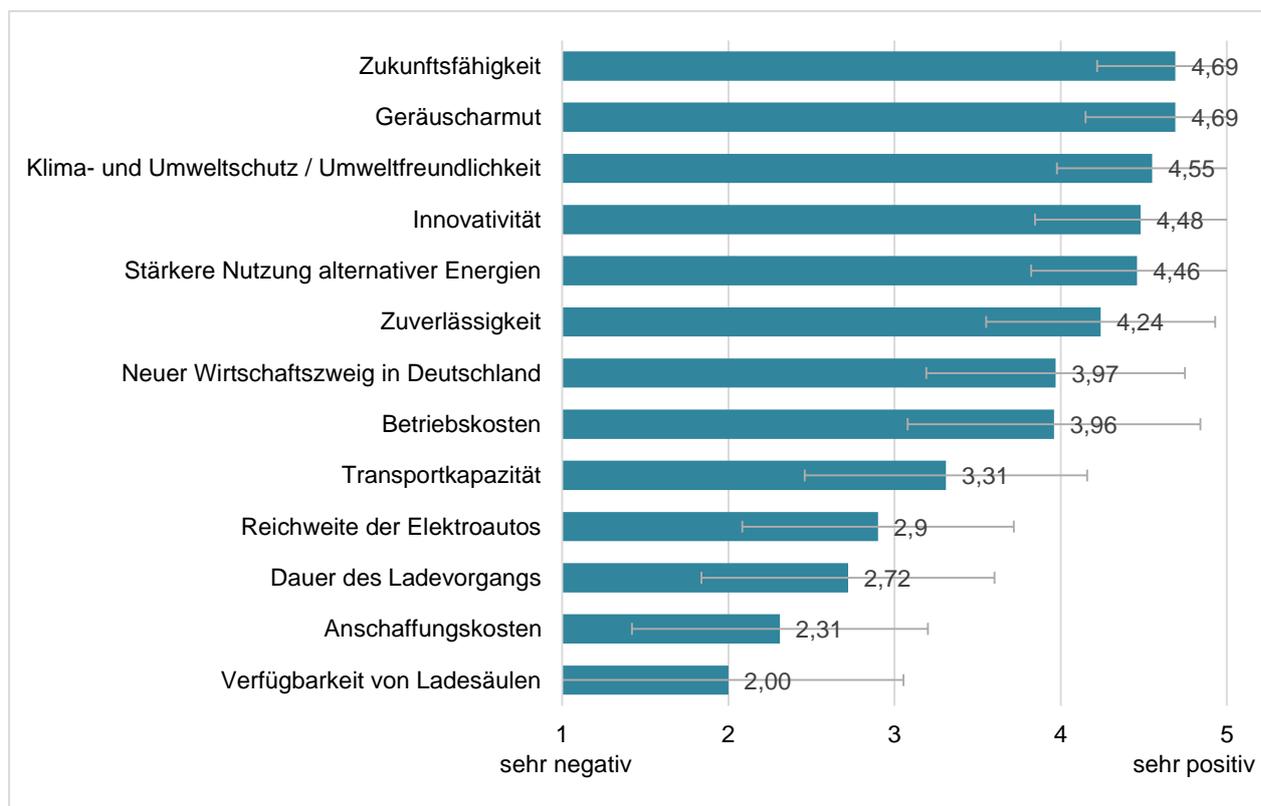
Uhrzeit	Abstellort	Mo.	Di.	Mi.	Do.	Fr.	Sa.	So.
<b>8:00 – 13:00 Uhr</b>	zu Hause	14,8%	14,8%	11,5%	14,3%	14,3%	75,0%	89,3%
	Arbeitsort oder Nähe	77,8%	77,8%	80,8%	82,1%	85,7%	7,1%	3,6%
	Sonstige Orte	7,4%	7,4%	7,7%	3,6%	0,0%	17,9%	7,1%
<b>13:00 – 18:00 Uhr</b>	zu Hause	3,7%	7,4%	10,3%	11,1%	37,0%	76,9%	80,8%
	Arbeitsort oder Nähe	81,5%	81,5%	75,9%	77,8%	51,9%	3,8%	3,8%
	Sonstige Orte	14,8%	11,1%	13,8%	11,1%	11,1%	19,3%	15,4%
<b>18:00 – 23:00 Uhr</b>	zu Hause	73,1%	72,0%	66,7%	65,4%	73,1%	84,7%	88,5%
	Arbeitsort oder Nähe	11,5%	12,0%	11,1%	11,5%	7,7%	3,8%	3,8%
	Sonstige Orte	15,4%	16,0%	22,2%	23,1%	19,2%	11,5%	7,7%
<b>23:00 – 8:00 Uhr</b>	zu Hause	96,4%	96,4%	96,3%	96,4%	92,6%	89,3%	96,4%
	Arbeitsort oder Nähe	3,6%	3,6%	3,7%	3,6%	3,7%	3,6%	3,6%
	Sonstige Orte	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,7%	7,1%	0,0%

## 7.5.2 Einstellung zum Elektrofahrzeug

Insgesamt betrachtet überwiegen bei den TeilnehmerInnen des Feldversuches klar die wahrgenommenen Vorteile eines Elektrofahrzeugs. Dies drückt sich auch im Antwortverhalten auf die Frage nach einer Wiederkaufbereitschaft aus. Auf die Frage „Käme bei Ihrem nächsten Autokauf ein Elektroauto wieder ernsthaft für Sie in Frage?“ waren sich nur 4 Personen darüber noch nicht sicher. Für 9 Personen käme ein weiterer Elektrofahrzeugkauf in den nächsten 1-3 Jahren in Frage, für 6 Personen in den nächsten 3-5 Jahren und für 10 Personen in den nächsten 5-8 Jahren. Ähnlich sieht es bei der Antwort auf die Frage aus, welche Schulnote für die Alltagstauglichkeit von Elektrofahrzeugen vergeben würde: Der Durchschnitt aller vergebenen Noten liegt mit 1,9 im oberen Notenbereich (Range von 0,7-4).

<sup>18</sup> Es handelt sich um die Standorte „zu Hause“, „Arbeitsort oder Nähe“, „Sonstige Orte“ und um die Zeiträume „8:00 - 13:00 Uhr“, „13:00 - 18:00 Uhr“, „18:00 - 23:00 Uhr“ und „23:00 - 8:00 Uhr“. Die Teilnehmer sollten die Angabe nur für das Elektroauto vornehmen, das sie hauptsächlich nutzen. Auch diese Einschränkung erfolgte vor dem Hintergrund, das Ausfüllen nicht zu umfangreich zu gestalten.

Neben einer Gesamteinschätzung wurde ebenfalls die Bewertung bestimmter Aspekte des Elektrofahrzeugs durch den Teilnehmerkreis vorgenommen. Auf diesem Weg sollte eruiert werden, welche Faktoren erfahrene NutzerInnen begeistern und welche als störend empfunden werden. Auf den ersten beiden Positionen stehen bei den begeisternden Aspekten Zukunftsfähigkeit und Geräuscharmheit. Ebenfalls auf den oberen Plätzen der begeisternden Faktoren befinden sich die Aspekte Umweltfreundlichkeit, Innovativität und die Verwendung von alternativen Energien für das Laden von Elektrofahrzeugen. Im Mittelfeld sind Zuverlässigkeit, die Einschätzung, dass es sich bei Elektroautos um einen neuen Wirtschaftszweig in Deutschland handelt, Betriebskosten und die Transportkapazität. Im letzten Drittel sind die Reichweite und die Dauer des Ladevorgangs sowie die Anschaffungskosten platziert. Das Schlusslicht bildet die Verfügbarkeit von Ladesäulen.



**Abbildung 7.11:** Bewertung verschiedener Aspekte von Elektrofahrzeugen, N = 28-29

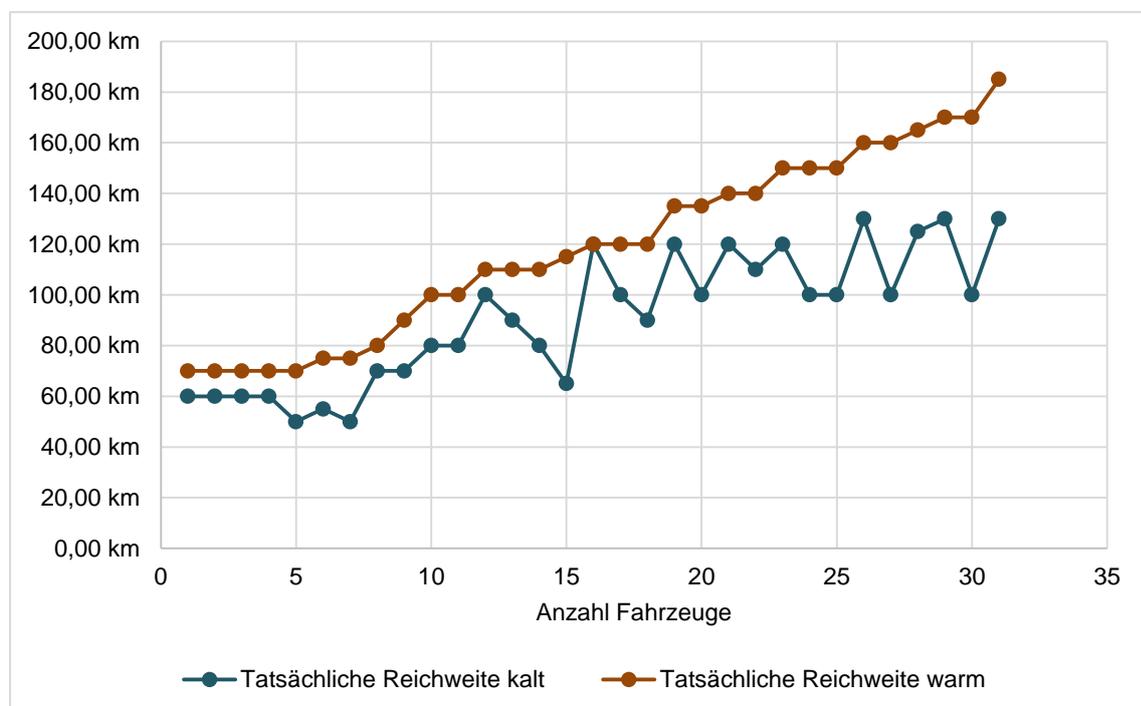
Es zeigt sich, dass die Hemmnisse für den Kauf von Elektrofahrzeugen, die in der öffentlichen Diskussion und unter Nichtnutzern thematisiert werden - nämlich Reichweite, Dauer des Ladevorgangs, Anschaffungskosten und die Verfügbarkeit von öffentlichen Ladesäulen - auch von erfahrenen Nutzern negativer als andere Aspekte bewertet werden. Dabei ist aber zu beachten, dass es auch bei den erfahrenen Nutzern individuelle Bewertungsunterschiede gibt und die Aspekte durchaus differenziert bewertet werden. Dies soll am folgenden Beispiel der Bewertung des Aspektes Reichweite dargestellt werden.

### 7.5.3 Zufriedenheit mit der Reichweite

Eine differenzierte Betrachtung der Einstellung zur Reichweite erschien notwendig, weil sie unmittelbaren Einfluss auf die Mobilität von Elektroautos hat. Es wird vermutet, dass sie damit auch einen Einfluss auf die Akzeptanz von Lademodellen hat, vor allem auf die Akzeptanz von Rückspeisemodellen, welche die Reichweite temporär verkürzen können. Für spätere Analysen sollte deswegen untersucht werden, ob Gruppenunterschiede in der Reichweitenbewertung auftreten.

Um die Zufriedenheit mit der Reichweite detaillierter zu untersuchen, wurde zunächst erhoben, welche Reichweite die jeweiligen Fahrzeuge haben. Dabei wurde dezidiert nach den Erfahrungswerten der Teilnehmer gefragt und nicht nach den Reichweitenangaben der Hersteller. Diese Fragestellung sollte berücksichtigen, dass die Reichweite eines Elektroautos durch die Fahrweise und durch das Einschalten zusätzlicher Verbraucher, wie z. B. Klimaanlage oder Heizung, beeinflusst werden kann. Diese Faktoren können zu einer Diskrepanz zwischen Herstellerangaben und dem Nutzererleben führen. Letzteres hat aber einen maßgeblichen Einfluss auf Zufriedenheitsbewertungen, somit wurde mit der Frageformulierung diesem Umstand Rechnung getragen.

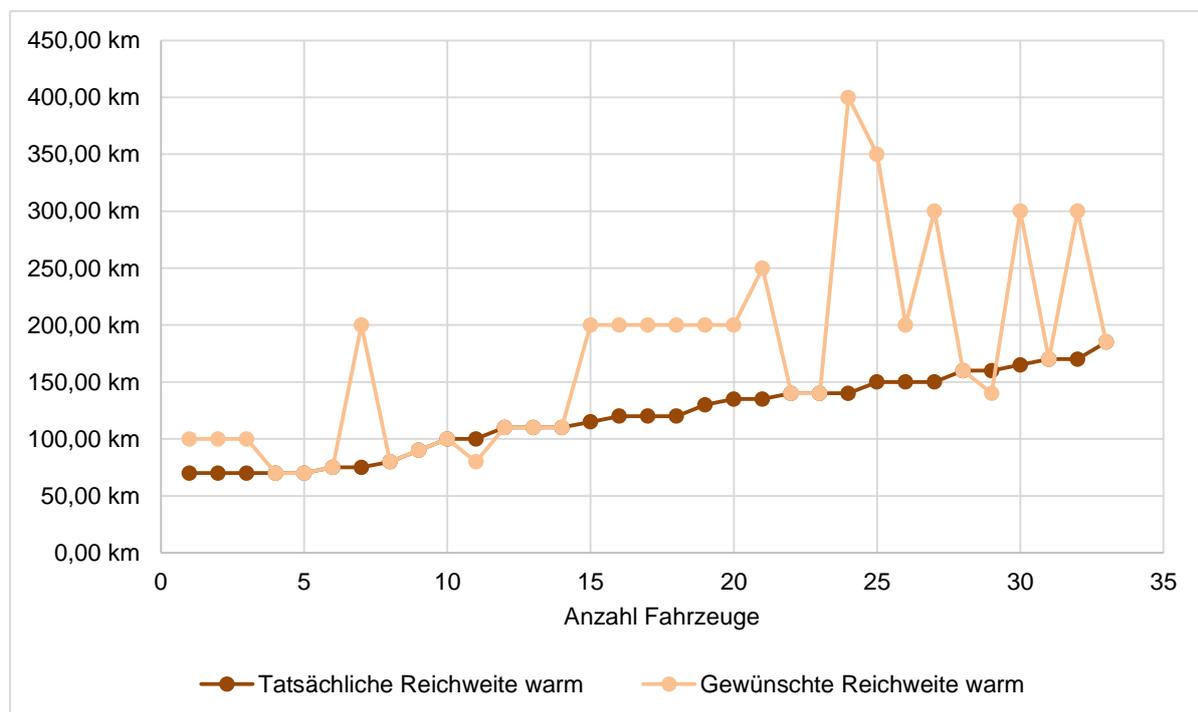
Neben der Fahrweise und dem Einschalten von Verbrauchern können auch Witterungsbedingungen auf die Batterieleistung und somit die Reichweite Einfluss nehmen. Kältere Temperaturen können die Reichweite von Elektroautos verringern. Um einen Eindruck zu bekommen, wie stark die Reichweitenunterschiede bei den Fahrzeugen des Teilnehmerkreises sind, wurde zuerst nach den tatsächlichen Reichweiten bei wärmeren und bei kälteren Temperaturen gefragt.



**Abbildung 7.12:** Unterschied der tatsächlichen Reichweiten in kalten und wärmeren Jahreszeiten, Teilnehmerangaben, N = 31 Fahrzeuge

In **Abbildung 7.12** wurden die Reichweitendifferenzen für die einzelnen Fahrzeuge abgetragen. Für 31 Fahrzeuge liegen Angaben für beide Witterungsbedingungen vor<sup>19</sup>. Die Spannweite der Reichweitenangaben liegt bei wärmeren Temperaturen zwischen 70 – 185 km (Durchschnitt = 119 km), bei kälteren Temperaturen mit 50 – 130 km (Durchschnitt = 91 km) teilweise deutlich darunter. Es gibt nur ein Fahrzeug, bei dem die angegebene Reichweite zu beiden Witterungsbedingungen identisch ist. Der Faktor der Abweichungen von kalten zu warmen Temperaturen beträgt im Durchschnitt 1,3 mit einem Range von 1 – 1,8. Am oberen Ende der Skala beträgt die Kluft zwischen den Reichweitenangaben ca. 70 km.

Von den Befragten sollte dann für jedes Fahrzeug angegeben werden, welche Reichweite bei den jeweiligen Witterungsbedingungen gewünscht wird. Für die wärmeren Temperaturen werden die gewünschten Reichweiten in **Abbildung 7.13** dargestellt:



**Abbildung 7.13:** Unterschied zwischen tatsächlicher und gewünschter Reichweite in den wärmeren Jahreszeiten, N = 33 Fahrzeuge

Betragen die tatsächlichen Reichweiten zwischen 70 – 185 km, liegen die gewünschten Reichweiten im Bereich von 70 – 400 km; am oberen Ende der Skala sind sie also mehr als doppelt so hoch. Im Durchschnitt wird eine Reichweite von ca. 170 km gewünscht. Der durchschnittliche Faktor des Unterschieds zwischen tatsächlicher und gewünschter Reichweite beträgt ca. 1,4; der Range bewegt sich zwischen 0,8 – 3,0. Die Grafik zeigt aber auch durchaus überraschende Ergebnisse: Bei 14 von 33 Fahrzeugen besteht kein Wunsch nach Reichweitenerhöhung, die

<sup>19</sup> Im Gesamtdatensatz liegen Angaben für 33 Fahrzeuge vor. Aus der Darstellung wurden jedoch aus Datenschutzgründen zwei Fahrzeuge ausgeschlossen.

entsprechenden Nutzer scheinen mit der Reichweite zufrieden zu sein. Bei zwei Fahrzeugen würde sogar eine etwas geringere Reichweite ausreichen<sup>20</sup>.

Für die kälteren Temperaturen sehen die Abweichungen von tatsächlicher und gewünschter Reichweite ähnlich aus, die Ergebnisse werden deswegen nicht detailliert dargestellt.

Es lässt sich also konstatieren, dass trotz genereller eher negativer Bewertung der Reichweite einige Teilnehmer durchaus mit der Reichweite ihrer Fahrzeuge zufrieden sind und eine Erhöhung dieser nicht aktiv wünschen<sup>21</sup>. Bei der Bewertung der Lademodelle wird dann zu untersuchen sein, inwieweit sich die Zufriedenheit mit der Reichweite auf die Bewertung der Lademodelle auswirkt.

## 7.6 Das Laden des Elektrofahrzeugs

In den qualitativen Interviews mit den 29 Feldteilnehmern wurden neben den Einstellungen zum Elektrofahrzeug und dessen Nutzung auch Fragen zum Thema Laden gestellt. Es interessierte vorrangig, welche positiven und welche negativen Begleitumstände von den Teilnehmern wahrgenommen werden, welche Einstellungen zum Laden existieren und inwieweit die TeilnehmerInnen öffentliche Lademöglichkeiten frequentieren.

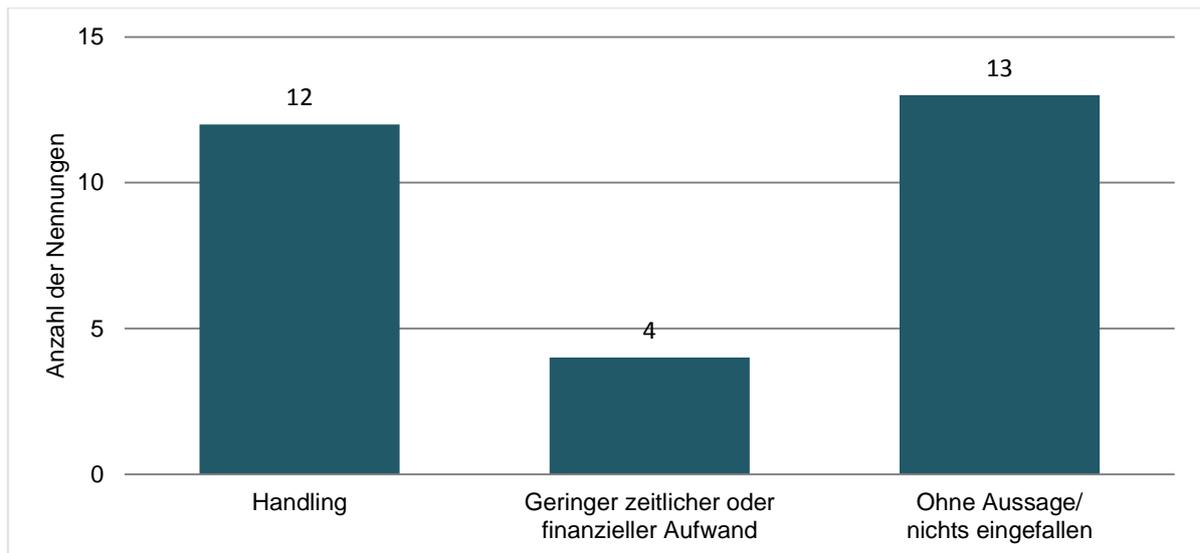
### 7.6.1 Positive Begleitumstände des Ladens

Explizite positive Erwähnungen gibt es in zwei Bereichen, wie die nachfolgende **Abbildung 7.14** zeigt. Der Schwerpunkt der Nennungen betrifft eindeutig das Thema Handling. Bei der Frage nach den positiven Begleitumständen gibt es aber auch 13 Teilnehmer, denen keine Aspekte eingefallen sind, die sie besonders positiv hervorheben wollten.

---

<sup>20</sup> Alle Angaben beziehen sich auf die Anzahl der Fahrzeuge und nicht auf die Anzahl der Nutzer. Bei den Reichweitenangaben in **Abbildung 7.13** haben sechs Nutzer zwei ihrer Fahrzeuge bewertet. Eine Analyse der Daten ergab, dass die verschiedenen Fahrzeuge auch durchaus differenziert wahrgenommen und bewertet werden. Aus diesem Grund erschien es sinnvoll, beide Angaben der Nutzer abzubilden. So gab es bei zwei Nutzern unterschiedliche Reichweiten- und Wunschangaben zu den Fahrzeugen. Ein Nutzer hatte für beide Fahrzeuge einen höheren Reichweitenwunsch; drei Nutzer waren mit der Reichweite beider Fahrzeuge zufrieden, wobei sich die tatsächlichen Reichweiten der Fahrzeuge bei zwei dieser Nutzer unterschieden.

<sup>21</sup> Dieser Befund wird bestätigt durch die Filterfrage auf Personenebene, die der Angabe der Wunschreichweite vorgeschaltet war. Die Frage „Unabhängig von der tatsächlichen Reichweite, welche Reichweite wünschen Sie sich“ beantworteten 10 (9) Personen mit der Option „Die Reichweite ist für mich im Sommer (Winter) völlig ausreichend“. Diese Angabe bezieht sich auf das erstgenannte Elektrofahrzeug.



**Abbildung 7.14:** Genannte positive Begleitumstände des Ladens, Mehrfachnennungen möglich<sup>22</sup>

Im Bereich Handling gibt es zwei positive Begleitumstände, die von auffallend vielen Teilnehmern angesprochen werden. Im Zuge des Lobens des Handlings durch zwölf Feldteilnehmer heben sieben Teilnehmer die Einfachheit des Ladens besonders hervor. Sie betonen, dass das Laden einfach oder auch praktisch ist, es einfach über Nacht geht, sie sich nur sehr wenig darum kümmern müssen oder dass das Laden nur ein erweitertes Abstellen des Fahrzeuges ist. Das gilt auch insbesondere dann, wenn das Laden direkt vor der eigenen Tür erledigt werden kann.

*„Man braucht kein Geld, man kann einfach den Stecker reinstecken. Man muss nicht irgendwo hinfahren [...]. Es ist quasi immer voll das Auto. Es steht immer fahrbereit, voll am Haus. [...] dass es einfach sehr einfach ist, wenn alles funktioniert. [...]“ (TeilnehmerIn\_27)*

*„Naja gut, wie gesagt: Dass ich das direkt im Grunde bei mir vor der Tür erledigen kann. Also insofern dann die Einfachheit dann auch.“ (TeilnehmerIn\_9)*

Ebenfalls im Kontext des Handlings wird zudem von vier Feldteilnehmern angesprochen, dass auch die ganz konkreten Handlungsschritte im Zuge des Ladens sehr einfach sind:

*„...eigentlich idiotensicher [...] das können sogar Kinder, die zehn sind oder zwölf. Also Sie können das wegnehmen, sie können, wenn man wegfährt, ihn abklemmen, da auf Stopp drücken. Also das ist alles einfach.“ (TeilnehmerIn\_28)*

Von vier Teilnehmern wird hervorgehoben, dass kein Aufwand durch das Tanken entsteht, sich nicht darum gekümmert werden muss und Probleme des Tankens vermieden werden. Dabei

<sup>22</sup> Die Angabe von N bezieht sich auf die Anzahl der Teilnehmer, die eine Aussage in dem jeweiligen Themenbereich getätigt hat. Die Kategorien wurden nachträglich aus den Beiträgen der Teilnehmer extrahiert, deswegen schwankt die Anzahl der Wortbeiträge pro Kategorie.

werden Handlungen im Zuge des Tankens und/oder der Aufwand für das Erreichen von Tankstellen adressiert:

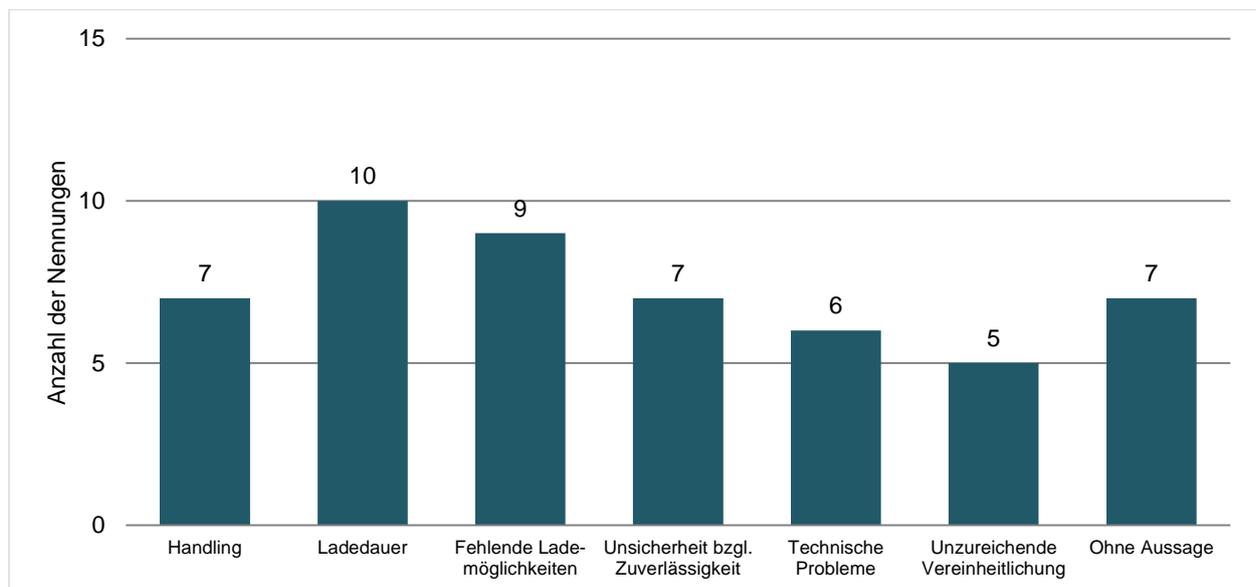
*„... dass man nach Hause kommt und den Stecker reinsteckt und nicht noch mal weg muss [...] wir haben noch einen Benziner und mit dem Diesel, wenn ich da eine längere Fahrt habe, dann fahre ich abends zur Tankstelle und dann, ja, wenn dann die Preise unten sind, dann stehen sie auch alle. So ein Tankvorgang dauert teilweise dann manchmal 20, 30 Minuten, weil man da lange in der Schlange steht. Aber das brauche ich natürlich hier zu Hause nicht.“ (TeilnehmerIn\_3)*

*„...es stinkt nicht, macht keinen Dreck, man kann nichts verschütten.“ (TeilnehmerIn\_10)*

Von vier Teilnehmern wird zusätzlich erwähnt, dass das Laden nur einen geringen zeitlichen und finanziellen Aufwand erzeugt.

### 7.6.2 Störende Begleitumstände des Ladens

Bei den störenden Begleitumständen des Ladens machen die Teilnehmer deutlich differenziertere Angaben. Neben dem Aspekt des Handlings werden die Aspekte Ladedauer, fehlende Lademöglichkeiten, Unsicherheit bzw. Unzuverlässigkeit, technische Probleme und unzureichende Vereinheitlichung angesprochen. Die Verteilung der Nennungen ist aus **Abbildung 7.15** ersichtlich. Aber auch bei dieser Frage gibt es Personen, die keine störenden Begleitumstände zu bemängeln haben.



**Abbildung 7.15:** Genannte negative Begleitumstände des Ladens, Mehrfachnennungen möglich

Beim Handling, das im vorherigen Kapitel viele positive Nennungen verzeichnen konnte, werden von sieben Teilnehmern auch störende Begleitumstände angesprochen. Hier wird vor allem der Wunsch geäußert, dass der Umgang mit dem Kabel weniger müheselig und auch weniger dreckig sein sollte.

*„...bei den negativen Dingen könnte man jetzt noch dieses Kabelhandling mit anbringen. Das ist schon manchmal nervig, wenn man beide Hände voll hat und dann das Auto noch abstecken muss. Wäre induktiv natürlich schon schöner...“ (TeilnehmerIn\_25)*

*„...Sie möchten nicht eine Minute oder zwei dafür brauchen, insbesondere nicht dann, wenn es regnet oder schneit oder was auch immer, sich mit irgendwelchen dreckigen Kabeln zu beschäftigen, wenn Sie gerade auch noch einen wichtigen Termin haben und mit dem Anzug da herumlaufen oder so etwas...“ (TeilnehmerIn\_13)*

Die Ladedauer wird von zehn Feldteilnehmern als störender Begleitumstand angesprochen. In diesem Zusammenhang wird auch die Notwendigkeit angesprochen, ein Fahrzeug zu besitzen, das die Möglichkeit zur Schnellladung bereitstellt.

*„Manchmal wünsche ich mir, dass es schneller gehen würde. Wenn jetzt wirklich etwas Unvorhergesehenes passiert. Wo man vielleicht schnell das Auto zur Verfügung braucht...“ (TeilnehmerIn\_1)*

*„Also da würde ich beim nächsten Elektroauto drauf achten, dass ich eine Schnellladung habe weil ich dann wirklich sagen kann, ok ich habe auch längere Strecken drin. Dann kann ich 120, 130 km, 140 je nach Temperatur und Witterung und mein Fahrverhalten in eins durchfahren. Muss dann entsprechend planen, dass ich da eine Ladestation habe, mache dann eine Kaffeepause, esse irgendwas und dann fahre ich weiter. Das würde [...] meine Reichweite erheblich vergrößern.“ (TeilnehmerIn\_21)*

Fehlende Lademöglichkeiten werden von zehn Feldteilnehmern als störend angesprochen.

*„Das ist ein kulturelles Problem. D. h., viele Stellen, bei denen ich theoretisch laden könnte, sind kulturell nicht so weit, dass sie mir das Laden gestatten. Das ist ja, eben eine Einschränkung [...] das ist ein kulturelles Defizit.“ (TeilnehmerIn\_17)*

*„... dass man hoffentlich in Zukunft die Ladezeiten reservieren kann. [...] da arbeiten die ja dran, die Industrie und die Tankstellen, dass man sagt, wenn ich jetzt hinkomme, dann weiß ich auch, die Säule ist frei oder ich habe sie reserviert, dass sie nicht belegt wird. Denn sonst kann es natürlich schon Terminprobleme geben.“ (TeilnehmerIn\_6)*

Häufig wird von den Feldteilnehmern angesprochen, dass Lademöglichkeiten zwar vorhanden sind, aber aus unterschiedlichen Gründen der Zugang oft nicht möglich ist oder erschwert wird. Der Zugang zu Lademöglichkeiten ist insbesondere beschränkt durch fehlerhafte Integration von Fahrzeug, Kabel, Stecker und Ladeinfrastruktur, Technik oder Handling, fehlende Standards, besetzte oder zugeparkte öffentliche Lademöglichkeiten sowie technische Ausfälle.

*„...wenn man dann endlich mal eine Ladesäule gefunden hat, die einigermaßen vernünftig ausgerüstet ist, da hängt irgendeiner dran [...] solange die Ladestruktur noch nicht so ist, dass man auch wirklich dann sich daneben stellen kann und in den anderen Port reinstecken kann und auch vernünftig Saft kriegt, dann ist das natürlich auch doof. Weil die oftmals nämlich an so einer Ladesäule zwei Ausgänge haben: meistens auf der linken Seite, der hat 32 Ampere, und rechts ist es dann der 16 Ampere-Anschluss. Das wissen aber viele Leute nicht, weil natürlich die Energieversorger das auch nicht vernünftig aufdrucken. Ja, dann steht natürlich jemand, der auch gar nicht mehr laden kann als 16 Ampere, der steckt das Ding natürlich auf der anderen Seite rein, ja, weil der zu-*

*fälligerweise auf der anderen Seite steht. Da gibt es also noch viel Aufklärungsarbeit [...] auf beiden Seiten.“ (TeilnehmerIn\_8)*

Ein anderer störender Begleitumstand, der von besonders vielen Feldteilnehmern angesprochen wird, gehört dem Bereich Unsicherheit bzgl. Zuverlässigkeit an. Er wird von sieben Teilnehmern in Bezug auf nicht funktionierende Technik erwähnt.

*„...bei dem Ladevorgang muss man darauf sich verlassen, dass das Gerät nicht abschaltet. Weil man nicht solange daneben steht, wie das dauert. Das ist so eine Sache, da muss man sich auf Technik verlassen...“ (TeilnehmerIn\_10)*

Technische Probleme werden von sechs Feldteilnehmern angesprochen, hier vor allem das Nichtfunktionieren öffentlicher Ladesäulen.

*„...einmal ging der Server der Ladesäulen nicht. Da war also der Parkplatz frei aber die Ladesäule ging nicht. Und dadurch ist dann die Ladesäule nicht frei geschaltet und dann habe ich da trotzdem geparkt und habe dann einen Strafzettel kassiert, weil ich nicht geladen habe. Das war so das einzige was mich beim Laden direkt mal gestört hat...“ (TeilnehmerIn\_29)*

Auch der Wunsch nach einheitlicherer Technik rund um das Laden wurde von den Teilnehmern angesprochen.

*„Na ja, ich habe so am Anfang die Technik nicht so ganz begriffen, das ist bei jeder Ladesäule anders: Wo stecke ich zuerst rein? Drücke ich erst auf Start und dann ins Auto oder erst ins Auto und dann auf Start? Und dann habe ich oft Fehler produziert und wusste nicht: Warum, was habe ich jetzt falsch gemacht? Also von der Technik könnte das irgendwie einheitlicher sein. [...] jedes Technikgerät hat irgendwie eine andere Vorgabe und Wünsche und da muss man sich jedes Mal darauf einstellen [...] das stresst mich ja einfach ein bisschen. Bin da nicht so entspannt, weil ich mir denke: Ich muss jetzt weiter...“ (TeilnehmerIn\_11)*

Fehlende Standards oder fehlende Kompatibilität werden auch häufig als Gründe genannt, Lademöglichkeiten nicht nutzen zu können.

*„...dieser Stecker, das ist ein Problem! Ladestecker, das heißt, ich kann auch nicht an jeder Säule laden, weil mein Stecker nicht passt. Das wäre dann wirklich gut, wenn es einheitlich wäre. Und man im Prinzip keine Adapter oder sonst noch etwas brauchen würde, um einfach dann auch öffentlich Autos zu laden.“ (TeilnehmerIn\_1)*

Unsicherheiten entstehen bei einigen Teilnehmern im Hinblick darauf, dass der Ladevorgang womöglich ungewollt unterbrochen wird, während der Nutzer nicht vor Ort ist, sich aber eigentlich darauf verlässt. Als Gründe für diese Problematik werden insbesondere nicht funktionierende Interaktion zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur, Unterschiede in der Ladeprozedur nach Fahrzeugart und Fehlfunktionen von Ladeinfrastruktur angegeben.

*„...ich hatte das jetzt letztens in [Ortsname], da habe ich es an eine Säule angestöpselt und dann hat er geladen und wir hatten es eilig und sind losgelaufen. Und ich kann dann von der Ferne über meine App halt gucken, ob er lädt, und dann stand da „Ladefehler“. Oh, super [...] und dann waren wir halt den ganzen Tag unterwegs und ich konnte nicht*

*noch mal hin, um es noch mal zu starten. Und das war dann irgendwie blöd.“ (TeilnehmerIn\_11)*

### **7.6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse Begleitumstände des Ladens**

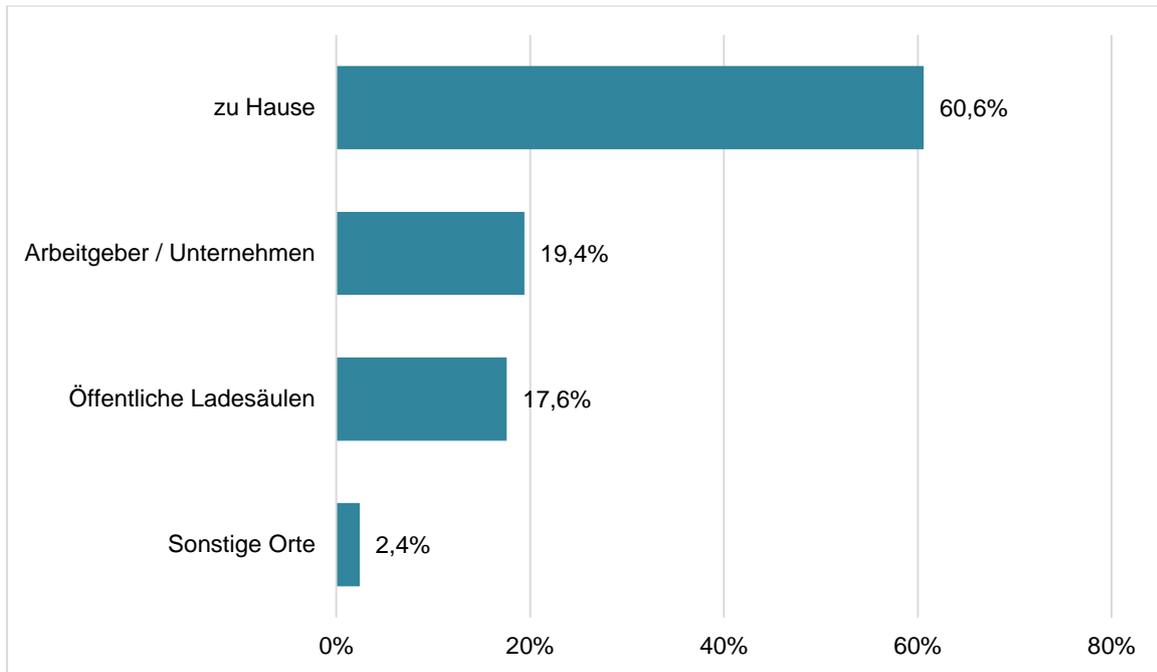
Trotz der generellen positiven Einstellung zum Laden herrscht aus Sicht der TeilnehmerInnen bei einzelnen Aspekten noch Optimierungsbedarf.

Für den beschriebenen Eindruck spricht auch, dass es bei den störenden Begleitumständen wesentlich mehr Themenbereiche gibt, die von relativ vielen Feldteilnehmern angesprochen werden. Im Bereich Handling werden bei den positiven Begleitumständen nur die Aspekte geringer zeitlicher oder finanzieller Aufwand genannt. Auf Seiten der störenden Begleitumstände werden zusätzlich die Aspekte Ladedauer, fehlende Lademöglichkeiten, Unsicherheit bzgl. Zuverlässigkeit, technische Probleme und unzureichende Vereinheitlichung aufgezählt.

Ein besonderer Themenbereich in diesem Vergleich ist der Bereich Handling, da er sowohl bei den positiven als auch bei den negativen Begleitumständen von Bedeutung ist. Dabei fällt auf, dass sich das Handling im Rahmen der positiven Begleitumstände eher auf den Gesamtprozess bezieht. Es wird davon gesprochen, dass das Laden grundsätzlich praktisch sei, einfach über Nacht gehe, sich nicht darum gekümmert werden müsse und es einem erweiterten Abstellen gleiche: Das Fahrzeug werde vor der eigenen Haustür geparkt, während der Abstellzeit geladen und man müsse nicht mehr extra zum Tanken fahren. Darüber hinaus wird das Laden und auch insbesondere das An- und Abstecken des Kabels als sehr einfach beschrieben. Die störenden Begleitumstände im Hinblick auf das Handling stehen dazu nur bedingt im Widerspruch. Nur wenige bezeichnen das Handling allgemein als nicht einfach genug. Die störenden Begleitumstände gehen eher auf den konkreten Umgang mit dem Kabel ein, der weniger als schwierig, aber immer wieder als mühselig beschrieben wurde. Allgemeiner wird zudem beschrieben, dass das nutzungsorientierte Zusammenspiel zwischen der Gestaltung des Elektroautos, dem Kabel und der Ladeinfrastruktur noch verbessert werden könne. Insgesamt betrachtet entsteht der Eindruck, dass das Laden (gerade zuhause) insgesamt sehr komfortabel und einfach ist, dass es jedoch noch Optimierungspotenzial im Hinblick auf die nutzungsorientierte, integrative Gestaltung von Fahrzeug, Kabel und Ladeinfrastruktur gibt. Ein immer wieder von den Feldteilnehmern vorgeschlagener Ansatz ist, zumindest an den privaten Lademöglichkeiten ein Kabel fest zu installieren.

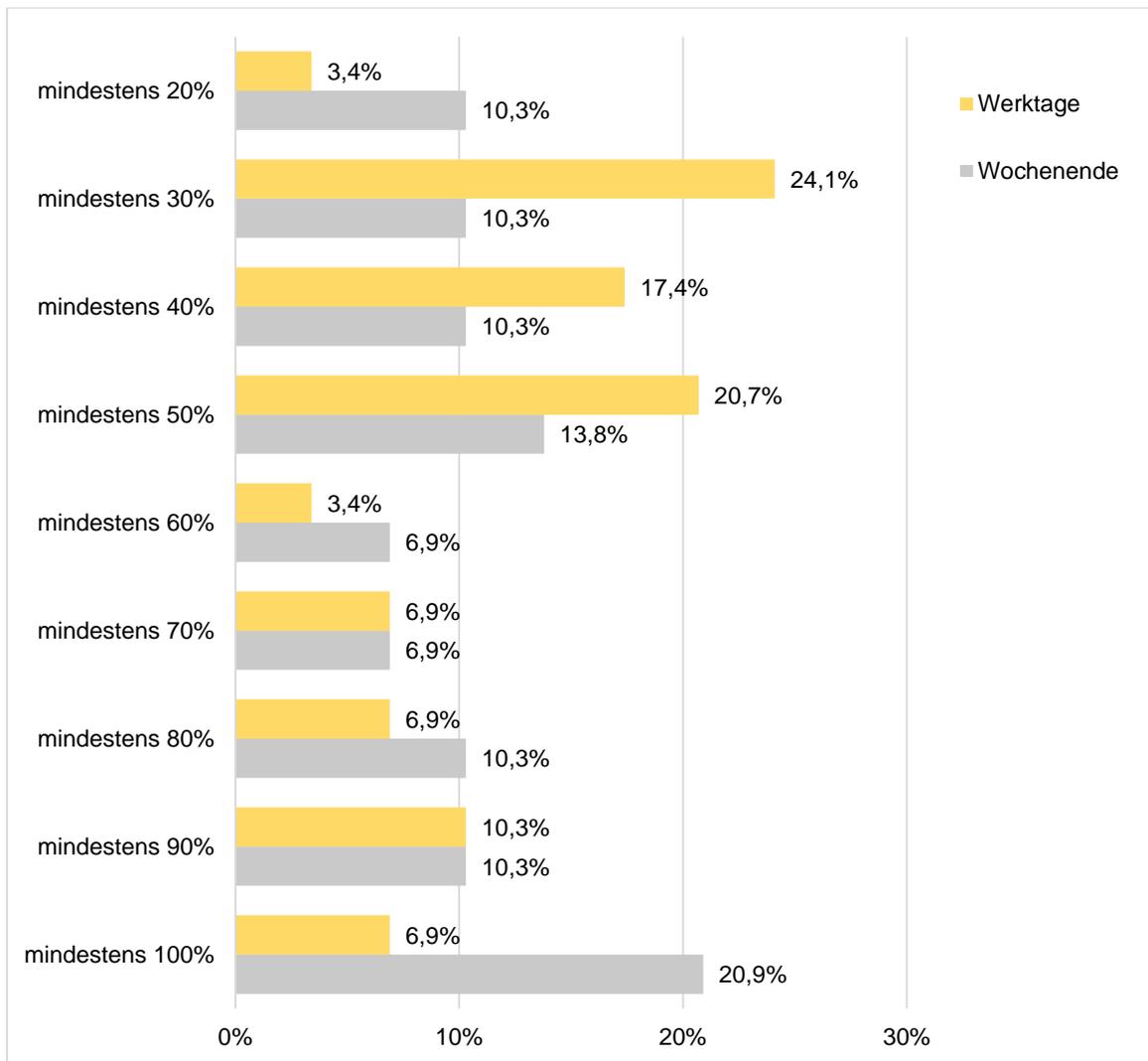
### **7.6.4 Ladeverhalten**

Neben der Erhebung von Erfahrungen rund um den Ladevorgang wurde auch das tatsächliche Ladeverhalten der Teilnehmer eruiert. Wie **Abbildung 7.16** zeigt, fand lt. Angaben der TeilnehmerInnen in der Referenzphase des Feldversuches über die Hälfte der Ladevorgänge zu Hause statt. Jeweils knapp 20 % der wöchentlichen Ladevorgänge wurde entweder beim Arbeitgeber oder an öffentlichen Ladesäulen vorgenommen. Sonstige Orte werden mit ca. 2 % nur selten frequentiert. Im wöchentlichen Durchschnitt luden die Teilnehmer ca. dreimal zu Hause, jeweils einmal pro Woche beim Arbeitgeber oder an öffentlichen Ladesäulen.



**Abbildung 7.16:** Durchschnittliche wöchentliche Ladehäufigkeit, Zeitpunkt T1, Mehrfachnennungen möglich, N = 29

Bei der Frage nach dem benötigten Batterieladestand zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Werktagen und den Wochenenden. Knapp zwei Drittel der TeilnehmerInnen reicht ein Batteriestand von bis zu 50 % für den Start in den Werktag aus, an den Wochenenden sind dies deutlich weniger Personen. Hier benötigen etwas mehr als die Hälfte der Befragten über 50 % Batterieladung. Davon favorisieren ca. 21 % der Teilnehmer sogar eine vollgeladene Batterie (vgl. **Abbildung 7.17**).



**Abbildung 7.17:** Benötigter Start-Batterieladestand an Werktagen und am Wochenende, N = 29

### 7.6.5 Einstellungen und Einstellungsveränderungen

Zu den Zeitpunkten T1 und T4, also dem ersten und dem letzten Online-Befragungszeitpunkt, wurden einige Items zum Thema Laden erhoben. Diese Itematterie sollte Hinweise darauf geben, welche Einstellungen die Teilnehmer zum Thema Laden haben, welchen Stellenwert das Laden im Vergleich zum Tanken hat, inwieweit die Bildung von Laderoutinen vorangeschritten ist, wie die Passung des Ladens zu den Mobilitätswünschen wahrgenommen wird, welches Ausmaß an Kontrolle über den Ladevorgang gewünscht ist und welche Umwelteinstellungen es in Bezug auf das Laden gibt. Mit der Wiederholung der Itematterie zum letzten Befragungszeitpunkt sollte darüber hinaus analysiert werden, ob sich die Einstellungen im Laufe des Feldversuches geändert haben. Sollte dies der Fall sein, wäre zu prüfen, ob die Einstellungsänderung mit der Einführung der Lademodelle im Zusammenhang steht. Die Itematterie wurde fünfstufig erhoben (von 1 = stimme überhaupt nicht zu bis 5 = stimme voll und ganz zu, vgl. **Tabelle 7.3**) und beinhaltet fünf Dimensionen:

- Laden im Vergleich zum Tanken (D1)

- Routinisierungsgrad des Ladens (D2)
- Passung zu Mobilitätsanforderungen (D3)
- Kontrollwunsch (D4)
- Kontext erneuerbare Energieerzeugung (D5)

**Tabelle 7.3:** Aussagen zum Thema Laden, Antwortverhalten im Zeitvergleich T1 und T4

Item	Befragungszeitpunkt	N	M	SD	Wilcoxon-Test	
					z	p
<b>Es ist für mich in Ordnung, dass das Laden meines Elektroautos länger dauert als das Betanken eines PKW. (D1)</b>	T1	29	4.10	1.235	-1.095	.273
	T4	27	3.85	1.231		
<b>Tanken finde ich viel komfortabler als Laden. (D1)</b>	T1	28	1.93	1.052	-.284	.776
	T4	28	1.93	1.152		
<b>Ich plane das Laden meines Elektroautos sehr genau. (D2)</b>	T1	28	3.54	1.036	.525	.599
	T4	28	3.57	1.260		
<b>Das Laden meines Elektroautos ist für mich zur Routine geworden. (D2)</b>	T1	29	4.72	.528	-1.069	.285
	T4	28	4.57	.836		
<b>Manchmal wünsche ich mir, dass ich mit dem Elektroauto spontaner unterwegs sein kann. (D3)</b>	T1	29	3.03	1.375	-1.068	.285
	T4	27	2.81	1.388		
<b>Ich will jederzeit laden können. (D3)</b>	T1	28	3.39	1.066	.105	.916
	T4	29	3.41	1,181		
<b>Über den Ladevorgang will ich die volle Kontrolle haben. (D4)</b>	T1	28	3.75	1.005	-2.438	.015*
	T4	29	3.21	.978		
<b>Das Laden von Elektroautos sollte grundsätzlich eher in die Zeiten verlegt werden, in denen Wind- und Sonnenstrom verfügbar ist. (D5)</b>	T1	29	4.00	1.134	.849	.396
	T4	29	4.14	.990		
<b>Es ist sinnvoll, dass man mit der Batterie von Elektroautos prinzipiell auch den Ausbau erneuerbarer Energien unterstützten kann. (D5)</b>	T1	29	4.48	.871	-1.218	.223
	T4	29	4.28	1.099		

Anmerkung: \*p < 0.05

Laden im Vergleich zum Tanken (D1): Im Durchschnitt erhält das Statement „Es ist für mich in Ordnung, dass das Laden meines Elektroautos länger dauert als das Betanken eines PKW“ eine hohe Zustimmung. Zum ersten Befragungszeitpunkt T1 liegt der Mittelwert bei 4.10, zum zweiten Befragungszeitpunkt T4 ist er mit 3.85 ebenfalls im oberen Zustimmungsbereich. Zwischen den beiden Befragungszeitpunkten gibt es keinen signifikanten Unterschied im Antwort-

verhalten. Die Mehrheit der Befragten findet es also grundsätzlich nicht störend, dass für den Ladevorgang mehr Zeit benötigt wird als für das Tanken. Die Antworten auf die Aussage „Tanken finde ich viel komfortabler als Laden“ bestätigt diesen Eindruck: Mit einem Mittelwert von 1.93 ist die Zustimmung zu diesem Statement gering. Die Meinung hat sich über den Zeitverlauf nicht geändert.

Routinisierungsgrad des Ladens (D2): Für die meisten Teilnehmer ist das Laden ihres Elektrofahrzeugs zur Routine geworden. Der Mittelwert zeigt mit einem Wert von 4.72 (T1) und 4.52 (T4) einen im Zeitverlauf stabil bleibenden hohen Zustimmungsgangrad. Der hohe Routinisierungsgrad bedeutet jedoch nicht, dass das Laden des Fahrzeuges nicht genau geplant würde. Die Mittelwerte zum Statement „Ich plane das Laden meines Elektroautos sehr genau“ sind mit 3.54 (T1) und 3.57 (T4) im Zustimmungsbereich. Das deutet darauf hin, dass die Ladung des Fahrzeuges zwar genau geplant wird, diese Planungen aber von vielen Beteiligten nicht (mehr) als Zusatzaufwand empfunden werden.

Passung zu Mobilitätsanforderungen (D3): Für viele Teilnehmer ist es wichtig, jederzeit laden zu können. Dennoch drücken die Mittelwerte von 3.39 (T1) und 3.41 (T4) aus, dass dies nicht auf alle Teilnehmer zutrifft. Zudem sind die Mittelwerte über den Zeitverlauf stabil geblieben, es gibt keine signifikanten Unterschiede. Wird in Betracht gezogen, dass während des Feldversuchs Lademodelle eingeführt wurden, die an vorgegebene Ladzeiten gekoppelt waren, ist das stabile Antwortverhalten als positiv zu werten. Das Testen der Lademodelle und das Beachten von Ladezeiten scheint bei den Teilnehmern keine Verstärkung des Wunsches nach unbeschränktem Laden hervorgerufen zu haben. Auch die mit dem Wunsch nach zeitunabhängigem Laden thematisch zusammenhängende Aussage „Manchmal wünsche ich mir, dass ich mit dem Elektroauto spontaner unterwegs sein kann“ wurde über die zwei Befragungszeitpunkte hinweg ähnlich beantwortet. Die Zustimmungswerte liegen mit Mittelwerten von 3.03 (T1) und 2.81 (T4) in einem mittleren Bereich. Die Zustimmung hat bei T4 sogar abgenommen, der Unterschied ist allerdings nicht signifikant. Auffällig ist jedoch, dass die Standardabweichung bei diesem Statement mit 1.375 (T1) und 1.388 (T4) ihren höchsten Wert in der Itematterie annimmt. Das Antwortverhalten der Befragten ist demnach sehr heterogen.

Kontrollwunsch (D4): Im Verlauf des Feldversuches sollte auch eruiert werden, ob Elektroautofahrer gewillt sind, mit einem Energieversorger zu kooperieren und sich auf die Randbedingungen von Lademodellen einzulassen, z. B. hinsichtlich der Vorgaben von Ladezeiten oder in Bezug auf mögliche Rückspeisungen. Im späteren Verlauf der Onlinebefragungen gab es dazu Fragen, die sich dezidiert auf die getesteten Lademodelle bezogen. Mit der Frage in der vorliegenden Itematterie wurde hingegen der grundsätzliche Kontrollwunsch erhoben. Das Antwortverhalten auf die Frage „Über den Ladevorgang will ich die volle Kontrolle haben“ zeigt ein interessantes Ergebnis. Zum Befragungszeitpunkt T1 beträgt der Mittelwert 3.75 und liegt somit im oberen Zustimmungsbereich. Zum Befragungszeitpunkt T4 ist die Zustimmung immer noch hoch, sie hat jedoch abgenommen, der Mittelwert beträgt nur noch 3.21. Der Wilcoxon-Test zeigt mit einem p-Wert von 0.15 eine signifikante Veränderung zwischen diesen beiden Befragungszeitpunkten. Bei der letzten Onlinebefragung (T4), die nach der Testung aller Lademodelle durchgeführt wurde, ist die Zustimmung zu dem Statement geringer geworden als zu Beginn

des Feldversuches: Nach dem Feldversuch herrschte somit ein geringerer Kontrollwunsch als vorher.

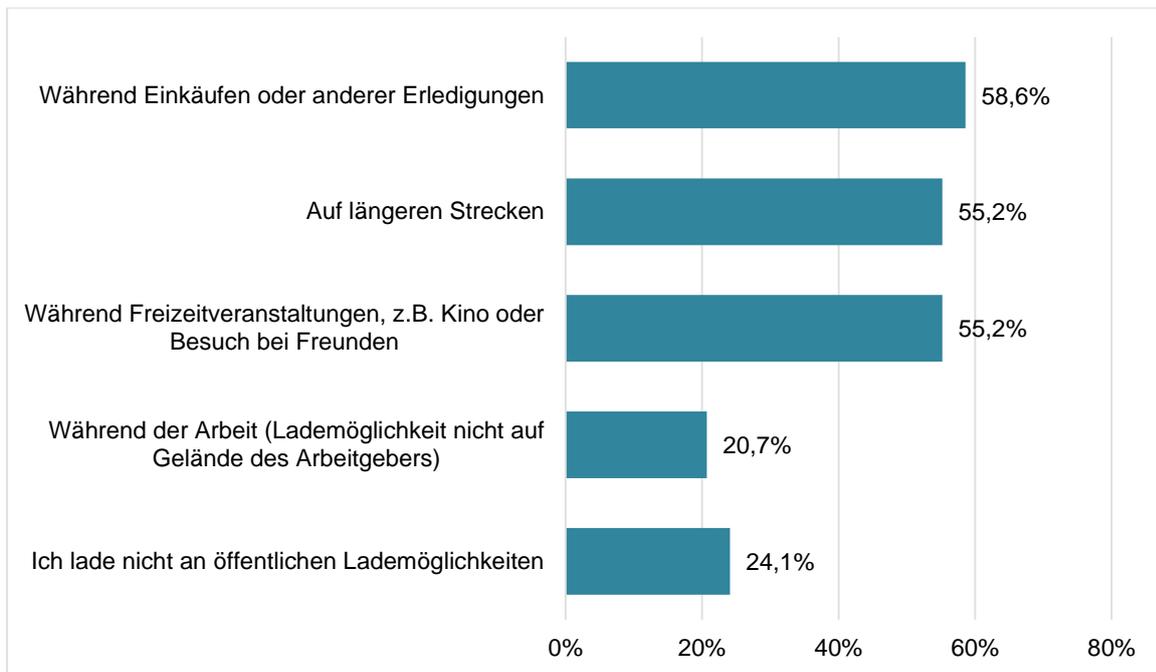
Kontext erneuerbare Energieerzeugung (D5): Die Entwicklung von Lademodellen soll der Stabilisierung des Stromnetzes und dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung dienen. Mit entsprechenden Statements zu diesem Kontext wurde das Bewusstsein des Teilnehmerkreises für diesen Zusammenhang erhoben. Wie bei der Analyse der Kauf- und Nutzungsgründe gezeigt, handelt es sich bei den Teilnehmern um Personen mit einem hohen Umweltbewusstsein. Dies drückt sich auch in der Zustimmung zu den folgenden Statements aus: „Es ist sinnvoll, dass man mit der Batterie von Elektroautos prinzipiell auch den Ausbau erneuerbarer Energien unterstützen kann“. Die Zustimmung zu dieser Aussage liegt mit einem Mittelwert von 4.48 (T1) und 4.28 (T4) sehr hoch. Die hohe Zustimmung bleibt auch bestehen, wenn etwas konkreter formuliert wird: „Das Laden von Elektroautos sollte grundsätzlich eher in die Zeiten verlegt werden, in denen Wind- und Sonnenstrom verfügbar ist“. Bei diesem Statement liegen die Mittelwerte bei 4.00 (T1) und 4.14 (T4), unterscheiden sich also auch nicht signifikant.

Fazit: Die Einstellungen der Teilnehmer zum Thema Laden bleiben bis auf eine Ausnahme während des 15-monatigen Feldversuchs stabil. Die Einführung und Testung der Lademodelle hatte somit keine signifikanten Auswirkungen auf die Einstellungen, hat diese also auch nicht negativ beeinflusst. Die gemessene signifikante Veränderung in Bezug auf den Kontrollwunsch ist im Hinblick auf eine mögliche Kooperation von Elektroautobesitzern mit Anbietern von Lademodellen als positives Zeichen zu werten. Die Zustimmung zu dem Item „Über den Ladevorgang will ich die volle Kontrolle haben“ nimmt nach Ende des Feldversuches signifikant ab. Das deutet darauf hin, dass die Bereitschaft nach den konkreten Erfahrungen im Feldversuch zugenommen hat, mit Anbietern gesteuerter Lademodelle zu kooperieren.

### 7.6.6 Öffentliches Laden

Die im Feldversuch getesteten Lademodelle wurden für das Laden zu Hause entwickelt. Aus diesem Grund steht das Thema öffentliches Laden nicht im Fokus der Studie. Es gehört aber zur Alltagswirklichkeit des Teilnehmerkreises und wurde von diesem in den Telefoninterviews immer wieder thematisiert. Um einen Gesamteindruck über das Thema Laden und die Einstellungen und Erfahrungen der teilnehmenden Personen zu gewinnen, wurden einige wenige Fragen zum öffentlichen Laden in die Onlinebefragung integriert.

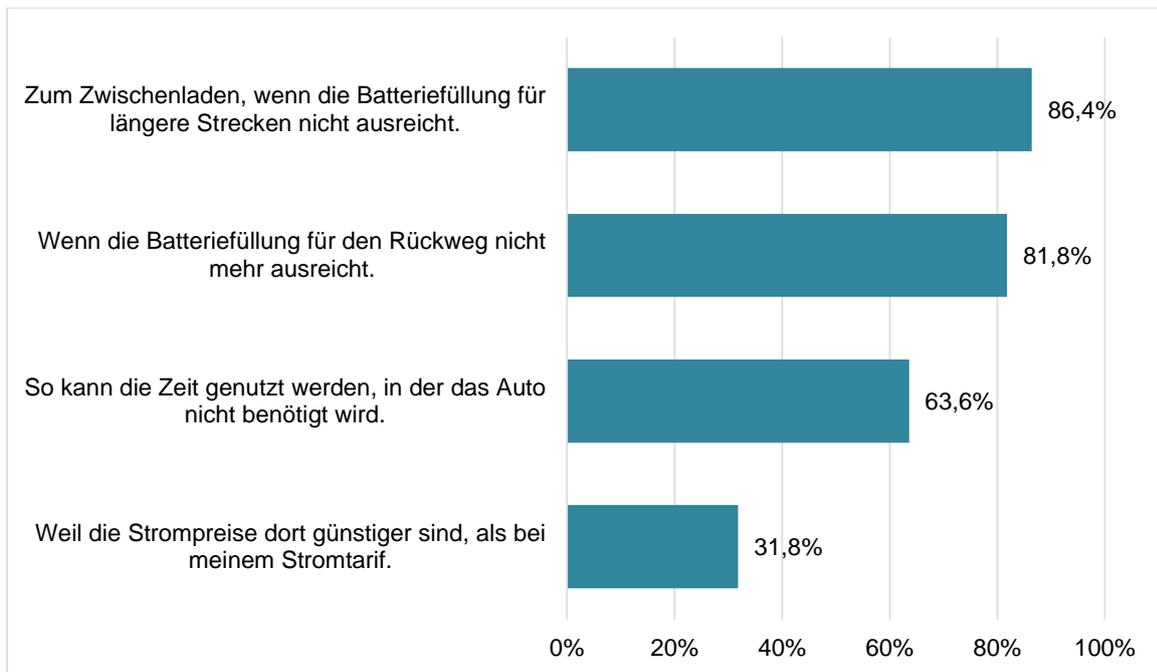
Die **Abbildung 7.18** zeigt, dass von den Teilnehmern, die öffentliche Ladepunkte benutzen, dies jeweils zu über 50 % während Einkäufen oder anderen Erledigungen, auf längeren Strecken oder während Freizeitveranstaltungen tun. Nur rund 20 % der TeilnehmerInnen laden während der Arbeit an einer öffentlichen Ladesäule.



**Abbildung 7.18:** Gelegenheiten, bei denen die Teilnehmer öffentlich laden, Mehrfachnennungen möglich, N = 29

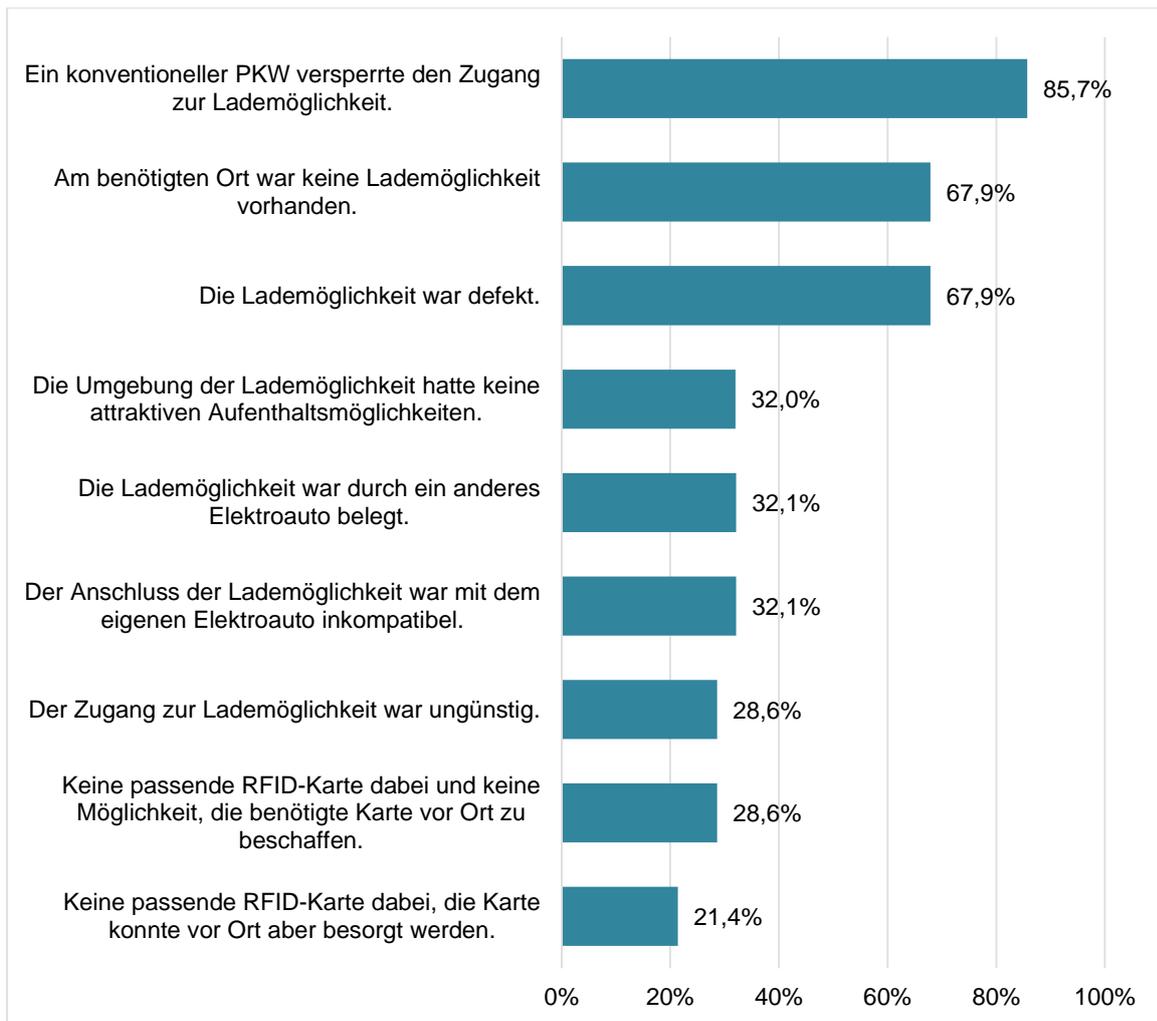
Es ist aber auch zu sehen, dass knapp ein Viertel der Befragten keine öffentlichen Lademöglichkeiten nutzen. In der nachgeschalteten offenen Frage zu den Gründen der Nichtnutzung werden hauptsächlich belegte, zugeparkte oder am Zielort nicht vorhandene Ladesäulen genannt. Auch die Notwendigkeit, ein separates Ladekabel bzw. einen Adapter mit sich führen zu müssen, ist ein Hinderungsgrund. Nur eine Person hat aufgrund ihrer Kurzstreckenmobilität keinen wirklichen Bedarf im öffentlichen Raum zu laden.

Wie **Abbildung 7.19** zeigt, laden die Befragten unterwegs hauptsächlich wenn sie längere Strecken zurücklegen oder wenn die Batteriefüllung für den Rückweg nicht mehr ausreicht. Knapp zwei Drittel der Befragten nutzen die Zeit, in der das Auto nicht benötigt wird, zum Laden. Rund ein Drittel der Befragten lädt an öffentlichen Ladesäulen, weil der Strom dort günstiger als zu Hause ist. Bei der Bewertung der Anzahl der öffentlichen Lademöglichkeiten antworten 64,3 % von 28 Teilnehmern, dass es für ihre Mobilitätsbedürfnisse zu wenig öffentliche Lademöglichkeiten gebe. 27,6 % empfinden die Anzahl der Ladesäulen als ausreichend und 7,1 % geben an, dass für ihre Mobilitätsbedürfnisse mehr als genug Lademöglichkeiten vorhanden seien.



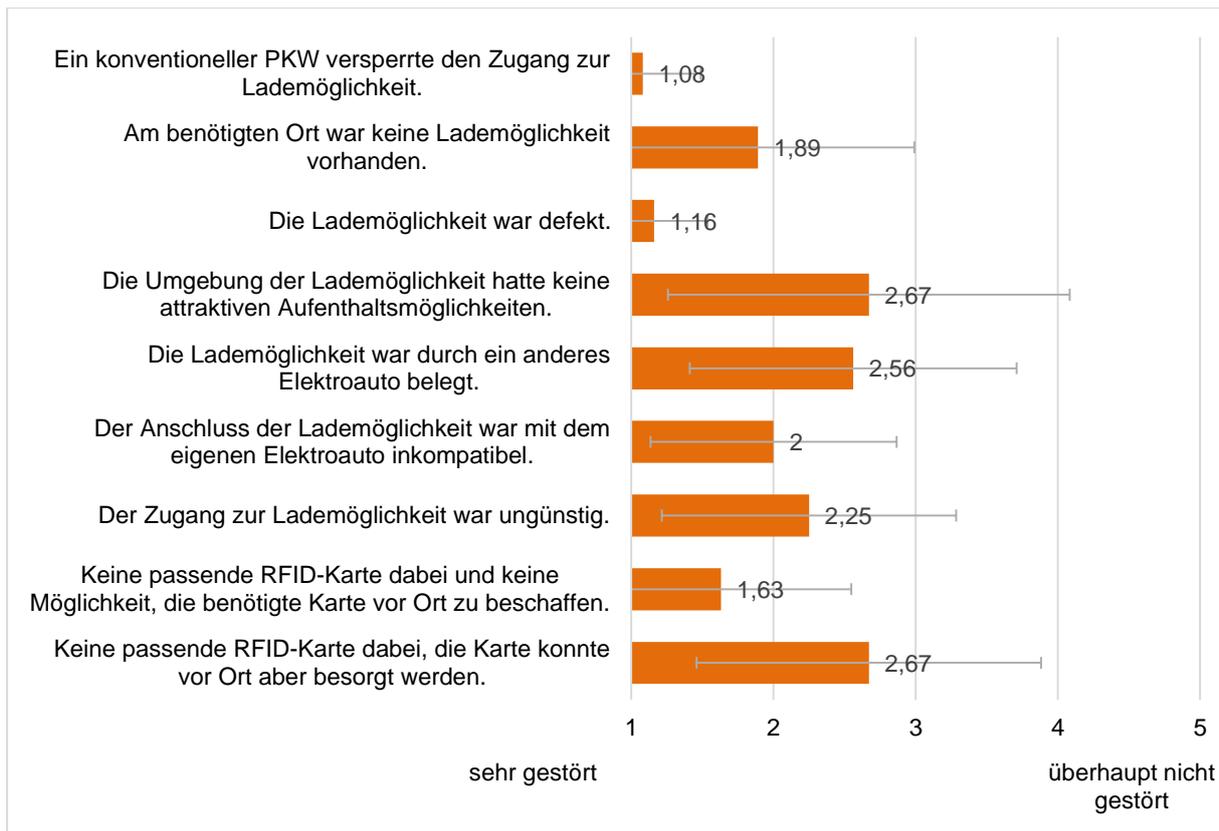
**Abbildung 7.19:** Gründe für das Laden an öffentlichen Ladepunkten, Mehrfachnennungen möglich, N = 22

Dass das Laden an öffentlichen Ladepunkten nicht immer störungsfrei abläuft, zeigt nachfolgende **Abbildung 7.20**. Bei diesem Fragenkomplex sollten die TeilnehmerInnen ankreuzen, welche der genannten Situationen sie schon einmal erlebt hatten.



**Abbildung 7.20:** Erlebte Situationen an öffentlichen Lademöglichkeiten, Mehrfachnennungen möglich, N = 28

Den meisten TeilnehmerInnen ist es schon passiert, dass ein konventioneller PKW den Zugang zur Lademöglichkeit versperrte. Diese Situation wurde mit Abstand am häufigsten genannt. Über zwei Drittel der Teilnehmer haben es schon erlebt, dass am benötigten Ort keine Lademöglichkeit vorhanden oder diese defekt war. Ungefähr ein Drittel hat erlebt, dass die Lademöglichkeit keine attraktiven Aufenthaltsmöglichkeiten bot, mit einem anderen Elektroauto belegt, der Ladeanschluss inkompatibel, der Zugang zur Lademöglichkeit ungünstig oder keine passende RFID-Karte zur Hand war. Nach der Schilderung der erlebten Situationen wurden die Teilnehmer gebeten, einzuschätzen, wie sehr sie diese Situation gestört hat (vgl. **Abbildung 7.21**).

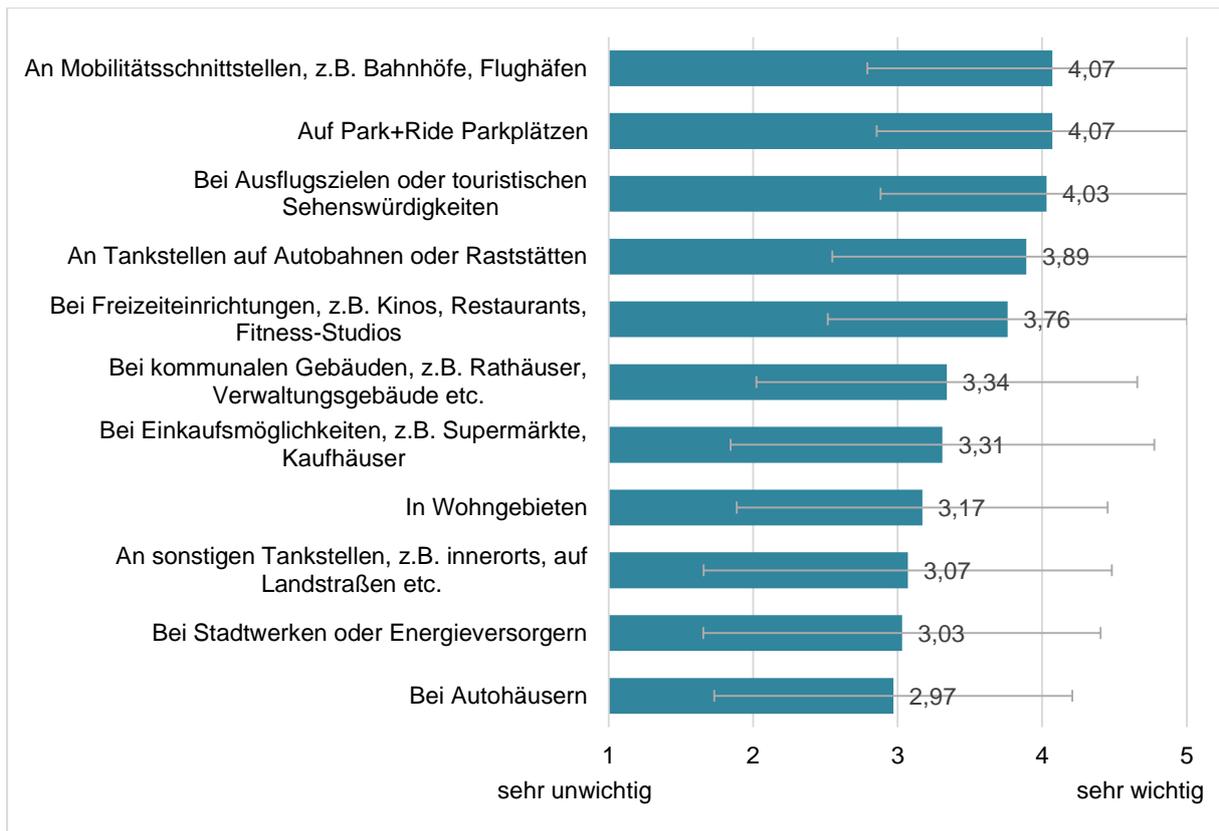


**Abbildung 7.21:** Bewertung der erlebten Situation, N = 6-19

Am meisten störte es die Teilnehmer, wenn ein konventioneller PKW die Lademöglichkeit versperrte oder diese defekt war. Bei beiden Fragen gibt es nur eine geringe Standardabweichung<sup>23</sup>, was bedeutet, dass keine starken Antwortschwankungen auftreten, die Teilnehmer sich also in der Beantwortung der Fragen relativ einig waren. Als störend wurde ebenso bewertet, wenn die Teilnehmer keine passende RFID-Karte zur Hand hatten und diese auch nicht vor Ort besorgt werden konnte oder wenn am Zielort keine Lademöglichkeit vorhanden war. Als weniger störend wird es empfunden, wenn eine passende RFID-Karte vor Ort erhältlich ist oder wenn der Ladepunkt keine attraktiven Aufenthaltsmöglichkeiten bietet. Auch wenn die Lademöglichkeit durch ein anderes Elektroauto belegt war, stieß das auf eine gewisse Toleranz.

An welchen der in der Befragung genannten Orte der Teilnehmerkreis öffentliche Lademöglichkeiten benötigt, zeigt die nachfolgende **Abbildung 7.22**.

<sup>23</sup> Die Standardabweichungen werden durch die grauen, horizontalen Linie in jedem Balken abgebildet.



**Abbildung 7.22:** Wichtigkeit von öffentlichen Lademöglichkeiten an ausgewählten Orten, N = 29

Am wichtigsten ist es den Befragten, dass öffentliche Lademöglichkeiten an Mobilitätsschnittstellen, wie z. B. Flughäfen oder Bahnhöfen oder auf Park-and-Ride-Parkplätzen vorhanden sind. Auch touristische Ausflugsziele stehen auf der Wunschliste weit oben. Am wenigsten benötigt werden öffentliche Ladepunkte bei Autohäusern sowie bei Stadtwerken und Energieversorgern. Einen Unterschied in der Bewertung kann man in Bezug auf Tankstellen entdecken: Auf Autobahnen oder Raststätten sind sie durchaus nachgefragt, innerorts und auf Landstraßen hingegen nimmt die Nachfrage ab. Die Standardabweichungen, die alle über dem Wert eins liegen, zeigen aber, dass das Antwortverhalten der Teilnehmer heterogen ist und die Anforderungen an öffentliche Lademöglichkeiten individuell sehr verschieden sind.

Zum Abschluss soll noch ein Überblick darüber gegeben werden, welche Akteure nach Meinung der Befragten den Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur unterstützen sollten.

**Tabelle 7.4:** Welche Akteure sollten Ihrer Meinung nach den Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur unterstützen? N = 29

Akteure	als Initiator	als Finanzierer	als Betreiber	weder-noch
<b>Akteure des Bundes (z.B. Wirtschafts- und Umweltministerium)</b>	86,2%	48,3%	6,9%	6,9%
<b>Akteure des Landes (z.B. Nds. Ministerium für Wirtschaft)</b>	79,3%	51,7%	10,3%	3,4%
<b>Kommunale Verwaltung / Stadtverwaltung</b>	72,4%	41,4%	31,0%	3,4%
<b>Kommunale Unternehmen (z.B. Stadtwerke)</b>	37,9%	65,5%	93,1%	0,0%
<b>Große Energieversorger (z.B. RWE, E.ON, Vattenfall)</b>	17,2%	65,5%	79,3%	6,9%
<b>Große Unternehmen in ihrer Rolle als Arbeitgeber (z.B. ADAC, SAP, Siemens)</b>	31,0%	55,2%	55,2%	6,9%
<b>Autohersteller</b>	41,4%	44,8%	41,4%	6,9%

Wie **Tabelle 7.4** zeigt, sehen die Befragten die Akteure des Bundes, des Landes und der Kommunen vor allem in der Rolle von Initiatoren. Kommunalen Unternehmen und großen Energieversorgern wird die Rolle des Betreibers zugeschrieben. Diese werden auch noch stärker als die öffentlichen Akteure als Finanzierer gesehen. Weniger deutlich ist die Rollenzuweisung in Bezug auf große Unternehmen und Autohersteller, hier diffundiert das Antwortverhalten zwischen den drei Optionen. Interessant ist noch die letzte Spalte. Die Befragten konnten die Option wählen, dass die genannten Akteure für keine der genannten Rollen in der Pflicht gesehen werden. Diese Möglichkeit wählten mit unter 10 % nur sehr wenige Befragte, was die Schlussfolgerung zulässt, dass alle genannten Akteure in der Verantwortung für den Aufbau der Ladeinfrastruktur gesehen werden, auch wenn bei einigen keine klare Rollenzuweisung vorgenommen wurde. Von den Befragten selbst kamen nur sechs eigene Vorschläge, welche Akteure zusätzlich für den Aufbau einer Ladeinfrastruktur in der Verantwortung gesehen werden. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Betreiber von Parkhäusern und Parkplätzen oder von Freizeit- und Einkaufsstätten.

### 7.6.7 Zusammenfassung der Ergebnisse Öffentliches Laden

Für ihre Mobilitätsanforderungen benötigen ca. zwei Drittel der 29 TeilnehmerInnen öffentliche Lademöglichkeiten. Diese werden vorwiegend genutzt, wenn die Batteriekapazität für längere Strecken oder den Rückweg nicht mehr ausreicht. Die Möglichkeit, an vielen öffentlichen Ladesäulen derzeit den Strom noch kostenlos beziehen zu können, spielt eine eher untergeordnete Rolle. Von den TeilnehmerInnen, die ihre Fahrzeuge an öffentlichen Lademöglichkeiten laden, haben etliche schon Störungen erlebt. Die Top3 der Störungen sind durch konventionelle PKWs zugeparkte Ladesäulen und nicht vorhandene oder defekte Lademöglichkeiten. In der Wahrnehmung der TeilnehmerInnen fallen besonders zugeparkte und defekte Lademöglichkeiten negativ auf sowie Ladesäulen, für die keine passende RFID-Karte direkt vor Ort besorgt werden

kann. Öffentliche Lademöglichkeiten werden vor allem an Mobilitätsschnittstellen, wie z. B. Bahnhöfen oder Flughäfen gewünscht sowie auf Park-and-Ride-Parkplätzen oder bei touristischen Sehenswürdigkeiten. Die TeilnehmerInnen sehen sowohl öffentliche als auch private Akteure in der Pflicht, den Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur zu unterstützen.

## 7.7 Die *smart*-Lademodelle

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die Ergebnisse der Gesamtbewertungen vorgestellt, um einen Überblick über die Einstellungen zu den Lademodellen und ihr Verhältnis untereinander geben zu können. Danach werden die Einflüsse verschiedener Einstellungsdimensionen auf die Gesamtbewertung detaillierter diskutiert und eine Nutzertypologie erstellt.

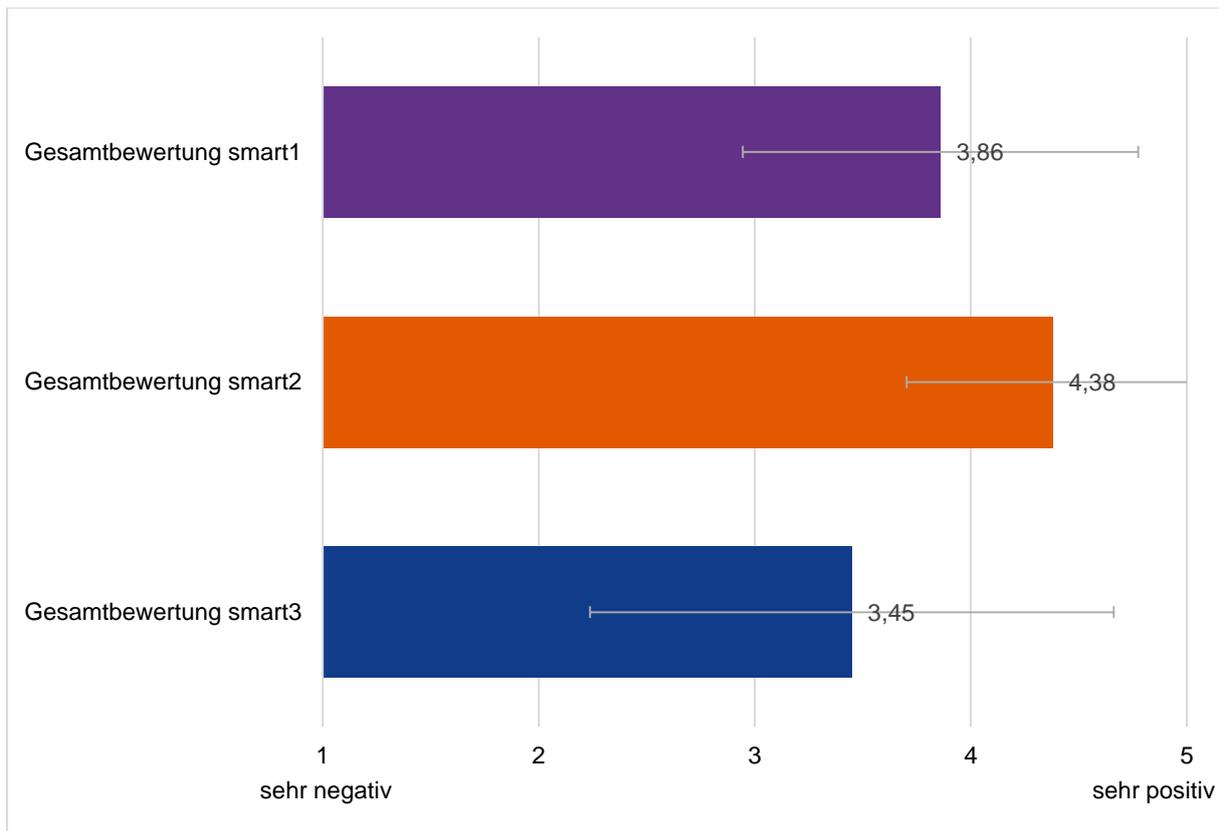
### 7.7.1 Gesamtbewertung der *smart*-Lademodelle

Die Gesamtbewertung der drei *smart*-Lademodelle wurde zu verschiedenen Zeitpunkten mit zwei unterschiedlichen Fragestellungen erhoben. Eine Bewertung des jeweils neu freigeschalteten Lademodells durch die TeilnehmerInnen erfolgte direkt am Ende der jeweiligen Testphase mittels einer fünfstufigen Ratingskala. Mit der fünfstufigen Ratingskala wurde den TeilnehmerInnen die Möglichkeit gegeben, jedes Lademodell separat zu bewerten. Mit dieser Methode erhält man eine Aussage über die „absolute“ Bewertung einzelner Statements oder von Produkten. Bei dem vorliegenden Versuchsaufbau war eine absolute Bewertung jedoch streng genommen nicht möglich, da die einzelnen Lademodelle nacheinander in den Feldversuch eingeführt wurden. Von einer unvoreingenommenen Bewertung, also einer Bewertung ohne vorausgegangene Lerneffekte, kann eigentlich nur bei der Bewertung des ersten Modells *smart1* ausgegangen werden. Bei den darauffolgenden Modellbewertungen (*smart2* und *smart3*) muss zumindest die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass die mit den Vorgängermodellen gemachten Erfahrungen in die Bewertungen einfließen. Um diesen Effekt kontrollieren zu können, wurde in der letzten Onlinebefragung, nach dem Ende des Feldversuches zum Zeitpunkt T4, eine zusätzliche Bewertungsfrage gestellt, die das präferierte Modell erhebt. Die TeilnehmerInnen sollten mittels einer „forced-choice“-Frage ihr bevorzugtes Lademodell unter den bekannten und getesteten drei Optionen wählen. Wurde kein Modell bevorzugt, stand zusätzlich die Antwortoption „keines“ zur Verfügung.

**Abbildung 7.23** zeigt die Einzelbewertungen der drei *smart*-Modelle am Ende der jeweiligen Feldversuchsphasen. Die Bewertungen erfolgen auf die Frage: „Alles in allem, wie bewerten Sie das Lademodell *smart\_\_* insgesamt?“<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> Die fünfstufige Skala bietet folgende Antwortmöglichkeiten: sehr negativ – eher negativ – neutral – eher positiv – sehr positiv.



**Abbildung 7.23:** Bewertung der *smart*-Lademodelle nach Ende der jeweiligen Testphase, N = 29

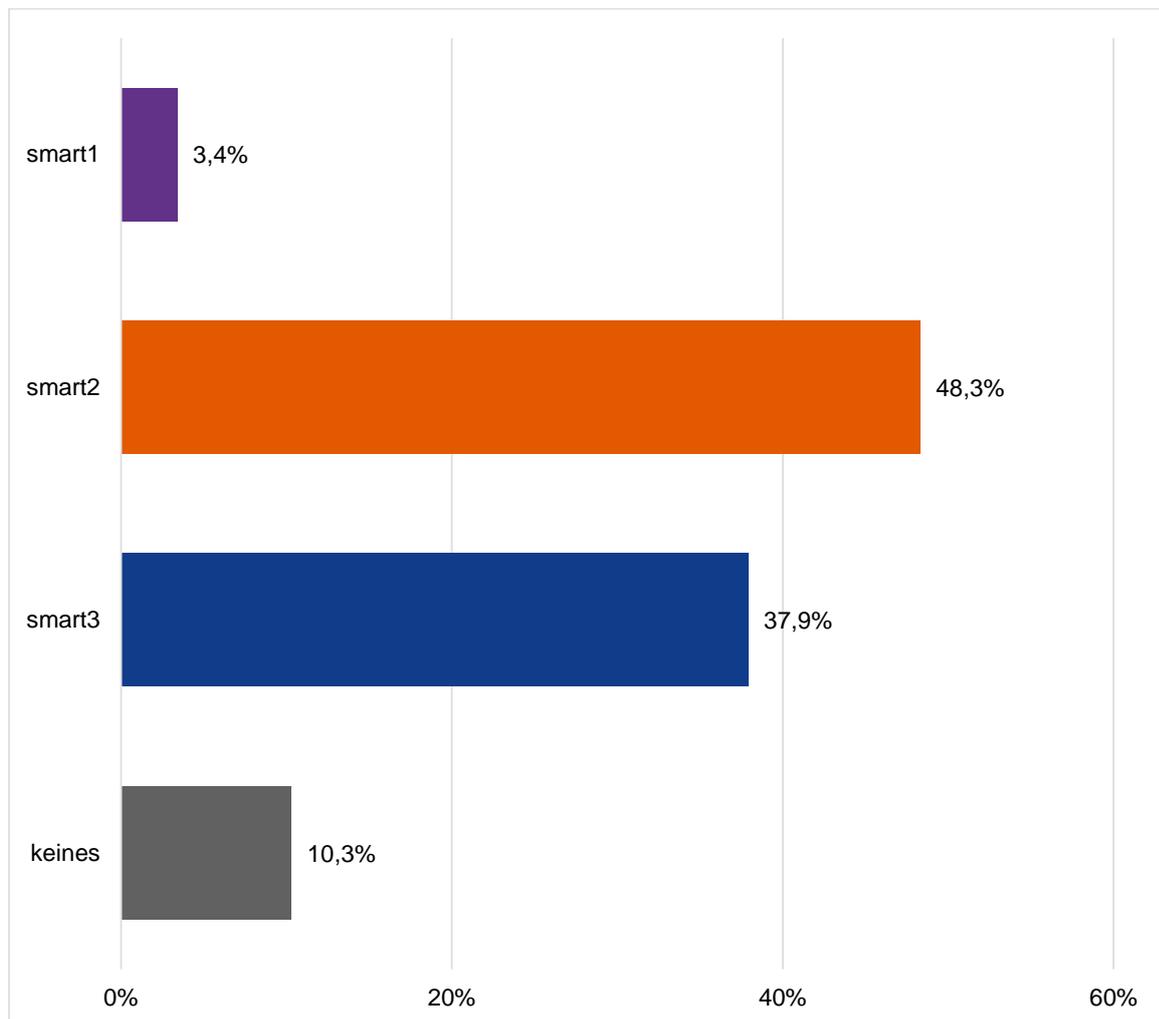
An den Mittelwerten lässt sich ablesen, dass die TeilnehmerInnen das Lademodell *smart2* mit einem Wert von 4,38 auf der fünfstufigen Skala am besten bewerten. Mit einigem Abstand und einem Wert von 3,86 folgt *smart1*, auf dem letzten Platz liegt *smart3* mit einem Mittelwert von 3,45. Gerade bei der Bewertung von *smart3* differieren die Ansichten der Teilnehmer, die Standardabweichung, abgebildet durch die horizontale graue Linie, ist hier höher als bei den anderen beiden Bewertungen. Dies lässt auf eine Differenz im Antwortverhalten schließen, auf die in den Nutzertypologien in 7.8 noch näher eingegangen wird. Die Unterschiede in den Gesamtbewertungen der Lademodelle sind nicht zufällig, wie der Friedman-Test für abhängige Stichproben zeigt ( $p = .002$ ,  $\chi^2 = 12.761$  (2), N = 29). Eine paarweise Testung mit dem Wilcoxon-Test ergibt signifikante Bewertungsunterschiede zwischen *smart2* und den anderen beiden Lademodellen (vgl. **Tabelle 7.5**). Das bedeutet, dass die Bewertungsabstände nicht zufälliger Natur sind, sondern auf Unterschiede zwischen den Modellen zurückzuführen sind.

**Tabelle 7.5:** Gesamtbewertung Lademodelle – Modellvergleich

Item	Paarvergleich	Wilcoxon Test	
		z	p
Gesamtbewertung Lademodell	smart1-smart2	2.839	.005 <sup>+</sup>
	smart1-smart3	-1.887	.059
	smart2-smart3	-2.914	.004 <sup>+</sup>

+ signifikant nach Bonferroni-Adjustierung,  $p' < 0.0167^{25}$

Dass es Unterschiede zwischen der Bewertung der Modelle gibt, zeigt auch die Frage nach dem bevorzugten Lademodell. Die Präferenzen werden in **Abbildung 7.24** dargestellt.



**Abbildung 7.24:** Präferiertes Lademodell nach Ende des Feldversuches, N = 29

<sup>25</sup> Die Formel für die  $\alpha$ -Adjustierung nach Bonferroni lautet:  $\alpha' = \alpha/m$ , vgl. [14] und beträgt für drei Paarvergleiche auf einem Signifikanzniveau von .05  $p' = 0.0167$ .

Nach wie vor wird *smart2* als beliebtestes Modell gewählt; 48,3 % der Befragten ziehen dieses Modell allen anderen vor. Die Plätze zwei und drei sind im Vergleich zu den Einzelbewertungen der **Abbildung 7.23** allerdings vertauscht. *smart3* wird mit 37,9 % deutlich besser bewertet als *smart1*, das entgegen der vorherigen Ergebnisse mit 3,4 % abgeschlagen auf dem dritten Platz liegt. Zusätzlich zu der veränderten Reihenfolge auf den Plätzen zwei und drei ist es interessant zu beobachten, dass 10,3 % der TeilnehmerInnen keines der getesteten Modelle präferieren.

Die Ergebnisse der abschließenden Gruppendiskussion nach Ende des Feldversuches (vgl. 7.2.3) bestätigen diese Präferenzfolge. Die Teilnehmer wurden zu Beginn der Diskussionsrunde gebeten, die getesteten *smart*-Lademodelle zu bewerten. Jeder Teilnehmer konnte drei Punkte nach Belieben auf die drei Modelle verteilen<sup>26</sup>. *smart2* gewinnt mit 25 Punkten auch hier die Wahl zum beliebtesten Modell, der Abstand zu *smart3* fällt mit nur einem Punkt Vorsprung allerdings weniger eindeutig aus als in **Abbildung 7.24**. *smart1* liegt mit sechs Punkten auch in der Gruppendiskussion abgeschlagen auf dem letzten Platz.

In den Onlinebefragungen und der Gruppendiskussion wurden die Teilnehmer gebeten, ihre Bewertung kurz zu begründen. Bei allen drei Lademodellen wird positiv hervorgehoben, dass sie zur Unterstützung der Stromnetze und zur Integration von erneuerbaren Energien beitragen. Jedem Modell wird eine gewisse Alltagstauglichkeit attestiert. Bei *smart2* wird von den Teilnehmern der Gruppendiskussion besonders positiv hervorgehoben, dass das Laden damit gut planbar und das Modell schön klar und einfach verständlich sei. *smart3* hingegen wird als kompliziert empfunden und die Bedienung als zu langwierig. Von einigen Personen wird positiv erwähnt, dass die Einbindung einer hauseigenen Photovoltaik-Anlage sehr gut mit *smart2* harmoniere. Bei *smart3* wird hingegen bemängelt, dass die Einbindung einer PV-Anlage nur schwer möglich sei.

Negativ schlägt bei einigen Personen die mangelnde Flexibilität von *smart3* zu Buche. Es werden mehr Freiheitsgrade während des Ladevorgangs gewünscht, die Festlegung auf ein *smart*-Modell pro Tag in Phase 4 erscheint zu starr. Zusätzlich wird gewünscht, dass man die Füllhöhe auch während des Ladevorgangs noch ändern könne. An *smart1* und *smart3* wird bemängelt, dass die vorgegebenen Prämienzeiten nicht zur optimalen Einbindung von erneuerbaren Energien passten. In der Gruppendiskussion wurde *smart1* als „sehr nachlastig“ empfunden, mit dem Argument, dass dadurch eher der Bezug von Kohlestrom als derjenige von erneuerbaren Energien unterstützt werde. In der Gruppendiskussion werden außerdem Bedenken geäußert, dass bei einer Nutzung von *smart3* die Elektrofahrzeugbatterie schneller altere und die Nutzer diese Kosten tragen müssten. Einige TeilnehmerInnen schlagen vor, den finanziellen Anreiz bei allen Modellen über den Strompreis, und nicht, wie im Feldversuch geschehen, über Prämien zu schaffen.

Fasst man die Argumente zusammen, die für die *smart*-Modelle sprechen, ist auffällig, dass für *smart1* nicht so viele Vorteile genannt werden, dass die Vorteile von *smart2* häufig mit der Einfachheit der Bedienung und der Alltagstauglichkeit in Verbindung gebracht werden ebenso wie

---

<sup>26</sup> Die Option, keines der Modelle zu bewerten, stand in der Gruppendiskussion nicht zur Verfügung.

mit der Möglichkeit, die eigene PV-Anlage einbinden zu können. Die Argumente, die für *smart3* ins Feld geführt werden betreffen häufig die positiven Auswirkungen auf die Netzintegration und die Entlastung der Stromnetze, sind also eher übergeordneten System-Vorteilen zuzuschreiben.

### 7.7.2 Die Einstellungsdimensionen

Neben der Gesamtbewertung wurden in den Onlinebefragungen zusätzliche Variablen eingeführt, um wahrgenommene Eigenschaften der Modelle und ihre Unterschiede detaillierter analysieren zu können. Die Variablen wurden in den Befragungsphasen T2 bis T4 für jedes Lademodell neu erhoben, d. h. die Statements wurden in jeder der genannten Onlinebefragungen gestellt und auf das jeweils aktuell getestete Modell bezogen. Die Items bilden die folgenden drei analysierten Nutzungsdimensionen aus der Telefonbefragung (vgl. 7.4.2) ab:

- Vorteile für den Umweltschutz und den Ausbau von erneuerbaren Energien (D1)
- Finanzielle Vorteile (D2)
- Alltagstauglichkeit (Passung zu Fahr- und Ladegewohnheiten, D3)

Da die Dimension Technikinteresse/Innovativität im Teilnehmerkreis für die Nutzung des Elektrofahrzeugs keine Rolle mehr spielte, wird sie zur Bewertung der *smart*-Lademodelle nicht herangezogen.

Zusätzlich zu den drei genannten Dimensionen wurden folgende zwei Dimensionen erhoben:

- Kontrollwunsch (D4)
- Commitment (D5)

Die Dimension Kontrollwunsch spielte in einer vom ITD durchgeführten Studie zum Thema Vehicle-to-Grid [15] eine wichtige Rolle, so dass es sinnvoll erschien, sie im Feldversuch zu implementieren. Die Frage nach dem Commitment sollte eine Einschätzung geben, inwieweit die Teilnehmer bereit wären, den getesteten Tarif dauerhaft zu beziehen.

Die Zustimmung zu den Statements wurde wieder mit einer fünfstufigen Bewertungsskala erhoben<sup>27</sup>, in **Tabelle 7.6** sind die Verteilungen dargestellt.

---

<sup>27</sup> Die Skala bewegte sich zwischen den Polen 1 = stimme überhaupt nicht zu bis 5 = stimme voll und ganz zu.

**Tabelle 7.6:** Einstellungen zu den Lademodellen

Item	Lademo- dell	N	M	SD	Friedman Test	
					$\chi^2$ (df)	p
Ich sehe Vorteile für den Umweltschutz, wenn ich mit <i>smart_</i> lade. (D1)	<i>smart1</i>	29	3,45	1,27	16.000 (2)	.000***
	<i>smart2</i>	29	4,41	0,98		
	<i>smart3</i>	28	3,71	1,36		
Ich sehe Vorteile für den Ausbau erneuerbarer Energien, wenn ich mit <i>smart_</i> lade. (D1)	<i>smart1</i>	28	3,68	1,25	10.750 (2)	.005**
	<i>smart2</i>	29	4,31	1,04		
	<i>smart3</i>	28	3,79	1,32		
Finanziell lohnt sich das Laden mit <i>smart_</i> für mich. (D2)	<i>smart1</i>	29	3,45	1,33	6.299 (2)	.043*
	<i>smart2</i>	29	4,00	1,20		
	<i>smart3</i>	27	3,63	1,18		
Die Zeiten entsprechen meinen üblichen Ladegewohnheiten. (D3)	<i>smart1</i>	29	3,62	1,15	3.908 (2)	.142
	<i>smart2</i>	29	3,38	1,21		
	<i>smart3</i>	26	3,00	1,23		
<i>smart_</i> lässt sich mit meinen Fahrgewohnheiten gut vereinbaren. (D3)	<i>smart1</i>	29	4,28	0,80	13.365 (2)	.001**
	<i>smart2</i>	29	3,93	0,84		
	<i>smart3</i>	28	3,46	1,17		
<i>smart_</i> schränkt meine Mobilität ein.(D3)	<i>smart1</i>	29	2,00	1,10	2.452 (2)	.294
	<i>smart2</i>	29	2,10	0,98		
	<i>smart3</i>	27	2,44	1,34		
An <i>smart_</i> stört mich, dass der Stromanbieter die Kontrolle über das Laden hat. (D4)	<i>smart1</i>	29	2,24	1,27	.076 (2)	.963
	<i>smart2</i>	29	2,28	1,22		
	<i>smart3</i>	28	2,21	1,00		
Mir ist es egal, ob ich die Kontrolle darüber habe, wann das Fahrzeug geladen wird. (D4)	<i>smart1</i>	29	2,62	1,24	1.132 (2)	.568
	<i>smart2</i>	29	2,55	1,21		
	<i>smart3</i>	28	2,79	1,23		
Ich achte bewusst darauf, in den Zeiten von / mit <i>smart_</i> zu laden. (D5)	<i>smart1</i>	29	3,93	1,19	7.859 (2)	.020*
	<i>smart2</i>	29	4,31	1,04		
	<i>smart3</i>	28	3,14	1,56		
Ich würde den <i>smart</i> -Tarif wählen, falls er auf den Markt kommt. (D5)	<i>smart1</i>	28	4,04	0,79	10.677 (2)	.005**
	<i>smart2</i>	28	4,00	1,05		
	<i>smart3</i>	28	3,39	1,20		

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*  $p \leq 0.001$

Der durchgeführte Friedman-Test in **Tabelle 7.6** zeigt, dass einige signifikante Unterschiede in den Einstellungen zu den Lademodellen vorhanden sind. Der Test zeigt allerdings noch nicht, zwischen welchen Modellen die jeweiligen Unterschiede bestehen. Um diese zu identifizieren, wurden mit dem Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben die jeweiligen Paarvergleiche vorgenommen. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 7.7** abgebildet.

**Tabelle 7.7:** Einstellungen zu den Lademodellen – Modellvergleich

Item	Paarvergleich	Wilcoxon Test	
		z	p
Ich sehe Vorteile für den Umweltschutz, wenn ich mit <i>smart_</i> lade. (D1)	<i>smart1-smart2</i>	3.636	.000 <sup>+</sup>
	<i>smart1-smart3</i>	.992	.321
	<i>smart2-smart3</i>	-2.514	.012 <sup>+</sup>
Ich sehe Vorteile für den Ausbau erneuerbarer Energien, wenn ich mit <i>smart_</i> lade. (D1)	<i>smart1-smart2</i>	2.675	.007 <sup>+</sup>
	<i>smart1-smart3</i>	.883	.377
	<i>smart2-smart3</i>	-1.960	.050
Finanziell lohnt sich das Laden mit <i>smart_</i> für mich. (D2)	<i>smart1-smart2</i>	2.395	.017
	<i>smart1-smart3</i>	.708	.479
	<i>smart2-smart3</i>	-1.254	.210
<i>smart_</i> lässt sich mit meinen Fahrgewohnheiten gut vereinbaren. (D3)	<i>smart1-smart2</i>	-1.509	.131
	<i>smart1-smart3</i>	-2.647	.008 <sup>+</sup>
	<i>smart2-smart3</i>	-1.663	.096
Ich achte bewusst darauf, in den Zeiten von / mit <i>smart_</i> zu laden. (D5)	<i>smart1-smart2</i>	1.486	.137
	<i>smart1-smart3</i>	-2.220	.026
	<i>smart2-smart3</i>	-2.703	.007 <sup>+</sup>
Ich würde den <i>smart</i> -Tarif wählen, falls er auf den Markt kommt. (D5)	<i>smart1-smart2</i>	.362	.717
	<i>smart1-smart3</i>	-2.470	.014 <sup>+</sup>
	<i>smart2-smart3</i>	-2.039	.041

+ signifikant nach Bonferroni-Adjustierung,  $p < 0.0167$

Die dargestellten Ergebnisse zeigen teilweise signifikante Unterschiede in der Bewertung der Modelle, die im Folgenden diskutiert werden<sup>28</sup>.

Umweltschutz und Ausbau erneuerbarer Energien (D1): Die meisten Befragten sehen durch die Nutzung der Lademodelle Vorteile für den Umweltschutz und den Ausbau erneuerbarer Energien. Das Statement „Ich sehe Vorteile für den Umweltschutz, wenn ich mit *smart\_* lade“ erhält in Bezug auf *smart2* mit einem Mittelwert von 4,41 die höchste Zustimmung, *smart3* erreicht einen Mittelwert von 3,71 und *smart1* noch 3,45. Die Zustimmung zum Statement „Ich sehe Vorteile für den Ausbau erneuerbarer Energien, wenn ich mit *smart\_* lade“ hat mit einem Mittelwert von 4,31 für *smart2*, 3,79 für *smart3* und 3,68 für *smart1* ein ähnliches Niveau. Wie der Wilcoxon-Test in **Tabelle 7.7** zeigt, sind vor allem die Unterschiede zwischen *smart2* und den anderen beiden Lademodellen signifikant.

Finanzielle Vorteile (D2): Nach dem finanziellen Vorteil gefragt, liegt die Zustimmung für *smart2* mit einem Mittelwert von 4,00 am höchsten, gefolgt von *smart3* mit 3,63 und *smart1* mit 3,45. *smart2* ist somit das Lademodell, das am lukrativsten eingeschätzt wird. Diese Unterschiede erweisen sich aber als nicht signifikant.

Alltagstauglichkeit (D3): Bei dem Statement „Die Zeiten entsprechen meinen üblichen Ladege-  
wohnheiten“ erhält *smart1* mit einem Mittelwert von 3,62 die größte Zustimmung, die geringste Zustimmung findet sich bei *smart3* mit einem Mittelwert von 3,00. Die Unterschiede zwischen

<sup>28</sup> In den nachfolgenden Beschreibungen der tabellarisch gelisteten Ergebnisse werden zur besseren Lesbarkeit nur die Mittelwerte genannt. Die dazugehörigen detaillierten Teststatistiken können den jeweiligen Tabellen entnommen werden.

diesen beiden Antworten sind nicht signifikant. Auch bei dem Statement „*smart\_* lässt sich mit meinen Fahrgewohnheiten gut vereinbaren“ ist die Zustimmung bei *smart1* mit einem Mittelwert von 4,28 am höchsten, mit einem Mittelwert von 3,46 bei *smart3* am geringsten. Dieser Unterschied ist signifikant. Die Zustimmungswerte bei *smart2* liegen bei beiden Items zwischen den Modellen *smart1* und *smart3*. Insgesamt ist die Zustimmung zu diesem Statement aber höher als zu dem vorherigen, was darauf schließen lässt, dass sich die *smart*-Modelle mit den Fahrgewohnheiten gut vereinbaren lassen, auch wenn sie nicht vollumfänglich den üblichen Ladegewohnheiten entsprechen. Unterstützt wird diese Schlussfolgerung vom Antwortverhalten zum Statement „*smart\_* schränkt meine Mobilität ein“. Hier herrscht Lademodell-unabhängig eine geringe Zustimmung, mit einem Range von 2,00 bis 2,44 gibt es keine signifikante Diskrepanz im Antwortverhalten.

Kontrollwunsch (D4): Auf der Kontrollebene wurde erhoben, ob es die Teilnehmer generell stört, dass sie bei einer Nutzung der Lademodelle nicht vollumfänglich kontrollieren können, zu welcher Uhrzeit die Fahrzeuge geladen werden. Zusätzlich wurde nachgefragt, ob es störe, dass ein Stromanbieter die Kontrolle über die Ladung der Fahrzeuge übernehme. Dem letzteren Statement stimmen die Befragten mit Mittelwerten von 2,21 bis 2,28 eher nicht zu. Den TeilnehmerInnen ist es zwar auch nicht egal, ob sie die Kontrolle haben, wann das Fahrzeug geladen wird, die Ablehnung dieses Statements ist aber nicht sehr hoch und bewegt sich mit Mittelwerten von 2,55 bis 2,79 eher im mittleren bis neutralen Bereich auf der fünfstufigen Bewertungsskala. Bei diesen beiden Statements gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Lademodellen.

Commitment und Kaufbereitschaft (D5): Die Frage nach dem Commitment und der Kaufbereitschaft wurden jeweils mit hohen Zustimmungswerten belegt, die sich allerdings zwischen den Modellen unterscheiden. Das Statement „Ich achte bewusst darauf, in den Zeiten von *smart\_* zu laden<sup>29</sup>“ erhielt die höchste Zustimmung in Bezug auf *smart2*. Der Mittelwert liegt bei 4,31. *smart3* erreicht einen deutlich niedrigeren Mittelwert von 3,14 und *smart1* immerhin einen Mittelwert von 3,93. Es ist auffällig, dass die Standardabweichung bei dieser Aussage bei *smart3* mit einem Wert von 1,56 sehr hoch ist. Dies zeugt von einer großen Heterogenität im Antwortverhalten. Der Unterschied zwischen den Lademodellen *smart2* und *smart3* ist signifikant. Die Zustimmungswerte zu dem Statement „Ich würde den *smart*-Tarif wählen, falls er auf den Markt kommt“ liegen mit einem Mittelwert von 4,04 für *smart1* und 4,00 für *smart2* ebenfalls in einem oberen Zustimmungsbereich. Die Zustimmung zu diesem Statement in Bezug auf *smart3* fällt hingegen im Vergleich zu den anderen beiden Lademodellen mit einem Mittelwert von 3,39 deutlich ab. Dieser Unterschied ist allerdings nur im Paarvergleich zu *smart1* signifikant.

---

<sup>29</sup> Diese Frage wurde für die Lademodelle *smart1* und *smart2* in diesem Wortlaut gestellt. Da es bei *smart3* keine definierten Zeiten mehr gab, wurde der Wortlaut der Frage angepasst und lautete in der T4-Befragung folgendermaßen: „Ich achte bewusst darauf, mit *smart3* zu laden“.

### 7.7.3 Zusammenfassung der Ergebnisse *smart*-Lademodelle

Die Auswertungen zeigen, dass die Lademodelle durchaus differenziert wahrgenommen werden. Unterschiede bestehen in Bezug auf die Passung zu den Fahr- und Ladegewohnheiten. Bei der Vereinbarung mit den Ladegewohnheiten schneidet *smart3* nicht so gut ab wie die anderen beiden Modelle. Unterschiede sind ebenfalls festzustellen in Bezug auf das Commitment. Hier schneidet *smart2* am besten ab, die TeilnehmerInnen bemühen sich, in den entsprechenden Prämienzeiten zu laden. Die artikuliert Kaufbereitschaft ist für *smart1* und *smart2* ähnlich hoch, die Kaufbereitschaft des *smart3*-Tarifes ist im Vergleich etwas gebremster. Vorteile für den Umweltschutz und den Ausbau von erneuerbaren Energien werden bei *smart2* häufiger gesehen als bei den anderen Modellen. Dass sich das Laden finanziell für die Beteiligten lohnt, werden vor allem *smart2* und *smart3* attestiert. Keine wesentlichen Unterschiede sind bei den Kontrollitems zu sehen. Den Beteiligten ist es zwar nicht egal, ob sie Kontrolle über das Laden ausüben können oder nicht, aber der Einfluss des Stromanbieters wird nicht grundsätzlich negativ gesehen. Die TeilnehmerInnen verneinen die Frage danach, ob die Lademodelle ihre Mobilität einschränken. Auch hier bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen.

Es ist auffällig, dass die Gesamtbewertung von *smart1* je nach Befragungszeitpunkt variiert. In Bezug auf die Einzelbewertungen am Ende jeder Testphase steht *smart1* nach den Mittelwertberechnungen auf Rangfolge 2. Bei der vergleichenden Bewertung und in der Gruppendiskussion liegt es abgeschlagen auf Platz 3. Das Antwortverhalten ist konsistent mit dem Ladeverhalten der Befragten. Den Ladedaten ist zu entnehmen, dass nach Einführung von *smart2* in Phase 3 *smart1* nur noch selten genutzt wird (vgl. z. B. **Abbildung 6.4**). Eine Erklärung für diese Diskrepanz könnte sein, dass *smart1* das erste Lademodell war, das die FeldteilnehmerInnen testen konnten. Am Ende dieser Testphase fehlte bei der Bewertung der Vergleich zu anderen Lademodellen. Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass auch *smart1* grundsätzlich positiv bewertet wird und ihm positive Eigenschaften zugeschrieben werden. Diese positiven Eigenschaften scheinen jedoch im Vergleich zu den anderen beiden Modellen zu verblassen. Die Ergebnisse der Itematterie zeigen, dass hierfür nicht mangelnde Alltagstauglichkeit oder Mobilitätseinschränkungen verantwortlich sind. Diesbezüglich kann *smart1* gute Zustimmungswerte vorweisen. Am schlechtesten schneidet *smart1* bei der Wahrnehmung von Vorteilen ab. Seien es Vorteile für den Umweltschutz, den Ausbau erneuerbarer Energien oder finanzielle Vorteile für den einzelnen. Die Mittelwerte zu diesen Items sind bei *smart1* stets geringer – im Vergleich zu *smart2* teilweise sogar signifikant geringer – als bei den anderen beiden Lademodellen. Diese Interpretation wird gestützt durch die Auswertung der offenen Fragen und den o. g. Ergebnissen der Gruppendiskussion.

## 7.8 Nutzertypologie

Um die Gründe für die Wahl eines Lademodells auf der Nutzungsebene noch detaillierter betrachten zu können, wurde aus den Daten der 29 TeilnehmerInnen eine Nutzungstypologie gebildet<sup>30</sup>.

### 7.8.1 Vorgehen bei der Typenbildung

Für die Typenbildung wurde die Einstellungsvariable „Modellpräferenz“<sup>31</sup> mit dem tatsächlichen Nutzungsverhalten in der vierten und letzten Feldversuchsphase korreliert. Die tatsächliche Nutzung der Lademodelle wurde anhand der Ladedaten aus der CCB von den Projektpartnern IfES und enercity ermittelt. Für die Typenbildung wurden vom ITD die ermittelten Bonustage in der letzten Feldversuchsphase Phase 4 verwendet. In Phase 4 bedeutet der Erhalt eines Bonus, dass die Teilnehmer sich an einem Tag für eines der drei Lademodelle entschieden hatten, dies innerhalb der definierten Uhrzeiten nutzten und an diesem Tag kein zusätzliches Modell oder die Option *sofort-Laden* wählten. Waren diese Voraussetzungen erfüllt, wurde den TeilnehmerInnen für diesen Tag eine Prämie gutgeschrieben<sup>32</sup>. Die Prämienhöhe variierte je nach gewähltem Lademodell. Am darauffolgenden Tag konnte dann wieder frei zwischen den Lademodellen und der Option *sofort-Laden* gewählt werden; einen Bonus gab es wiederum nur dann, wenn die Wahl eines Lademodells nicht durch eine der anderen Modell-Optionen unterbrochen wurde.

Um die TeilnehmerInnen eindeutig einer bestimmten Gruppe zuordnen zu können, wurde im ersten Schritt eruiert, mit welchem Lademodell eine Person in Phase 4 die meisten Prämientage erwirtschaftet hatte. Dabei wurde keine Mindestgrenze für eine zu erreichende Anzahl von Prämientagen vorgegeben, es zählten nur die relativen Häufigkeitsverteilungen. Eine Unterscheidung, ob jemand die Lademodelle grundsätzlich ignoriert oder sie häufig verwendet, fließt in die Typologie nicht mit ein, da der Analyseschwerpunkt darauf gerichtet ist, Nutzungs- und Einstellungsunterschiede zwischen den Lademodellen detaillierter beschreiben zu können. So werden beispielsweise Teilnehmer, die in Phase 4 die Prämien nur an zehn Tagen erreicht hatten, davon an sechs Prämientagen *smart2* wählten, an den anderen vier Tagen ein anderes Lademodell, ebenso als *smart2*-affine Nutzer klassifiziert wie Teilnehmer, die z. B. im selben Zeitraum 60 Bonustage erwirtschafteten, davon 55 mit *smart2*. Diese Klassifizierung beruht auf der Annahme, dass der relative Anteil der Modellwahlen die absichtsvolle Entscheidung für ein bestimmtes Modell im Hinblick auf die interessierende Forschungsfrage besser abbilden kann als die Festlegung einer zu erreichenden absoluten Anzahl von Prämientagen. Eine relative Kategorisierung erschien auch mit Hinblick darauf sinnvoll, dass in Phase 4 die sechswöchigen Sommerferien 2015 vollumfänglich enthalten waren und zu Abwesenheitszeiten führten, in denen nicht geladen werden konnte.

---

<sup>30</sup> Zur Konstruktion von Typen und Typologien vgl. [16] und [17].

<sup>31</sup> Wortlaut der Frage: „Wenn Sie jetzt einmal alle drei *smart*-Modelle vergleichen: Welches Lademodell bevorzugen Sie?“

<sup>32</sup> Eine detaillierte Darstellung der Prämienzeiträume finden sich in Kapitel 3.2.

Nachdem das tatsächliche Wahlverhalten jedes Teilnehmenden klassifiziert wurde und jeder Person eindeutig das präferiert genutzte Lademodell zugeordnet werden konnte, wurde die Nutzungsvariable mit der Einstellungsvariable der Modellpräferenz korreliert. **Tabelle 7.8** zeigt die Präferenzverteilung.

**Tabelle 7.8:** Korrelation geäußerte Modellpräferenz mit bevorzugter Modellwahl in Phase 4

Bevorzugte Modellwahl Phase 4	Geäußerte Modellpräferenz T4	N	Prozent
<b>smart2</b>	<i>smart1</i>	1	6,7
	<i>smart2</i>	11	73,3
	<i>smart3</i>	1	6,7
	keines	2	13,3
	<b>Gesamt</b>	<b>15</b>	<b>100</b>
<b>smart3</b>	<i>smart2</i>	3	21,4
	<i>smart3</i>	10	71,5
	keines	1	7,1
	<b>Gesamt</b>	<b>14</b>	<b>100</b>

Zunächst einmal fällt auf der Nutzungsseite auf, dass *smart1* von keinem Teilnehmer in Phase 4 überwiegend genutzt wurde. Die vorwiegende Nutzung verteilt sich auf die beiden Lademodelle *smart2* und *smart3*. Insgesamt haben 15 TeilnehmerInnen in Phase 4 vorwiegend *smart2* genutzt, 14 TeilnehmerInnen nutzten überwiegend *smart3*. Nach der Korrelation des Nutzungsverhaltens mit der Frage nach dem bevorzugten Modell, also der Einstellungsebene, zeigt sich folgendes Bild: In der Gruppe *smart2* äußern 73,3 % der Befragten, die in Phase 4 vorwiegend *smart2* genutzt hatten, dass dies auch ihr bevorzugtes Modell sei. Bei 26,7 % der Befragten ist dies nicht der Fall: Sie nutzten zwar hauptsächlich *smart2*, geben aber auf der Einstellungsebene einem der anderen oder keinem der Lademodelle den Vorzug. In der Gruppe *smart3* zeigt sich ein vergleichbares Bild; 71,5 % der Personen, die das Modell *smart3* präferieren haben in Phase 4 auch überwiegend damit geladen, 28,5 % der Personen, die in Phase 4 überwiegend mit *smart3* luden, präferieren *smart2* oder keines der Modelle.

Mit dem Ziel, im folgenden Gruppenvergleich die Auswahlkriterien zur Entscheidung für ein bestimmtes Lademodell möglichst prägnant erfassen zu können, wurde beschlossen, auf eine möglichst große Homogenität innerhalb der *smart2*- und *smart3*-Gruppen zu achten. Deshalb werden die Befragten, deren Nutzungs- und Einstellungsverhalten nicht konsistent ist, in einer eigenen Gruppe zusammengefasst. Die Nutzungstypologie enthält also die folgenden drei Gruppen:

- *smart2*-affine Nutzer: 11 Personen
- *smart3*-affine Nutzer: 10 Personen
- unentschiedene *smart*-Nutzer: 8 Personen

## 7.8.2 Gruppenspezifische Bewertungen der Lademodelle

Um zu prüfen, ob die vorgenommene Gruppeneinteilung auf der Bewertungsebene Bestand hat, wurde die Bewertung der drei Lademodelle<sup>33</sup> hinsichtlich der Gruppenzugehörigkeit betrachtet. Sollten die Gruppen klar unterscheidbar sein, müssten bei der Bewertung der Modelle zumindest in den Gruppen der *smart*-affinen Nutzer jeweils *smart2* bzw. *smart3* den höchsten Mittelwert erhalten. Bei den unentschiedenen *smart*-Nutzern wird es interessant sein zu sehen, welches Modell die höchste Bewertung erhält. Die Ergebnisse der Berechnungen finden sich in **Tabelle 7.9**.

**Tabelle 7.9:** Intra-Group-Vergleich der Lademodellbewertungen

Gruppe	Lademodell	M	SD	Friedman-Test	
				$\chi^2$ (df)	p
<b>smart2-affine Nutzer (N=11)</b>	<i>smart1</i>	3.36	.924	15.314 (2)	.000*
	<i>smart2</i>	4.45	.688		
	<i>smart3</i>	2.45	.340		
<b>smart3-affine Nutzer (N=10)</b>	<i>smart1</i>	4.40	.516	.875 (2)	.646
	<i>smart2</i>	4.50	.707		
	<i>smart3</i>	4.60	.516		
<b>unentschiedene smart-Nutzer (N=8)</b>	<i>smart1</i>	3.88	.991	3.700 (2)	.157
	<i>smart2</i>	4.13	.641		
	<i>smart3</i>	3.38	.916		

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*  $p \leq 0.001$

Die Mittelwerte bestätigen die vorgenommenen Gruppeneinteilungen: Die *smart2*-affinen Nutzer bewerten innerhalb ihrer Gruppe mit einem Mittelwert von 4,45 das Lademodell *smart2* am besten, die *smart3*-affinen Nutzer bewerten mit einem Mittelwert von 4,60 das Lademodell *smart3* innerhalb ihrer Gruppe am besten. Die unentschiedenen *smart*-Nutzer scheinen das Modell *smart2* zu favorisieren. Weiterhin ist zu sehen, dass das Modell *smart1* in den Gruppen der unentschiedenen *smart*-Nutzer und der *smart2*-affinen Nutzer dasjenige Modell ist, das am zweitbesten bewertet wird. Das Modell *smart3* wird in denselben beiden Gruppen jeweils am schlechtesten bewertet. In der Gruppe der *smart3*-affinen Nutzer ist die Reihenfolge des zweit- und drittplatzierten Modells umgekehrt. Der Frage, ob diese Unterschiede zufälliger Natur sind oder nicht, wurde mit einem Vergleich der Bewertungen innerhalb und zwischen den Gruppen vorgenommen.

Der Friedman-Test in **Tabelle 7.9** zeigt, dass die unterschiedlichen Bewertungen der Lademodelle innerhalb der Gruppe der *smart2*-affinen Nutzer signifikant sind, die Bewertungen innerhalb der anderen beiden Gruppen nicht. Der Unterschied besteht vor allem in der wesentlich

<sup>33</sup> Bewertung auf einer fünfstufigen Skala von sehr negativ bis sehr positiv, vgl. auch **Abbildung 7.23**.

besseren Bewertung des Lademodells *smart2* im Vergleich zu den anderen beiden Lademodellen und den damit einhergehenden großen Bewertungsabständen zwischen den Modellen<sup>34</sup>. Das deutet darauf hin, dass die Gruppe der *smart2*-affinen Nutzer von ‚ihrem‘ bevorzugten Lademodell *smart2* im Vergleich zu den Alternativmodellen begeisterter ist als dies bei der Gruppe der *smart3*-affinen Nutzer und dem Lademodell *smart3* der Fall ist<sup>35</sup>. Die Abstände der Modellbewertungen sind in der *smart2*-affinen Gruppe so hoch, dass sie nicht als zufällig einzustufen sind. Bei den anderen beiden Gruppen ist dies nicht der Fall. Bei der Gruppe der unentschiedenen *smart*-Nutzer<sup>36</sup> verwundert dies nicht, handelt es sich doch um eine Gruppe, die sehr heterogen zusammengesetzt ist. Bei der Gruppe der *smart3*-affinen Nutzer ist der Befund zumindest augenfällig und lohnt einer weiteren Betrachtung.

Bei einem Vergleich der Modellbewertungen zwischen den Gruppen ergab der durchgeführte Kruskal-Wallis-Test signifikante Unterschiede für das Lademodell *smart1* und *smart3*. Die Ergebnisse und die durchgeführten Paarvergleiche zeigt **Tabelle 7.10**.

**Tabelle 7.10:** Inter-Group-Vergleich der Lademodellbewertungen

Lademodell	Paarvergleich	Kruskal-Wallis Test		Mann-Whitney-U	
		$\chi^2$ (df)	p	z	p
<b>Bewertung smart1</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	6.985 (2)	.030*	-2.638	.008 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer			-1.217	.223
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer			-1.197	.231
<b>Bewertung smart2</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	1.933 (2)	.381	-2.200	.842
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer			-1.140	.254
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer			-1.271	.204
<b>Bewertung smart3</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	17.962 (2)	.000***	-3.833	.000 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer			-1.980	.048
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer			-2.910	.004 <sup>+</sup>

Kruskal-Wallis-Test: \*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*  $p \leq 0.001$ ; Mann-Whitney-U-Test: + signifikant nach Bonferroni-Adjustierung,  $p' < 0.0167$

<sup>34</sup> Ergebnis des Wilcoxon Paarvergleichs mit Bonferroni-Korrektur ( $p' < 0.0167$ ) für *smart2*-affine Nutzer: *smart1-smart2*:  $p = .005^+$ ,  $z = -2.807$ ; *smart1-smart3*:  $p = .040$ ,  $z = -2.058$ ; *smart2-smart3*:  $p = .007^+$ ,  $z = -2.694$ .

<sup>35</sup> Ergebnis des Wilcoxon Paarvergleichs mit Bonferroni-Korrektur ( $p' < 0.0167$ ) für *smart3*-affine Nutzer: *smart1-smart2*:  $p = .564$ ,  $z = -.577$ ; *smart1-smart3*:  $p = .317$ ,  $z = -1.000$ ; *smart2-smart3*:  $p = .705$ ,  $z = -.378$ .

<sup>36</sup> Ergebnis des Wilcoxon Paarvergleichs mit Bonferroni-Korrektur ( $p' < 0.0167$ ) für unentschiedene *smart* Nutzer: *smart1-smart2*:  $p = .414$ ,  $z = -.816$ ; *smart1-smart3*:  $p = .279$ ,  $z = -1.081$ ; *smart2-smart3*:  $p = .131$ ,  $z = -1.511$ .

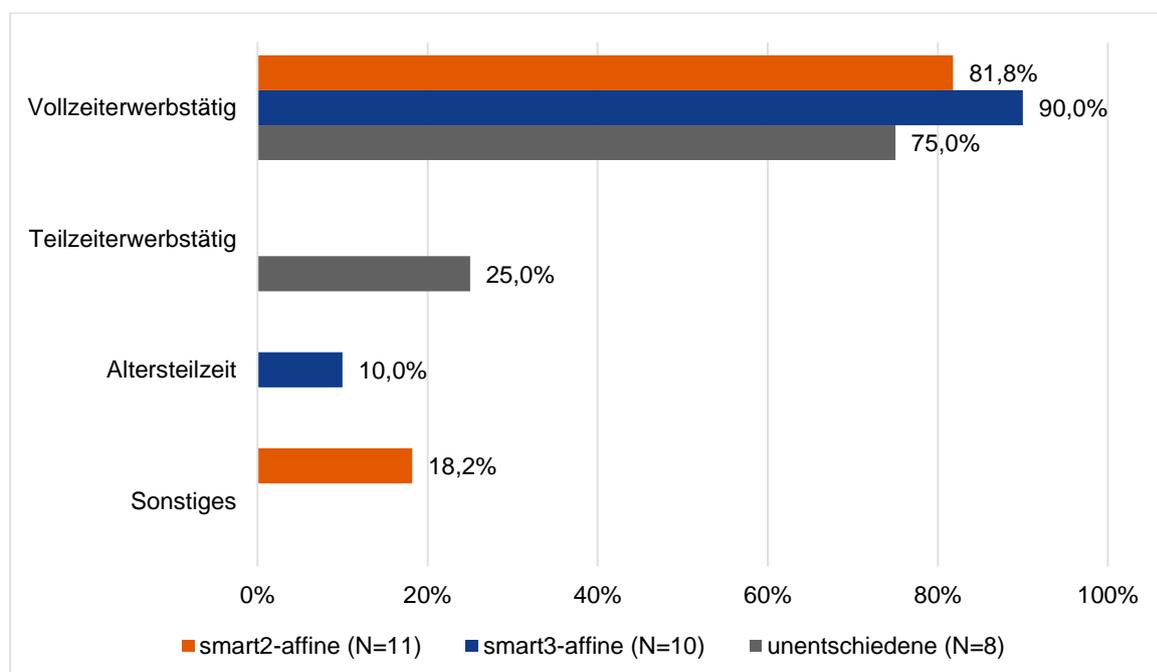
Es ist auffällig, dass sich die Gruppen hinsichtlich ihrer Bewertung des Lademodells *smart2* einig sind. Hier gibt es keine signifikanten Bewertungsunterschiede. In der Bewertung des Lademodells *smart1* gibt es nur einen signifikanten Gruppenunterschied zwischen den *smart2*-affinen und *smart3*-affinen Nutzern: Erstere bewerten *smart1* positiver als letztere (vgl. auch die Mittelwerte in **Tabelle 7.9**) Das Lademodell *smart3* hingegen sorgt für eine Polarisierung zwischen den *smart3*-affinen Nutzern und den übrigen beiden Gruppen: Die *smart3*-affinen Nutzer bewerten das Modell deutlich besser als die übrigen beiden Gruppen (vgl. auch **Tabelle 7.9**).

Es zeigen sich also deutliche Unterschiede zwischen den Nutzungsgruppen in der Bewertung der Lademodelle. Um die Gruppen detaillierter analysieren zu können, werden sie im Folgenden hinsichtlich evtl. Unterschiede in Bezug auf Demographie, Einstellungen und Fahrzeugnutzung näher betrachtet.

### 7.8.3 Demographie der Gruppen

Die Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich der demographischen Variablen nicht voneinander. Das Durchschnittsalter liegt bei den *smart2*-affinen Nutzern bei 53 Jahren (*SD* 9 Jahre), bei den *smart3*-affinen Nutzern bei 48 Jahren (*SD* 10 Jahre) und bei den unentschiedenen Nutzern bei 50 Jahren (*SD* 11 Jahre). Der gesamte Teilnehmerkreis besteht hauptsächlich aus männlichen Teilnehmern (26 Personen), so dass keine Aussagen über die Unterschiede der Geschlechterverteilung in den Gruppen getroffen werden können. Es zeigt sich allerdings, dass sich alle drei Frauen in der Gruppe der *smart2*-affinen Nutzer befinden. Eine Interpretation kann aufgrund der geringen Stichprobengröße allerdings nicht vorgenommen werden. Die Haushaltsgröße ist bei den drei Gruppen ebenfalls gleich und beträgt im Durchschnitt drei Personen.

Hinsichtlich der Berufstätigkeit, also hinsichtlich der Variablen, die einen angenommenen Einfluss auf die Nutzung des Elektrofahrzeugs hat, gibt es ebenfalls keine relevanten Unterschiede, wie **Abbildung 7.25** zeigt.



**Abbildung 7.25:** Erwerbstätigkeit nach Nutzertypen

## 7.8.4 Nutzungsverhalten

Neben der Nutzung des Elektrofahrzeugs in Bezug auf die Fahrleistung und Fahrtplanung wurde zusätzlich analysiert, ob sich die Gruppen hinsichtlich der erreichten Bonustage in Phase 4 unterscheiden und welcher Verbreitungsgrad von hauseigenen Photovoltaikanlagen existiert.

Bonustage in Phase 4: Insgesamt standen 112 Bonustage in Phase 4 zur Verfügung. Die gesamte Gruppe mit 29 TeilnehmerInnen erreichte durchschnittlich 53 Bonustage. Das Minimum lag bei 10 Bonustagen, das Maximum bei 91 Tagen. Die drei Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich der erreichten Bonustage in Phase 4 nicht voneinander.

**Tabelle 7.11:** Gruppenvergleich durchschnittliche Bonustage in Phase 4

Gruppe	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
<b>smart2-affine Nutzer</b>	11	53 Tage	23 Tage
<b>smart3-affine Nutzer</b>	10	55 Tage	30 Tage
<b>unentschiedene smart-Nutzer</b>	8	51 Tage	31 Tage

Jahreskilometer: Jede Gruppe fährt im Durchschnitt ca. 16.000 km elektrisch im Jahr, wie **Tabelle 7.12** zeigt. Die Streuung um den Mittelwert ist allerdings sehr hoch, was auf ein heterogenes Fahrverhalten schließen lässt. Bei den konventionell zurückgelegten Jahreskilometern gibt es größere Unterschiede als bei der elektrischen Fahrleistung. Die *smart3*-affinen Nutzer legen die wenigsten Jahreskilometer konventionell zurück, die unentschiedenen *smart*-Nutzer die meisten. Werden die Jahreskilometer der Fahrzeuggruppen verglichen, zeigt sich noch ein interessantes Detail. Der Abstand zwischen elektrisch und konventionell zurückgelegten Jahreskilometern ist bei der Gruppe der *smart3*-affinen Nutzer am höchsten.

**Tabelle 7.12:** Gruppenvergleich elektrischer und konventioneller Jahreskilometer

Jahreskilometer	Gruppe	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
<b>Elektrisch</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	10	15.790 km	13.168 km
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	16.250 km	4.917 km
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	16.143 km	13.874 km
<b>konventionell</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	10	8.030 km	7.267 km
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	5.550 km	6.542 km
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	8	12.250 km	12.646 km

Einfache Arbeitsstrecke : Es gibt Unterschiede in der Länge des einfachen Arbeitsweges (vgl. **Tabelle 7.13**). Die unentschiedenen *smart*-Nutzer haben mit durchschnittlich 35 km einen weiteren Arbeitsweg als die anderen beiden Gruppen, die *smart2*-affinen Nutzer haben mit 15 km den kürzesten Arbeitsweg. Auch hier ist die Streuung um den Mittelwert hoch.

**Tabelle 7.13:** Gruppenvergleich einfache Arbeitsstrecke

Gruppe	N	M	SD
<b>smart2-affine Nutzer</b>	9	15 km	23 km
<b>smart3-affine Nutzer</b>	9	22 km	13 km
<b>unentschiedene smart-Nutzer</b>	6	35 km	34 km

Anteil geplanter und kurzfristiger Fahrten: Die *smart2*-Gruppe hat mit 60 % den geringsten Anteil an langfristig geplanten Fahrten (über 12 Stunden im Voraus) und mit 40 % den höchsten Anteil an kurzfristig geplanten Fahrten (bis 12 Stunden im Voraus). Demgegenüber hat die *smart3*-Gruppe mit 80 % längerfristig geplanten Fahrten den höchsten Anteil und mit 20 % den niedrigsten Anteil an kurzfristig geplanten Fahrten (vgl. **Tabelle 7.14**).

**Tabelle 7.14:** Gruppenvergleich geplante und kurzfristige Fahrten

Planungsgrad Fahrten	Gruppe	N	M	SD
<b>langfristig geplant (&gt; 12 h im Voraus)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	60 %	26 %
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	80 %	22 %
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	8	72 %	34 %
<b>kurzfristig geplant (&lt; 12 h im Voraus)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	40 %	26 %
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	20 %	22 %
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	8	28 %	34 %

Besitz PV-Anlage: In der Onlinebefragung wurde erhoben, ob die Teilnehmer eine PV-Anlage besitzen oder ihre Anschaffung in der nächsten Zeit planen. Eine Unterteilung nach den Gruppen zeigt, dass in der *smart2*-affinen Gruppe mehr Personen als in den anderen beiden Gruppen PV-Anlagen auf ihrem Eigenheim installiert haben (vgl. **Tabelle 7.15**).

**Tabelle 7.15:** Installierte Photovoltaikanlagen

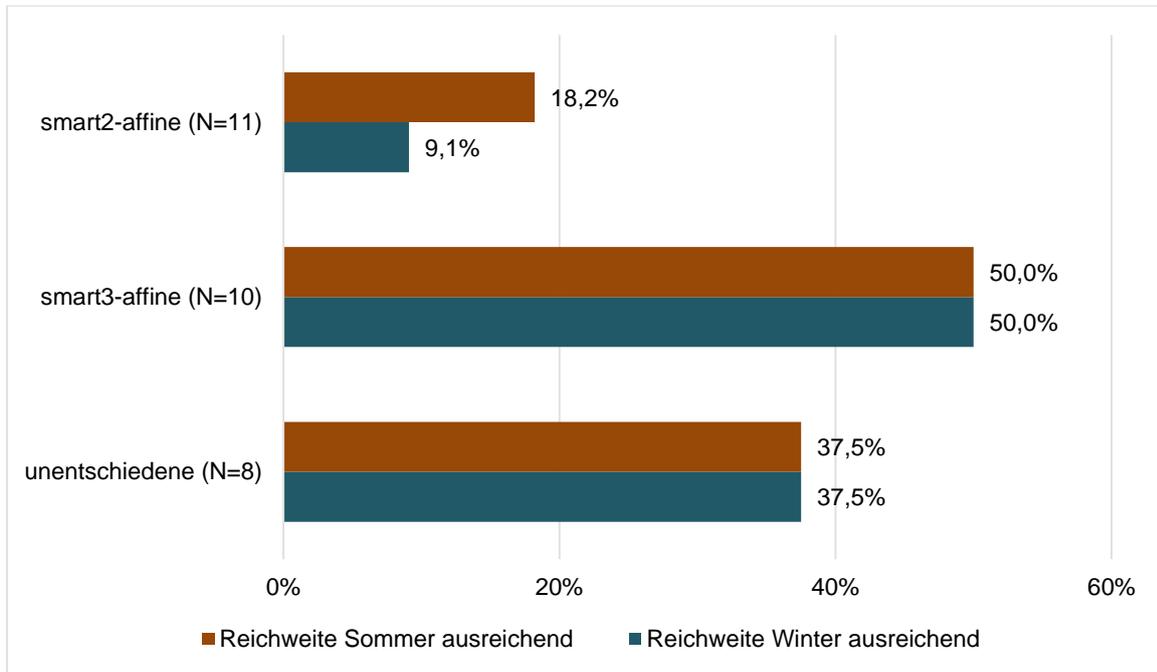
Gruppe	PV-Anlage installiert	N	Prozent
<i>smart2</i> -affine Nutzer	Ja	7	63,6
	Nein	4	36,4
	<b>Gesamt</b>	<b>11</b>	<b>100,0</b>
<i>smart3</i> -affine Nutzer	Ja	5	50
	Nein	5	50
	<b>Gesamt</b>	<b>10</b>	<b>100,0</b>
unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	Ja	4	50
	Nein	3	37,5
	Anschaftung geplant	1	12,5
	<b>Gesamt</b>	<b>8</b>	<b>100,0</b>

Insgesamt sind also keine wesentlichen Unterschiede bezüglich demographischer Kennwerte zu beobachten. In Bezug auf die Nutzung können geringe Unterschiede konstatiert werden: Tendenziell haben die *smart2*-affinen Nutzer einen kürzeren Arbeitsweg, die Fahrten zeichnen sich durch einen höheren Anteil an kurzfristig geplanten Fahrten aus und mehr Personen als in den anderen beiden Gruppen besitzen eine heimische Photovoltaikanlage. Bei den konventionell zurückgelegten Kilometern liegen die unentschiedenen *smart*-Nutzer vor den anderen beiden Gruppen; es sind hingegen keine Gruppenunterschiede bei der Anzahl der elektrisch gefahrenen Jahreskilometer zu entdecken.

### 7.8.5 Einstellungsebene

Es wird angenommen, dass die gefundenen Bewertungsunterschiede zwischen den Lademodellen auf unterschiedlichen Einstellungen zwischen den Gruppen basieren. Dies soll im Folgenden detaillierter betrachtet werden. In die Betrachtung werden zum einen die Zufriedenheit der Teilnehmer mit der Reichweite untersucht und zum anderen die bereits in **Tabelle 7.6** vorgestellten Statements zu den einzelnen Lademodellen noch einmal in Bezug auf mögliche Gruppenunterschiede untersucht.

Zufriedenheit mit der Reichweite: Bei der Frage, ob die TeilnehmerInnen die Reichweite ihres ersten Elektrofahrzeugs für ausreichend befinden, ergibt sich ein interessantes Bild. Am häufigsten geben die *smart3*-affinen Nutzer an, dass die Reichweite für sie in den jeweiligen Jahreszeiten ausreichend ist. Am unzufriedensten scheinen die *smart2*-affinen Nutzer mit der Reichweite zu sein. Diese differenzieren ihre Zufriedenheitswerte auch noch einmal zwischen den Jahreszeiten, was die anderen beiden Gruppen nicht tun (vgl. **Abbildung 7.26**).



**Abbildung 7.26:** Zufriedenheit mit der Reichweite nach Nutzertypen

Zum Abgleich wurde geprüft, ob sich die Gruppen hinsichtlich der tatsächlichen Reichweite der Fahrzeuge unterscheiden. Unterschiede in der tatsächlichen Reichweite könnten eine Erklärung für die differierenden Zufriedenheitsäußerungen sein. Es sind allerdings nur geringe Reichweitenunterschiede vorhanden, vor allem zur Gruppe der unentschiedenen „*smart*-Nutzer“ wie **Abbildung 7.27** zeigt. Weiterhin ist interessant, dass den „unzufriedenen“ *smart2*-affinen Nutzern im Winter die höchste Reichweite im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen zur Verfügung steht und im Sommer die zweithöchste Reichweite. Die Einstellungsunterschiede können also nicht hauptsächlich auf Reichweitenunterschiede innerhalb der Stichprobe zurückgeführt werden.

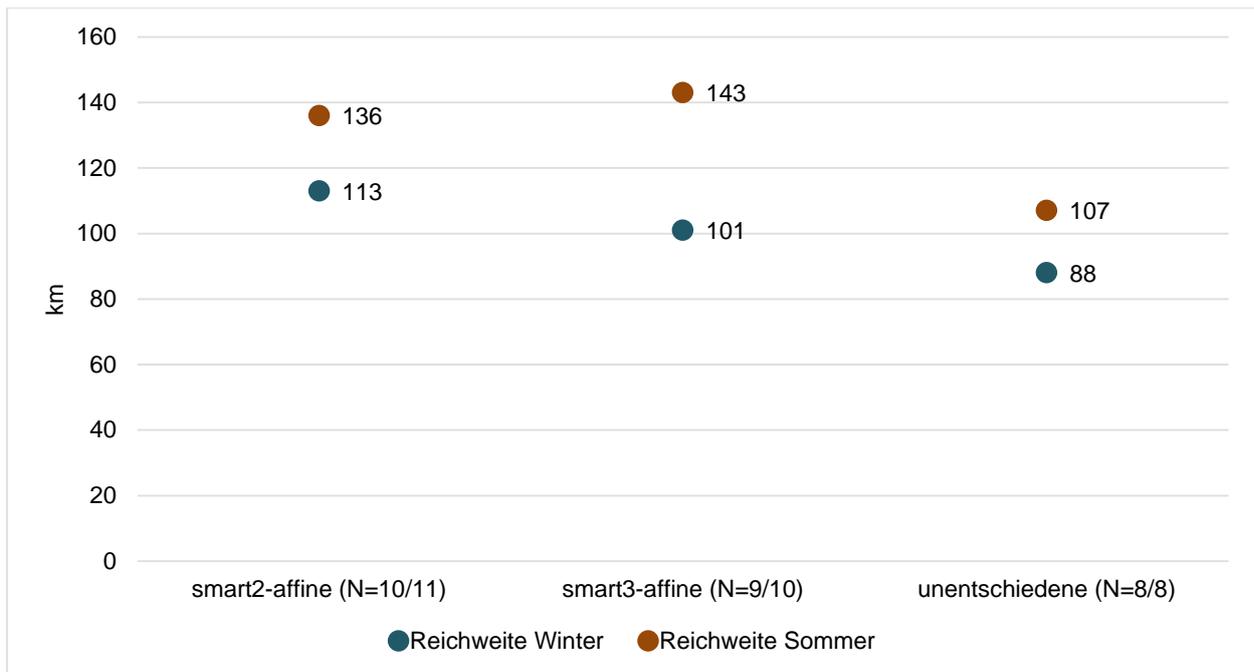


Abbildung 7.27: Reichweitenangaben Sommer und Winter nach Nutzertypen

Bewertung der Lademodelle: Bei der Betrachtung von Unterschieden hinsichtlich der Bewertung der verschiedenen Lademodelle haben die Analysen ergeben, dass es in Bezug auf das Lademodell *smart1* nur einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen gab<sup>37</sup> und in Bezug auf das Lademodell *smart2* überhaupt keinen. Nur in Bezug auf das Lademodell *smart3* sind signifikante Unterschiede vorhanden. Diese werden in der **Tabelle 7.16** und in **Tabelle 7.17** vorgestellt.

Wie die Auswertungen in **Tabelle 7.16** zeigen, sind Einstellungsunterschiede zwischen den Gruppen bei den folgenden fünf Statements zu erkennen:

- Finanziell lohnt sich das Laden mit *smart3* für mich.
- Die Zeiten entsprechen meinen üblichen Ladegewohnheiten.
- *smart3* lässt sich mit meinen Fahrgewohnheiten gut vereinbaren.
- Ich achte bewusst darauf, mit *smart3* zu laden.
- Ich würde den *smart3*-Tarif wählen, falls er auf den Markt kommt.

<sup>37</sup> Der Unterschied betrifft das Statement: „An *smart1* stört mich, dass der Stromanbieter die Kontrolle über das Laden hat“. Das Ergebnis des Mann-Whitney-U-Test ( $p = .010^*$ ,  $z = -2.577$ ) zeigt, dass die *smart2*-affinen Nutzer diesem Statement signifikant häufiger zustimmen ( $M = 3.18$ ;  $SD = 1.401$ ) als die *smart3*-affinen Nutzer ( $M = 1.60$ ,  $SD = .699$ ).

**Tabelle 7.16:** Einstellungen zum Lademodell *smart3*

Item	Nutzungsgruppe	N	M	SD	Kruskal Wallis Test	
					$\chi^2$ (df)	p
<b>Ich sehe Vorteile für den Umweltschutz, wenn ich mit <i>smart3</i> lade. (D1)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	3.36	1.433	5.575 (2)	.062
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.50	.707		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.14	1.574		
<b>Ich sehe Vorteile für den Ausbau erneuerbarer Energien, wenn ich mit <i>smart3</i> lade. (D1)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	3.27	1.555	4.117 (2)	.128
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.50	.527		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.57	1.397		
<b>Finanziell lohnt sich das Laden mit <i>smart3</i> für mich. (D2)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	10	2.70	1.059	11.782 (2)	.003**
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.50	.850		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.71	.756		
<b>Die Zeiten entsprechen meinen üblichen Ladegewohnheiten. (D3)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	2.27	1.348	9.553 (2)	.008**
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	3.90	.568		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	5	2.80	.837		
<b><i>smart3</i> lässt sich mit meinen Fahrgewohnheiten gut vereinbaren. (D3)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	2.82	1.328	6.324 (2)	.042*
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.10	.568		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.57	1.134		
<b><i>smart3</i> schränkt meine Mobilität ein. (D3)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	10	2.50	1.581	4.823 (2)	.090
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	1.80	.789		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.29	1.254		
<b>An <i>smart3</i> stört mich, dass der Stromanbieter die Kontrolle über das Laden hat. (D4)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	2.45	.820	3.005 (2)	.223
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	1.80	.632		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	2.43	1.512		
<b>Mir ist es egal, ob ich die Kontrolle darüber habe, wann das Fahrzeug geladen wird. (D4)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	2.36	1.120	4.344 (2)	.114
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	3.40	.966		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	2.57	1.512		
<b>Ich achte bewusst darauf mit <i>smart3</i> zu laden. (D5)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	1.91	1.221	16.901 (2)	.000***
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.70	.483		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	2.86	1.069		
<b>Ich würde den <i>smart3</i>-Tarif wählen, falls er auf den Markt kommt. (D5)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	2.64	1.286	7.467 (2)	.024*
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.10	.738		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.57	.976		

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*  $p \leq 0.001$

**Tabelle 7.17:** Einstellungen zum Lademodell *smart3* – Gruppenvergleich

Item	Paarvergleich	Mann-Whitney-U	
		z	p
<b>Finanziell lohnt sich das Laden mit <i>smart3</i> für mich. (D2)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-3.082	.002 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.177	.029
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-1.894	.058
<b>Die Zeiten entsprechen meinen üblichen Ladegewohnheiten. (D3)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-2.776	.006 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-1.052	.293
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.352	.019
<b><i>smart3</i> lässt sich mit meinen Fahrgewohnheiten gut vereinbaren. (D3)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-2.515	.012 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-1.252	.211
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-.917	.359
<b>Ich achte bewusst darauf mit <i>smart3</i> zu laden. (D5)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-3.554	.000 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-1.829	.067
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-3.288	.001 <sup>+</sup>
<b>Ich würde den <i>smart</i>-Tarif wählen, falls er auf den Markt kommt. (D5)</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-2.574	.010 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-1.583	.113
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-1.149	.250

<sup>+</sup> signifikant nach Bonferroni-Adjustierung,  $p < 0.0167$

Eine genauere Betrachtung von **Tabelle 7.17** zeigt, dass die signifikanten Unterschiede – bis auf eine Ausnahme – vor allem auf Einstellungsunterschiede zwischen den beiden *smart*-affinen Nutzergruppen zurückzuführen sind. Diese beiden Gruppen haben konträre Meinungen zu den getroffenen Aussagen. Die Zustimmungswerte zu den fünf Statements aus **Tabelle 7.17** sind in der Gruppe der *smart3*-affinen Nutzer in allen Fällen signifikant höher als die Zustimmungswerte der *smart2*-affinen Nutzer. Die Zustimmungswerte der unentschiedenen NutzerInnen liegen zumeist zwischen diesen beiden Werten; je nach Statement mal näher an der einen oder anderen Position. Der einzige signifikante Unterschied besteht bei der Gruppe der unentschiedenen *smart*-Nutzer zu der *smart3*-affinen Nutzer in Bezug auf das Statement „Ich achte bewusst darauf mit *smart3* zu laden“. Bei dieser Aussage liegt der Zustimmungswert der letzteren Gruppe deutlich über dem Wert der unentschiedenen *smart*-Nutzer. Betrachtet man die fünf Dimensionen<sup>38</sup>, denen die Aussagen zugeordnet sind, so lässt sich erkennen, dass das Lademodell *smart3* keine kontroversen Einstellungen auf den Ebenen Vorteile für den Umweltschutz und Kontrollwunsch nach sich zieht. Die Einstellungen des Teilnehmerkreises gehen vor allem auf den Ebenen finanzielle Vorteile, Alltagstauglichkeit und Commitment auseinander.

Zusätzlich zur Analyse von Gruppenunterschieden bzgl. der auf die Lademodelle bezogenen Einstellungsitems wurden die in T1 und T4 erhobenen Items bzgl. des Ladens allgemein (vgl. **Tabelle 7.3**) einer Gruppenauswertung unterzogen. Für den Zeitpunkt T1 können keine signifikanten Gruppenunterschiede eruiert werden, die Teilnehmer sind sich in Bezug auf ihre grundsätzlichen Einstellungen zum Thema Laden einig. Dies ändert sich allerdings zum Befragungszeitpunkt T4, hier zeigt sich ein deutlicher Gruppenunterschied für die Statements „Über den Ladevorgang will ich die volle Kontrolle haben“ und „Ich will jederzeit laden können“.

<sup>38</sup> Vorteile für den Umweltschutz und den Ausbau von erneuerbaren Energien (D1), Finanzielle Vorteile (D2), Alltagstauglichkeit - Passung zu Fahr- und Ladegewohnheiten (D3), Kontrollwunsch (D4) und Commitment (D5).

**Tabelle 7.18:** Statements zum Thema Laden (T4)

Item	Nutzungsgruppe	N	M	SD	Kruskal Wallis Test	
					$\chi^2$ (df)	p
<b>T4 – Über den Ladevorgang will ich die volle Kontrolle haben.</b>	smart2-affine Nutzer	11	3.45	.688	11.656	.003**
	smart3-affine Nutzer	10	2.40	.699		
	unentschiedene smart-Nutzer	8	3.88	.991		
<b>T4 – Ich will jederzeit laden können.</b>	smart2-affine Nutzer	11	4.09	1.136	6.441	.040*
	smart3-affine Nutzer	10	2.80	1.033		
	unentschiedene smart-Nutzer	8	3.25	1.035		

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*  $p \leq 0.001$

Der Gruppenvergleich zeigt die Ergebnisse in **Tabelle 7.19**.

**Tabelle 7.19:** Statements zum Thema Laden (T4) – Gruppenvergleich

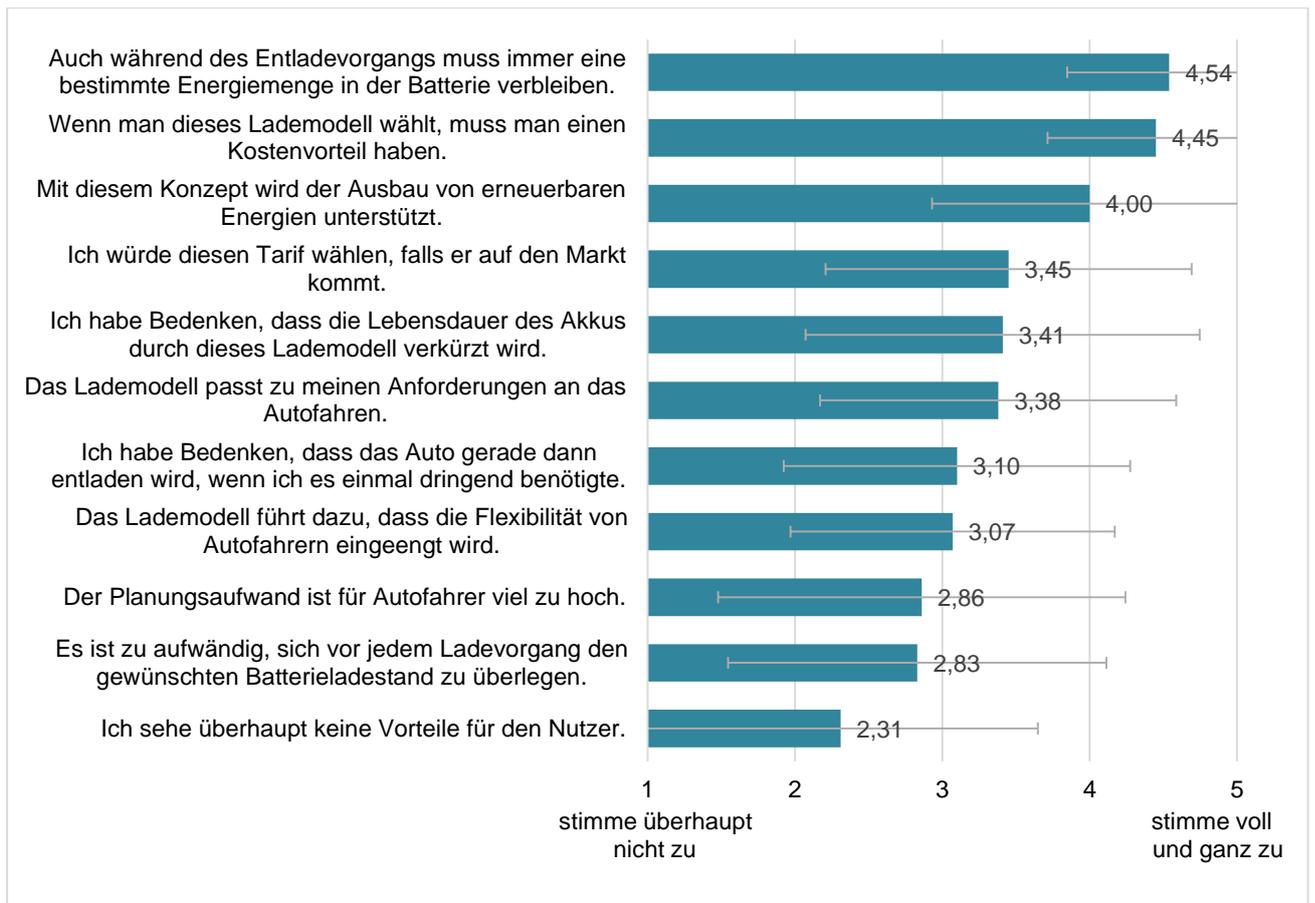
Item	Paarvergleich	Mann-Whitney-U	
		z	p
<b>T4 – Über den Ladevorgang will ich die volle Kontrolle haben.</b>	smart2-affine Nutzer - smart3-affine Nutzer	-2.966	.003 <sup>+</sup>
	smart2-affine Nutzer - unentschiedene smart Nutzer	-1.281	.200
	smart3-affine Nutzer - unentschiedene smart Nutzer	-2.782	.005 <sup>+</sup>
<b>T4 – Ich will jederzeit laden können.</b>	smart2-affine Nutzer - smart3-affine Nutzer	-2.389	.017
	smart2-affine Nutzer - unentschiedene smart Nutzer	-1.599	.110
	smart3-affine Nutzer - unentschiedene smart Nutzer	-1.030	.303

<sup>+</sup> signifikant nach Bonferroni-Adjustierung,  $p < 0.0167$

Aus **Tabelle 7.19** ist ersichtlich, dass sich bezüglich des Statements „Über den Ladevorgang will ich die volle Kontrolle haben“ vor allem die *smart3*-affinen Nutzer zu den anderen beiden Gruppen unterscheiden. Sie stimmen dieser Aussage nicht so häufig zu wie die anderen beiden Gruppen. Bei dem Statement „Ich will jederzeit laden können“ zeigt sich eine höhere Zustimmung der *smart2*-affinen Nutzer im Vergleich zu den *smart3*-affinen Nutzern, das adjustierte Signifikanzniveau wird allerdings knapp verfehlt.

### 7.8.6 Allgemeine Einstellung zu Rückspeisemodellen

Zusätzlich zu den Unterschieden in Bezug auf die konkreten *smart*-Lademodelle wurden auch die Einstellungen der Teilnehmer zu Rückspeisemodellen allgemein erhoben. Damit wurde das Ziel verfolgt, unabhängig von der *konkreten* Ausgestaltung eines Rückspeisemodells die grundsätzlichen Treiber und Hemmnisse von Rückspeisemodellen zu eruieren. **Abbildung 7.28** zeigt das Ergebnis diese Fragenkomplexes. Die höchste Zustimmung erhält die Anforderung, dass während des Entladevorgangs immer eine bestimmte Energiemenge in der Batterie verbleiben muss. Die geringste Zustimmung erhält die Aussage, dass es überhaupt keine Vorteile für Nutzer gebe. Einen hohen Zustimmungswert erhält auch die Forderung, dass man einen Kostenvorteil haben muss, wenn man dieses Modell wählt und es wird gesehen, dass mit einem Rückspeisemodell der Ausbau von erneuerbaren Energien unterstützt wird.



**Abbildung 7.28:** Bewertung Lademodell Rückspeisung, alle Teilnehmer, N = 27-29

Die Standardabweichungen der meisten Aussagen in **Abbildung 7.28** liegen über dem Wert eins. Diesem heterogenen Antwortverhalten liegen bei einigen Statements Unterschiede im Antwortverhalten der drei Nutzergruppen zu Grunde. In **Tabelle 7.20** ist abgebildet, bei welchen Statements das der Fall ist.

**Tabelle 7.20:** Bewertung Lademodell Rückspeisung

Item	Nutzungsgruppe	N	M	SD	Kruskal-Wallis-Test	
					$\chi^2$ (df)	p
<b>Auch während des Entladevorgangs muss immer eine Restmenge Energie in der Batterie verbleiben.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	10	4.90	.316	6.200 (2)	.045*
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.10	.876		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	4.63	.518		
<b>Wenn man dieses Lademodell wählt, muss man einen Kostenvorteil haben</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	4.27	1.009	1.969 (2)	.374
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.40	.516		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	4.75	.463		
<b>Mit diesem Konzept wird der Ausbau von erneuerbaren Energien unterstützt.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	3.91	1.044	.652 (2)	.722
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.30	.675		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	3.75	1.488		
<b>Ich würde diesen Tarif wählen, falls er auf den Markt kommt.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	3.00	1.414	5.438 (2)	.066
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.20	.422		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	3.13	1.356		
<b>Ich habe Bedenken, dass die Lebensdauer des Akkus durch dieses Lademodell verkürzt wird.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	10	4.00	1.414	3.687 (2)	.158
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	9	3.11	1.054		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	3.00	1.414		
<b>Das Lademodell passt zu meinen Anforderungen an das Autofahren.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	2.91	1.221	7.774 (2)	.021*
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.20	.632		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	3.00	1.309		
<b>Ich habe Bedenken, dass das Auto gerade dann entladen wird, wenn ich es einmal dringend benötige.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	3.64	1.120	9.211 (2)	.010**
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	2.20	.632		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	3.50	1.195		
<b>Das Lademodell führt dazu, dass die Flexibilität von Autofahrern eingeengt wird.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	2.91	1.136	8.765 (2)	.012*
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	2.50	.707		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	4.00	.926		
<b>Der Planungsaufwand ist für Autofahrer viel zu hoch.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	3.09	1.75	10.710 (2)	.005**
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	1.80	.789		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	3.88	1.126		
<b>Es ist zu aufwendig, sich vor jedem Ladevorgang den gewünschten Batterieladestand zu überlegen.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	3.18	1.250	10.317 (2)	.006**
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	1.80	.919		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	3.63	.916		

<b>Ich sehe überhaupt keine Vorteile für den Nutzer.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	2.27	1.489	6.238	.044*
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	1.60	.699		
	unentsch. <i>smart</i> -Nutzer	8	3.25	1.282		

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*  $p \leq 0.001$

In **Tabelle 7.21** werden diejenigen Items, bei denen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt wurden, im Paarvergleich geprüft.

**Tabelle 7.21:** Bewertung Lademodell Rückspeisung – Gruppenvergleich

Item	Paarvergleich	Mann-Whitney-U	
		z	p
<b>Auch während des Entladevorgangs muss immer eine Restmenge in der Batterie verbleiben</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-2.368	.018
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-1.355	.175
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-.1.312	.190
<b>Das Lademodell passt zu meinen Anforderungen an das Autofahren.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-2.649	.008 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-.128	.898
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.110	.035
<b>Ich habe Bedenken, dass das Auto gerade dann entladen wird, wenn ich es einmal dringend benötige.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-2.830	.005 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-.256	.798
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.354	.019
<b>Das Lademodell führt dazu, dass die Flexibilität von Autofahrern eingeengt wird.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-.974	.330
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.012	.044
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.919	.004 <sup>+</sup>
<b>Der Planungsaufwand ist für Autofahrer viel zu hoch.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-2.251	.024
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-1.234	.217
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-3.094	.002 <sup>+</sup>
<b>Es ist zu aufwendig, sich vor jedem Ladevorgang den gewünschten Batterieladestand zu überlegen</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-2.436	.015 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-.704	.482
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.991	.003 <sup>+</sup>
<b>Ich sehe überhaupt keine Vorteile für den Nutzer.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-.831	.406
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-1.445	.148
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.619	.009 <sup>+</sup>

<sup>+</sup> signifikant nach Bonferroni-Adjustierung,  $p < 0.0167$

Signifikante Gruppenunterschiede gibt es vor allem in Bezug auf die Alltagstauglichkeit hinsichtlich der Passung zur eigenen Mobilität, dem erforderlichen Planungsgrad und Bedenken, dass das Fahrzeug nicht zur Verfügung steht, wenn es benötigt wird. Dabei bestehen die Unterschiede vor allem zwischen den *smart3*-affinen Nutzern und den beiden anderen Gruppen. *smart3*-affine Nutzer sehen bei diesem Modell eher Vorteile als die unentschiedenen *smart*-Nutzer. Das Lademodell passt sehr viel besser zu ihren Anforderungen an das Autofahren als zu dem der *smart2*-affinen Nutzer. Sie haben weniger Bedenken als die unentschiedenen *smart*-Nutzer, dass ihre Flexibilität eingeschränkt wird und im Unterschied zu diesen empfinden sie den Planungsaufwand auch als nicht so aufwendig. Zusätzlich haben sie weniger Bedenken als die *smart2*-affinen Nutzer, dass das Fahrzeug entladen sein könnte, wenn es benötigt wird. Die Antworten auf die offene Frage, nach den Vor- und Nachteilen von Rückspeisemodellen unterstreichen dieses Ergebnis. Als Vorteil wird von allen Nutzergruppen die Entlastung und

Stabilisierung des Stromnetzes sowie der Ausbau der regenerativen Energieerzeugung gesehen. Von den *smart3*-affinen Nutzern werden zusätzlich finanzielle Vorteile durch den Erhalt von Prämien konstatiert. Als Nachteile werden von allen Nutzergruppen vor allem der vermutete Verschleiß der Batterie genannt, der Flexibilitätsverlust von Autofahrern auch ausgedrückt in der Befürchtung, im Bedarfsfall einen leeren Akku vorzufinden. Nur von einem Befragten wird die Abgabe der Ladehöhe bemängelt.

Der Befürchtung, für den alltäglichen Mobilitätsbedarf nicht genügend Stromkapazitäten zur Verfügung zu haben, soll bei Rückspeisemodellen mit der Eingabe einer erforderlichen Restkapazität begegnet werden. Diese Restkapazität (bzw. Mindestreichweite) soll während des Rückspeisevorgangs dauerhaft in der Batterie verbleiben. In der Onlinebefragung wurden die TeilnehmerInnen aufgefordert, diese Restkapazität zu beziffern und nach Werktagen und Wochenenden zu splitten. Für Werktag wird eine Mindestreichweite von ca. 52 km (Range: 10 – 120 km;  $SD = 25$  km) als notwendig angesehen; am Wochenende liegt dieser Wert mit durchschnittlich 71 km (Range 0<sup>39</sup> – 700<sup>40</sup> km,  $SD = 129$  km) etwas höher. Setzt man die gewünschte Mindestreichweite in Beziehung zur tatsächlichen Reichweite des jeweils meistgenutzten Teilnehmerfahrzeugs in den wärmeren Jahreszeiten ( $M = 130$  km;  $SD = 48$  km,  $N = 29$  Fahrzeuge), wird deutlich, dass die Teilnehmer an den Werktagen im Durchschnitt ca. 40 % (Range: 9 % – 86 %;  $SD = 18$  %) ihrer aktuellen Reichweite zur Verfügung haben möchten, an den Wochenenden ca. 54 % (Range: 0 % - 500 %,  $SD = 92$  %) <sup>41</sup>. Die Frage nach einer angemessenen Vergütung für den rückgespeisten Strom beantworten die Teilnehmer weitgehend einheitlich. Sie halten einen Betrag pro kWh für angemessen, der über dem Stromentnahmepreis liegt. Dieser zusätzliche Betrag beinhaltet den Ausgleich für den wahrgenommenen Verschleiß der Batterie sowie einen finanziellen Gewinn für den Nutzer. Der genannte Durchschnittsbetrag pro kWh, der sowohl Entnahmepreis, Verschleißpauschale und Gewinn enthält, liegt bei ca. 47 Cent / kWh ( $SD = 34$  Cent) und umfasst eine Spannweite von 15 bis 200 Cent pro kWh.

### 7.8.7 Einstellung zum Autofahren

In Abschnitt 7.5.1 wird dargestellt, dass es sich bei den TeilnehmerInnen des Feldversuchs um eine sehr autoaffine Gruppe handelt. Um die Einstellungen zum Auto noch etwas genauer, vor allem in Hinblick auf mögliche Gruppenunterschiede analysieren zu können, wurde in die Onlinebefragung zum Zeitpunkt T3 eine Itematterie zu diesem Thema inkludiert. Dies erfolgte auch vor dem Hintergrund, dass das Thema Laden integrativer Bestandteil des Autofahrens ist

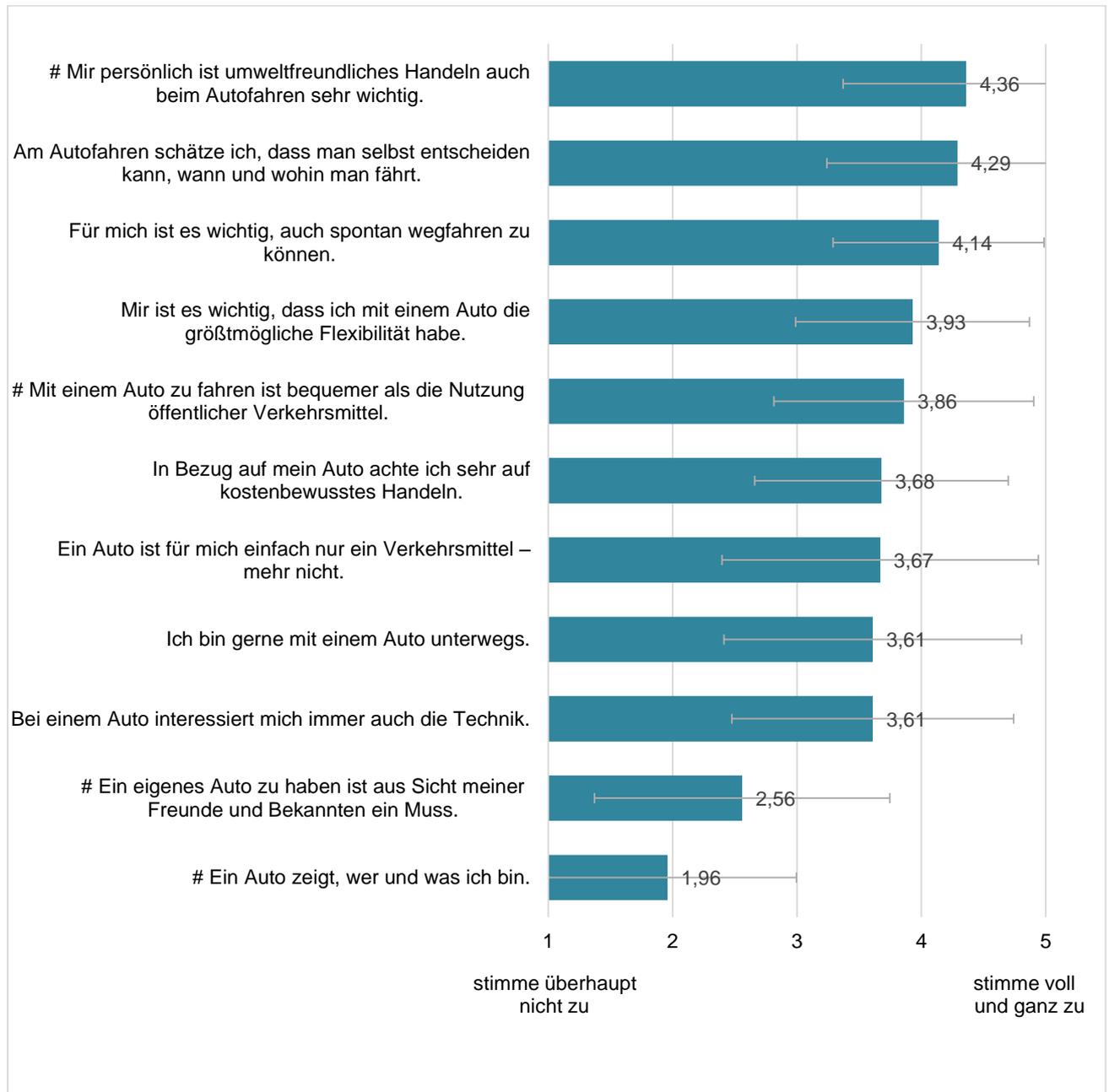
---

<sup>39</sup> Bei der Angabe „0 km“ als erforderliche Restkapazität handelt es sich um einen Extremwert, der nur einmal genannt wurde. Der Wert kann dahingehend interpretiert werden, dass das Fahrzeug an den Wochenenden nicht benötigt wird und die Batterie für die Rückspeisung zur Verfügung gestellt würde.

<sup>40</sup> Bei der Angabe „700 km“ als gewünschte Restkapazität handelt es sich um einen Extremwert, der nur einmal genannt wurde. Der Wert kann dahingehend interpretiert werden, dass bei aktuell möglicher Reichweite von Elektrofahrzeugen die Batterie nicht für Rückspeisung zur Verfügung gestellt würde.

<sup>41</sup> Werden die beiden Extremwerte 0 und 700 aus der Berechnung entfernt, ergibt sich ein Mittelwert von 50 % ( $SD = 46$  %).

und von daher nicht nur singular betrachtet werden sollte. Das Antwortverhalten der Gesamtgruppe zeigt **Abbildung 7.29**<sup>42</sup>.



**Abbildung 7.29:** Einstellungen zum Autofahren, alle Teilnehmer, N = 27-29

<sup>42</sup> Die mit # gekennzeichneten Items stammen aus einer Studie zum Mobilitätsverhalten für Freizeitaktivitäten [18]. Für die hier vorliegende Itembatterie wurden einige allgemeine, einstellungsbezogene Aussagen über das Autofahren integriert (teilweise etwas umformuliert), da sie geeignet erscheinen, Unterschiede zwischen den Nutzergruppen sichtbar zu machen. Die übrigen Statements der o. g. Fragenbatterie wurden innerhalb des Projekts Demand Response formuliert.

Die Ergebnisse aus **Abbildung 7.29** untermauern die Erkenntnisse aus der Telefonbefragung. Die Zustimmung zu dem Statement „Ich bin gerne mit einem Auto unterwegs“ liegt im oberen Zustimmungsbereich. Das Fahren mit einem Auto wird als bequemer empfunden als das Fahren mit öffentlichen Verkehrsmitteln und es wird vom Teilnehmerkreis geschätzt, dass man selbst entscheiden kann, wann und wohin man fährt. Ebenfalls hohe Zustimmungswerte erhalten die Aussagen darüber, dass es wichtig sei, auch spontan wegfahren zu können und mit dem Auto die größtmögliche Flexibilität zu haben. Dabei ist den Teilnehmern umweltbewusstes Handeln auch beim Autofahren sehr wichtig. Dieses Statement erhält höhere Zustimmungswerte als die Aussage, dass man beim Autofahren auf kostenbewusstes Handeln achte oder immer auch die Technik interessant sei. Die geringsten Zustimmungswerte erhalten Statements, die den Autobesitz als Statussymbol definieren („Ein Auto zeigt, wer und was ich bin“) oder Autobesitz als Folge des Drucks aus dem sozialen Umfeld einordnen („Ein eigenes Auto zu haben ist aus Sicht meiner Freunde und Bekannten ein Muss“). Zu dieser Einstellung passt auch der Zustimmungswert zur Aussage, dass ein Auto nur ein Verkehrsmittel sei.

**Tabelle 7.22** gibt Auskunft darüber, bei welchen Aussagen sich die drei Nutzergruppen unterscheiden.

**Tabelle 7.22:** Einstellungen zum Autofahren

Item	Nutzungsgruppe	N	M	SD	Kruskal Wallis Test	
					$\chi^2$ (df)	p
<b>Mir persönlich ist umweltfreundliches Handeln auch beim Autofahren sehr wichtig.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	4.73	.467	2.615 (2)	.270
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.30	.949		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.86	1.464		
<b>Am Autofahren schätze ich, dass man selbst entscheiden kann, wann und wohin man fährt.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	4.64	.924	4.700 (2)	.095
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.00	1.155		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	4.14	1.069		
<b>Für mich ist es wichtig, auch spontan wegfahren zu können.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	4.73	.467	9.290 (2)	.010**
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	3.70	.949		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.86	.690		
<b>Mir ist es wichtig, dass ich mit einem Auto die größtmögliche Flexibilität habe.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	4.55	.688	9.511 (2)	.009**
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	3.70	.823		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.29	.951		
<b>Mit einem Auto zu fahren ist bequemer als die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	4.00	1.095	2.608 (2)	.271
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	4.10	.876		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.29	1.113		
<b>In Bezug auf mein Auto achte ich sehr auf kostenbewusstes Handeln.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	3.82	.982	.550 (2)	.760
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	3.70	.949		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.43	1.272		
<b>Ein Auto ist für mich einfach nur ein Verkehrsmittel – mehr nicht.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	3.64	1.567	1.085 (2)	.581
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	9	3.44	1.014		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	4.00	1.155		
<b>Ich bin gerne mit einem Auto unterwegs.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	4.00	1.265	6.087 (2)	.048*
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	3.80	1.033		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	2.71	.951		
<b>Bei einem Auto interessiert mich immer auch die Technik.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	3.91	1.375	2.484 (2)	.289
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	3.50	.527		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	3.29	1.380		
<b>Ein eigenes Auto zu haben ist aus Sicht meiner Freunde und Bekannten ein Muss.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	2.45	1.368	1.029 (2)	.598
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	9	2.78	.972		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	2.43	1.272		
<b>Ein Auto zeigt, wer und was ich bin.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer	11	1.82	1.168	1.329 (2)	.515
	<i>smart3</i> -affine Nutzer	10	2.20	1.033		
	unentschiedene <i>smart</i> -Nutzer	7	1.86	.900		

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*  $p \leq 0.001$

In **Tabelle 7.23** werden die gefundenen Unterschiede nach den einzelnen Nutzergruppen betrachtet.

**Tabelle 7.23:** Einstellungen zum Lademodell *smart3* – Gruppenvergleich

Item	Paarvergleich	Mann-Whitney-U	
		z	p
<b>Für mich ist es wichtig, auch spontan wegfahren zu können.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-2.667	.008 <sup>+</sup>
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.555	.011 <sup>+</sup>
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-.314	.753
<b>Mir ist es wichtig, dass ich mit einem Auto die größtmögliche Flexibilität habe.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-2.385	.017
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.700	.007 <sup>+</sup>
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-.879	.379
<b>Ich bin gerne mit einem Auto unterwegs.</b>	<i>smart2</i> -affine Nutzer - <i>smart3</i> -affine Nutzer	-.664	.506
	<i>smart2</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-2.299	.022
	<i>smart3</i> -affine Nutzer - unentschiedene <i>smart</i> Nutzer	-1.941	.052

+ signifikant nach Bonferroni-Adjustierung,  $p < 0.0167$

Die gefundenen Unterschiede bei der Aussage „Ich bin gerne mit einem Auto unterwegs“ erweisen sich nach Anwendung der Bonferroni-Korrektur als nicht mehr signifikant. Somit bleiben signifikante Unterschiede bei den anderen beiden Statements. Die Möglichkeit, auch spontan mit einem Auto wegfahren zu können, ist vor allem für die *smart2*-affinen Nutzern wichtig, sie haben den höchsten Zustimmungswert und unterscheiden sich darin zu den anderen beiden Gruppen. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei dem Wunsch, mit dem Auto die größtmögliche Flexibilität zu haben. Auch bei dieser Aussage haben die *smart2*-affinen Nutzer im Unterschied zu den anderen beiden Nutzergruppen den höchsten Zustimmungswert.

### 7.8.8 Zusammenfassung der Ergebnisse Nutzertypologie

Die gefundenen Einstellungsunterschiede untermauern die Schlussfolgerung, dass vor allem das Rückspeisemodell *smart3* zu einer Polarisierung des Teilnehmerkreises führt. Rückspeisemodelle erfordern andere Rahmenbedingungen als Lademodelle, die nur eine Steuerung des Ladevorgangs vornehmen. Ein Fazit des Feldversuches ist es, dass einige Teilnehmer auf diese Rückspeisemodelle „sensibler“ reagieren als auf die gesteuerten Lademodelle und die Gefahr einer Nicht-Kooperation hier größer ist als bei den anderen Modellvarianten. Selbst wenn die Vorteile für den Umweltschutz und den Ausbau von erneuerbaren Energien für dieses Modell sprechen und keine Bedenken hinsichtlich einer Kooperation mit den Lademodellanbietern existieren, scheint es für einige Teilnehmer auch gute Gründe gegen die Nutzung eines Rückspeisemodells zu geben. Diese liegen vor allem in der wahrgenommenen mangelnden Passung zu den eigenen Fahr- und Ladegewohnheiten. Dieser Befund wird durch die Antworten der Teilnehmer bestätigt, welche auf die (offene) Frage nach den Argumenten gegen ein Rückspeisemodell gegeben werden. Mit jeweils acht Nennungen stehen an erster Stelle die Befürchtungen, dass die Flexibilität von Autofahrern durch dieses Modell eingeschränkt wird und dass die Lebensdauer des Akkus unter der Rückspeisemöglichkeit leiden könnte. Mit der Angst vor einem Flexibilitätsverlust ist die Befürchtung verbunden, dass spontane Fahrten nicht mehr gesichert möglich sind und dass die verbleibende Mindestreichweite evtl. zu kurz sein könnte. Vor allem die *smart2*-affinen Nutzer legen in ihrer Automobilität großen Wert auf Flexibilität und spontane Nutzung des Fahrzeugs. In Bezug auf den erwarteten Akkuverschleiß wird von eini-

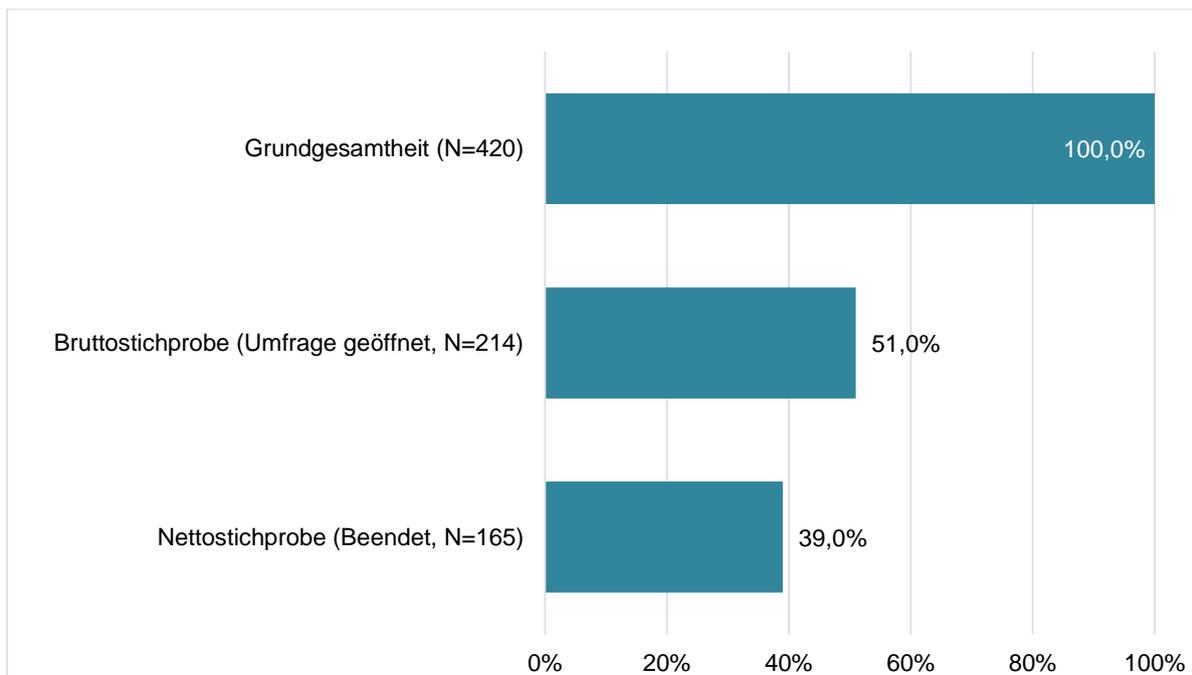
gen Teilnehmern ein finanzieller Ausgleich bzw. eine Entschädigung für die Bereitstellung der Batterie verlangt. Nur selten kommt der Vorschlag, dass der Akku von einem Anbieter zur Verfügung gestellt werden sollte. Gegen Rückspeiseoptionen bei Lademodellen spricht aus Sicht einiger Teilnehmer auch noch der als zu hoch empfundene Planungsgrad. Die Eingabe des IST- und SOLL-Ladestandes wird als zusätzlicher, unerwünschter Aufwand wahrgenommen und als zu umständlich in der Handhabung gesehen.

## 8. ANALYSE DES NUTZERVERHALTENS IM ENERCITY-FAHRZEUGPOOL

Während des Feldversuchs wurden auf den Betriebshöfen von enercity ebenfalls CCBs installiert; über diese wurden die elektrischen Poolfahrzeuge geladen (vgl. Abschnitt 6.2). Begleitend zur Etablierung der elektrischen Poolfahrzeuge wurde eine Onlinebefragung unter den enercity-PoolnutzerInnen zum Nutzungsverhalten im Speziellen und zu Einstellungen gegenüber Elektromobilität im Allgemeinen vom ITD durchgeführt. Die Onlinebefragung fand vom 09.09. bis zum 23.09.2015 statt.

### 8.1 Stichprobe<sup>43</sup>

Zu Beginn der Onlinebefragung wurde per Email eine Einladung an insgesamt 420 MitarbeiterInnen von enercity versendet, welche die Berechtigung besitzen, Fahrzeuge aus dem firmeneigenen Fahrzeugpool auszuleihen. Dieser Personenpool stellt die Grundgesamtheit dar. Bis zum 23.09.2015 hatten 214 Personen die Umfrage aufgerufen, 165 Personen haben die Umfrage vollständig ausgefüllt<sup>44</sup>. Die Nettostichprobe liegt damit bei 39 % (vgl. **Abbildung 8.1**).



**Abbildung 8.1:** Stichprobenumfänge

<sup>43</sup> In Absprache mit dem enercity Betriebsrat wurden bei dieser Befragung keine demographischen Daten erhoben. Zusätzlich wurde das Überspringen jeder Frage ermöglicht. Dadurch kann die Anzahl der Befragten pro Antwort variieren.

<sup>44</sup> Zusätzlich zu den 165 vollständig ausgefüllten Befragungen sind im Datensatz 16 teilausgefüllte Umfragen vorhanden. Diese Datensätze wurden, wo immer es sinnvoll erschien, in die Auswertungen mit aufgenommen.

## 8.2 Themen der Befragung und Erkenntnisinteresse

Zur Orientierung, welche Ergebnisse im Folgenden dargestellt und diskutiert werden, wird nun zunächst skizziert, wie und über welche Themen die PoolnutzerInnen befragt wurden.

Nach der Aufklärung über den Umgang mit dem Datenschutz und der zur Teilnahme obligatorischen Zustimmung zur Verwertung der Daten, folgte ein ausführlicher Fragenblock zur Praxis der Entleihung von Fahrzeugen aus dem Pool. Ziel dieses Blocks war es, ein allgemeines Bild von den Abläufen und deskriptiven Merkmalen zu erhalten. Beispielsweise wurden Fragen darüber gestellt, welche Poolstandorte genutzt, wie häufig Fahrzeuge entliehen, welche Fahrzeugklassen gewählt und wie häufig Elektrofahrzeuge entliehen werden. Für PoolnutzerInnen, die Elektrofahrzeuge leihen, gab es im Anschluss daran detailliertere Fragen, die u. a. die Gründe für die Nutzung von Elektrofahrzeugen behandelten.

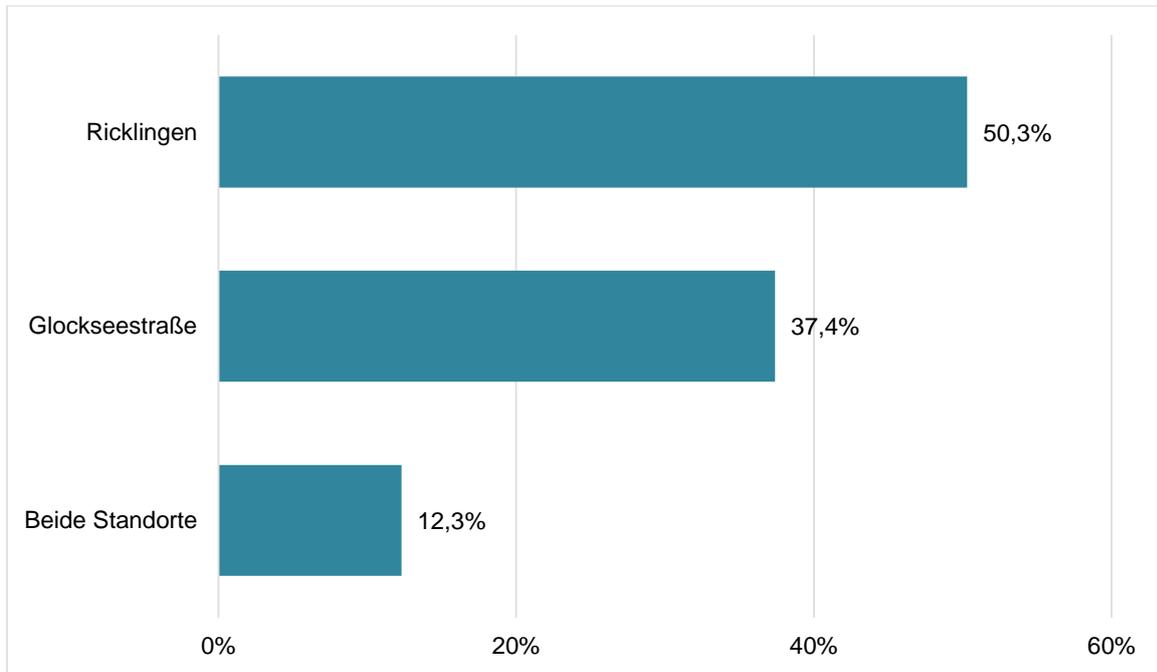
Nach dem Thema Entleihungen folgte für die Elektrofahrzeug-NutzerInnen ein Block zur CCB, der u. a. die Bewertung von verschiedenen Aspekten der Ladestation, Verbesserungswünschen und Problemen im Umgang abfragte. Hier war es das Ziel, ein Bild über das Handling der CCB zu erlangen.

Das Thema Elektromobilität wurde im Anschluss an den Frageteil zur CCB nochmals für alle Befragten geöffnet, also auch für diejenigen, die im Vorfeld angegeben hatten, keine Elektrofahrzeuge aus dem Firmenpool zu leihen. Es ging dabei um die Einstellung der Befragten zu verschiedenen Aussagen über Elektromobilität und die Bewertung von Eigenschaften von Elektrofahrzeugen im Geschäftsumfeld, wie z. B. Reichweite, Zuverlässigkeit oder Zukunftsfähigkeit. Das Erkenntnisinteresse hierbei war, ein Bild der Einstellung der Befragten zum Thema Elektromobilität zu erhalten. Zudem ergab sich auch hier die Möglichkeit, die Gruppen der Elektrofahrzeug-NutzerInnen und Nicht-NutzerInnen in ihren Einstellungen vergleichen zu können.

Die letzte Fragenbatterie erhob die Technikaffinität der Befragten, mit diesen Items sollte überprüft werden, ob Elektrofahrzeug-NutzerInnen technikaffiner sind als Nicht-NutzerInnen.

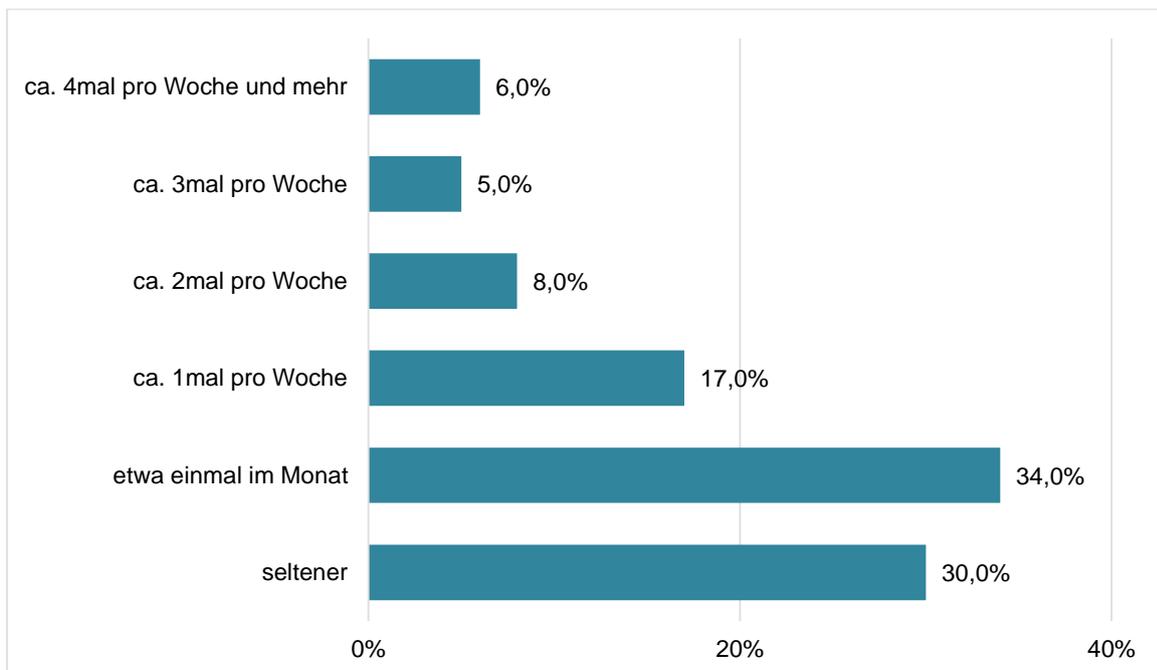
## 8.3 Entleihung der Dienstfahrzeuge

Den enercity-PoolnutzerInnen stehen in Hannover zwei Standorte für das Ausleihen von Dienstfahrzeugen zur Verfügung: der Standort in Ricklingen und der Standort in der Glockseestraße. Die NutzerInnen können an beiden Standorten Fahrzeuge leihen, sowohl konventionell als auch elektrisch betriebene. Ca. 50 % der befragten PoolnutzerInnen leihen sich Fahrzeuge aus Ricklingen, ca. 37 % aus der Glockseestraße und ca. 12 % aus beiden Standorten (vgl. **Abbildung 8.2**).



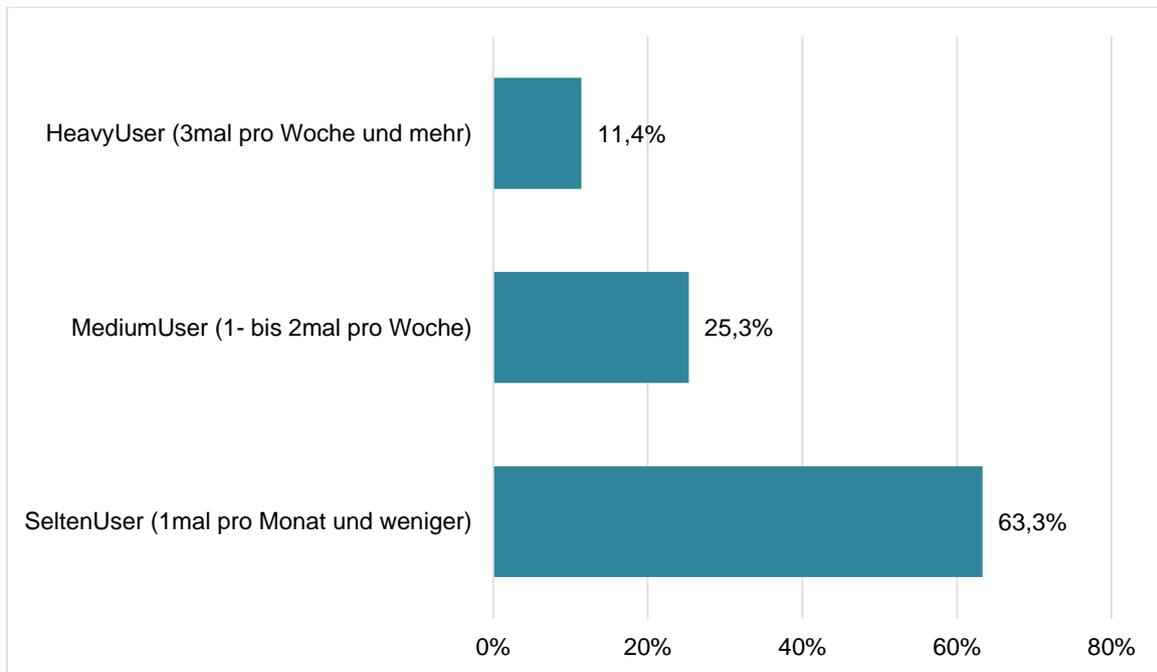
**Abbildung 8.2:** Verteilung Entleihungen an den Standorten (alle Antriebsarten), N = 171

Bei der Frage nach der Ausleihfrequenz von Fahrzeugen konnten die PoolnutzerInnen differenziert in acht Stufen zwischen „mehr als viermal pro Woche“ und „In den letzten 6 Monaten habe ich kein Fahrzeug ausgeliehen“ antworten. Eine Übersicht über die Ausleihfrequenzen aller Antriebsarten, elektrisch und konventionell, gibt **Abbildung 8.3** (einzelne Kategorien sind dort zusammengefasst).



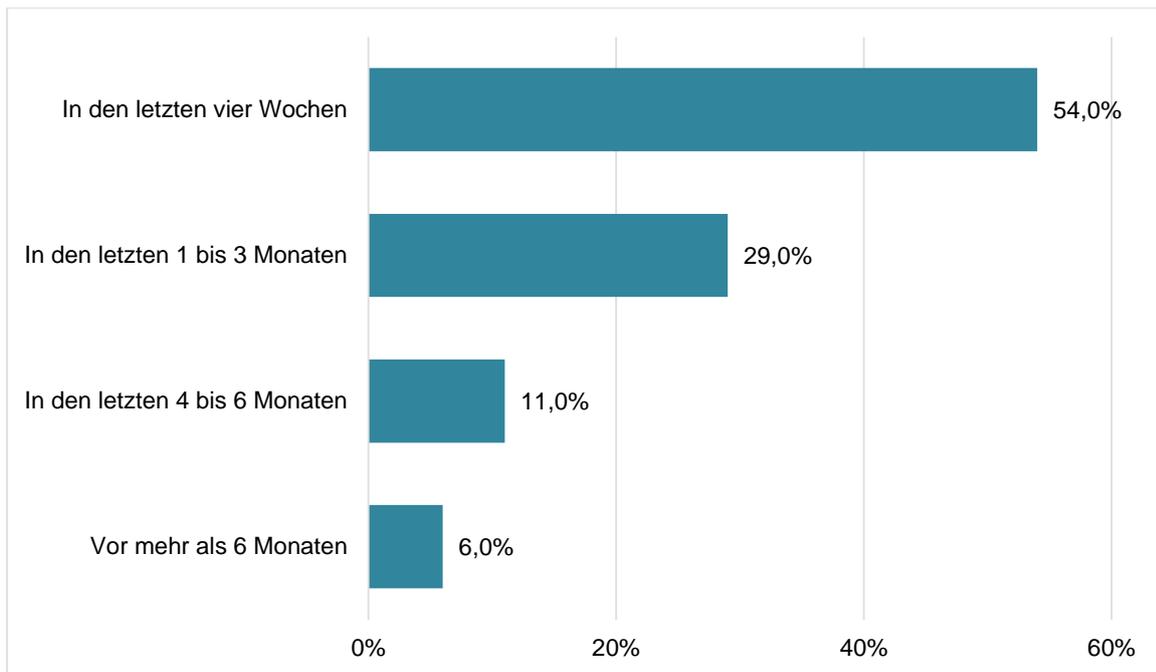
**Abbildung 8.3:** Ausleihfrequenz (alle Antriebsarten), N = 170

Werden die Ergebnisse detaillierter betrachtet, so lässt sich in **Abbildung 8.4** gut erkennen, dass es Unterschiede in den Ausleihfrequenzen gibt: Die als „Heavy User“ bezeichneten PoolnutzerInnen sind dabei in der Minderzahl, lediglich 11 % der Befragten leihen dreimal pro Woche und häufiger Fahrzeuge aus dem encity-Pool. 25 % („Medium User“) leihen ein bis zweimal pro Woche ein Fahrzeug und knapp zwei Drittel der Befragten leiht einmal pro Monat und seltener ein Fahrzeug („SeltenUser“).



**Abbildung 8.4:** Ausleihfrequenz kategorisiert, N=166

Wann die Befragten zum Zeitpunkt der Umfrage zuletzt ein Fahrzeug geliehen haben, zeigt **Abbildung 8.5**.

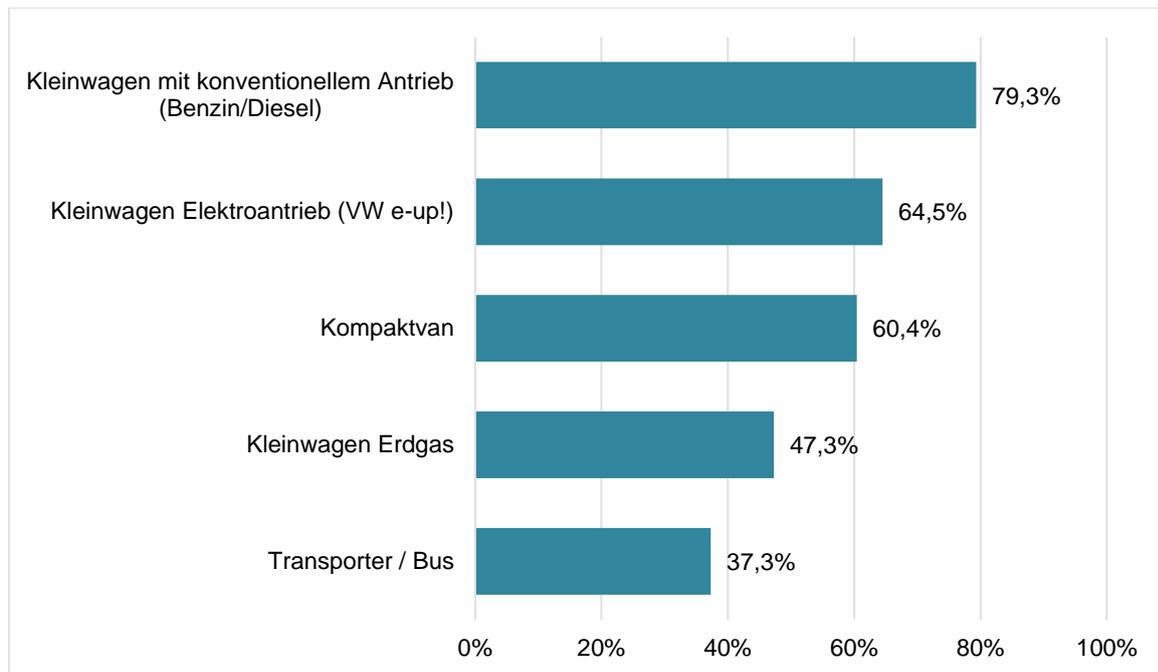


**Abbildung 8.5:** Letzte Ausleiherung (alle Antriebsarten), N = 169

Mehr als die Hälfte hat innerhalb der letzten vier Wochen ein Fahrzeug geliehen. Ein knappes Drittel hat innerhalb der letzten ein bis drei Monate auf den Pool zugegriffen und bei 17 % liegt der letzte Leihvorgang vier Monate oder länger zurück. Werden die Ausleihhäufigkeiten mit der Nutzungsfrequenz verglichen, ist es nicht überraschend zu entdecken, dass alle 19 HeavyUser innerhalb der letzten vier Wochen Fahrzeuge ausgeliehen haben. Bei den 42 MediumUsern sind es immerhin noch ca. 88 %, bei den 105 SeltenUsern nur noch 34 %. Ca. 44 % Personen der letzten Gruppe geben an, Fahrzeuge in den letzten 1-3 Monaten entliehen zu haben.

#### 8.4 Fahrzeugwahl und Kilometerleistung

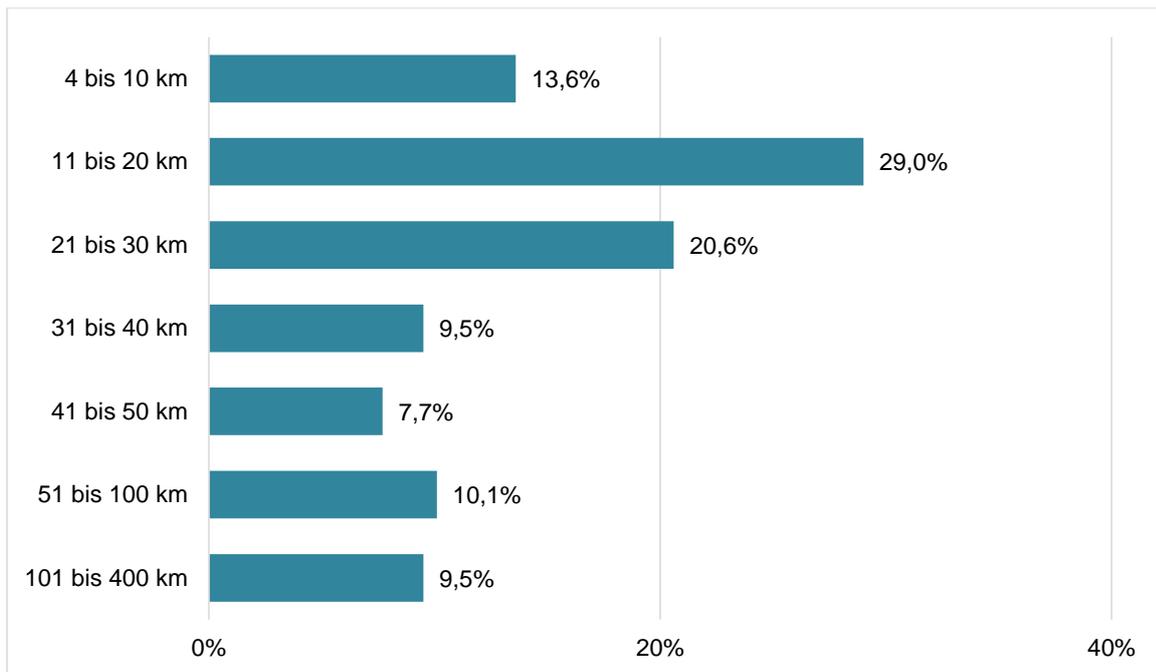
An den erwähnten Poolstandorten lassen sich verschiedene Fahrzeugklassen leihen. Welche Fahrzeugklassen von den PoolnutzerInnen ausgeliehen wurden, wurde mittels einer Mehrfachantworten-Frage ermittelt. Eine Übersicht zeigt **Abbildung 8.6**.



**Abbildung 8.6:** Geliehene Fahrzeugklassen, Mehrfachnennungen möglich, N = 170

In der überwiegenden Mehrheit haben die Befragten Erfahrung mit dem Typus ‚Kleinwagen mit konventionellem Antrieb‘. Auffällig wirkt, dass die Fahrzeugklasse ‚Volkswagen e-up!s mit Elektroantrieb‘ am zweithäufigsten auf Dienstreisen gewählt wird und nicht die mit konventionellem Antrieb vergleichbaren Erdgas-Fahrzeuge. Die Gründe für die Wahl eines Kleinwagens mit Elektrotraktion werden später noch genauer dargestellt. 60,4 % der Befragten haben bereits Erfahrung mit der Fahrzeugklasse Kompaktvan gesammelt, knapp die Hälfte mit Kleinwagen mit Erdgas-Motor und ca. 37 % haben große Fahrzeuge in Form von Transportern oder Bussen aus dem enercity Fahrzeugpool geliehen.

Wie viele Kilometer auf einer Dienstreise mit den geliehenen Fahrzeugen zurückgelegt werden, zeigt **Abbildung 8.7**.

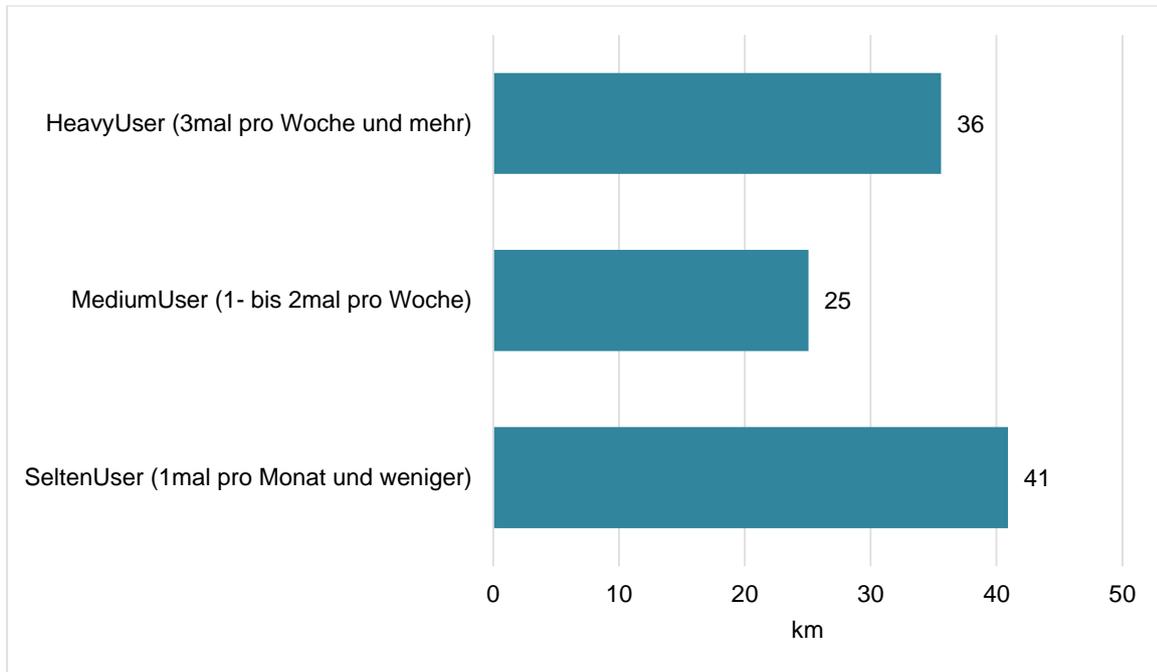


**Abbildung 8.7:** Durchschnitt geschätzte Kilometerangaben pro Dienstreise, N = 169

Die Frage nach der durchschnittlichen geschätzten Distanz einer Dienstreise wurde mit einem offenen Textfeld erfasst, in das die Befragten die Anzahl der Kilometer eingeben konnten; der Range der Angaben beträgt 4 km bis 400 km pro Fahrt. Der Median beträgt 26 km, der Mittelwert 44,8 km pro Fahrt ( $SD = 53,6$  km). Zur Übersichtlichkeit wurden die Angaben kategorisiert (vgl. **Abbildung 8.7**). Die meisten Dienstreisen umfassen die Kategorie 11 bis 20 km, gefolgt von der Kategorie 21 bis 30 km. Insgesamt fahren ca. 80 % der PoolnutzerInnen bis zu 50 km pro Dienstreise. Längere Distanzen werden nur von knapp 20 % der NutzerInnen zurückgelegt.

Eine Überprüfung der Kilometerleistung mit den oben erwähnten User-Typen zeigt **Abbildung 8.8**<sup>45</sup>.

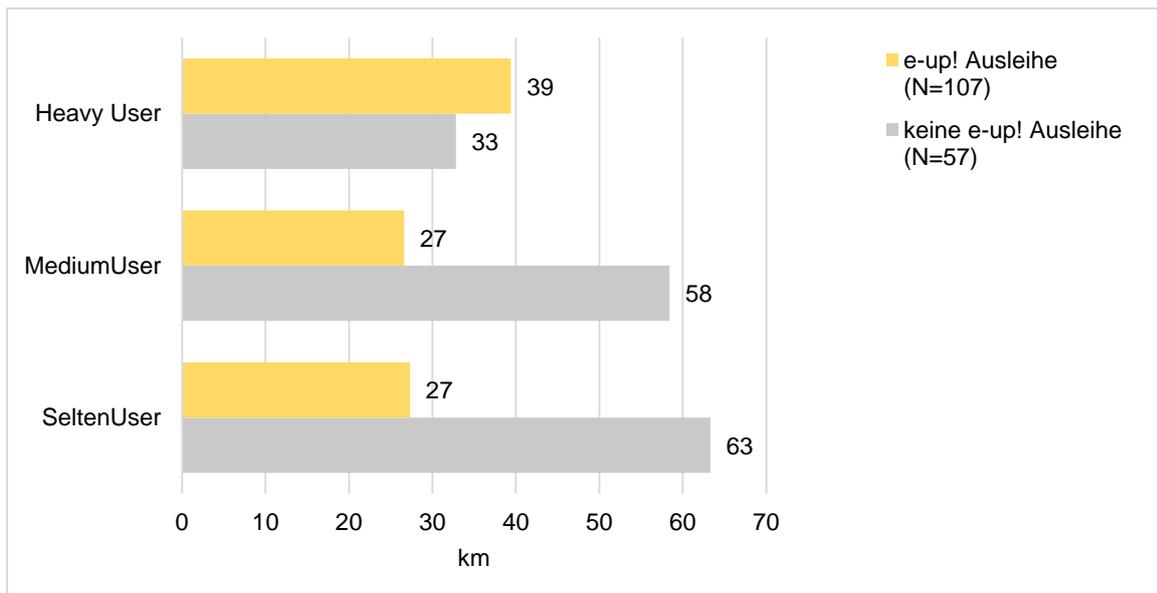
<sup>45</sup> Beim Vergleich der drei Nutzergruppen wurden die jeweiligen Mittelwerte auf 95 % der Angaben bereinigt (trunkiert), um statistische „Ausreißer“ auszuklammern. Diese verfälschen Lagemaße wie z. B. das arithmetische Mittel.



**Abbildung 8.8:** Durchschnittliche Kilometerangaben pro Dienstfahrt nach 'User-Typen', auf 95 % bereinigt, N=164

Die Selten-User, die das Gros der Befragten darstellen (vgl. **Abbildung 8.4**), haben die größte geschätzte Reichweite auf ihren Dienstfahrten. Es folgen die Heavy User mit einer durchschnittlichen Schätzung von ca. 36 km pro Dienstfahrt. Die Medium-User kommen lediglich auf eine durchschnittliche Schätzung von ca. 25 km pro Dienstfahrt.

Interessant wird es, wenn die User-Typen weiter differenziert werden und die Kilometerangaben getrennt nach den PoolnutzerInnen, die schon Elektrofahrzeuge ausgeliehen haben und denjenigen, die das noch nicht getan haben, dargestellt werden (vgl. **Abbildung 8.9**).

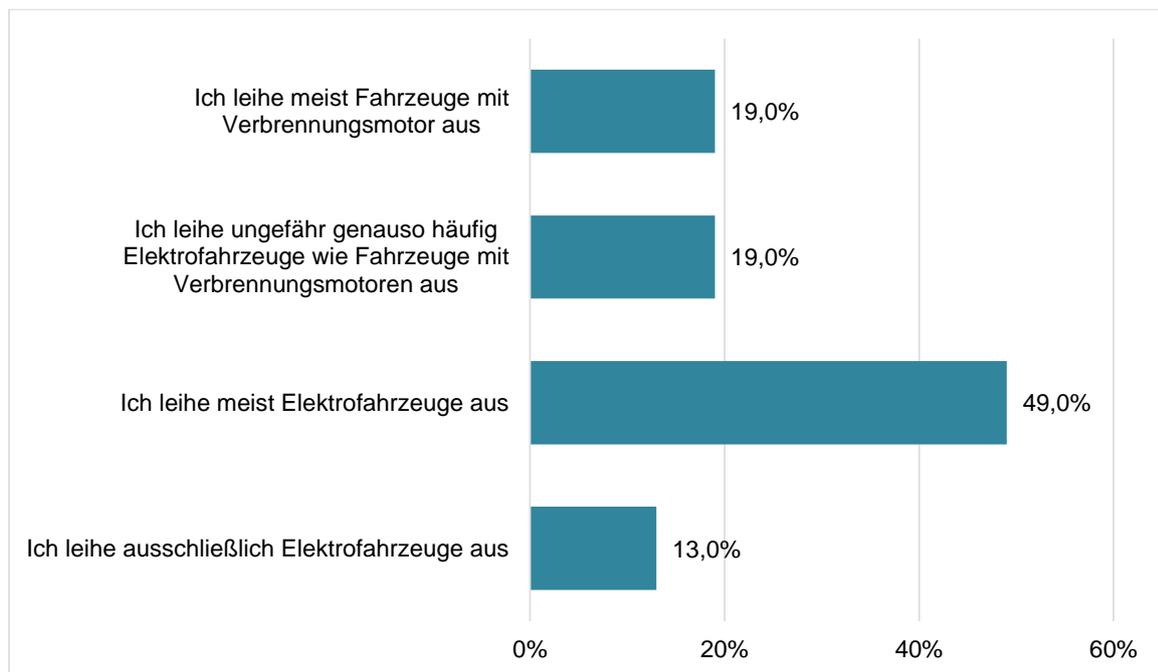


**Abbildung 8.9:** Durchschnittliche Kilometerangaben pro Dienstfahrt nach 'User-Typen' und Elektrofahrzeugfahrern, auf 95 % bereinigt

Es zeigen sich eindeutige Unterschiede zwischen den Nutzern von Elektrofahrzeugen und den Nichtnutzern. Bei den SeltenUsern und den MediumUsern ist zu bemerken, dass die Fahrer von Elektrofahrzeugen jeweils nur die Hälfte oder weniger Kilometer pro Dienstfahrt zurücklegen als die Fahrer von Verbrennungsfahrzeugen. Die Kilometerangaben der HeavyUser sind bei beiden Gruppen annähernd gleich; zu beachten ist allerdings, dass die letztere Gruppe sehr klein ist. Eine Tendenz hin zu mehr Dienstfahrkilometern bei Nicht-Nutzern ist mit durchschnittlich 70 km ( $SD = 76$  km) pro Fahrt im Vergleich zu e-up!-Nutzern mit durchschnittlich 31 km ( $SD = 28$  km) jedoch zu erkennen<sup>46</sup>.

## 8.5 Bewertungen der Elektrofahrzeuge

Wie beschrieben, werden die Elektrofahrzeuge von den befragten PoolnutzerInnen gerne ausgeliehen. Wie ist aber das Ausleihverhältnis zu den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor bei denjenigen, die sich Elektrofahrzeuge aus dem Pool leihen?

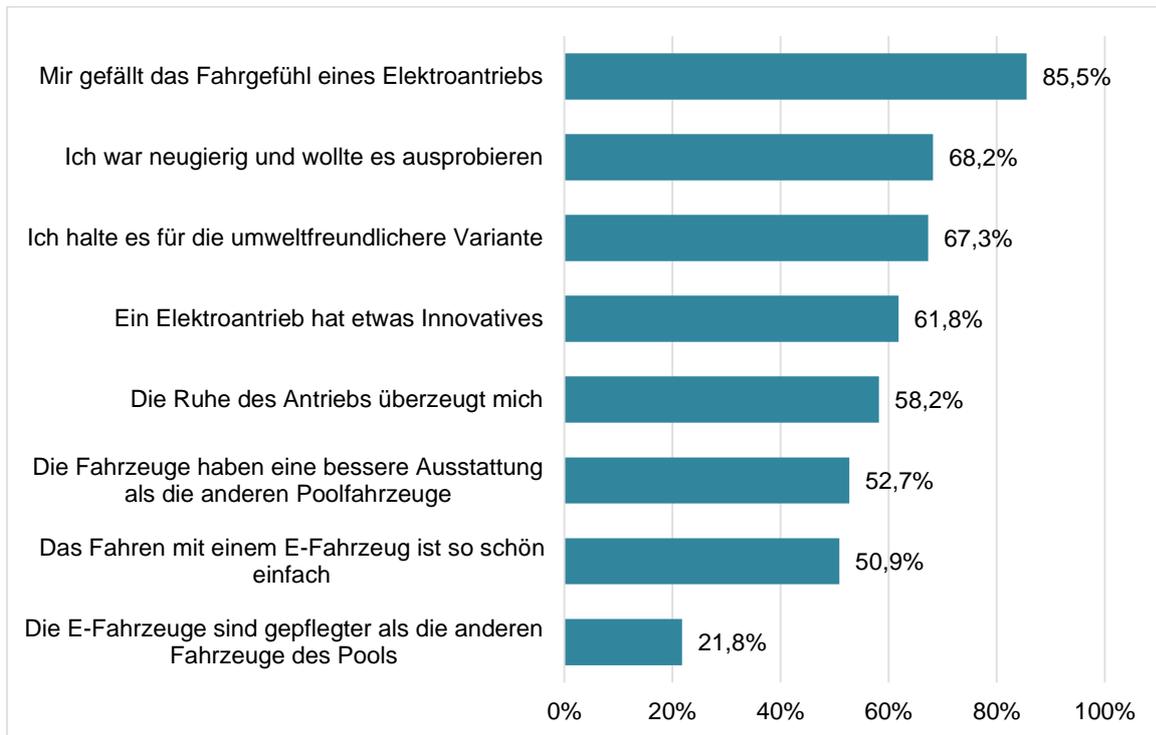


**Abbildung 8.10:** Häufigkeit Ausleihe von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu Verbrennern, N = 110

**Abbildung 8.10** zeigt, dass knapp die Hälfte der Personen, die sich Elektrofahrzeuge ausleihen, dies für den überwiegenden Teil ihrer Dienstwege tut. Rund 13 % aus dieser Gruppe leiht sogar ausschließlich Elektrofahrzeuge aus. Bei jeweils 19 % hält sich die Ausleihe von Elektrofahrzeugen und Verbrennungsfahrzeugen die Waage oder das Verbrennungsfahrzeug ist nach wie vor die erste Wahl.

<sup>46</sup> Werden nur die Kilometerangaben der o.g. beiden Gruppen ‚e-up! Ausleihe‘ und ‚keine e-up!-Ausleihe‘ verglichen, ohne eine weitere Unterteilung in die Nutzergruppen, ergibt der Mann-Whitney-U-Test einen signifikanten Unterschied beider Nutzergruppen ( $p = .000^{***}$ ;  $z = -3.495$ ,  $N = 169$ ).

Warum ein elektrisches Poolfahrzeug bei den Ausleihenden so beliebt ist, zeigt sich bei der Frage „Warum haben Sie sich für die Buchung eines Elektroautos entschieden?“ in **Abbildung 8.11**.

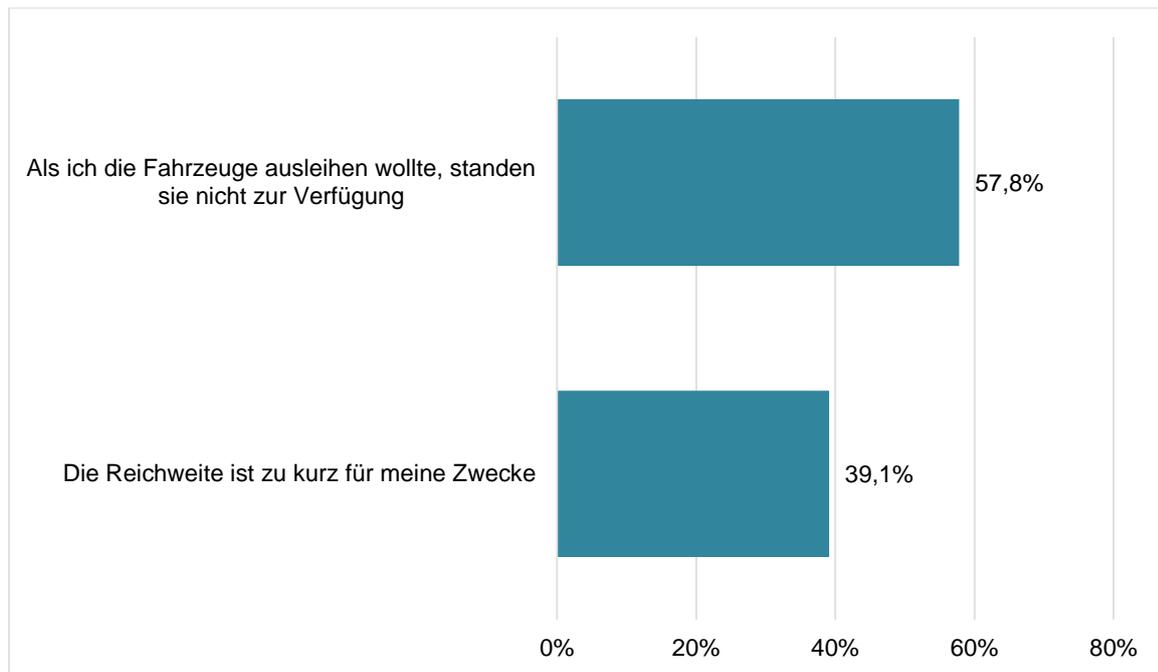


**Abbildung 8.11:** Gründe FÜR die Buchung eines Elektrofahrzeugs aus dem Fahrzeugpool, Mehrfachnennungen möglich, N = 110

Für die PoolnutzerInnen stehen eher ‚weiche‘ Gründe im Vordergrund, weswegen ein Elektrofahrzeug einem Verbrennungsfahrzeug beim Ausleihen vorgezogen wird. Dabei ist der mit Abstand häufigste Grund das Gefallen am Fahrgefühl. Es folgen Neugierde, Umweltschutz, der Eindruck der Innovativität und der Komfortfaktor Ruhe.

Die Elektrofahrzeuge unterscheiden sich nicht nur in ihrem Antrieb, sondern besitzen ebenfalls die bessere Ausstattung und sind neuer als die meisten anderen Poolfahrzeuge – beides sind objektive Unterschiede. Die bessere Ausstattung ist für knapp über die Hälfte der Befragten ein Entscheidungsfaktor. Der gepflegte Zustand der Fahrzeuge ist nur für knapp über 20 % der Befragten wichtig.

**Abbildung 8.12** gibt Aufschluss, was im Vergleich gegen die Nutzung eines Elektrofahrzeugs aus dem Fahrzeugpool spricht.



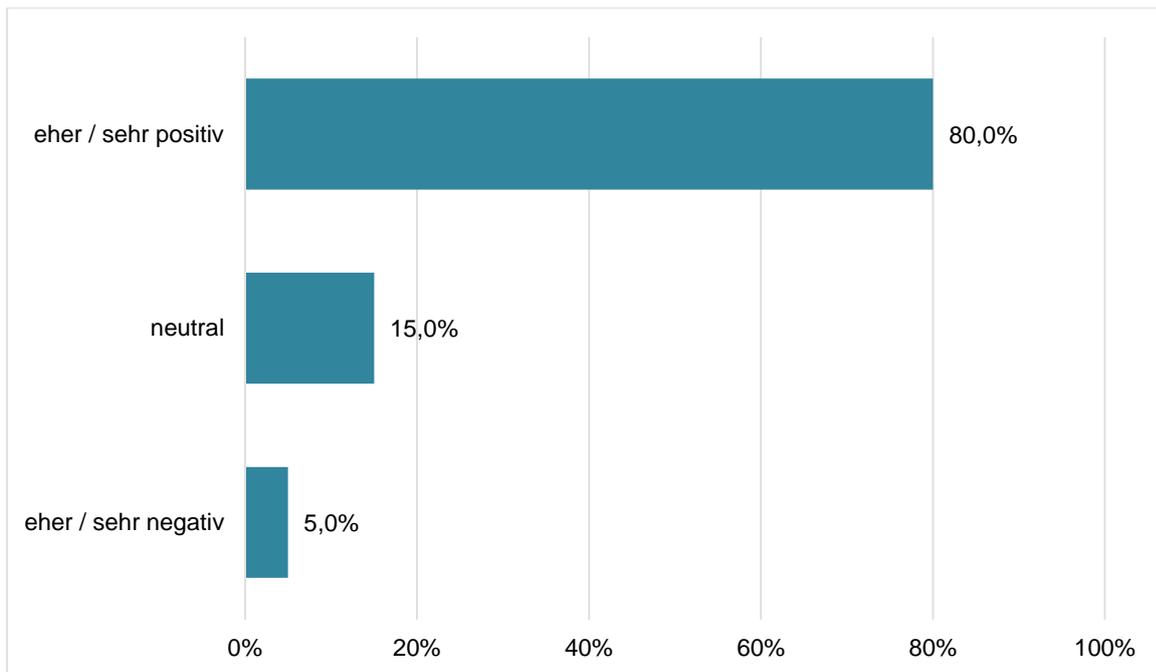
**Abbildung 8.12:** Gründe GEGEN die Nutzung eines Elektrofahrzeugs aus dem Fahrzeugpool, Mehrfachnennungen möglich, N = 64

Diese Frage wurde den teilnehmenden PoolnutzerInnen gestellt, die zum Zeitpunkt der Umfrage noch kein Elektroauto aus dem Fahrzeugpool ausgeliehen hatten oder zu einem großen Anteil auch Verbrennungsfahrzeuge ausleihen. Der wichtigste Grund gegen die Nutzung ist die fehlende Option. Offenbar besteht der Wunsch zur Nutzung eines Elektrofahrzeugs, häufig steht jedoch keines zur Verfügung. Dieser Grund wird von mehr als der Hälfte der Befragten genannt. Interessanterweise ist die Reichweite, die in anderen Studien normalerweise der wichtigste Grund gegen die Nutzung von Elektromobilität angeführt wird, hier nur auf dem zweiten Rang mit knapp 40 %. Andere Gründe, die gegen eine Nutzung sprechen könnten, wie z. B. mangelnde Größe der Fahrzeuge oder zu aufwendiges Laden werden kaum genannt.

## 8.6 Einstellungsunterschiede zwischen Nutzern und Nichtnutzern von Elektrofahrzeugen

### 8.6.1 Einstellungen zur Elektromobilität

Wie **Abbildung 8.13** zeigt, haben 80 % der 173 Befragten eine eher positiv oder sogar sehr positive Einstellung zum Thema Elektromobilität, der Mittelwert beträgt 4.1 ( $SD = .828$ ). Es existiert also eine recht wohlwollende Einstellung gegenüber dieser alternativen Antriebstechnologie unter den MitarbeiterInnen von enercity, die an der Befragung teilgenommen haben.



**Abbildung 8.13:** Einstellung Elektromobilität allgemein, N = 173

Zwischen den Nichtnutzern und den Nutzern der Pool-Elektrofahrzeuge gibt es hinsichtlich der allgemeinen Einstellung zur Elektromobilität allerdings Unterschiede. Die Nutzer der e-ups haben eine positivere Einstellung ( $M = 4.23$ ,  $SD = .753$ ,  $N = 109$ ) als die Nichtnutzer ( $M = 3.83$ ,  $SD = .874$ ,  $N = 59$ ).<sup>47</sup>

Um zu prüfen, ob es weitere Einstellungsunterschiede zwischen diesen beiden Gruppen in Bezug auf Elektromobilität gibt, wurden detailliertere Fragen gestellt. Die Einstellung wurde mit 15 verschiedenen Aussagen erhoben; diese Items zielten auf verschiedene latente Variablen bzw. Aspekte des Themas Elektromobilität ab - bspw. das Thema Umweltschutz, inwieweit Elektromobilität ein positives Image für den Arbeitgeber erzeugt oder der Einfluss der Elektrotraktion auf das eigene Handeln der Befragten. Um die Aussagekraft zu verdeutlichen und die Erkenntnis zu bündeln, wird an dieser Stelle nicht über jedes einzelne Item berichtet<sup>48</sup>. Stattdessen wurden die Items einer Faktorenanalyse unterzogen<sup>49</sup>.

Die Durchführung der Faktorenanalyse ergab, dass die latenten Variablen des Arbeitgeberbezugs und der Nutzung starke Faktorenladungen aufwiesen. Die 15 Items wurden damit auf zwei Faktoren mit vier bzw. drei Items reduziert. Faktor 1 behandelt inhaltlich den Bezug zwischen Elektromobilität und dem Arbeitgeber mit folgenden Items:

- „Durch die Nutzung von Elektroautos übernimmt unser Unternehmen eine Vorreiterrolle.“

<sup>47</sup> Mann-Whitney-U Test:  $p = .002^{**}$ ,  $z = -3.059$ .

<sup>48</sup> Die komplette Item-Liste findet sich im Anhang A.

<sup>49</sup> Es wurde eine Hauptachsenfaktorenanalyse mit der Rotationsmethode Varimax eingesetzt.

- „Die Nutzung von Elektroautos wirkt sich positiv auf das Image meines Arbeitgebers aus.“
- „Ich bin davon überzeugt, dass der Umstieg auf Elektromobilität auch für meinen Arbeitgeber der richtige Schritt in die Zukunft ist.“
- „Ich bin stolz, bei einem Arbeitgeber beschäftigt zu sein, der Elektromobilität aktiv unterstützt.“

Faktor 2 beinhaltet den Bezug zwischen Elektromobilität und der Nutzung durch die Befragten mit den Items:

- „Das Nutzen eines Elektroautos führt dazu, dass man sein Auto bewusster einsetzt.“
- „Das Nutzen eines Elektroautos führt dazu, dass man seine Routen sorgfältiger plant.“
- „Das Nutzen eines Elektroautos führt dazu, dass man bei manchen Strecken grundsätzlich auf das Auto verzichtet.“

Bei der Prüfung, ob es Einstellungsunterschiede zwischen den zwei Gruppen hinsichtlich der Bewertung von Elektromobilität im Arbeitgeberbezug (Faktor 1) gibt, zeigt sich ein klarer Unterschied. Die PoolnutzerInnen, welche bereits ein Elektrofahrzeug ausgeliehen haben, stimmen der Skala signifikant häufiger zu als die Nichtnutzer. Das bedeutet, dass die befragten ElektrofahrzeugnutzerInnen eine positivere Einstellung gegenüber Elektromobilität im Arbeitgeberbezug haben als die Nicht-NutzerInnen.

**Tabelle 8.1:** Vergleich Einstellungen Elektromobilität im Arbeitgeberbezug

Lademodell	Paarvergleich	N	M	SD	Mann-Whitney-U	
					z	p
Skala Einstellung Elektromobilität im Arbeitgeberbezug	Poolnutzer, die Elektrofahrzeug ausgeliehen haben	98	4.2	.668	2.398	.017*
	Poolnutzer, die kein Elektrofahrzeug ausgeliehen haben	50	3.9	.732		

Anmerkungen: \*  $p \leq 0.05$

Bei der Prüfung von Einstellungsunterschieden im Hinblick auf Elektromobilität im Nutzungsbezug (Faktor 2) zeigen sich jedoch keine Gruppenunterschiede. Sowohl die Nichtnutzer als auch die Nutzer von Elektrofahrzeugen stimmen den Statements zum Nutzungsbezug nur in einem geringen Umfang zu<sup>50</sup>.

Die an der Befragung teilnehmenden PoolnutzerInnen wurden auch darum gebeten, 14 Aspekte von Elektromobilität im Geschäftsumfeld zu bewerten. Die Aspekte waren Reichweite, Anschaffungskosten, Verfügbarkeit von Ladesäulen, Dauer des Ladevorgangs, Repräsentativität der Dienstfahrzeuge, Betriebskosten, Transportkapazität, Klima- und Umweltschutz / Umweltfreund-

<sup>50</sup> Nichtnutzer:  $M = 2.608$  ( $SD = .918$ ),  $N = 51$ . Nutzer:  $M = 2.761$  ( $SD = .929$ ),  $N = 98$ . Ergebnis T-Test:  $t(103) = -.968$ ,  $p = .335$ .

lichkeit, Geräuscharmheit, Innovativität, neuer Wirtschaftszweig in Deutschland, stärkere Nutzung alternativer Energien und Zukunftsfähigkeit.

Die Unterschiede zwischen den Stichproben von Elektrofahrzeug-NutzerInnen und Nicht-NutzerInnen wurden für jeden Aspekt jeweils einzeln mit einem Mittelwertvergleich berechnet. Es werden nur die signifikanten Unterschiede zwischen den Stichproben in **Tabelle 8.2** dargestellt.

**Tabelle 8.2:** Vergleich Aspekte Elektromobilität im Geschäftsumfeld

Aspekt	Stichprobe	N	M	Signifikanz (2-Seitig)	T-Wert(df)
<b>Repräsentativität der Dienstfahrzeuge</b>	Elektrofahrzeug geliehen	103	4.23	0.009**	2.634(152)
	Nicht geliehen	51	3.86		
<b>Zuverlässigkeit</b>	Elektrofahrzeug geliehen	93	3.92	0.000***	3.595(131)
	Nicht geliehen	40	3.40		
<b>Klima- und Umweltschutz / Umweltfreundlichkeit</b>	Elektrofahrzeug geliehen	99	4.21	0.017*	2.416(149)
	Nicht geliehen	52	3.87		
<b>Geräuscharmheit</b>	Elektrofahrzeug geliehen	103	4.60	0.018*	2.414(79)
	Nicht geliehen	53	4.21		
<b>Innovativität</b>	Elektrofahrzeug geliehen	101	4.51	0.001***	3.390(154)
	Nicht geliehen	55	4.09		

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*  $p \leq 0.001$

Grundsätzlich ist die Bewertung der verschiedenen Eigenschaften mit Mittelwerten von 3.40 bis 4.60 im positiven Bereich. Es zeigt sich, dass diejenigen Befragten, die bereits Erfahrung mit den Elektrofahrzeugen aus den Pools sammeln konnten, die in der Tabelle gezeigten Aspekte signifikant höher bewerten, als die PoolnutzerInnen, die keine Elektrofahrzeuge geliehen haben. Dabei ist zu beobachten, dass sich diese höheren Bewertungen sowohl auf objektive als auch auf eher abstrakte Aspekte beziehen: Zuverlässigkeit und Geräuscharmheit lassen sich als NutzerInnen durchaus direkt wahrnehmen. Hingegen ist bspw. die Repräsentativität eines Fahrzeugs oder dessen Innovativität ggf. eher Geschmackssache. Das verweist darauf, dass die Nutzung eines Elektrofahrzeugs offenbar auf Ebene des Gesamteindrucks eine höhere Bewertung erzeugt und damit auch abstrakte Aspekte besser bewertet werden.

### 8.6.2 Einstellungsunterschiede in Hinblick auf Technikaffinität

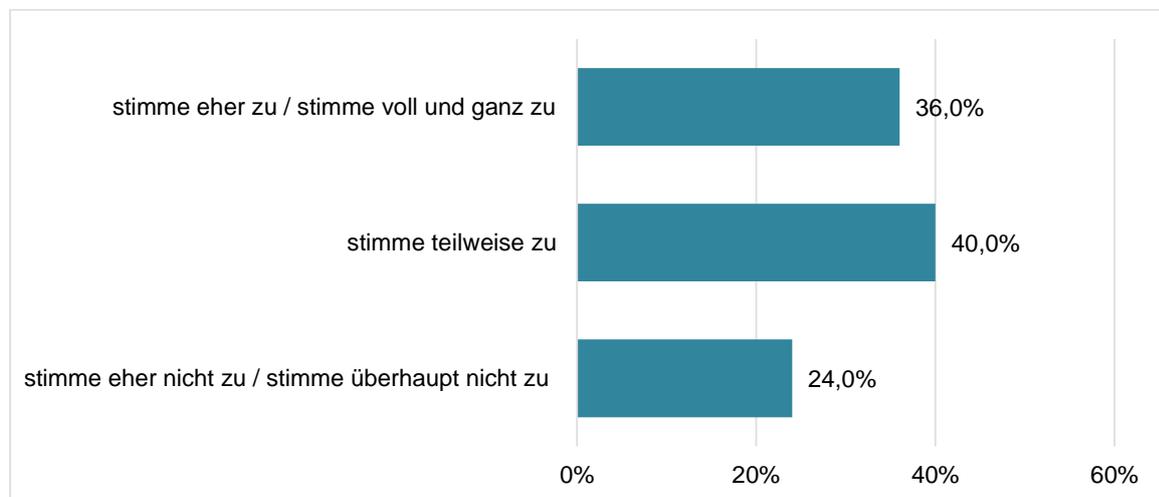
Zusätzlich zur Analyse der spezifischen Einstellungsunterschiede in Bezug auf Elektromobilität und Elektrofahrzeuge sollte untersucht werden, ob sich die Nutzer und Nichtnutzer der elektrischen Poolfahrzeuge auch in Bezug auf andere Einstellungsebenen unterscheiden. Da der

Fragebogen eine bestimmte Länge nicht überschreiten durfte, weil der Ausfüllaufwand für die teilnehmenden PoolnutzerInnen so gering wie möglich gehalten werden sollte, wurde auf der allgemeinen Ebene untersucht, ob eine vorhandene Technikaffinität Personen dazu motiviert, für Dienstfahrten ein Elektrofahrzeug zu wählen.

Mittels neun verschiedener Aussagen, die sich auf Begeisterung für bzw. Kompetenz im Umgang mit technischen Geräten beziehen, wurde die Technikaffinität der PoolnutzerInnen erhoben. Diese Items entstammen dem weitverbreiteten TA-EG-Fragebogen (Technikaffinität gegenüber elektronischen Geräten)<sup>51</sup>. Die Technikaffinität wird mit einer Item-Batterie von vier Subskalen erhoben, welche die folgenden vier Ebenen abbilden: Begeisterung für Technik, Kompetenz im Umgang mit Technik, positive Technikfolgen und negative Technikfolgen.

Im vorliegenden Fragebogen für die NutzerInnen des enercity-Fahrzeugpools wurden nur die Ebenen Begeisterung für Technik und Kompetenz im Umgang mit Technik verwendet. Das hat folgende Gründe: Die zwei anderen Ebenen der Einschätzung von positiven und negativen Technikfolgen dienen einer Einordnung des Themas Technik in einem globaleren Zusammenhang durch die Befragten. Dies ist nicht Teil des Untersuchungsziels der vorliegenden Untersuchung. Die zwei verwendeten Ebenen – Begeisterung und Kompetenz – reichen dabei aus, um die Antworten auf andere Fragen in einem Kontext beurteilen zu können. Dies dient der Beurteilung, inwieweit eine Tendenz in der Einstellung gegenüber Technik im Allgemeinen einen Einfluss auf die Antworten zum Thema Elektromobilität besitzt.

Die Items wurden einer Faktorenanalyse unterzogen und dadurch von neun auf acht reduziert<sup>52</sup>.



**Abbildung 8.14:** Prozentuale Verteilung der Befragten auf der Technikaffinitäts-Skala, N = 158

<sup>51</sup> Dieser Fragebogen wurde von Psychologinnen der Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin im Jahr 2009 konzipiert und wird seit dieser Zeit in vielen Studien mit technischem Bezug erfolgreich eingesetzt. Technikaffinität wird in diesem Zusammenhang von den Autorinnen als „(...) Persönlichkeitseigenschaft [definiert], die sich in einer positiven Einstellung, in Begeisterung und Vertrauen einer Person gegenüber Technik ausdrückt. Sie geht mit Interesse an und Akzeptanz von Technik einher und wirkt sich positiv auf das Wissen über und die Erfahrung mit Technik aus“, vgl. [19].

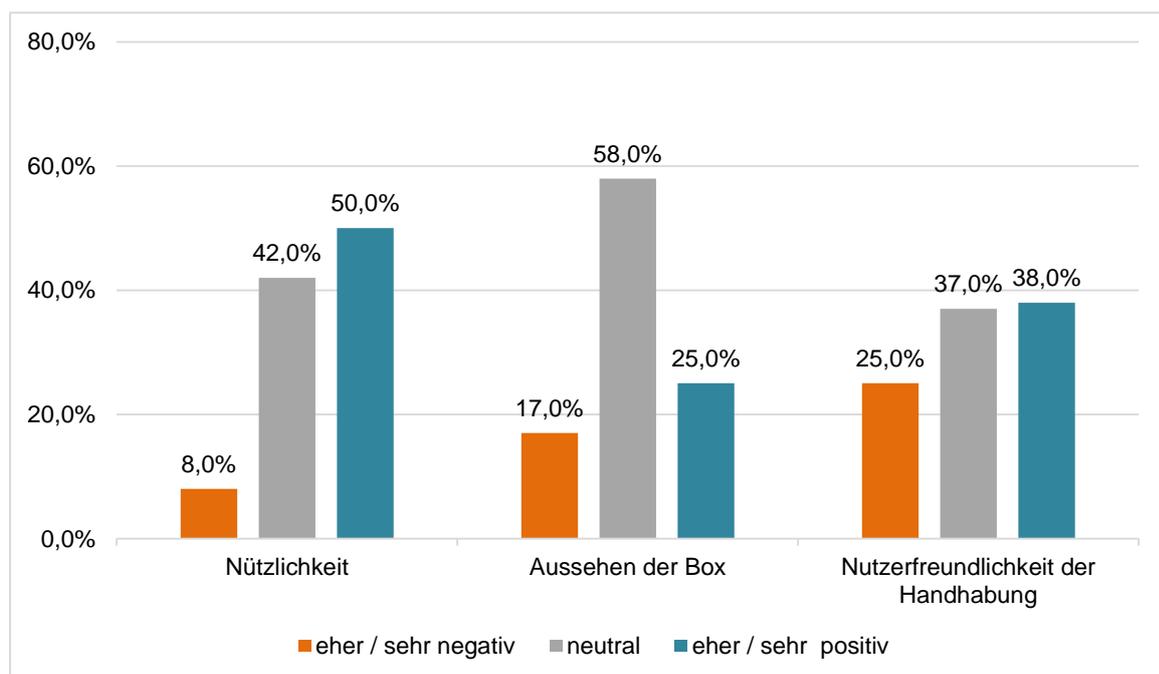
<sup>52</sup> Alle Items finden sich in Anhang A.

Hier zeigt sich auf den ersten Blick bei Betrachtung von **Abbildung 8.14**, dass die Befragten eine eher mittelmäßig ausgeprägte Technikaffinität besitzen: 36 % der Befragten stimmten den Items eher oder voll und ganz zu. Die Gruppe der teilweisen Zustimmung lag bei 40 % und die kleinste Gruppe stimmte mit 24 % den Items eher oder überhaupt nicht zu.

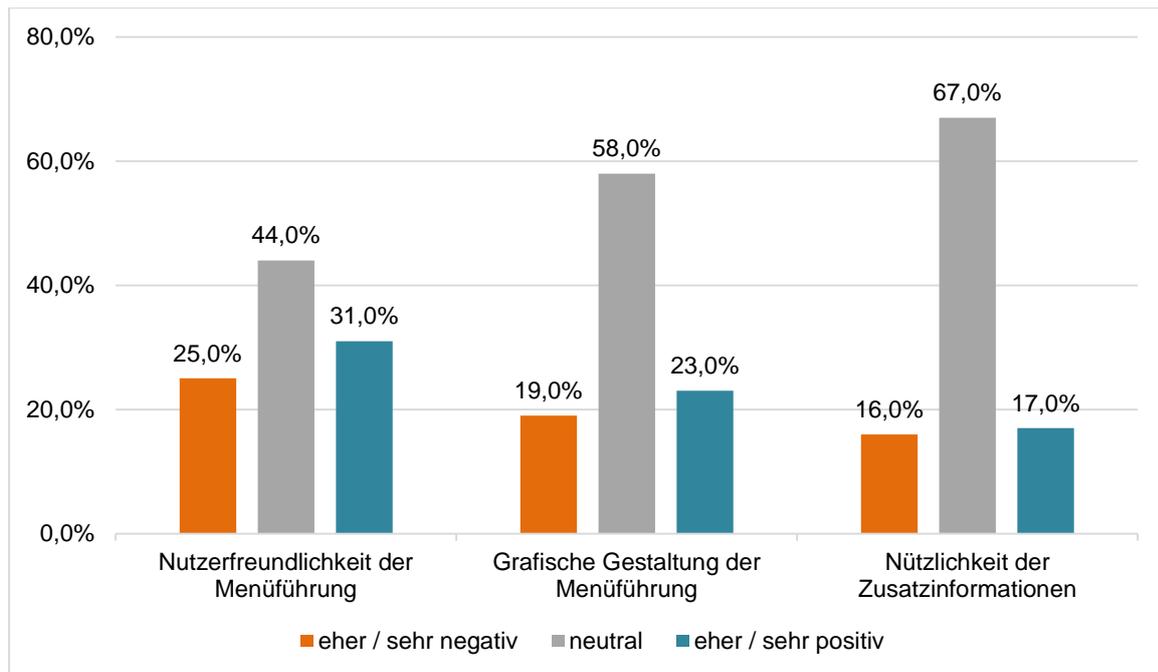
Im Anschluss an die Skalenbildung wurden verschiedene Fragen untersucht, um in Gruppen der befragten Population Unterschiede hinsichtlich der Technikaffinität zu finden. Versucht wurde dies bei den Kategorien, die für die Nutzungsfrequenz der Fahrzeuge gebildet wurden (Heavy-, Medium- und Selten-User). Auch wurden die Elektrofahrzeug-NutzerInnen mit den Nicht-NutzerInnen verglichen. Hier ergaben sich aber in beiden Fällen keine signifikanten Unterschiede. Das bedeutet: Die befragte Population unterscheidet sich in der Technikaffinität nicht hinsichtlich der Nutzungsfrequenz der Fahrzeugpools und nicht in der Nutzung bzw. Nicht-Nutzung von Elektrofahrzeugen. NutzerInnen der Pool-Elektrofahrzeuge sind nicht technikaffiner als die NichtnutzerInnen.

## 8.7 Bewertung der CarConnectBox

Teil der Befragung war sowohl die Bewertung einzelner Elemente der CCB durch die befragten e-up!-NutzerInnen als auch einer allgemeinen Einstellung gegenüber der CCB.



**Abbildung 8.15:** Bewertung Eigenschaften der CCB Teil 1, N = 91-93

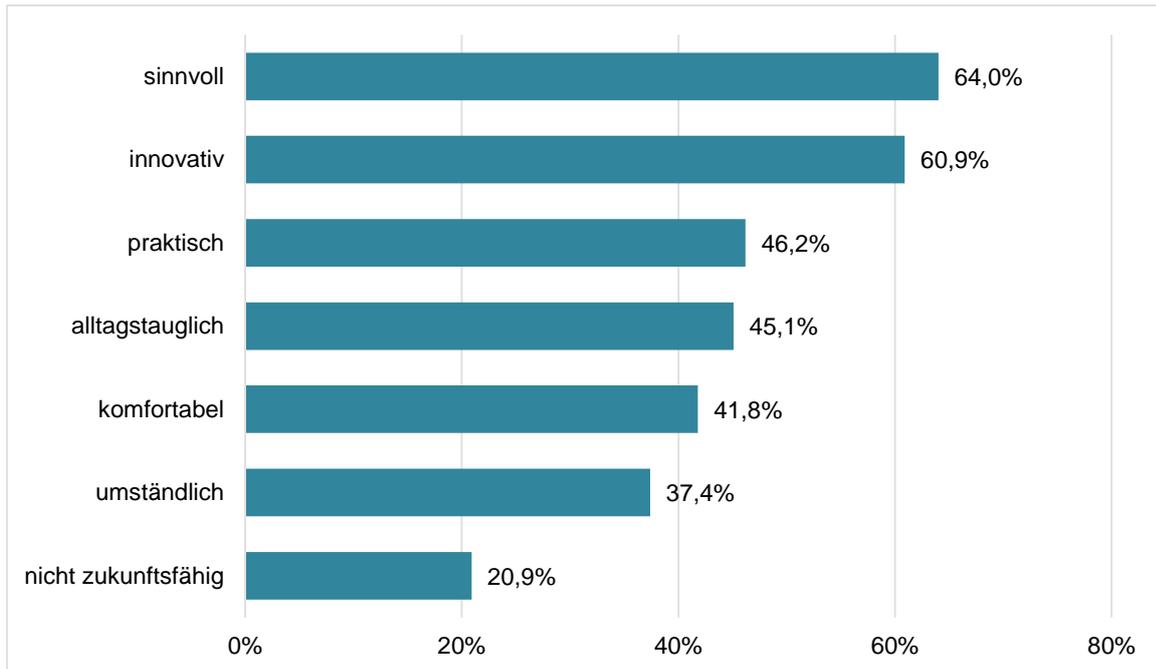


**Abbildung 8.16:** Bewertung Eigenschaften der CCB Teil 2, N = 84-89

Bei den befragten PoolnutzerInnen zeigt sich eine starke mittlere Tendenz hinsichtlich sämtlicher abgefragter Aspekte der CCB (vgl. **Abbildung 8.15** und **Abbildung 8.16**). In allen Fällen ist der mittlere Skalenpunkt ‚neutral‘ mit Abstand am häufigsten repräsentiert. Eine Interpretation dieses Ergebnisses verweist entweder darauf, dass die Befragten die Fragestellung als unerheblich empfanden und daher statt einer Wertung eher *keine* Wertung abgegeben haben. Oder die Befragten haben nicht genügend Erfahrung mit der CCB sammeln können und sahen sich nicht in der Lage, diese anders als neutral zu bewerten.

Die befragten PoolnutzerInnen wurden zusätzlich um eine Bewertung von sieben Eigenschaften der CCB auf einer fünfwertigen Skala gebeten. Die Extremwerte der Skala lauteten „*Stimme überhaupt nicht zu*“ und „*Stimme voll und ganz zu*“. Die sieben Items lauteten *innovativ, komfortabel, alltagstauglich, sinnvoll, praktisch*. Ergänzt waren die zwei negativen Items *umständlich* und *nicht zukunftsfähig*.<sup>53</sup> In **Abbildung 8.17** sind die prozentualen Verteilungen der beiden Antwortmöglichkeiten ‚stimme voll und ganz zu‘ und ‚stimme eher zu‘ zusammengefasst. Das Ergebnis zeigt, dass die Befragten eine recht deutliche, positive Einstellung gegenüber der CCB besitzen. Ca. zwei Drittel halten die CCB für sinnvoll und innovativ, nur ca. 21 % sind der Meinung, die CCB sei nicht zukunftsfähig. Das Handling könnte nach Meinung der Befragten noch optimiert werden: hier sind nur ca. 42-47 % der Meinung, dass es komfortabel, alltagstauglich und praktisch sei. Ca. 37 % halten die Nutzung der CCB für umständlich.

<sup>53</sup> Die Einfügung von negativ gepolten Items reduziert die Gefahr der Akquieszenz, also der Tendenz einer Zustimmung der Befragten zu jedweder Frage, vgl. [20].



**Abbildung 8.17:** Bewertung von Aspekten der CCB, N = 87-91

## 8.8 Zusammenfassung Poolbefragung

Von den 420 eingeladenen enercity-PoolnutzerInnen haben 214 die Befragung geöffnet und 165 teilgenommen. Das ergibt eine Bruttostichprobe von 51 % und eine Nettostichprobe von 39 %.

**Allgemeine Ausleihsituation und Streckenlänge:** Am häufigsten wird zu der Klasse der Kleinwagen mit konventionellem Antrieb gegriffen. Am zweithäufigsten werden die Kleinwagen mit E-Antrieb geliehen. Das Gros mit 63 % der befragten PoolnutzerInnen fällt in die Kategorie der Selten-User, leiht also einmal pro Monat oder seltener ein Fahrzeug. 11 % der Befragten können mit 3 und mehr Ausleihen pro Woche als HeavyUser klassifiziert werden. Die MediumUser mit 1 bis 2 Ausleihen pro Woche sind in der Stichprobe zu 25 % vertreten.

Die **durchschnittliche Kilometerleistung** pro Dienstfahrt beträgt ca. 45 km. Die häufigste Streckenlänge liegt zwischen 11 und 20 km. 29 % der befragten PoolnutzerInnen gaben dies an. Es zeigt sich, dass die Dienstwagen vor allem für Strecken bis 50 km ausgeliehen werden. Nur ca. 20 % der Befragten fahren mit den Dienstwagen weitere Strecken, diese können in Ausnahmefällen dann auch 300-400 km betragen. Unterteilt man die PoolnutzerInnen nach Häufigkeit der Dienstfahrzeugausleihe in die drei o. g. Gruppen, ist zu erkennen, dass die MediumUser mit ca. 25 km im Durchschnitt die kürzesten Strecken zurücklegen. Die längsten durchschnittlichen Strecken legen mit ca. 41 km pro Dienstfahrt die SeltenUser zurück. Die

HeavyUser legen mit durchschnittlichen Strecken um 36 km eine vergleichbare Streckenlänge pro Dienstfahrt zurück<sup>54</sup>.

**Elektromobilität:** Die Elektrofahrzeuge sind unter den Personen in der Stichprobe sehr beliebt: 110 der Befragten haben schon einmal VW e-up!s ausgeliehen, 62 % dieser Gruppe tut dies sogar meistens oder ausschließlich.

Die drei häufigsten Gründe für die Wahl eines Elektrofahrzeugs für eine Dienstfahrt sind das Fahrgefühl, Neugierde auf diese alternative Antriebsart und die Umweltfreundlichkeit. Der häufigste Grund gegen die Wahl eines Elektrofahrzeugs ist die mangelnde Verfügbarkeit im Pool. Eine als zu kurz empfundene Reichweite folgt zwar an zweiter Stelle der Nichtnutzungsgründe, jedoch mit einigem Abstand. Das Laden scheint bei den meisten Befragten unkritisch verlaufen zu sein, 56 % der Elektrofahrzeugnutzer haben keine Probleme erlebt.

Insgesamt haben die Befragten eine positive Einstellung zum Thema Elektromobilität. 80 % der teilnehmenden PoolnutzerInnen gaben an, eine eher positive oder sehr positive Einstellung zu haben. Wenn man die Befragten in Elektrofahrzeug-NutzerInnen und Nicht-NutzerInnen aufteilt, haben die NutzerInnen eine positivere Einstellung zum Thema Elektromobilität in Bezug auf den Arbeitgeber. Das bedeutet, dass die NutzerInnen bspw. Aussagen wie *„Durch die Nutzung von Elektrofahrzeuge übernimmt unser Unternehmen eine Vorreiterrolle“* höher bewerten. Auch wenn nach Aspekten der Nutzung von Elektromobilität im Geschäftsumfeld gefragt wird, bewerten die Befragten, die E-Autos für ihre Dienstfahrten ausleihen, Eigenschaften wie Zuverlässigkeit, Geräuscharmheit oder Umweltfreundlichkeit signifikant besser.

**CarConnectBox:** Die Elemente der CCB wie Aussehen, Nützlichkeit oder die grafische Gestaltung der Menüführung wurden grundsätzlich mit Abstand am häufigsten ‚neutral‘ bewertet. Die Fragestellung löste bei den teilnehmenden PoolnutzerInnen offenbar weder positive noch negative Gefühle aus.

Recht positiv wurden die Eigenschaften der CCB bewertet. Adjektive wie sinnvoll und innovativ wurden von ca. zwei Drittel der Befragten mit *„stimme eher zu“* oder *„stimme voll und ganz zu“* bewertet. Optimierungsbedarf herrscht beim Handling, diesbezüglich ist die Zustimmungsrates nicht ganz so hoch.

**Technikaffinität:** Die Befragten zeigen ein eher mittelmäßiges Maß an Technikaffinität: 36 % der Befragten stimmten Aussagen wie *„Es macht mir Spaß, ein elektronisches Gerät auszuprobieren“* eher und voll und ganz zu. Es gab bei der Untersuchung, ob Elektrofahrzeug-NutzerInnen sich in ihrer Technikaffinität von Nicht-NutzerInnen unterscheiden, keine Unterschiede.

---

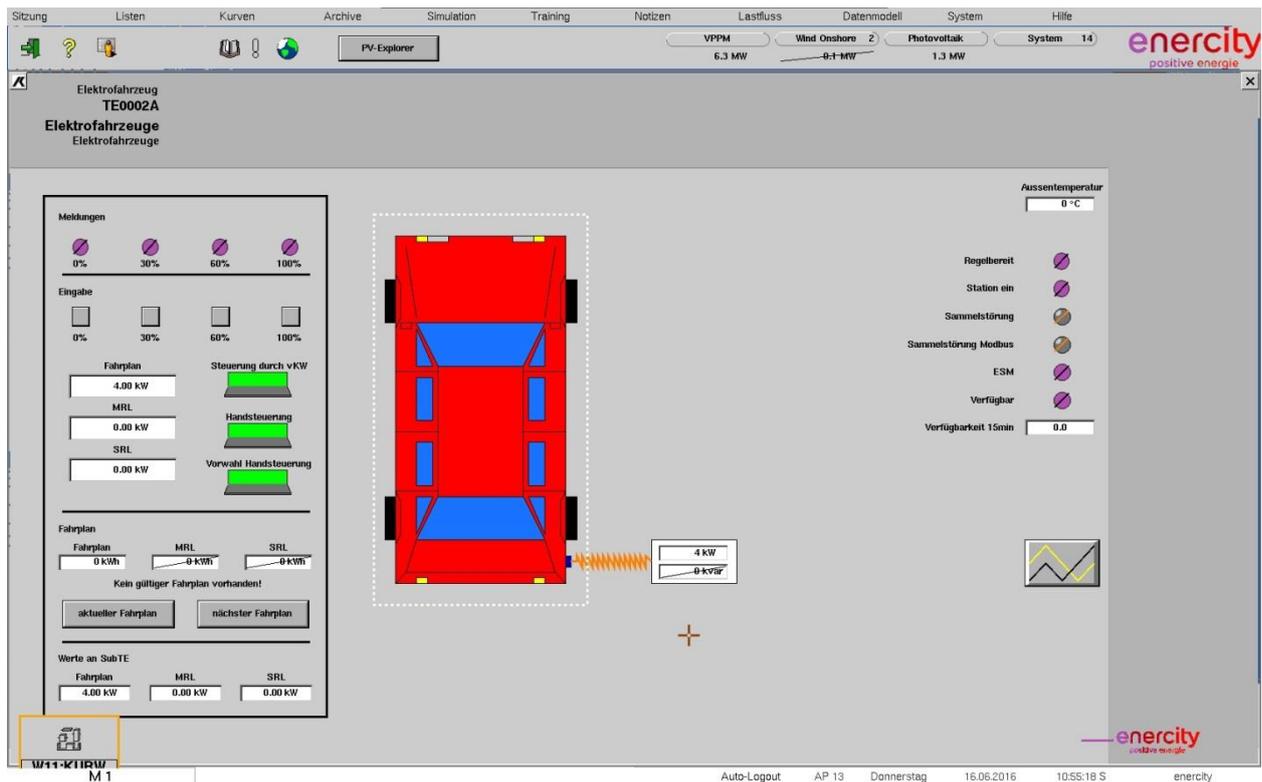
<sup>54</sup> Alle Streckenmittelwerte sind auf 95 % der Angaben bereinigt.

## 9. INTEGRATION IN VERSCHIEDENE ENERGIEMÄRKTE

### 9.1 Einbindung in ein Virtuelles Kraftwerk

eCG hat in Zusammenarbeit mit dem IfES folgendes Konzept zur Einbindung der Elektrofahrzeuge in das virtuelle Kraftwerk erstellt und umgesetzt:

- Die Elektrofahrzeuge wurden als Sub-Pool in das virtuelle Kraftwerk eingebunden. Die Einbindung dieses Pools erfolgte über eine Schnittstelle zwischen der Leitwarte am IfES und dem Leitsystem des virtuellen Kraftwerks bei enercity.
- Die Elektrofahrzeuge wurden als steuerbare Last in das virtuelle Kraftwerk eingebunden. In der Softwareumgebung des virtuellen Kraftwerks wurde dafür eigens eine Makrokomponente entwickelt.
- Die Signalübertragung zwischen virtuellem Kraftwerk und Leitwarte im IfES erfolgt summarisch für alle angeschlossenen Elektrofahrzeuge. Der Signalsatz beinhaltet die Ist- und die Sollleistung ( $P_{Ist}$ ,  $P_{Soll}$ ), die zu erbringende Regelleistung ( $P_{MRL\ Soll}$ ,  $P_{SRL\ Soll}$ ), die Akkukapazität ( $C_{Akku}$ ) und eine Störungsmeldung (z. B. zur Meldung von Nichtverfügbarkeiten) (**Abbildung 9.1**)
- Anbindung über eine Sophos RED 10 und eine SPS:  
Sophos RED 10 (Remote Ethernet Devices): Teil des Sicherheitskonzeptes des virtuellen Kraftwerks, ermöglicht eine sichere Anbindung über eine Netzwerkverbindung  
SPS: dient als Protokollkonverter zwischen der Leitwarte des Feldversuchs und dem Leitsystem des virtuellen Kraftwerks.



**Abbildung 9.1:** Visualisierung der Elektrofahrzeuge im Leitsystem des virtuellen Kraftwerks

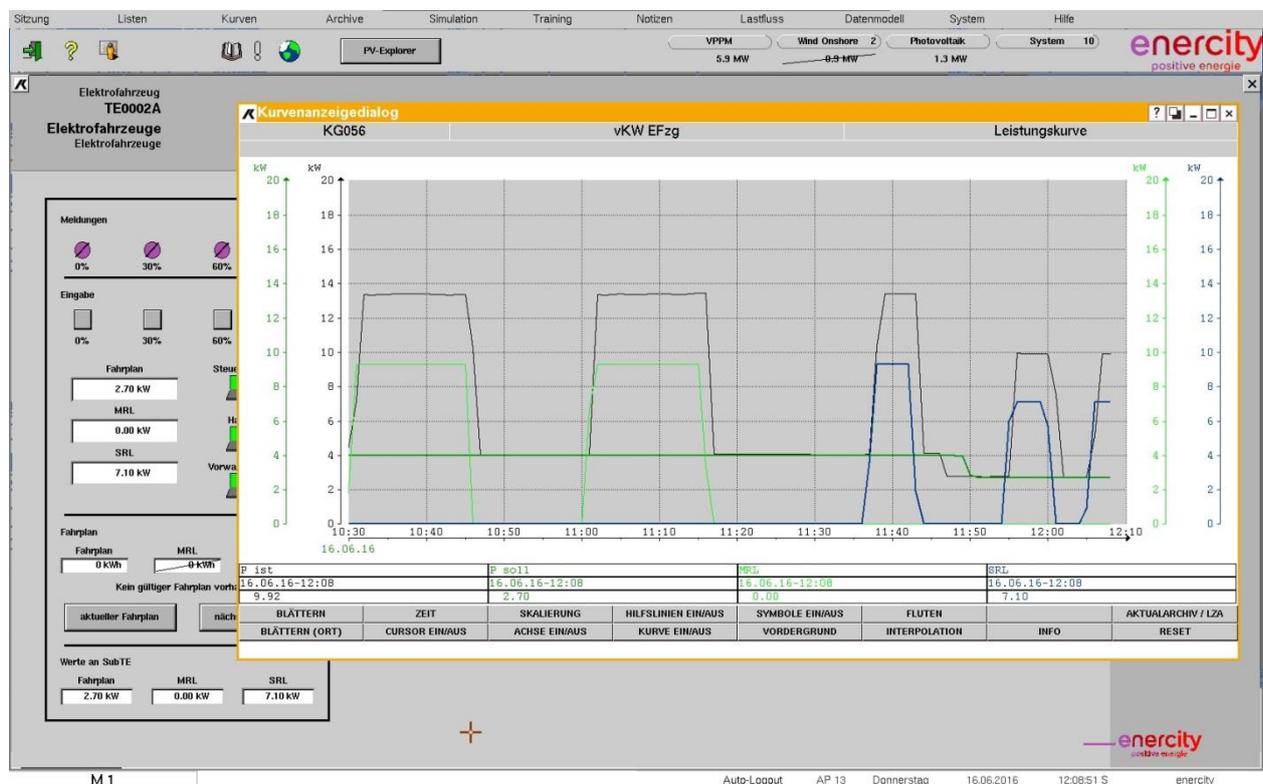
Eine tatsächliche Integration von Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt ist heute auf Grund der geltenden Präqualifizierungsvorschriften noch nicht umsetzbar. Im Rahmen des Feldversuches wurde dafür eine Simulation der Regelleistungserbringung durchgeführt.

In der Simulation wurden vom virtuellen Kraftwerk während des Ladevorgangs der Elektrofahrzeuge Vorgaben zur Erbringung von Regelleistung an die Leitwarte der Elektrofahrzeuge beim IfES gesendet. Dafür wurden geeignete Werte für die entsprechenden Signale ( $P_{MRL\ Soll}$ ,  $P_{SRL\ Soll}$ ) vorgegeben. Die Reaktion der Fahrzeuge auf die Anforderung lässt sich im Verlauf der Ist-Leistung des Ladevorgangs, der im Virtuellen Kraftwerk erfasst und aufgezeichnet wird, nachvollziehen.

Während des folgenden beispielhaft dargestellten Tests standen drei Fahrzeuge des Typs VW e-up! sowie ein Fahrzeugsimulator zur Ladung an ihren CCB bereit. Es wurde sowohl der Abruf von MRL als auch von SRL simuliert. Bei den VW e-up! ergibt sich typbedingt ein maximaler Regelleistungshub von je ca. 2,2 kW. Der Simulator kann seine Maximalleistung von ca. 2,8 kW zur Verfügung stellen. Der sich daraus ergebende mögliche Regelleistungshub von 9,3 kW wurde zunächst als positiver MRL Sollwert (hellgrüne Kennlinie) zur Viertelstundenkante an die Leitwarte der Fahrzeuge übermittelt. **Abbildung 9.2** ist ein Screenshot aus dem Leitsystem des Virtuellen Kraftwerks, welches sowohl die vorgegebenen Sollwerte als auch die Reaktion der Fahrzeuge darauf darstellt. Die Differenz zwischen Ist-Leistung (schwarze Kennlinie) und Fahrplansollwert (dunkelgrüne Kennlinie) ergibt dabei 9,3 kW und entspricht somit der Regelleistungsanforderung. Nach Ablauf der Viertelstunde wurde die Regelleistungsvorgabe wieder auf null abgesenkt, worauf der Fahrzeugpool reagiert hat.

Analog dazu wurde bei der Simulation eines SRL-Abrufs (blaue Kennlinie) verfahren. Hier wurden die Abrufe jedoch der typischen Anforderung von SRL entsprechend nicht im Viertelstundenraster, sondern beliebig über unterschiedliche Zeiträume getätigt.

Während der gezeigten SRL-Abrufe hat ein Fahrzeug den Ladevorgang beendet und stand nicht weiter für die Erbringung von Regelleistung zur Verfügung. Die mögliche Leistungssteigerung für den nächsten Abruf wurde im virtuellen Kraftwerk entsprechend angepasst und verringert. Die Differenz kann dann im Gesamtpool des Virtuellen Kraftwerks ausgeglichen werden. **Abbildung 9.2** zeigt die Reaktion der Fahrzeuge auf die Anforderungen. Zwischen dem ersten und zweiten Abruf lässt sich der Entfall eines Fahrzeugs sowohl im Fahrplansollwert als auch Regelleistungshub erkennen.

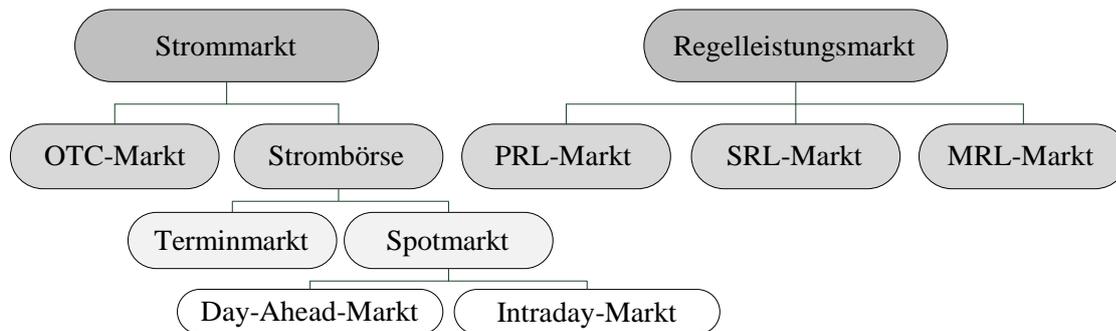


**Abbildung 9.2:** Ansicht des Abrufs von Regelleistung im Leitsystem des virtuellen Kraftwerks

Die Reaktion der Fahrzeuge auf die Regelleistungsanforderungen durch das virtuelle Kraftwerk hat gezeigt, dass die Voraussetzungen für die Erbringung von MRL und SRL hinsichtlich Geschwindigkeit und Einhaltung des Sollwertes erfüllt werden können. Durch die Möglichkeit, nicht alle Fahrzeuge gleichzeitig anzufordern oder den Ladestrom schrittweise zu verstellen, lassen sich Regelleistungsabrufe auch in variabler Höhe gestalten. Die Nutzung der Fahrzeuge im Virtuellen Kraftwerk ist dadurch flexibel, z. B. auch zur Besicherung anderer Anlagen, möglich.

## 9.2 Simulation der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt

Grundsätzlich wird in Deutschland zwischen dem Strommarkt zum Handel mit elektrischer Energie und dem Regelleistungsmarkt zur Beschaffung der für den jederzeitigen Leistungsbilanzausgleich notwendigen Regelleistung unterschieden (vgl. **Abbildung 9.3**). Für das Verständnis der im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten Marktmodelle werden im Folgenden kurz die wesentlichen Grundlagen zu den Märkten dargelegt.



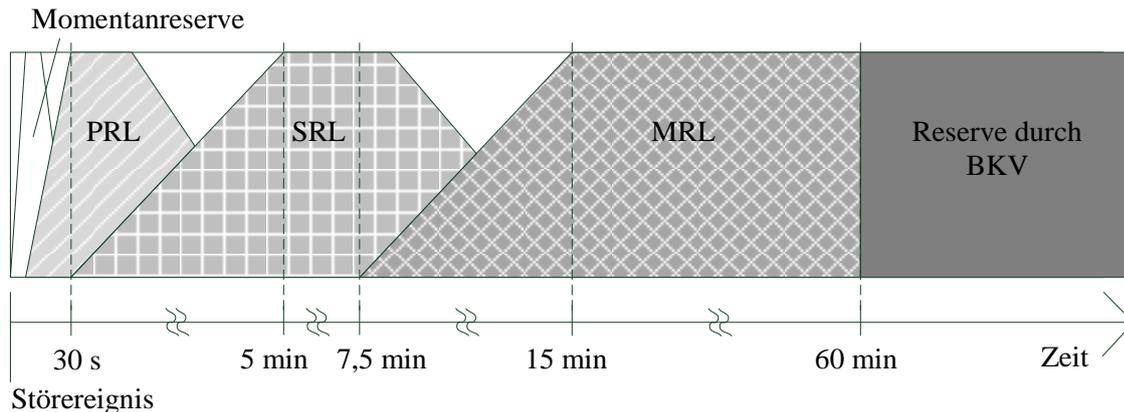
**Abbildung 9.3** Übersicht über die Märkte für elektrische Energie in Deutschland nach [21]

Die Strombörse am Strommarkt ist in den Termin- und Spotmarkt unterteilt. Am Terminmarkt können langfristige Stromlieferungen gehandelt werden, daher ist dieser für die entwickelten Marktmodelle nicht relevant und es wird auf eine Darstellung des Marktes verzichtet. Der kurzfristige Spotmarkt stellt hingegen einen für die Marktmodelle wichtigen Handelsplatz für elektrische Energie dar. Der Spotmarkt ist grundlegend in den Day-Ahead und den Intraday Markt unterteilt (vgl. **Abbildung 9.3**).

Am Day-Ahead Markt können Marktteilnehmer nach dem Prinzip des Auktionshandels täglich Kauf- oder Verkaufsgebote für Stromlieferungen auf stündlicher Basis abgeben, deren Fälligkeitszeitpunkt am Folgetag liegt. Alle abgegebenen Gebote, bestehend aus Leistung und Preis, werden aufsteigend nach den Preisen sortiert. Die Nachfrage ist nahezu preisunelastisch. Es werden so viele Gebote bezuschlagt, bis die Nachfrage gedeckt ist. Der Preis des zuletzt bezuschlagten Gebots ist dabei allgemein für alle bezuschlagten Gebote gültig [22]. Es besteht dabei die Möglichkeit des Handels von Einzelstundenkontrakten oder standardisierten Blockkontrakten (bspw. Base- oder Peakload) über mehrere Stunden.

Am Intraday Markt findet ebenfalls am Vortag der Lieferung nach Abschluss des Day-Ahead-Handels ein Auktionshandel statt, der analog zu dem am Day-Ahead Markt verläuft. Das zeitliche Grundraster ist hierbei jedoch auf viertelstündlicher Basis festgelegt. Zusätzlich besteht am Intraday Markt die Möglichkeit des kontinuierlichen Handels. Hier geben Marktteilnehmer ihr Kauf- oder Verkaufsgebot, bestehend aus Leistung und Preis, in ein offenes elektronisches Buch ein. Dies ist bis 30 Minuten vor der Stromlieferung möglich. Sofern ein Kauf- und ein Verkaufsgebot übereinstimmen erfolgt ein Geschäftsabschluss. Hierdurch ist z. B. ein Ausgleich kurzfristig auftretender Fahrplanabweichungen möglich. Gleiche Zeiträume können im Verlauf des kontinuierlichen Handels mehrfach gehandelt werden, so dass eine weitere Erlössteigerung generiert werden kann. [23]

Neben dem Spotmarkt ist der Regelleistungsmarkt für die Marktmodelle von hoher Bedeutung und wird im Folgenden vorgestellt. Es ist die Aufgabe der Übertragungsnetzbetreiber, die Leistungsbilanz in ihrer Regelzone ständig ausgeglichen zu halten, um einen stabilen Netzbetrieb zu sichern. Hierfür halten die Übertragungsnetzbetreiber die verschiedenen Regelleistungsarten Primärregelleistung (PRL), Sekundärregelleistung (SRL) und Minutenreserveleistung (MRL) vor, die sich insbesondere in der zeitlichen Aktivierung nach einem Störereignis unterscheiden (vgl. **Abbildung 9.4**). Dabei weist PRL die höchste Aktivierungsgeschwindigkeit auf. Nach 60 Minuten ist der Bilanzkreisverantwortliche (BKV) des betroffenen Bilanzkreises für den Leistungsbilanzausgleich verantwortlich.



**Abbildung 9.4** Zeitlicher Verlauf des Regelleistungsabrufs nach [24]

Der Bedarf der einzelnen Regelleistungsarten wird von den deutschen Übertragungsnetzbetreibern nach § 6 (1) Strom NZV [25] in Form eines anonymisierten Ausschreibungsverfahrens über eine gemeinsame Internetplattform beschafft. Dies stellt die Nachfrage auf dem Regelenenergiemarkt dar. Um für die ausgeschriebene Regelleistung bieten zu können, muss ein Teilnehmer vorab für die jeweilige Regelleistung das entsprechende Präqualifikationsverfahren erfolgreich abgeschlossen haben. Zugelassene Marktteilnehmer können anschließend ein Gebot, bestehend aus der Leistung, dem Leistungspreis und bei SRL und MRL zusätzlich dem Arbeitspreis und dem konkreten Produkt, abgeben. Der Leistungspreis wird für die Vorhaltung und der Arbeitspreis für den Abruf von Regelleistung vergütet.

Analog zum Vorgehen im Auktionshandel am Spotmarkt werden zunächst alle Gebote nach aufsteigendem Leistungspreis sortiert. Durch den festgelegten Bedarf ergibt sich die Nachfragekurve als vollkommen preisunelastisch. Es erhalten so viele Gebote einen Zuschlag zur Vorhaltung, bis der Bedarf der jeweiligen Regelleistungsart gedeckt ist. Der Preis des zuletzt bezuschlagten Gebots wird Grenzleistungspreis genannt, der Preis des günstigsten Gebots wird Effizienzleistungspreis genannt. Im Vergleich zum Spotmarkt wird hier jedoch jedes Gebot nach seinem individuell gebotenen Leistungspreis vergütet. Folglich ermöglicht das Gebot mit dem im Zeitpunkt der Gebotsabgabe unbekanntem Grenzleistungspreis einen maximalen Erlös. Je näher das Gebot jedoch am erwarteten Grenzleistungspreis liegt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, keinen Zuschlag zur Vorhaltung zu erhalten. Analog zu diesem Vorgehen erfolgt der Zuschlag für den Abruf von SRL und MRL für die zur Vorhaltung bereits bezuschlagten Gebote auf Basis der Arbeitspreise. [26]

Jede Regelleistungsart weist spezifische Produktmerkmale bezüglich des Ausschreibungsverfahrens und der Zeitscheiben auf. Die wesentlichen Merkmale sind in der **Tabelle 9.1** zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle 9.1:** Produktmerkmale der verschiedenen Regelleistungsarten nach [26]

Produktmerkmal	PRL	SRL	MRL
Ausschreibungszeitraum	wöchentlich	wöchentlich	täglich
Produktzeitscheiben	keine	Hoch-, Niedertarif	6x4 Stundenblöcke
Produktdifferenzierung	keine (sym.)	pos./neg. SRL	pos./neg. MRL
Mindestgebotshöhe	1 MW	5 MW	5 MW
Angebotsinkrement	1 MW	1 MW	1 MW
Vergabe für Vorhaltung	Leistungspreis	Leistungspreis	Leistungspreis
Vergabe für Abruf	-	Arbeitspreis	Arbeitspreis

Eine Einbindung von Elektrofahrzeugen in die verschiedenen Regelleistungsmärkte ist grundsätzlich zur Erreichung der Mindestgebotsgrößen nur als virtueller Zusammenschluss der Elektrofahrzeuge möglich. Darüber hinaus muss für eine tatsächliche Teilnahme an den Märkten zuvor das Präqualifikationsverfahren der jeweiligen Regelleistungsart erfolgreich abgeschlossen werden. Inwiefern dies aufgrund der gegenwärtigen Gestaltung dieser Märkte möglich ist, wird in Abschnitt 9.3.1 analysiert. Darüber hinaus wird in Abschnitt 9.4 auf die erforderlichen Anpassungen zur Vereinfachung des Zugangs zu den verschiedenen Regelleistungsmärkten eingegangen. Die Simulationen setzen sich zum Teil über bestehende Präqualifikationsanforderungen hinweg. Diesbezüglich getroffene Annahmen werden jedoch entsprechend beschrieben.

Im ersten Schritt wurde die Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Primärregelleistungsmarkt simuliert (vgl. Abschnitt 9.2.1). Dies liegt in der vergleichsweise einfacheren Marktstruktur begründet, denn bei der Nachbildung dieses Markts ist lediglich der Leistungspreis zu berücksichtigen. Neben dem Primärregelleistungsmarkt wurde die Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Minutenreserveleistungsmarkt simuliert und ist in Abschnitt 9.2.2 beschrieben.

### 9.2.1 Simulation der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für Primärregelleistung

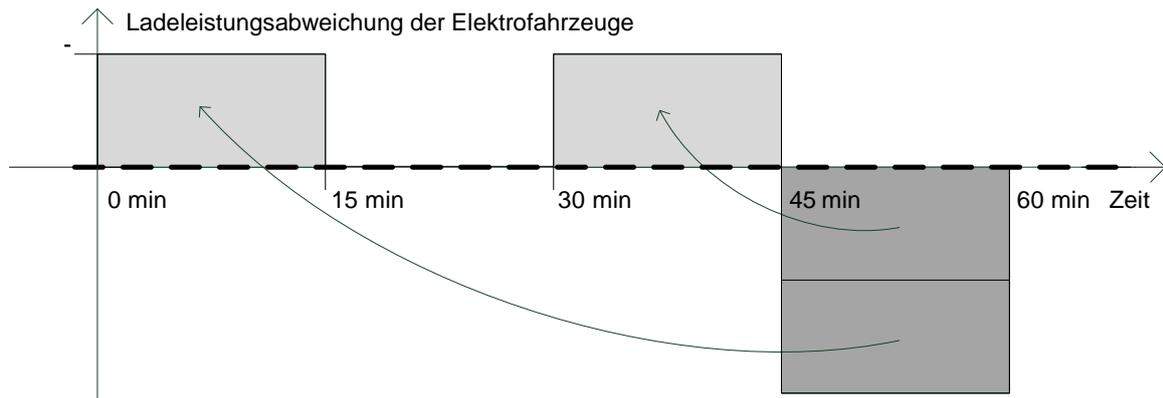
Am Primärregelleistungsmarkt ist die Gebotshöhe eine Woche lang rund um die Uhr symmetrisch, positiv sowie negativ, vorzuhalten. Die Leistung wird von dem virtuellen Zusammenschluss der Elektrofahrzeuge in der Simulation ausschließlich durch eine Beeinflussung des unidirektionalen Ladens erbracht. Für die Bestimmung der möglichen Gebotshöhe ist dies von hoher Bedeutung, denn lediglich die von den Elektrofahrzeugen verbrauchte Energiemenge steht zur Verfügung.

Negative Regelleistung wird durch das Einsetzen von Ladevorgängen erbracht. Die Erbringung von positiver Regelleistung kann durch das Aussetzen von Ladevorgängen (Verringerung der Last aus Netzsicht) erfolgen.

Zum Zeitpunkt der Simulation war aufgrund des verzögerten Starttermins des Feldversuchs die Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Feldversuch nicht möglich. Die Bestimmung der Gebotshöhe für den Primärregelleistungsmarkt wurde daher basierend auf aus der Literatur [27], [28] entnommenen Nutzungsprofilen für Elektrofahrzeuge aufgebaut. Grundlegend wurde ein Szenario mit moderater und ein Szenario mit starker Entwicklung der Anzahl zugelassener Elektrofahrzeuge definiert. Die Szenarien führen zu 225.500 Elektrofahrzeugen (moderate Entwicklung) bzw. 902.000 Elektrofahrzeugen (starke Entwicklung). Für die beiden Szenarien wurde zunächst ein durchschnittlicher täglicher Gesamtenergiebedarf bestimmt, der sich unter Berücksichtigung verschiedener Nutzungsklassen, wie z. B. Geschäftlich, Pendler oder Privat, sowie verschiedener Referenzfahrzeuge mit jeweils individuellem Verbrauch berechnet. Anschließend wurde ein viertelstundenscharfes Tageslastprofil für jedes Szenario unter Einbeziehung von Tageslastprofilen der verschiedenen Nutzungsklassen aus der Literatur [28] und dem durchschnittlichen täglichen Gesamtenergiebedarf ermittelt.

Der Ausschreibungszeitraum am Primärregelleistungsmarkt beträgt eine Woche, währenddessen die gebotene PRL durchgehend vorzuhalten ist. Zur Abschätzung der maximal durch einen definierten virtuellen Zusammenschluss von Elektrofahrzeugen innerhalb dieser Rahmenbedingungen erreichbaren Gebotshöhe wurde ein Grenzfall definiert, der die stärkste annehmbare PRL-Belastung darstellen soll, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit jedoch sehr gering ist. Der Grenzfall ist in vier Phasen à 15 Minuten unterteilt (vgl. **Abbildung 9.5**) und lehnt sich an die Anforderungen der Präqualifikationsbedingungen für PRL an [29]. In der ersten Phase ist die volle Gebotshöhe zu erbringen. Die zweite Phase stellt eine Pause dar, in der die unter Normalbetrieb herrschende Last (**Abbildung 9.5**: gestrichelte Linie) eingehalten werden muss. Die dritte Phase verläuft erneut analog zur ersten.

Um in Phase 1 und 3 die Gebotshöhe, positiv oder negativ, durch die Elektrofahrzeuge erbringen zu können, muss eine Verschiebung von Ladevorgängen stattfinden, da wie bereits beschrieben rein unidirektionales Laden analysiert wird. Für den Grenzfall wurde angenommen, dass die entsprechende Ladeenergie durch Verschiebung von Ladevorgängen aus den letzten 15 Minuten des Grenzfalls entnommen wird, da für diese und die folgenden Viertelstunden Ausgleichsgeschäfte am Intraday Markt möglich sind und somit eine Beeinflussung der ursprünglich kontrahierten Ladeleistung möglich ist. Folglich ist die mögliche Gebotshöhe davon abhängig, wie viel Prozent der Leistung aus der vierten Phase des Grenzfalls verschiebbar sind. Zur Beschreibung dieses Verschiebepotentials wurde ein Faktor  $k$  definiert, der den Anteil der verschiebbaren Ladeenergie und somit die durch die Fahrzeugbesitzer eingeräumte Flexibilität beschreibt.



**Abbildung 9.5** Ladeleistungsabweichung (durchgezogene Linie) und ursprünglich kontrahierte Ladeleistung (gestrichelte Linie) der Elektrofahrzeuge im Grenzfall für die Erbringung negativer PRL [30]

Auf Grundlage des beschriebenen Grenzfalls ergeben sich die in **Tabelle 9.2** dargestellten Ergebnisse. Die mögliche Gebotshöhe nimmt linear mit steigendem Faktor  $k$  zu. Darüber hinaus sind, wie zu erwarten, die möglichen Gebotshöhen im starken Szenario höher als im moderaten Szenario.

**Tabelle 9.2:** Mögliche Gebotshöhen in Abhängigkeit des Faktors  $k$  und des jeweiligen Szenarios [31]

Szenario	$k = 0,3$		$k = 0,2$		$k = 0,1$	
	Moderat	Stark	Moderat	Stark	Moderat	Stark
Mögliche Gebotshöhe in kW	2.059,7	8.175,4	1.373,1	5.450,2	686,55	2.725,1

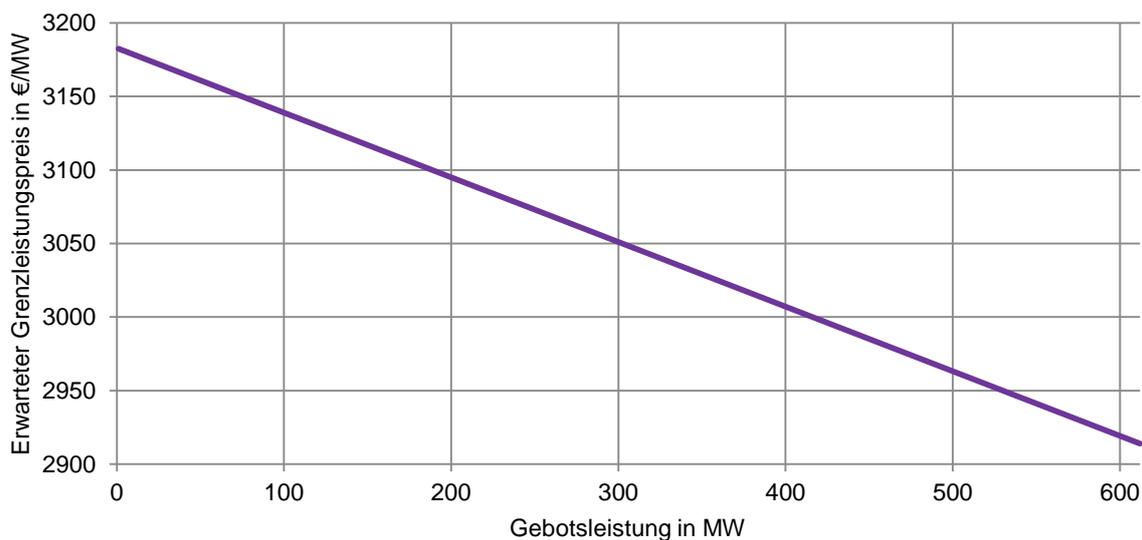
Ein Gebot am Primärregelleistungsmarkt besteht neben der ermittelten Gebotshöhe aus dem Leistungspreis. Hierbei handelt es sich um eine Entscheidung unter Risiko. Alle bezuschlagten Gebote werden mit ihrem individuellen Leistungspreis vergütet, so dass das Gebot mit dem im Zeitpunkt der Gebotsabgabe unbekanntem Grenzleistungspreis einen maximalen Erlös ermöglicht. Je höher der Leistungspreis im Gebot jedoch gesetzt wird, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, keinen Zuschlag zu erhalten. Zur Entscheidungshilfe wurde ein erwarteter Grenzleistungspreis auf Grundlage der historischen Gebotsinformationen bestimmt, der von der Gebotshöhe abhängig ist. Denn möchte ein Bieter die Mindestgebotsgröße am Primärregelleistungsmarkt bieten, muss er lediglich das Gebot mit dem Grenzleistungspreis unterbieten. Möchte er jedoch die maximal mögliche Angebotsmenge bieten, muss er das Gebot mit dem günstigsten Leistungspreis, dem Effizienzpreis, unterbieten.

Zur Bestimmung des erwarteten Grenzleistungspreises in Abhängigkeit von der Gebotshöhe wurden die im Zeitraum vom 27.06.2011 bis zum 20.01.2014 am Primärregelleistungsmarkt herrschenden Effizienz- und Grenzleistungspreise basierend auf einem Ansatz nach [32] analysiert. Hierzu war es zu Beginn erforderlich, die erstellten Häufigkeitsverteilungen der Effizienz- und Differenzpreise (Grenzleistungspreis abzüglich Effizienzpreis) durch Dichtefunktionen anzupassen. Die Effizienzpreise wurden durch eine Gauß-Mischverteilung und die Differenzpreise durch eine Erlang-Verteilung abgebildet [32].

Nach [32] berechnet sich der erwartete Grenzleistungspreis  $E(p_G)$  nach Gleichung (9.1) aus der Summe des erwarteten Effizienzleistungspreises  $E(p_E)$  und dem Produkt aus dem Faktor  $m$  und dem erwarteten Differenzleistungspreis  $E(p_D)$ . Dabei berechnet sich der Faktor  $m$  abhängig von der Gebotshöhe  $L_B$ , der maximalen Gebotshöhe  $L_{\max}$  und der Mindestgebotshöhe  $L_{\min}$ . Die maximale Gebotshöhe entspricht dem Bedarf an PRL, der zu dem untersuchten Zeitpunkt 612 MW betrug.

$$E(p_G) = E(p_E) + m \cdot E(p_D) = E(p_E) + \frac{L_{\max} - L_B}{L_{\max} - L_{\min}} \cdot E(p_D) \quad (9.1)$$

Der sich für den definierten Zeitraum ergebende erwartete Grenzleistungspreis in Abhängigkeit der Gebotsleistung ist in **Abbildung 9.6** dargestellt. Dieser wurde, wie beschrieben, auf Basis der historischen Gebotsinformationen ermittelt und berücksichtigt den Einfluss aktueller Gegebenheiten nicht. Der erwartete Grenzleistungspreis kann einem Marktteilnehmer lediglich als Entscheidungshilfe zur Abgabe seines Gebotes dienen. Der sich tatsächlich ergebende Grenzleistungspreis bleibt ex ante unbekannt. Der individuelle Leistungspreis wird daher je nach Strategie und Risikoverhalten des jeweiligen Marktteilnehmers festgelegt.



**Abbildung 9.6** Erwarteter Grenzleistungspreis in Abhängigkeit von der jeweiligen Gebotsleistung [30]

Für die ermittelten möglichen Gebotshöhen in Abhängigkeit des Faktors  $k$  und des moderaten oder starken Szenarios wurden die entsprechenden erwarteten Grenzleistungspreise bestimmt. Die Ergebnisse hierzu sind gemeinsam mit der Wirtschaftlichkeitsanalyse in Abschnitt 9.3.3 beschrieben.

## 9.2.2 Simulation der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für MRL

Das im Rahmen dieses Projektes entwickelte und im Folgenden vorgestellte Modell des Marktes für MRL benötigt zur realistischen Nachbildung einer Marktteilnahme eines Pools von CCB eine entsprechend verlässliche Parametrierung. Einige der benötigten Größen konnten aufgrund der Art und des Umfangs der Feldversuche, auf deren Basis die Parametrierung erfolgte, nur mit Hilfe von Annahmen und/oder relativ großen Unsicherheiten ermittelt werden. Dennoch

wurde ein Beispiel exemplarisch durchgerechnet, um die grundsätzliche Eignung des verfolgten Ansatzes und erkennbare Tendenzen, insbesondere in der Wirtschaftlichkeitsanalyse, aufzuzeigen (Erbringung von negativer MRL in einer Zeitscheibe (0 bis 4 Uhr)).

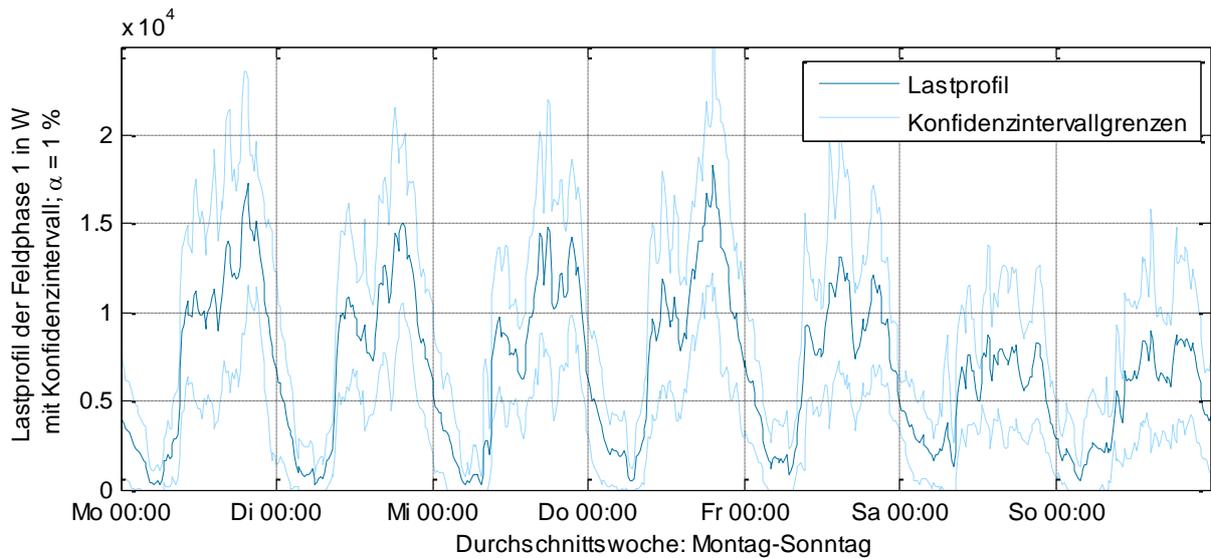
Am Minutenreserveleistungsmarkt unterteilt sich der Ausschreibungszeitraum in sechs 4-Stundenblöcke täglich (vgl. **Tabelle 9.1**). Darüber hinaus findet im Vergleich zum Primärregelleistungsmarkt eine Produktdifferenzierung nach positiver bzw. negativer Regelleistung statt. Diese wird in der Simulation der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für MRL ebenfalls nur durch eine Beeinflussung des unidirektionalen Ladens erbracht. Bei der Modellierung des Minutenreserveleistungsmarktes ist der Leistungspreis für die Vorhaltung und der Arbeitspreis für den tatsächlichen Abruf der MRL zu berücksichtigen.

Im ersten Schritt wurde analog zum Vorgehen am Primärregelleistungsmarkt die mögliche Gebotshöhe eines virtuellen Zusammenschlusses von Elektrofahrzeugen für die betrachtete Zeitscheibe bestimmt. Diese wurde basierend auf den in dem Feldversuch erhobenen Daten ermittelt. Zum Zeitpunkt der Simulation waren die Feldphasen 1 bis 3 abgeschlossen. Die einzelnen Feldphasen weisen verschiedene Lademodelle mit individuellen finanziellen Anreizen auf, die von den Projektteilnehmern gewählt wurden (vgl. Abschnitt 3.1).

Zunächst mussten fehlerhafte Messwerte in den erhobenen Daten, Unix-Zeitstempel und Wirkleistungen der einzelnen CCB durch die Anwendung von entwickelten Filtern identifiziert werden. Zudem wurden einige Filter mit der Intention entwickelt, nur Ladeleistungen durch reguläre Ladevorgänge der Elektrofahrzeuge in den Daten zu berücksichtigen. Hierzu zählen z. B. Schwellenwerte für eine minimale Ladeleistung oder Ladedauer eines Ladevorgangs. Die Aufbereitung der Daten war für eine hohe Qualität der Ergebnisse erforderlich. Die genaue Beschreibung aller angewandten Filter ist in [31] zu finden.

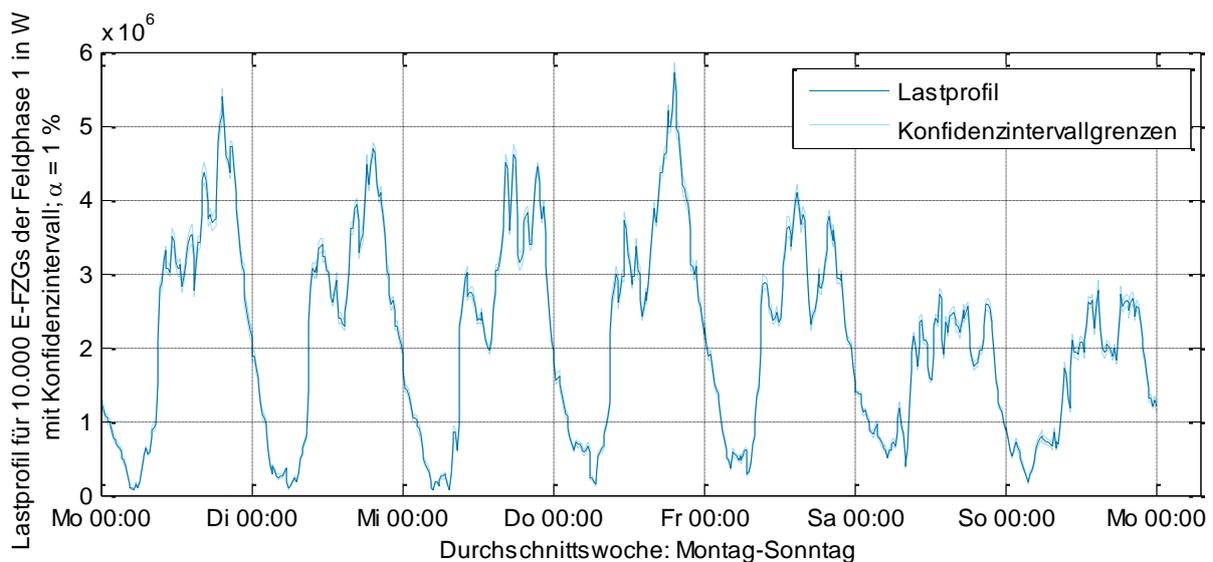
Nach Aufbereitung der Daten wurde anhand dieser für jede Feldphase 1 bis 3 ein viertelstundenscharfes Wochenlastprofil ermittelt.

Für die Untersuchung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für MRL ist es von hoher Bedeutung, die Leistung für eine bestimmte Anzahl an CCB mit einem gewissen Signifikanzniveau anbieten zu können. Hierzu wurden die im Feldversuch erhobenen und aufbereiteten Daten als Stichprobe interpretiert und statistisch ausgewertet, um durch ein Konfidenzintervall einen Bereich angeben zu können, in dem weitere Messwerte unter Berücksichtigung eines Signifikanzniveaus zu erwarten wären. Beispielhaft ist das Wochenlastprofil für 32 CCB und einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 1\%$  in **Abbildung 9.7** für die Feldphase 1 dargestellt. Aufgrund der geringen Stichprobengröße sind die Daten nur teilweise statistisch abgesichert. Hinsichtlich der Aussagekraft der auf Basis dieser Daten ermittelten Ergebnisse ist dies stets zu beachten. Eine Bewertung der gewonnenen Ergebnisse durch weitere Untersuchungen wird empfohlen.



**Abbildung 9.7** Lastprofil der Feldphase 1 mit Konfidenzintervall,  $\alpha = 1 \%$  [31]

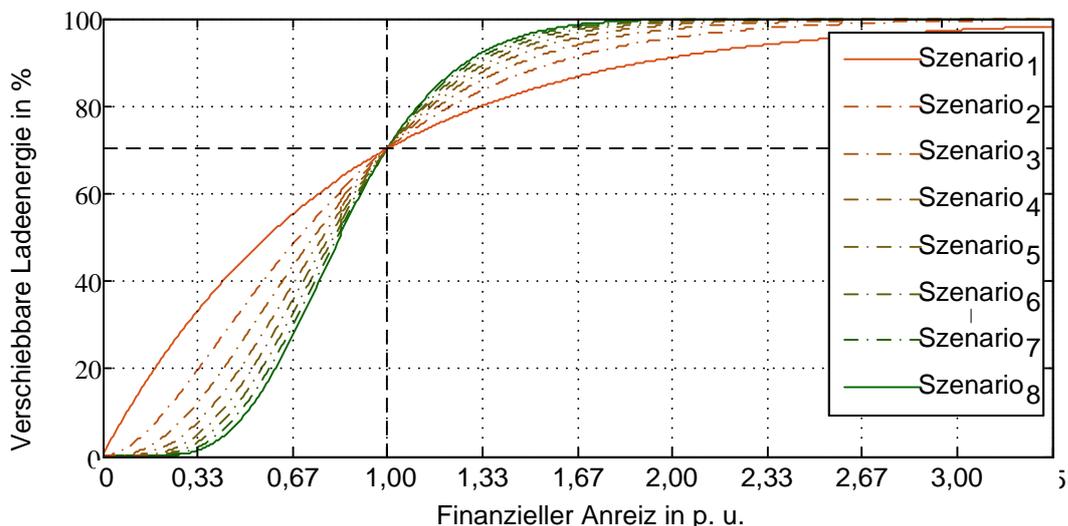
Um mit einer gesicherten Leistung am Regelenergiemarkt teilzunehmen, muss ermittelt werden, mit welcher Sicherheit die Fahrzeuge zur Verfügung stehen. Es wurde angenommen, dass die Breite des Konfidenzintervalls mit zunehmender Anzahl an CCB proportional zum Lastprofil kleiner wird. Dies wurde in der Simulation durch die Überlagerung von Verteilungsfunktionen (Faltung) erzielt [31]. Denn bei der Faltung einer normalverteilten Zufallsvariable mit sich selbst verdoppelt sich der Mittelwert, die Standardabweichung hingegen wird jedoch nur mit dem Faktor  $\sqrt{2}$  multipliziert [33]. Hieraus erfolgte somit ein Wochenlastprofil mit Konfidenzintervall für jede Feldphase abhängig von der Anzahl an CCB und dem gewählten Signifikanzniveau. **Abbildung 9.8** zeigt ein so errechnetes Lastprofil für 10.000 CCB. Durch die hohe Zahl an CCB ist das Konfidenzintervall gegenüber dem Ausgangsfall relativ klein.



**Abbildung 9.8** Errechnetes Lastprofil der Feldphase 1 für 10.000 CCB mit Konfidenzintervall,  $\alpha = 1 \%$  [31]

Am Markt für MRL kann ein Gebot für verschiedene Produktzeitscheiben (vgl. **Tabelle 9.1**) abgegeben werden. Für die Einbindung von Elektrofahrzeugen in diesen Markt wurde exemplarisch die Produktzeitscheibe von 00:00 bis 03:59 Uhr für negative MRL als Zielproduktzeitscheibe definiert. Gestützt wurde diese Entscheidung durch zwei Studien [34], [35], die nach der Analyse historischer Gebotsinformationen höhere durchschnittliche Leistungspreise für negative MRL und die beiden Produktzeitscheiben von 00:00 bis 03:50 Uhr und 04:00 bis 07:59 Uhr festgestellt haben. Zur optimalen Gebotsstellung galt es, eine Abhängigkeit zwischen der möglichen Gebotshöhe für die definierte Zielproduktzeitscheibe und dem finanziellen Anreiz herzuleiten. Durch das Lademodell smart1 wurde eine Verschiebung der Ladevorgänge in verbrauchsschwache Zeiten, wie z. B. die Nachtstunden, durch finanzielle Anreize untersucht. Daher eignete sich dieses Lademodell zum Zeitpunkt der Simulationen am besten, um die benötigten Zusammenhänge abzuleiten.

Bei Auswahl dieses Lademodells durch die Nutzer fand die Ladung des Elektrofahrzeugs nicht sofort, sondern nur in den vorgegebenen Ladezeiten von 11:00 bis 14:59 Uhr oder von 22:00 bis 05:59 Uhr statt. Für diese Nutzungseinbußen erhielt der Projektteilnehmer einen finanziellen Anreiz. Wie viel Prozent der Ladeenergie von dem Zeitraum 15:00 bis 21:59 Uhr in den Zeitraum 22:00 bis 05:59 Uhr verschiebbar ist, beeinflusst die mögliche Gebotshöhe für die Zielproduktzeitscheibe grundlegend. Durch den Vergleich der normierten Lastprofile von Feldphase 1 und 2 ergibt sich für die gewählte finanzielle Vergütung im Durchschnitt ein verschiebbarer Anteil der Ladeenergie von 70,2 %. Da keine weiteren Bezugspunkte bekannt waren, wurden die in **Abbildung 9.9** dargestellten Szenarien entwickelt, um mögliche unterschiedliche Verläufe für die Abhängigkeit der verschiebbaren Ladeenergie von dem finanziellen Anreiz darzustellen (vgl. **Abbildung 9.9**). Die Darstellung des finanziellen Anreizes erfolgt normiert, wobei 1 dem im Feldversuch tatsächlich gezahlten Anreiz entspricht.

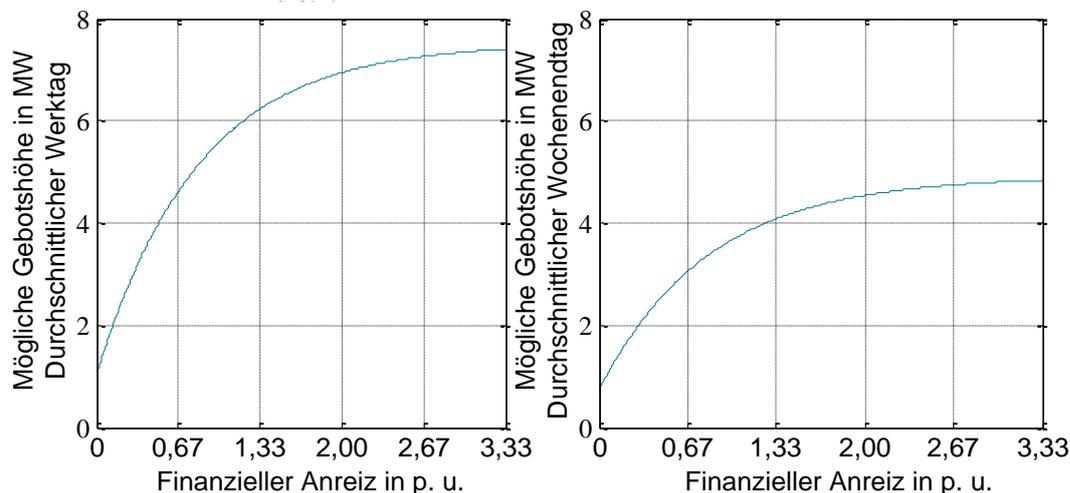


**Abbildung 9.9** Szenarien für die verschiebbare Ladeenergie in Prozent in Abhängigkeit des normierten finanziellen Anreizes [31]

Für die im Folgenden beschriebenen Simulationen und die anschließende wirtschaftliche Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Minutenreserveleistungsmarkt wurde der aus wirtschaftlicher Sicht günstigste der dargestellten Funktionsverläufe, Szenario 1 (vgl. **Ab-**

**bildung 9.9:** orange), ausgewählt. Die Auswahl stellt keine Bewertung der Wahrscheinlichkeit möglicher Funktionsverläufe dar. Für die Ermittlung des tatsächlichen Funktionsverlaufs wären weitere Untersuchungen erforderlich.

Mithilfe des in **Abbildung 9.9** dargestellten Zusammenhangs (Szenario 1) und dem sich ergebenden Lastprofil mit Konfidenzintervall in Abhängigkeit der Anzahl an CCB und des gewählten Signifikanzniveaus wurde die mögliche Gebotshöhe für den Minutenreserveleistungsmarkt für einen durchschnittlichen Werk- und Wochenendtag bestimmt (vgl. **Abbildung 9.10**). Hierzu wurde die verschiebbare Ladeenergie auf die vier Stunden des als Zielmarkt definierten MRL-Blocks verteilt, so dass eine konstante Ladeleistung entsteht. Hierzu notwendige Steuerungsalgorithmen für die Umsetzung wurden als erfolgreich implementiert angenommen. Die untere Konfidenzintervallgrenze stellt schließlich die maximal mögliche Gebotshöhe dar. Für das Modell wurde die Anzahl an CCB auf 10.000 und ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 1\%$  festgesetzt. Es ist zu erkennen, dass an einem durchschnittlichen Werktag die mögliche Gebotshöhe deutlich höher ist als an einem durchschnittlichen Wochenendtag.



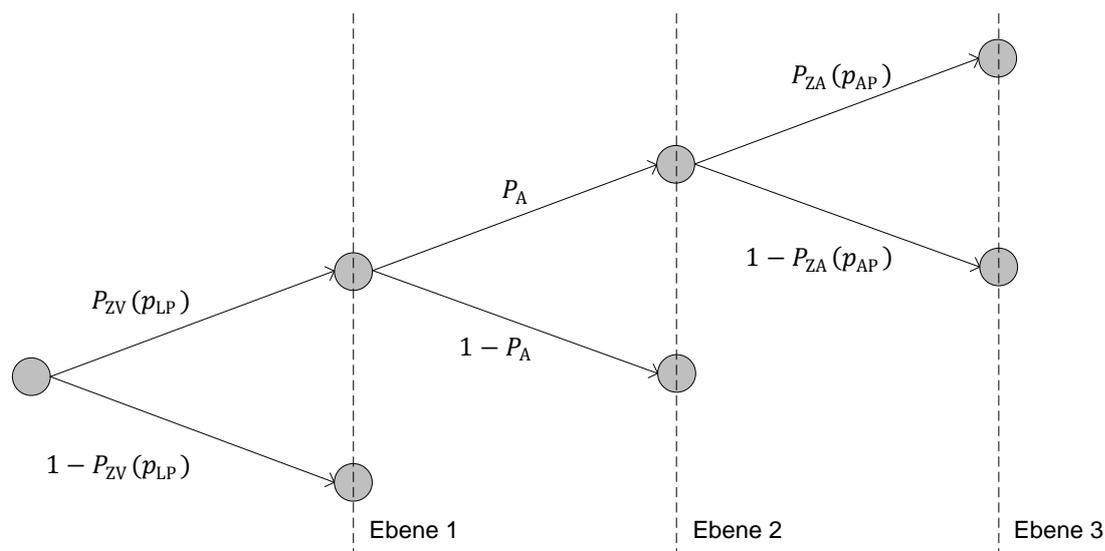
**Abbildung 9.10** Mögliche Gebotshöhe (neg. MRL Block von 00:00- 03:59 Uhr) in Anhängigkeit des normierten finanziellen Anreizes; links: durchschnittlicher Werktag, rechts: durchschnittlicher Wochenendtag [31]

Zur Modellierung des Minutenreserveleistungsmarktes wurde, wie bereits beim Markt für PRL, auf die veröffentlichten historischen Gebotsinformationen (Gebotshöhe, Grenzleistungspreis und Grenzleistungspreis) des deutschen Minutenreserveleistungsmarktes zurückgegriffen. Hierbei fand der Zeitraum vom 01.06.2014 bis zum 31.05.2015 und die Zielproduktzeitscheibe für negative MRL von 00:00 bis 03:59 Uhr Berücksichtigung. Neben den Preisen für elektrische Energie am Markt für MRL (Leistungs- und Arbeitspreis) sind für die Simulation die Strompreise am Spotmarkt, Day-Ahead und Intraday Markt, von Bedeutung. Diese wurden ebenfalls für den gleichen Zeitraum analysiert. Die Ergebnisse sind in [31] dargestellt.

Für die Abbildung der Gebotsstruktur am Minutenreserveleistungsmarkt wurde ein stochastisches Optimierungsmodell entwickelt, das auf den recherchierten, historischen Strompreisen basiert. In dem Optimierungsmodell wurden die zu erwartenden Kosten in Abhängigkeit von der

Gebotshöhe, dem Leistungspreis und dem Arbeitspreis berechnet, die es zu minimieren galt. Das Ergebnis stellt somit die auf den historischen Gebotsinformationen basierende optimale Strategie aus Gebotshöhe, Leistungs- und Arbeitspreis dar. Das Modell ist somit weniger ein Planungsinstrument als ein Hilfsmittel zur Ermittlung der besten Strategie einer retrospektiv angenommenen Marktteilnahme.

Das entwickelte Optimierungsmodell basiert grundlegend auf bedingten Wahrscheinlichkeiten für das Eintreffen verschiedener Ereignisse, die in **Abbildung 9.11** als binärer Entscheidungsbaum dargestellt sind. Die Wahrscheinlichkeiten wurden aus den historischen Gebotsinformationen ermittelt und werden im Folgenden kurz beschrieben. Zunächst wurde eine Zuschlagswahrscheinlichkeit  $P_{ZV}(p_{LP})$  zur Vorhaltung von MRL abhängig von dem Leistungspreis  $p_{LP}$  bestimmt. Die Ebene 1 beinhaltet, ob die beiden Ereignisse einen Zuschlag zur Vorhaltung der MRL zu erhalten oder nicht. Für den Fall des Zuschlags ist die Wahrscheinlichkeit  $P_A$  zu beachten, dass es überhaupt zu einem Abruf von MRL kommt. Die Ebene 2 stellt daher die Ereignisse Abruf oder kein Abruf von MRL dar. Abschließend spielt die Zuschlagswahrscheinlichkeit  $P_{ZA}(p_{AP})$  zum Abruf von MRL abhängig vom Arbeitspreis  $p_{AP}$  eine Rolle. Die Ebene 3 zeigt die Ereignisse, einen Zuschlag zum Abruf von MRL zu erhalten oder nicht, auf.



**Abbildung 9.11** Wahrscheinlichkeitsbaum zur Darstellung der bedingten Wahrscheinlichkeiten

Für die verschiedenen Ereignisse im Entscheidungsbaum wurden die einzelnen Kosten bestimmt. In der Ebene 1 z. B. ergeben sich die Kosten für den Fall, dass kein Zuschlag zur Vorhaltung der MRL erhalten wurde, durch die Ladung des Lastprofils aller Elektrofahrzeuge am Day-Ahead-Markt. Abschließend wurde jedes Ereignis entsprechend des Entscheidungsbaums bewertet, so dass sich die zu erwartenden Kosten in Abhängigkeit von der Gebotshöhe, des Leistungspreises und des Arbeitspreises ergaben. Eine detaillierte Beschreibung des Optimierungsmodells ist in [31] zu finden. Die Analyse der Wirtschaftlichkeit der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Minutenreserveleistungsmarkt wurde auf das beschriebene Optimierungsmodell gestützt und ist in Abschnitt 9.3.4 beschrieben.

## 9.3 Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt

### 9.3.1 Technische Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt

Basierend auf den technischen Möglichkeiten der CCB wurde die Teilnahme eines virtuellen Zusammenschlusses von Elektrofahrzeugen an den Märkten für Regelenergie untersucht und technisch bewertet [36]. Die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

In ihrer jetzigen Konfiguration sind die Ladestationen für die Erbringung von Primärregelleistung nicht geeignet. Die heutigen Ausschreibungsgrößen sind noch sehr unhandlich, da die Primärregelleistung immer symmetrisch angeboten und für den Zeitraum einer ganzen Woche bereitgehalten werden muss (vgl. **Tabelle 9.1**). Die Fahrzeuge besitzen im Regelfall noch nicht die hierfür sehr hilfreiche Fähigkeit, Energie in das Netz zurück zu speisen. Diese Problematik müsste daher durch die Bildung von zwei Teil-Pools umgangen werden, jedoch ist fraglich, ob die aktuellen Präqualifikationsvoraussetzungen dies zulassen. Zukünftig ist diese Möglichkeit jedoch denkbar. Zusätzlich stellt die Erbringung von Primärregelleistung hohe Anforderungen an die Reaktionsgeschwindigkeit der Anlagen. Die Erfüllung dieser ist nach der Betrachtung der Geschwindigkeiten der CCB mit ihrer jetzigen Konfiguration fraglich. Für eine Bereitstellung von Primärregelleistung spricht eine vergleichsweise geringe Mindestlosgröße der Ausschreibungen von 1 MW [29].

Für die Erbringung von Sekundärregelleistung gilt es, hohe Anforderungen hinsichtlich der Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der CCB zu erfüllen. Nach Betrachtung der Voraussetzungen der Übertragungsnetzbetreiber und der Eigenschaften der CCB gibt es mehrere Gründe, die gegen die Eignung der CCB in ihrer jetzigen Form zur Teilnahme am Markt für Sekundärregelleistung sprechen. Auf der einen Seite lassen sich die Präqualifikationsvoraussetzungen nur schwer auf die Ladestationen auslegen. So ließe sich die dauerhafte Verfügbarkeit der Leistung über den Zeitraum einer Ausschreibung nur durch stochastische Bildung eines Pools aus einer hinreichend großen Anzahl an Ladestationen realisieren. Die durch Nutzeraktionen entfallende Leistung könnte dadurch ausgeglichen werden.

Im TransmissionCode 2007 Anhang D2 [37] ist die Poolung für die Erbringung von Sekundärregelleistung jedoch nur für die Erreichung der Mindestlosgröße, nicht jedoch für das Erreichen der geforderten Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit vorgesehen. So fordert der Transmission-Code eine 95-prozentige Verfügbarkeit der Leistung im gesamten Zeitraum sowohl von den einzelnen technischen Einheiten eines Pools als auch vom Pool selbst. Außerdem sehen die Bedingungen vor, dass die Zusammensetzung eines Pools nur im viertelstündlichen Takt geändert werden darf. Auch dies schränkt die Machbarkeit der Teilnahme am Sekundärregelleistungsmarkt ein, da die Flexibilität geringer ist. Zum anderen haben die CCB besonders in Verbindung mit manchen Fahrzeugtypen noch eine zu geringe Reaktionsgeschwindigkeit auf Steuerbefehle. Bezüglich der Fahrzeuge und ihres Ladeverhaltens gibt es noch weiteren Forschungsbedarf. Es muss ermittelt werden, wie schnell die Fahrzeuge die Ladebereitschaft herstellen können und wie sie sich bei der Ladung verhalten.

Die Teilnahme am Markt für Minutenreserve scheint nach Betrachtung der Präqualifikationsvoraussetzungen [38] mit den beschriebenen CCB möglich. Zum einen sind die Anforderungen an die Geschwindigkeiten für die Umsetzung eines Sollsignals sowie die Übertragung von Messwerten wesentlich geringer und können eingehalten werden. So muss die volle Leistung erst nach 15 Minuten erbracht sein. Zum anderen sehen die Voraussetzungen ausdrücklich eine Poolung von technischen Einheiten zum Erreichen der Voraussetzungen, wie zum Beispiel der Arbeitsverfügbarkeit, vor.

### **9.3.2 Wirtschaftliche Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt**

Auf Grundlage der in Kapitel 9.2 (AP 5) beschriebenen Modelle zur Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für PRL und MRL wurde die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anbindung analysiert. Die Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt.

### **9.3.3 Wirtschaftliche Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für Primärregelleistung**

In der Modellbeschreibung in Abschnitt 9.2.1 wurde im ersten Schritt die mögliche Gebotshöhe für den Primärregelleistungsmarkt ermittelt. Diese ergibt sich in Abhängigkeit eines Faktors  $k$ , der den Anteil der verschiebbaren Ladeenergie beschreibt, und unter Annahme zweier Szenarien, eines mit moderater und eines mit starker Entwicklung der Anzahl zugelassener Elektrofahrzeuge (vgl. **Tabelle 9.2**). Darüber hinaus wurde der erwartete Grenzleistungspreis in Abhängigkeit der jeweiligen Gebotshöhe empirisch ermittelt (vgl. **Abbildung 9.6**).

Um Aussagen zur grundsätzlichen Wirtschaftlichkeit des modellierten Anwendungsfalles treffen zu können, wurde die Annahme getroffen, dass der Marktteilnehmer den Markt für PRL so gut vorhersehen kann, dass er in der Lage ist, immer exakt den für ihn gewinnmaximalen Preis, den Grenzleistungspreis, zu bieten.

Am Markt für PRL gelten eine Mindestgebotsgröße von 1 MW und ein Angebotsinkrement von 1 MW (vgl. **Tabelle 9.1**). Diese Anforderungen wurden in allen Fällen mit Ausnahme des kleinsten Faktors  $k$  im moderaten Szenario eingehalten. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen sind die ermittelten Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse in der **Tabelle 9.3** dargestellt. Die Mindestgebotsgröße lässt sich aber auch durch den Zusammenschluss von Elektrofahrzeugen mit anderen Anlagen in einem Virtuellen Kraftwerk erreichen.

**Tabelle 9.3:** Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zur Einbindung von E-FZG in den Markt für PRL [31]

Szenario	$k = 0,3$		$k = 0,2$		$k = 0,1$	
	Moderat	Stark	Moderat	Stark	Moderat	Stark
Mögl. Gebotshöhe in MW	2,0597	8,1754	1,3731	5,4502	0,6866	2,7251
Tatsächliche Gebotshöhe in MW	2	8	1	6	0,6	2
Erw. Grenzleistungspreis in €/MW	3.181,95	3.179,38	3.182,24	3.180,67	3.182,55	3.181,95
Erw. Erlöse in €/Jahr	330.923	1.322.622	165.476	826.974	99.296	330.923
Erw. Erlöse in €/E-FZG, Jahr	1,47	1,47	0,74	0,92	0,44	0,37

Die berechneten zu erwartenden Erlöse von maximal 1,47 € bis minimal 0,37 € im Jahr pro Elektrofahrzeug berücksichtigen keine Kosten. Aufgrund der geringen Erlöse wurde an dieser Stelle auf eine Gegenüberstellung mit den sich ergebenden Kosten verzichtet. Im Rahmen des dargestellten Modells wird eine Teilnahme von Elektrofahrzeugen am Primärregelleistungsmarkt als nicht wirtschaftlich sinnvoll bewertet.

### 9.3.4 Wirtschaftliche Bewertung der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für Minutenreserveleistung

Basierend auf dem in Abschnitt 9.2.2 beschriebenen Optimierungsmodell werden in diesem Abschnitt die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse vorgestellt. Diese Analyse erfolgte auf Basis der ebenfalls in Abschnitt 9.2.2 beschriebenen exemplarischen Parametrierung dieses Modells. Die Ergebnisse sind daher im Kontext der notwendigen Annahmen und der beschriebenen Unsicherheiten zu sehen.

Zum Lösen des Optimierungsmodells wurden die zu erwartenden Kosten für den Zeitraum von 15:00 bis 07:00 Uhr an einem durchschnittlichen Werk- oder Wochenendtag in Abhängigkeit der möglichen Gebotshöhe, des Leistungspreises und des Arbeitspreises unter Berücksichtigung der bedingten Wahrscheinlichkeiten (vgl. **Abbildung 9.11**) minimiert. Dabei galt weiterhin die festgelegte Anzahl an 10.000 CCB. Um verzerrende Effekte durch die Mindestgebotsgröße und das Angebotsinkrement zu vermeiden, wurden diese nicht beachtet.

Um zusätzlich eine mögliche Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit von der absoluten Höhe des finanziellen Anreizes zu ermitteln, wurde für den in Abschnitt 9.2.2 ausgewählten funktionalen Zusammenhang zwischen dem normierten finanziellen Anreiz und der Gebotshöhe unterschiedliche Höhen des finanziellen Anreizes unterstellt. Hierbei wurden zur Verdeutlichung auch Anreizhöhen gewählt, die deutlich höher als der realistische Rahmen liegen. Diese betragen 0,25 €/d, 0,75 €/d und 1,50 €/d.

In **Tabelle 9.4** bis **Tabelle 9.6** sind die unter den getroffenen Annahmen ermittelten Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle 9.4:** Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zur Einbindung von E-FZG in den Markt für MRL bei einem finanziellen Anreiz von 1 p. u. = 1,50 € [31]

	Werktag	Wochenendtag
Erw. Kosten in €	1.330,83	647,45
Erw. Kosteneinsparung in €	176,94	112,89
Mögl. Gebotshöhe in MW	1,34	0,84
Finanzieller Anreiz in €/Tag	0,06	0,03
Leistungspreis in €/MW	15,00	12,00
Arbeitspreis in €/MWh	44,00	268,00

**Tabelle 9.5:** Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zur Einbindung von E-FZG in den Markt für MRL bei einem finanziellen Anreiz von 1 p. u. = 0,75 €

	Werktag	Wochenendtag
Erw. Kosten in €	1303,12	639,98
Erw. Kosteneinsparung in €	204,65	120,36
Mögl. Gebotshöhe in MW	1,63	0,94
Finanzieller Anreiz in €/Tag	0,12	0,06
Leistungspreis in €/MW	15,00	12,00
Arbeitspreis in €/MWh	44,00	268,00

**Tabelle 9.6:** Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zur Einbindung von E-FZG in den Markt für MRL bei einem finanziellen Anreiz von 1 p. u. = 0,25 €

	Werktag	Wochenendtag
Erw. Kosten in €	1.227,35	618,62
Erw. Kosteneinsparung in €	280,42	141,72
Mögl. Gebotshöhe in MW	2,38	1,22
Finanzieller Anreiz in €/Tag	0,29	0,15
Leistungspreis in €/MW	15,00	12,00
Arbeitspreis in €/MWh	44,00	268,00

Neben den zu erwartenden Kosten wurden zusätzlich erwartete Kosteneinsparungen bestimmt, die sich im Vergleich zu den Kosten, die durch das Laden des Lastprofils der 10.000 CCB ausschließlich am Day-Ahead Markt entstehen, ergeben. Der Unterschied zwischen Werk- und Wochenendtag ist auf die geringere Ladeleistungen der Elektrofahrzeuge an den Wochenendtagen zurückzuführen.

Unter der Annahme, dass jeden Tag eine erfolgreiche Teilnahme am Markt für negative MRL in der betrachteten Zeitscheibe von 0 bis 4 Uhr stattfindet, ergeben sich jährliche Kosteneinsparungen von 5,79 € für 1 p. u. = 1,50 €, 6,58 € für 1 p. u. = 0,75 € und 8,78 € für 1 p. u. = 0,25 €. Auffällig ist, dass die deutliche Variation der Höhe des finanziellen Anreizes nur relativ

geringe Veränderungen der jährlichen Kosteneinsparungen zur Folge hat. Ausgehend von den zu erwartenden Kosteneinsparungen wurde nach dem Prinzip des Target Costing ermittelt, wie hoch der Preis einer CCB sein dürfte, um keine Verluste zu erzielen. Alle weiteren Anschaffungs- und Betriebskosten wurden vorerst vernachlässigt. Die Abschreibungsdauer einer CCB wurde mit 10 Jahren und der Zinssatz mit 10 % p. a. angenommen. Hiermit ergibt sich der maximale Preis einer CCB zu 35,55 €, 40,46 € bzw. 53,94 €. Diese Preise sind alle sehr gering und in absehbarer Zukunft voraussichtlich nicht zu erreichen [33], [39]. Daher wurde an dieser Stelle auf eine Gegenüberstellung mit den weiteren sich ergebenden Kosten verzichtet. Abschließend ist festzuhalten, dass auch die Einbindung der Elektrofahrzeuge in den Minutenreserveleistungsmarkt unter den getroffenen Annahmen, die lediglich die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des exemplarischen Falles ermöglichen, als wirtschaftlich nicht sinnvoll bewertet wird.

## 9.4 Marktregeln

Ebenso wie das elektrische Energieversorgungssystem selbst unterliegen die energiewirtschaftlichen Marktregeln in der jüngeren Vergangenheit einem hohen Veränderungsdruck. Seit der Antragstellung zu diesem Projekt wurden bereits zahlreiche energiewirtschaftliche Marktregeln verändert, bspw. durch die Novellierung des EEG im Jahr 2014, die Novellierung des KWKG im Jahr 2016, aber auch durch stetige Veränderungen des EnWG und weiterer Rechtsnormen sowie Beschlüsse der Bundesnetzagentur. Über die bereits stattgefundenen Veränderungen hinaus sind umfangreiche weitere Änderungen geplant, die u. a. Ergebnis eines breiten Konsultationsprozesses im Rahmen der Erstellung des Grünbuchs [40] und schließlich des Weißbuchs [41] „Ein Strommarkt für die Energiewende“ des BMWi (im Weiteren als Grünbuch und Weißbuch bezeichnet) sind.

In diesem Abschnitt werden, abgeleitet aus den Projektergebnissen und den im Projektverlauf gesammelten Erfahrungen der Konsortialpartner, Vorschläge zur Anpassung der energiewirtschaftlichen Marktregeln im Hinblick auf eine bessere Marktintegration von Elektrofahrzeugen dargestellt. Die Empfehlungen werden im ersten Schritt abstrakt formuliert und dienen im zweiten Schritt als Bewertungsgrundlage ausgewählter Gesetzesvorhaben oder im Weißbuch dargestellter Pläne der Bundesregierung. Die vorgenommene Bewertung aktueller Regelungen und Verfahrensstände bezieht sich auf die Situation im März 2016.

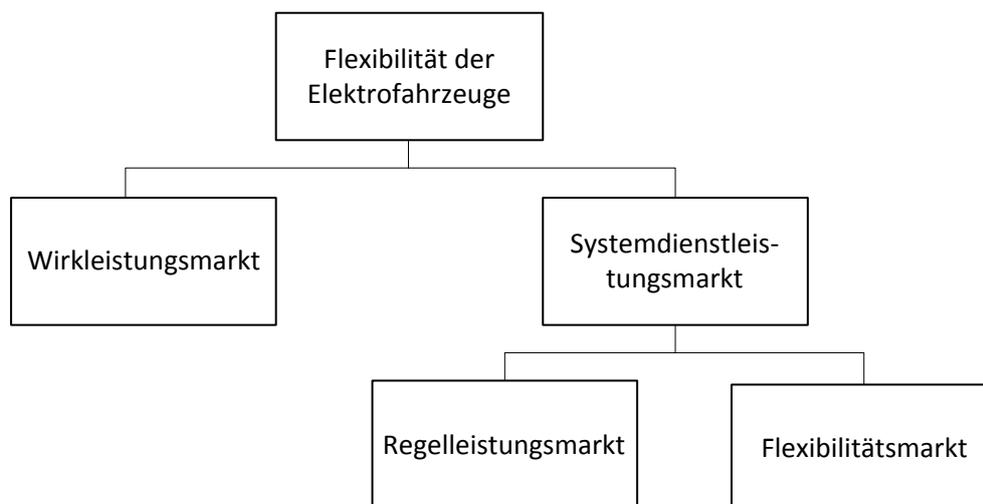
Elektrofahrzeuge treten derzeit in der Regel als zusätzliche Verbraucher im elektrischen Energieversorgungssystem auf. Da die Standzeiten deutlich größer sind als zum Wiederaufladen der Batterien notwendig wäre, kann die sich hieraus ergebende Flexibilität in Ladezeitpunkt und Ladeleistung zusätzlich in den Markt eingebracht werden. Aufgrund der vergleichsweise geringen Ladeleistung und des geringen Energiebedarfs eines einzelnen Fahrzeuges wird in diesem Abschnitt davon ausgegangen, dass eine Poolung mehrerer Elektrofahrzeuge durch im Weißbuch sogenannte Aggregatoren stattfindet.

Ebenfalls wird angenommen, dass diese Aggregatoren für eine Ausrüstung der Ladepunkte mit der erforderlichen Steuertechnik sowie einer geeigneten informationstechnischen Anbindung sorgen. Grundsätzlich ist über die Rolle als Verbraucher hinaus auch ein Einsatz der Batterien der Elektrofahrzeuge als Speicher denkbar. Obwohl dies im Rahmen des Projektes nicht aus-

fürhlich untersucht wurde, findet diese Möglichkeit in diesem Abschnitt Beachtung, da eine entsprechende Gestaltung der Marktregeln für empfehlenswert gehalten wird, um diesen Anwendungsfall nicht von vornherein zu hemmen oder auszuschließen.

Die durch Elektrofahrzeuge bereitstellbare Flexibilität kann über verschiedene Produkte in den Markt eingebracht werden. Eine Übersicht hierüber gibt **Abbildung 9.12**. Auf der einen Seite ist ein Handel am Wirkleistungsmarkt möglich, bspw. durch eine Verschiebung der Ladevorgänge in Zeiten niedriger Strompreise. Andererseits kann die Flexibilität in Systemdienstleistungsprodukten umgesetzt werden. Neben den verschiedenen Regelleistungsarten Primär- und Sekundärregelleistung sowie Minutenreserveleistung ist hierfür auch ein Einsatz auf Anforderung des Übertragungs- oder Verteilnetzbetreibers im Falle von Netzengpässen oder Spannungsgrenzwertverletzungen denkbar.

Ein marktbasierter Ansatz zum Einsatz der Flexibilität für Zwecke des Engpassmanagements oder der Spannungshaltung durch Netzbetreiber wird derzeit unter dem Begriff „Flexibilitätsmarkt“ diskutiert. Besonders hinsichtlich der im Folgenden ausgeführten Empfehlungen einer Veränderung bei den Anforderungen an die Teilnehmer von Systemdienstleistungsmärkten soll darauf hingewiesen werden, dass diese Empfehlungen ausschließlich einer verbesserten Marktintegration von Elektrofahrzeugen dienen sollen. Eine Bewertung der Auswirkungen der Veränderungen auf die Sicherheit des Netzbetriebs ist nicht Gegenstand dieses Berichtes.



**Abbildung 9.12** Vermarktungsmöglichkeiten der durch Elektrofahrzeuge bereitstellbaren Flexibilität

#### 9.4.1 Regelleistungsmarkt

Eine Vermarktung am Regelleistungsmarkt wird durch die bestehenden Marktregeln entweder stark eingeschränkt (Minutenreserveleistungsmarkt) oder gänzlich verhindert (Primär- und Sekundärregelleistungsmarkt) (vgl. Abschn. 9.3.1). Grundsätzlich gilt es, der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die durch die Elektrofahrzeuge bereitstellbare Flexibilität in ihrer Höhe stark zeitabhängig und mit zunehmendem Abstand vom Erfüllungszeitpunkt schlechter prognostizierbar ist (vgl. Kap. 5.2.1). Darüber hinaus haben die einzelnen Fahrzeuge im Vergleich zu den ursprünglichen Marktteilnehmern, im Wesentlichen Großkraftwerke bzw. deren Betreiber, eine

sehr geringe Leistung, so dass eine Präqualifizierung jedes einzelnen Fahrzeugs vergleichsweise sehr aufwendig ist. Hieraus leitet sich die Empfehlung ab, die Produktzeitscheiben zu verkürzen, den zeitlichen Abstand zwischen Erfüllungszeitpunkt und Vergabezeitpunkt des Produktes zu verringern sowie ein vereinfachtes Präqualifikationsverfahren für Klein(st)anlagen zu implementieren. Dies könnte bspw. durch ein Präqualifikationsverfahren für Betreiber von Anbieterpools, ggf. in Verbindung mit einer „Typ-Präqualifikation“ von Elektrofahrzeugen eines bestimmten Herstellers bzw. Modells oder am Markt verfügbaren Steuereinheiten/CCB, erreicht werden.

Eine Überarbeitung der Marktregeln am Regelleistungsmarkt mit dem Ziel einer Öffnung für neue Anbieter ist im Weißbuch vorgesehen. Für Sekundärregel- und Minutenreserveleistung wurde im November 2015 durch die Bundesnetzagentur ein Festlegungsverfahren zur Weiterentwicklung der Ausschreibungsbedingungen und Veröffentlichungspflichten für Sekundärregelung und für Minutenreserve eröffnet [42]. Für Primärregelung wurde bisher noch kein Verfahren eröffnet. Konkrete Anpassungsvorschläge für Marktregeln in Bezug auf Regelleistung werden im Weißbuch nur für Sekundär- und Minutenreserveleistung gemacht. Eine konkrete Adressierung der Primärregelung erfolgt nicht. [41]

Im Wesentlichen enthält das im Rahmen des Festlegungsverfahrens für Sekundärregelung und Minutenreserveleistung veröffentlichte Eckpunktepapier folgende für eine verbesserte Integration von Elektrofahrzeugen in den Regelleistungsmarkt relevante Änderungsvorschläge [42]:

#### Sekundärregelung

- Kalendertägliche Ausschreibung der Sekundärregelung und Dynamisierung der Bedarfe
- Verkürzung der Produktzeitscheiben auf täglich sechs Zeitscheiben von jeweils 4 Stunden
- Verringerung der Mindestgebotsgröße für Betreiber kleiner Anlagen oder Pools auf 1 MW innerhalb einer Regelzone. Dafür Abschaffung der Möglichkeit einer regelzonenübergreifenden Poolung zur Erreichung der Mindestgebotshöhe.
- Verringerte Anforderungen an die informationstechnische Verbindung
- Einheitspreisverfahren für Sekundärregelarbeit

#### Minutenreserveleistung

- Kalendertägliche Ausschreibung der Minutenreserveleistung und Dynamisierung der Bedarfe
- Keine Verkürzung der Produktzeitscheiben
- Verringerung der Mindestgebotsgröße für Betreiber kleiner Anlagen oder Pools auf 1 MW innerhalb einer Regelzone. Dafür Abschaffung der Möglichkeit einer regelzonenübergreifenden Poolung zur Erreichung der Mindestgebotshöhe.
- Einführung eines Marktes für Minutenreservearbeit mit Zeitscheiben von 15 Minuten und einem Schließen der Ausschreibung 25 Minuten vor dem Erbringungszeitraum. Dort auch Teilnahme von bezuschlagten Anbietern von Minutenreserveleistung möglich.
- Einheitspreisverfahren für Minutenreservearbeit

Das Eckpunktepapier stellt keinen Beschluss der Bundesnetzagentur dar, sondern dient vielmehr als Grundlage für einen Konsultationsprozess, in dessen Verlauf sich einzelne Inhalte noch verändern können. Dennoch werden die einzelnen vorgeschlagenen Maßnahmen bewertet, da diese einerseits den aktuellen Stand der Diskussion darstellen und andererseits viele der Maßnahmen aus dem Weißbuch stammen.

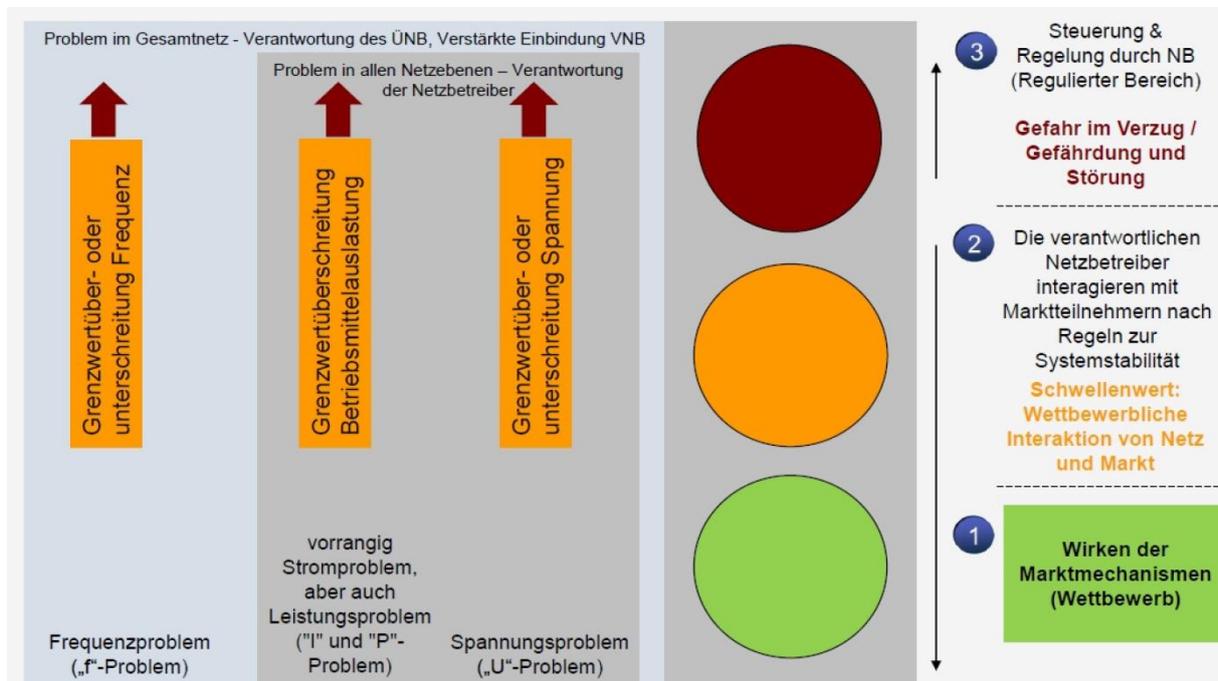
Die dargestellten Maßnahmen zur Anpassung der Marktregeln für Sekundärregel- und Minutenreserveleistung sind – mit Ausnahme der Einführung des Einheitspreisverfahrens für Sekundärregelarbeit und Minutenreservearbeit – richtungsgleich mit den aus den Projekterkenntnissen abgeleiteten Anforderungen. Eine weitere Verkürzung der Produktzeitscheiben auf den Märkten für Sekundärregel- und Minutenreserveleistung würde jedoch grundsätzlich die Integration der Elektrofahrzeuge in die genannten Märkte weiter fördern. Die Einrichtung eines Marktes von Minutenreservearbeit wird als vielversprechend bewertet, insbesondere aufgrund des sehr kurzen Abstands zwischen Ausschreibungsende und Erbringungszeitraum sowie der kurzen Produktzeitscheiben. Eine Bewertung der Einführung des Einheitspreisverfahrens für Sekundärregelarbeit und Minutenreservearbeit ist aus Projektsicht nicht möglich, da diese Thematik von keiner der Forschungsfragen adressiert wurde.

Hinsichtlich des identifizierten Anpassungsbedarfs bei den Präqualifikationsbedingungen ist noch deutlicher Handlungsbedarf vorhanden. So gibt es derzeit bspw. für Primärregelleistung die Forderung des Nachweises der technischen Realisierbarkeit der Regelleistungserbringung für jede technische Einheit [29] oder für Sekundärregelleistung die Forderung des Nachweises eines nicht betroffen seins von netztechnischen Restriktionen für jede einzelne technische Einheit [37]. Da diese Nachweise, ebenso wie weitere Präqualifikationsanforderungen für Einheiten der Größe eines Elektrofahrzeugs zumindest sehr aufwendig zu führen sind, wird ein vereinfachtes Präqualifikationsverfahren für Pools von Kleinanlagen empfohlen. Dieses Ziel könnte bspw. erreicht werden, indem der Pool als technische Einheit aufgefasst wird. Darüber hinaus könnte eine Senkung der Anforderungen an Zeit- und Arbeitsverfügbarkeit der Anbieter sinnvoll sein. Zur Erreichung einer aus Sicht der Übertragungsnetzbetreiber unveränderten Zeit- und Arbeitsverfügbarkeit der insgesamt benötigten Regelleistung könnte im Gegenzug im hierfür benötigten Maß die Ausschreibungsmenge erhöht werden.

#### **9.4.2 Flexibilitätsmarkt**

Der derzeitige gesetzliche und regulatorische Rahmen unterscheidet für den Netzbetrieb zwei Zustände. Ist der Netzbetrieb durch die am Markt ermittelte Last- und Erzeugungskonfiguration nicht gefährdet oder gestört, so haben die Netzbetreiber keine Einflussmöglichkeit auf das Marktergebnis. Liegt hingegen eine Gefährdung oder Störung des Netzbetriebs vor, stehen dem betroffenen Netzbetreiber umfangreiche Eingriffsrechte zu (bspw. § 13 und § 14 EnWG). Zwar sind diese Eingriffsrechte in mehrere aufeinanderfolgende Eskalationsstufen aufgeteilt und unterliegen grundsätzlich dem Wirtschaftlichkeitsgebot und in den ersten Eskalationsstufen auch einer Entschädigungspflicht, ihnen allen gemeinsam ist aber ein unidirektionales Direktionsrecht der Netzbetreiber. Ein marktbasierter Lösungsansatz für gefährdete oder gestörte Netzzustände böte weitere Produkte zur Vermarktung der durch Elektrofahrzeuge bereitstellbaren Flexibilität.

Diesen Gedanken greift die BDEW-Roadmap Smart Grids in Deutschland mit dem Vorschlag eines Ampelkonzepts auf [43]. Es schlägt die prioritäre Nutzung von Marktmechanismen zur Sicherung der System- und Netzstabilität vor. Das Konzept des BDEW ist in **Abbildung 9.13** dargestellt.



**Abbildung 9.13** Ampelkonzept aus der Roadmap Smart Grids des BDEW

Zwischen den oben dargestellten Zuständen ungefährdeter und ungestörter Netzbetrieb („grün“) und gefährdeter oder gestörter Netzbetrieb („rot“) wird ein dritter Zustand („gelb“) eingeführt. Innerhalb dieses Zustandes versucht der betroffene Netzbetreiber, eine vorliegende Gefährdung oder Störung marktbasierend durch Ausschreibung geeigneter Produkte zu lösen. Erst wenn dies nicht gelingt oder „Gefahr im Verzug“ ist, findet ein Übergang in die rote Ampelphase mit den bewährten umfangreichen Eingriffsrechten der Netzbetreiber statt. Da Elektrofahrzeuge in aller Regel in den Verteilnetzen angeschlossen sind, wäre in diesem Konzept der Verteilnetzbetreiber der Vertragspartner für die ausgeschriebenen Produkte. Dieser kann die in seinem Netzgebiet verfügbare Flexibilität jedoch auf dem beschriebenen Weg mittelbar den Übertragungsnetzbetreibern zur Verfügung stellen.

Insbesondere Produkte zur Vermeidung oder Beseitigung von Netzengpässen oder durch Wirkleistungsverlagerung wesentlich beeinflussbaren Spannungsbandverletzungen sind aus Sicht des Projektkonsortiums für Elektrofahrzeuge geeignet. Der Vorschlag des BDEW zur Schaffung eines Flexibilitätsmarktes wird daher als weitere Vermarktungsmöglichkeit für die durch Elektrofahrzeuge bereitstellbare Flexibilität positiv bewertet.

### 9.4.3 Wirkleistungsmarkt

Die Preise am Wirkleistungsmarkt schwanken abhängig von Angebot und Nachfrage. Flexibilität in Ladeleistung und Ladezeitpunkt kann dazu genutzt werden, verstärkt zu Zeiten günstiger Preise Strom zu kaufen und ggf. sogar zu Zeiten hoher Preise zu verkaufen. Eine Vergrößerung

der Preisdynamik ist somit aus Sicht einer Marktintegration der durch Elektrofahrzeuge bereitstellbaren Flexibilität zu begrüßen.

Das Weißbuch sieht mehrere Maßnahmen vor, die direkt oder indirekt eine Erhöhung der Preisdynamik bewirken sollen [41]. Da hohe Preise das natürliche Knappheitssignal funktionierender Märkte darstellen, ist die Garantie einer freien Preisbildung am Strommarkt ein erklärtes Ziel des im Weißbuch skizzierten zukünftigen Strommarktes. Richtige Preissignale sollen unter anderem durch eine Vergrößerung der Bilanzkreistreue und eine viertelstündliche Abrechnung der Bilanzkreise befördert werden. Außerdem soll eine Flexibilisierung der staatlich veranlassenen Preisbestandteile und der Netzentgelte weitere Preisanreize für eine Flexibilisierung des Verbrauchs setzen. Zusätzliche Knappheitssignale entstehen zudem durch die Einbringung der neu zu schaffenden Kapazitätsreserve in den Markt. Die gesetzgeberische Umsetzung der dargelegten Maßnahmen ist noch nicht erfolgt. Hierzu liegt der Referentenentwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz) vor [44]. Eine Analyse, ob der Entwurf alle dargestellten Maßnahmen in geeigneter Weise umsetzt, erfolgt an dieser Stelle nicht. Die Eignung der Maßnahmen hinsichtlich einer verbesserten Marktintegration der durch Elektrofahrzeuge bereitstellbaren Flexibilität wird hingegen bejaht.

Hinsichtlich der tatsächlichen Nutzbarkeit der Flexibilität sind aus Sicht des Konsortiums weitere Faktoren zu beachten. Die Abrechenbarkeit und die Einbringung der Flexibilität in die Bilanzkreise der Aggregatoren muss ermöglicht werden. Die derzeit üblicherweise verwendete Messtechnik für Privathaushalte und kleinere gewerbliche Verbraucher lässt eine nutzbare Erfassung des viertelstündlichen Verbrauchs nicht zu. Der hierfür notwendige Austausch der Zähler gegen elektronische Zähler mit Datenschnittstellen zur Fernauslesung (sog. Smart Meter) wird derzeit ebenfalls gesetzgeberisch vorbereitet. Das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende sieht ebendiesen Austausch für Verbraucher mit einem jährlichen Energieverbrauch größer 6.000 kWh vor und wurde bereits in den Bundestag eingebracht [45]. Dieser Energieverbrauch sollte nach Einschätzung des Konsortiums von vielen, jedoch nicht allen Verbrauchern mit einem Elektrofahrzeug erreicht werden.

Neben der notwendigen Messtechnik ist jedoch auch ein geeigneter Abrechnungsmodus für die Bilanzkreise von Aggregatoren notwendig. Die derzeit verwendeten Methoden einer Abrechnung nach Standardlastprofilen des BDEW oder nach analytischen Restkurven lässt die notwendige Erfassung von eingebrachter Lastflexibilität zugunsten des Bilanzkreises eines Aggregators im Allgemeinen noch nicht zu. Schließlich ist bei einer aktiven Nutzung des Speichers eines Elektrofahrzeugs durch Einspeisung in das Netz zu beachten, dass es einer klaren Differenzierung zwischen den Fällen Elektrofahrzeug als Stromverbraucher und Elektrofahrzeug, das lediglich eine zuvor ausgespeicherte Energiemenge wieder einspeichert, bedarf, sobald eine Befreiung des zweiten Betriebsfalls von gesetzlichen Umlagen und Netznutzungsentgelten vom Gesetzgeber gewünscht sein sollte.

## 10. KONZEPTION VON MASSENTAUGLICHEN STROMPRODUKTEN

Bei der Konzeption von Geschäftsmodellen für Elektrofahrzeuge spielt das regulatorische Umfeld eine wichtige Rolle. Im Bereich von Standardlastprofil (SLP)-Kunden ist derzeit die individuelle Bilanzierung der Kunden noch nicht möglich. Aktuell können daher nur Geschäftsmodelle eingeführt werden, die keine individuelle Bilanzierung jedes einzelnen Kunden voraussetzen. Erst wenn die Marktregeln so angepasst werden, dass auch Haushaltskunden und kleine Gewerbetunden, ggf. im Zusammenhang mit der Installation von smart Metern, einzeln bilanziert werden können, kann die ganze Bandbreite von Geschäftsmodellen mit intelligentem Laden realisiert werden.

Die erfolgreiche Einführung massentauglicher Stromprodukte für die Elektromobilität kann durch ein Umfeld fördernder Rahmenbedingungen günstig beeinflusst werden. Hierzu gehören z. B. kostenlose öffentliche Parkplätze oder ein dichtes Netz von Ladesäulen. Begleitend zur Einführung von Geschäftsmodellen kann daher auch die Zusammenarbeit mit den Kommunen sinnvoll sein.

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass die Kunden einen Stromtarif mit eindeutigem Bezug zur Nutzung erneuerbarer Energie bevorzugen, welcher dennoch in seiner Struktur möglichst einfach sein sollte. Der Wunsch nach dem eindeutigen Bezug zur Nutzung erneuerbarer Energien wird erst nach Anpassung der Marktregeln massentauglich umsetzbar sein.

### Geschäftsmodelle für den aktuellen regulatorischen Rahmen

Auch im heutigen regulatorischen Rahmen sind spezielle für Elektrofahrzeuge ausgerichtete Stromtarife, mit welchen auch Kosteneinsparungen erreicht werden können, realisierbar:

- über eine Verlagerung des Ladevorgangs in aus EVU Sicht „günstige Zeiten“ (z. B. 22:00 Uhr bis 05:00 Uhr) können Kostenvorteile realisiert werden. Die Umsetzung kann durch ein spezifisches mit dem VNB zu verhandelndes Standardlastprofil für Elektrofahrzeuge unter Verwendung eines Zweitarifzählers erfolgen. Die Motivation für den Kunden, sein Elektrofahrzeug in der sogenannten Schwachlastzeit zu laden, wird über einen günstigen Strompreis realisiert. Finanziert wird der Preisvorteil für den Kunden über Kosteneinsparungen über den Stromeinkauf zu günstigen Zeiten, Einsparungen bei den Netznutzungsentgelten und sonstigen Abgaben. Gegenüber dem Kunden kann mit zwei Tarifen oder über einen im Durchschnitt attraktiven Strompreis abgerechnet werden.
- weiterhin bietet das EnWG bereits heute mit dem §14a „Steuerung von unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen in Niederspannung“ die Möglichkeit, günstige Tarife für Verbraucher (z. B. Elektromobilität) anzubieten. Bedingung: Der Verbraucher muss vom VNB abgeschaltet werden können. Dies ist bei EVUs bereits seit Jahrzehnten gängige Praxis, z. B. bei Nachtspeicherheizungen, und kann mit bestehender Technik z. B. Tonfrequenz-Rundsteuerungstechnik realisiert werden.

## **Zukünftige Geschäftsmodelle für einen geänderten regulatorischen Rahmen**

Sobald die regulatorischen Hürden fallen, wird es möglich, intelligente massentaugliche Stromprodukte für die Elektromobilität zu vermarkten. In erster Linie betrifft dies die Möglichkeit der individuellen Bilanzierung von Haushaltskunden und die Vereinfachung der Präqualifikationsanforderungen zur Teilnahme am Regelenergiemarkt. Dem bidirektionalen Laden hingegen stehen keine technischen und regulatorischen Hürden entgegen. Allein die Autohersteller sperren sich zurzeit noch gegen das bidirektionale Laden.

### **Anforderungen an zukünftige Geschäftsmodelle**

Zukünftige flexible Geschäftsmodelle können sowohl mit als auch ohne Rückspeisung gestaltet werden, so dass auch ohne eine technologische Änderung bei den Fahrzeugen selbst Lademodelle wie z. B. in diesem Vorhaben realisiert werden können.

Die Bedienung einer intelligenten Ladebox sollte möglichst einfach gestaltet werden. In diesem Zusammenhang ist eine Reduktion der Komplexität eines Geschäftsmodells gegen komplizierte Bedienanforderungen abzuwägen. Dies gilt insbesondere für die Bedienung an der Ladebox selber. Für grundsätzliche oder anspruchsvollere Eingaben (z. B. wochentagspezifische Ladezeiten) sollte in jedem Fall die Eingabemöglichkeit über eine App oder das Internet vorgesehen werden.

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass das Testprodukt *smart2* die Bedürfnisse der Nutzer sehr gut abgebildet hat. In diesem Geschäftsmodell kann der Kunde garantiert jede Nacht eine festgelegte Anzahl von Stunden laden und darüber hinaus dann, wenn eine hohe Stromproduktion aus erneuerbaren Energien zur Verfügung steht. Dieses Testprodukt kann daher als Vorbild für ein massentaugliches, einfach strukturiertes Stromprodukt herangezogen werden. Vom Anbieter erfordert es eine tägliche Prognose der Erzeugung erneuerbarer Energien bzw. der Residuallast und deren Umsetzung in Form von Information an die Kunden sowie die Steuerung der Ladeboxen.

Ob dem Kunden ein täglicher Bonus angeboten wird oder ein grundsätzlich reduzierter Strompreis, muss im Kontext einfache Abwicklung vs. Risiko für den Anbieter abgewogen werden. Darüber hinaus ist abzuwägen, ob der Ladevorgang ohne eine Aktion des Nutzers ein Programm mit gesteuertem Laden anwählt oder das Fahrzeug sofort geladen wird. Um das Risiko des Anbieters zu verringern, dass Kunden zu selten am gesteuerten Laden teilnehmen, könnte hier eine Voreinstellung zum gesteuerten Laden favorisiert werden.

Für ein Geschäftsmodell wie *smart3*, das weitere Flexibilitäten der Kunden und ggf. auch die Rückspeisung von Strom aus dem Elektrofahrzeug ins Netz und vorher festzulegende Teilladungen der Fahrzeugbatterie beinhaltet, existiert augenscheinlich ebenfalls eine Zielgruppe. In dieser Gruppe liegt neben dem ausgeprägten Wunsch, sich umweltbewusst zu verhalten, eine geringere Anforderung an Flexibilität und Spontanität vor.

Sofern es in Zukunft weiterhin nicht möglich sein wird, den aktuellen Ladestand der Batterie über das Ladekabel auszulesen, wird eine manuelle Eingabe durch den Kunden weiterhin erforderlich sein. Darüber hinaus muss der Kunde mitteilen, zu welcher Uhrzeit er sein Fahrzeug zu wieviel Prozent geladen haben möchte.

In der Gruppendiskussion im Rahmen des Vorhabens wurden die TeilnehmerInnen gebeten, notwendige Komponenten für zukünftige Rückspeisemodelle zu benennen. Die Überlegungen sollten sich auf die Mobilitätsvarianten „Vollzeit-Pendler“, „Teilzeit-Pendler“ und „Selbstständige“ beziehen. Diese drei Mobilitätsvarianten wurden von den Diskussionsleitern vorgegeben. Es handelt sich hierbei um Mobilitätstypen, die alle in der Teilnehmergruppe vertreten waren. In den Auswertungen der Teilnehmerbeiträge zeigte sich, dass für die verschiedenen Mobilitätstypen ähnliche Ideen entwickelt wurden. Die Anforderungen gelten überwiegend ebenso für flexible Geschäftsmodelle ohne Rückspeisung:

- Die Option, sofort laden zu können, sollte immer möglich sein, um die benötigte Flexibilität auch für ungeplante und spontane Fahrten gewährleisten zu können. Darüber hinaus sollte eine Steuerung so erfolgen, dass immer eine Mindestladung im Fahrzeug verbleibt
- in der Fahrzeugbatterie muss immer eine Mindestladung verbleiben, sofern sie noch vorhanden ist, um jederzeit spontane Fahrten zu ermöglichen.
- Idealerweise existieren mehrere Prämienmodelle zur Auswahl, so dass man das Lademodell wählen kann, das zur jeweils aktuellen Mobilitätssituation am besten passt.
- 100% Strom aus EEG
- Börsenorientierte Stromtarife, hier könnte bei Rückspeisemodellen für rückgespeiste Energie der individuelle Ver- und Einkaufspreis des Kunden berücksichtigt werden
- Der Strompreis könnte abhängig von der Dauer sein, die das Elektrofahrzeug dem Stromnetz zur Verfügung steht. Die Vergütung würde dann umso höher ausfallen, je länger der Nutzer auf sein Auto verzichtet. Durch die höhere Vergütung bei längerer Anschlusszeit könnte der Flexibilitätsverlust ausgeglichen werden. Aufgrund der im Feldversuch vorgegebenen Mindestanschlusszeit kann die aus diesem Feldversuch ermittelte durchschnittliche Anschlussdauer für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen allerdings nicht ohne Modifikationen zugrunde gelegt werden
- Sofern der Kunde Prämien für die Teilnahme am gesteuerten Laden erhält besteht der Wunsch nach einer „leistungsgerechten Vergütung“, die über einen günstigen Stromtarif oder eine Tagesprämie hinaus auch die Leistung/Kapazität der Batterie berücksichtigt
- Ein möglicher Wertverlust des Akkus sollte finanziell aufgefangen werden. Alternativ zur Prämie könnte der Anbieter (der von der Rückspeisung des Fahrzeugstroms profitiert) den Kunden die Fahrzeugbatterien zur Verfügung stellen
- Lademodelle, deren Tarife ortsunabhängig gestaltet werden und ein einheitlicher Tarif für alle Ladegelegenheiten gilt
- Einführung eines Punktesystems, das an das „Payback“-system angelehnt ist. Engagierte NutzerInnen bekämen Punkte für häufiges Laden und Rückspeisen und beteiligten sich damit an einem System, dem die TeilnehmerInnen den Arbeitstitel „Chargeback“ gaben.

besondere Anforderungen an Geschäftsmodelle für Gewerbebetriebe:

- Grundsätzliches Angebot von Lademöglichkeiten durch Unternehmen, an denen die Elektrofahrzeuge während der Arbeitszeit geladen werden können. Dies soll als Anreiz für Mitarbeiter dienen, auf Elektromobilität umzusteigen. Dann käme der Kauf eines Elektrofahrzeugs eventuell auch für Personen in Frage, die zuhause an ihrem Wohnort keine Lademöglichkeit besitzen.
- Mobilitätsgarantie: Gewährleistung der Flexibilität, die ein Kleinbetrieb benötige, um sein Unternehmensziel erfüllen zu können.
- Für viele Gewerbe sind aufgrund des hohen Bedarfs an Flexibilität Teilnahmeprämien grundsätzlich irrelevant. Für die Arbeitsbedingungen eines Handwerksbetriebes falle die Gewährleistung der benötigten Flexibilität bei der Nutzung eines Rückspeisemodells deshalb stärker ins Gewicht.

## **11. FAZIT AUS DEN ERGEBNISSEN**

### **11.1 Elektrotechnische Ergebnisse**

Der Feldversuch hat gezeigt, dass die alleinige Entwicklung einer intelligenten Ladestation und eines Vertriebsproduktes nicht ausreichend ist. Vielmehr ist auch die Unterstützung des Kunden beim Aufbau seiner eigenen Ladeinfrastruktur ein wichtiger Aspekt, der die Konzeptionierung weiterer Geschäftsmodelle ermöglicht. So hat sich bspw. an mehreren thermischen Defekten an Steckverbindungen gezeigt, dass das Laden von Elektrofahrzeugen an herkömmlichen Schuko-Steckdosen nicht ideal ist. Daher wird die Installation einer Ladestation mit Typ2 Steckdose empfohlen. Aufgrund der hohen Ladeleistung der Elektrofahrzeuge ist die örtliche Elektroinstallation jedes Kunden zu überprüfen und setzt in der Regel einen deutlichen Umbau der Elektroinstallation voraus.

Allerdings ist dieser Ausbau unabhängig davon, ob eine intelligente oder einfache Ladestation in der Garage installiert wird. Somit lassen sich mögliche Geschäftsmodelle in allgemeine Angebote ohne konkreten Bezug zu intelligenten Ladestationen und in spezielle Angebote, die eine intelligente Ladestation voraussetzen, unterteilen.

Die Kosten für eine serienreife Produktion von intelligenten Ladestationen sind momentan nicht kostendeckend, wobei beachtet werden muss, dass eigentlich nur die Differenz zur einer herkömmlichen Ladestation relevant ist. Bei der Weiterentwicklung ist neben der Kostenoptimierung auch das Bedienungskonzept von Ladestation und Gesamtprodukt von hoher Bedeutung, denn für die Akzeptanz der Ladestation ist auch das Handling entscheidend. Gerade im privaten Bereich ist es hier bspw. sinnvoll, ein festes Kabel an die Ladestation zu integrieren, um den Handlingsaufwand beim Anschluss des Fahrzeugs gering zu halten. Außerdem können so die Steckdose, der Verriegelungsmotor und die Kabelkontrolle an der Ladestation entfallen, wodurch eine höhere Zuverlässigkeit und geringere Gesamtkosten zu erwarten sind. Weiterhin sollte der Start des präferierten Ladevorgangs möglichst mit dem Steckvorgang des Kabels beginnen.

### **11.2 Energiewirtschaftliche Ergebnisse**

In einem Feldversuch wurden die Ladevorgänge bei 30 Elektrofahrzeugbesitzern und 10 Poolfahrzeugen aufgezeichnet und in unterschiedlichen Testmodellen gesteuert. Aus den Messergebnissen ist zu erkennen, dass Elektrofahrzeuge üblicherweise dort geladen werden, wo sich die Elektrofahrzeugfahrer aktiv aufhalten und folglich auch weitere elektrische Energie benötigen. Beim unbeeinflussten Laden kommt es somit werktags in privaten Wohngebieten zwischen 17:00 und 19:00 Uhr zu einer zusätzlichen Netzbelastung durch die Fahrzeuge gerade zur Hochzeit des üblichen Haushaltverbrauches. Ein Verschieben dieser Ladeenergien in Zeiten mit hoher Erzeugung Erneuerbarer Energien oder niedriger Netzlast war durch die über die intelligenten Ladestationen gesteuerten Testmodelle möglich und wurde von den Elektrofahrzeugnutzern sehr gut angenommen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die Einbußen der Flexibilität für das Verschieben der Ladevorgänge für die Nutzer einen erkennbaren Zusammenhang

zur Erzeugung Erneuerbarer Energien hat. Das gesteuerte Laden von Elektrofahrzeugen ist somit als Basis für Geschäftsmodelle anwendbar.

Nicht alle denkbaren Geschäftsmodelle, die als Zielgruppe Elektrofahrzeugbesitzer haben, sind heute schon umsetzbar. Änderungen bedarf es insbesondere bei der Bilanzierung von Haushaltskunden, um das gesteuerte Laden auch wirtschaftlich und bilanziell nutzen zu können, und bei den Möglichkeiten, Elektrofahrzeuge für den Regelenergiemarkt zu präqualifizieren, damit eine Teilnahme am Regelenergiemarkt möglich wird. Eine Flexibilisierung der Abgaben auf die Stromlieferungen würde flexible Lademodelle noch wirtschaftlicher machen. Die Wirtschaftlichkeit von Rückspeisemodellen hängt wesentlich davon ab, ob für rückgespeisten Strom die Abgaben zukünftig entfallen werden.

Aus technischer Sicht ist die Möglichkeit der Einbindung der Elektrofahrzeuge in den Regelenergiemarkt durch die Simulation mit Testabrufen aus dem virtuellen Kraftwerk erfolgreich gezeigt worden.

Die Integration von Elektrofahrzeugen aus einem gewerblichen Fahrzeugpool in die Energiemärkte ist deutlich aufwendiger. Zum einen muss das Buchungsportal in die Steuerung der Ladboxen integriert werden, da die Fahrzeuge nur abhängig von dem aktuellen Ladestand und dem benötigten Ladestand für die nächste Fahrt für den Energiemarkt bereit stehen. Hier muss gerade bei hoher Fahrzeugauslastung eine sofortige Wiederaufladung erfolgen. Vor dem Hintergrund der Ladung von privaten Elektrofahrzeugen beim Arbeitgeber wird es gemeinsam mit den betrieblichen Fahrzeugen zu einer Steigerung des Energiebedarfs beim Arbeitgeber kommen. Neben der optimalen Integration in die Energiemärkte ist hier vor allem die Integration in den betrieblichen Lastgang entscheidend, um zusätzliche Kosten durch einen höheren Leistungspreis zu vermeiden oder Engpässe am Netzanschluss zu vermeiden. Für diese Aufgaben bieten sich vernetzte intelligente Ladestationen an.

### **11.3 Zusammenfassung sozialwissenschaftliche Begleitforschung Feldversuch**

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein 15monatiger Feldversuch durchgeführt, 29 der 30 TeilnehmerInnen nahmen bis zum Schluss daran teil. Um die Einstellungen zu Lademodellen allgemein und die Erfahrungen mit und Bewertungen der *smart*-Lademodelle zu erheben, wurde eine sozialwissenschaftliche Längsschnittstudie durchgeführt, in deren Verlauf die TeilnehmerInnen zu fünf Erhebungszeitpunkten befragt wurden.

Die **Teilnehmergruppe** setzt sich aus 26 Männern und 3 Frauen zusammen; der Altersdurchschnitt beträgt zum Start des Feldversuches 50 Jahre. Der Teilnehmerkreis besitzt überdurchschnittlich häufig einen hohen Schulabschluss (fachgebundene Hochschulreife/Abitur), der Anteil der Vollzeitbeschäftigten beträgt ca. 82 %, das durchschnittliche monatliche Haushaltsnettoeinkommen beträgt bei ca. 60 % der Stichprobe über 4.000 Euro. Die durchschnittliche Haushaltsgröße beträgt 3 Personen. Alle TeilnehmerInnen wohnen in Niedersachsen; die Haushalte liegen in einem Umkreis von 60-80 km um Hannover. Knapp 50 % der TeilnehmerInnen wohnen dabei in Landgemeinden mit einer Einwohnerzahl von unter 5.000 Personen.

Zum Start des Feldversuches am 27.05.2014 waren in der Stichprobe 37 Elektrofahrzeuge vorhanden, die Modellpalette reichte vom Renault Twizy bis zum Tesla Roadster. Der Renault ZOE war das Fahrzeug, das mit acht Fahrzeugen am häufigsten vertreten war. Im Durchschnitt fahren die TeilnehmerInnen ca. 16.000 km im Jahr elektrisch und ca. 8.300 km mit einem konventionellen PKW. Die Stichprobe bewegt sich im automobilen Bereich also vorwiegend elektrisch fort.

Als **Kauf- und Nutzungsmotivationen** für ein Elektrofahrzeug werden die Gründe Umweltschutz, Kostenersparnis, Technikinteresse/Innovativität und Nutzungseigenschaften/Fahreigenschaften/Alltagstauglichkeit genannt. Im direkten Vergleich der Kauf- mit den Nutzungsgründen hat das Technikinteresse einen stärkeren Einfluss auf den Kauf als auf die Nutzung. Die Fahreigenschaften, hier vor allem Fahrspaß und Alltagstauglichkeit, kommen stärker bei den Nutzungs- als bei den Kaufmotivationen zum Tragen. Die Motive Umweltschutz und Kostenersparnis sind sowohl beim Kauf als auch bei der Nutzung ähnlich stark ausgeprägt.

Bei den TeilnehmerInnen handelt es sich um eine sehr **autoaffine Gruppe**, die kaum multimodal unterwegs ist. Fahrzeuge des ÖPNV werden selten genutzt, das Fahrrad hauptsächlich für Freizeitfahrten oder kurze Strecken und auch die Fernbahn spielt eine untergeordnete Rolle. Das Elektroauto wird somit in allen Mobilitätsbereichen eingesetzt und ist das vorwiegend genutzte Verkehrsmittel für Erledigungen, Arbeitspendeln und Ausflüge in der Freizeit. Die meisten Fahrten werden langfristig geplant, d.h. mit einem Planungshorizont von mehr als 12 Stunden oder es handelt sich um Routinefahrten, wie z.B. Arbeitspendeln. Der Anteil dieser Fahrten beträgt im Durchschnitt ca. 70 %. Kurzfristiger geplante Fahrten, mit einem Planungshorizont von weniger als 12 Stunden, finden in ca. 30 % aller Fälle statt. Bei den langfristig geplanten Fahrten macht das Arbeitspendeln einen Großteil der Fahrten aus. Bei den kurzfristig geplanten Fahrten sind es vor allem Einkäufe. Nicht überraschend für die hohe Erwerbsquote der Stichprobe stehen die Elektrofahrzeuge werktags in der Zeit von 08.00 – 18.00 Uhr zumeist nicht am Wohnort sondern am Arbeitsort oder anderen Orten. Ab 18.00 Uhr befinden sich dann ca. zwei Drittel der Fahrzeuge wieder am Wohnort. An den Wochenenden werden die Elektrofahrzeuge tagsüber seltener bewegt, im Durchschnitt stehen über 75 % der Fahrzeuge samstags und sonntags zu Hause.

Nach den **Einstellungen zu Elektrofahrzeugen** gefragt, überwiegen bei den TeilnehmerInnen klar die wahrgenommenen Vorteile. Die Wiederkaufsbereitschaft ist hoch, der (Schul)Notendurchschnitt für die Alltagstauglichkeit eines Elektrofahrzeugs liegt mit 1,9 im oberen Notenbereich. Die Aspekte Zukunftsfähigkeit, Geräuscharmheit, Umweltfreundlichkeit, Innovativität und die stärkere Nutzung alternativer Energien sind dabei Aspekte, die sehr gut bewertet werden. Kritisch sehen die erfahrenen Nutzer vor allem die Verfügbarkeit von Ladesäulen, die Anschaffungskosten, die Dauer des Ladevorgangs und die Reichweite von Elektroautos. Wobei es bzgl. der Reichweitenbewertung durchaus unterschiedliche Ansichten gibt: ca. ein Drittel der Befragten beurteilt die Reichweite der eigenen Elektrofahrzeuge als ausreichend. Wünschen sich die Befragten eine Erhöhung der Reichweite, so liegt diese Wunschreichweite im Durchschnitt um knapp die Hälfte höher als die tatsächliche Reichweite des Fahrzeuges.

Die **TeilnehmerInnen laden ihre Fahrzeuge überwiegend zu Hause**. Rund 60 % der wöchentlichen Ladevorgänge finden zu Hause am Wohnort statt, jeweils knapp 20 % beim Arbeit-

geber oder an öffentlichen Ladesäulen. Andere Ladeorte werden nur sehr selten frequentiert. Der benötigte Batterieladestand differiert zwischen Werktagen und den Wochenenden: Rund zwei Drittel der Teilnehmer reicht ein Batterieladestand von bis zu 50 % für den Start in den Werktag aus. Am Wochenende werden es deutlich weniger Personen, die mit einer halbgefüllten Batterie unterwegs sind. Rund 55 % der TeilnehmerInnen benötigen hingegen einen höheren Ladestand, davon favorisieren 20 % sogar eine vollgeladene Batterie.

Als **positive Begleitumstände beim Laden** werden vor allem das einfache Handling genannt, insbesondere das Laden vor der eigenen Haustür, und der geringe zeitliche und finanzielle Aufwand. Bei den **störenden Begleitumständen** werden deutlich differenziertere Nennungen vorgenommen, diese betreffen einerseits auch das Handling, hier vor allem der Umgang mit dem Kabel, andererseits werden zusätzliche Punkte genannt, wie z. B. die lange Ladedauer oder fehlende Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum. Mit dem Thema **öffentliche Ladesäulen** sind Unsicherheiten darüber verbunden, ob diese zum benötigten Zeitpunkt auch funktionieren oder der Zugang zu ihnen bzw. zur Steckdose frei ist. Auch fehlende Standards oder mangelnde Kompatibilität werden häufig bemängelt und als Grund genannt, Lademöglichkeiten nicht nutzen zu können. Rund ein Viertel der TeilnehmerInnen lädt aus diesen Gründen nicht an öffentlichen Lademöglichkeiten. Diejenigen, die öffentliche Ladesäulen nutzen, tun dies vorwiegend während ihrer Einkäufe oder anderen Erledigungen, auf längeren Strecken oder während Freizeitveranstaltungen. Das öffentliche Laden stellt Elektroautofahrer vor Herausforderungen, die nicht immer an Ort und Stelle gelöst werden können. Dabei stört es die Teilnehmer vor allem, wenn ein konventioneller PKW den Zugang zur Lademöglichkeit versperrt, wenn die Lademöglichkeit defekt ist, vor Ort keine passende RFID-Karte besorgt werden kann oder es technische Inkompatibilitäten mit dem eigenen Elektrofahrzeug gibt. Insgesamt gibt es für die Mehrheit der Teilnehmer zu wenig öffentliche Ladesäulen. Als wichtig werden diese vor allem an Mobilitätsschnittstellen erachtet, auf Park-and-Ride-Parkplätzen und bei Ausflugszielen, wie z. B. Sehenswürdigkeiten. Die Befragten sehen sowohl öffentliche als auch private Akteure in der Pflicht, den Aufbau einer öffentlichen Ladestruktur zu unterstützen. Akteuren des Bundes, Landes oder der kommunalen Verwaltungen werden dabei vor allem die Rolle von Initiatoren zugewiesen, privaten Akteuren eher die Rolle des Financiers oder Betreibers.

Im Verlauf des Feldversuches hatten die TeilnehmerInnen die Gelegenheit, drei entwickelte **smart-Lademodelle** zu testen. Bei der Frage nach dem präferierten Modell nach Abschluss des Feldversuches liegt das Lademodell *smart2* an erster Stelle. Fast die Hälfte der TeilnehmerInnen bevorzugt dieses Modell vor allen anderen. Es folgt auf dem zweiten Platz *smart3* und an dritter Stelle abgeschlagen, wird *smart1* von nur einem geringen Teil der Befragten als Lieblingsmodell genannt. Für das Lademodell *smart2* spricht aus Sicht der Teilnehmer vor allem die Einfachheit der Bedienung und die Alltagstauglichkeit sowie die Möglichkeit, den Strom aus der eigenen PV-Anlage mit diesem Lademodell weiterhin gut nutzen zu können. Die Vorteile des Lademodells *smart3*, das als Modell mit Möglichkeit zur Rückspeisung konzipiert ist, liegen in den Augen der TeilnehmerInnen vor allem in den positiven Auswirkungen auf die Netzintegration und der Entlastung der Stromnetze. Für das Lademodell *smart1* werden keine besonderen Vorteile hervorgehoben. Insgesamt gesehen wird aber allen drei Lademodellen ein Beitrag für den Umweltschutz und am Ausbau von erneuerbaren Energien attestiert. Auch finanzielle Vorteile, durch die Prämien-gestaltung des Feldversuches, werden bei allen drei Modellen wahrge-

nommen. Die wahrgenommene Alltagstauglichkeit variiert zwischen den Modellen, vor allem *smart3* erhält hier etwas niedrigere Zustimmungswerte als die anderen beiden Modelle. Der Kontrollwunsch der TeilnehmerInnen ist nicht stark ausgeprägt, im Durchschnitt stört es sie nicht, dass ein Stromanbieter die Kontrolle über das Laden hat. Das Commitment und die Kaufbereitschaft sind in Bezug auf die Lademodelle unterschiedlich stark ausgeprägt. Tendenziell achten die TeilnehmerInnen bewusster darauf, in den Zeiten von *smart2* und *smart1* zu laden, diese beiden Tarife würden auch eher gewählt, falls sie auf dem Markt angeboten würden.

In der **Nutzertypologie** kristallisieren sich drei Nutzergruppen heraus: *smart2*-affine Nutzer, *smart3*-affine Nutzer und die unentschiedenen *smart*-Nutzer. Die drei Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich **demographischer Merkmale und Nutzungsverhalten** kaum. Das Durchschnittsalter bewegt sich um 50 Jahre, die Haushaltsgröße beträgt im Schnitt drei Personen und hinsichtlich der Berufstätigkeit gibt es ebenfalls keine relevanten Unterschiede. Jede Gruppe fährt im Durchschnitt ca. 16.000 km im Jahr elektrisch, die konventionell zurück gelegten Kilometer schwanken allerdings zwischen 5.000 bis 12.000 km, die einfache Arbeitsstrecke liegt im Bereich 15 - 35 km. *smart2*-affine Nutzer haben einen etwas höheren Anteil kurzfristig geplanter Fahrten als die anderen Gruppen, *smart3*-affine Nutzer einen leicht geringeren Anteil. Tendenziell haben etwas mehr *smart2*-affine Nutzer eine hauseigene PV-Anlage.

Im Gegensatz zu den o. g. Faktoren unterscheiden sich die drei Nutzungsgruppen bezüglich der **Einstellungsebene** deutlich voneinander. Die Einstellungsunterschiede zeigen sich vor allem in Bezug auf die Ebenen finanzielle Vorteile, Alltagstauglichkeit und Commitment. Für die Dimensionen Umweltschutz und Kontrollwunsch werden keine signifikanten Unterschiede berichtet. Die Einstellungsunterschiede sind überwiegend zwischen den *smart3*-affinen Nutzern und den beiden anderen Gruppen zu entdecken, was die Schlussfolgerung zulässt, dass das Lademodell *smart3* die Teilnehmer polarisiert. Dabei vertreten vor allem die beiden Gruppen der *smart2*- und der *smart3*-affinen Nutzer konträre Einstellungen. Die Hauptgründe, die gegen eine Nutzung des Lademodells *smart3* sprechen, sind in den Augen der *smart2*-affinen Nutzer vor allem die mangelnde Passung zu den eigenen Mobilitätsroutinen und die Angst vor einem Flexibilitäts- und Spontanitätsverlust. Dieser Befund wird bestätigt, wenn unabhängig von einem konkreten Lademodell Einstellungen zum Konzept von Rückspeisemodellen erhoben werden. Im Gegensatz zu den *smart2*-affinen Nutzern haben *smart3*-affine Nutzer weniger Bedenken, dass das Auto gerade dann entladen wird, wenn sie es benötigten. Rückspeisemodelle passen besser zu ihren Anforderungen an das Autofahren und sie finden es weniger aufwendig, sich vor dem Ladevorgang den gewünschten Batterieladestand zu überlegen. Letzteres finden auch die unentschiedenen *smart*-Nutzer aufwendiger als die *smart3*-affinen Nutzer. Die unentschiedenen Nutzer haben zusätzlich mehr Bedenken als die *smart3*-affinen Nutzer, dass die Flexibilität von Autofahrern mit Rückspeisemodellen eingeengt wird.

Zum Zeitpunkt T1, bevor die Lademodelle in den Feldversuch eingeführt waren, wurden **generelle Einstellungen** der TeilnehmerInnen zum Thema **Laden** erhoben. Zum Zeitpunkt T4, nachdem alle Lademodelle getestet waren, wurde dieselbe Fragenbatterie ein zweites Mal erhoben, um zu prüfen, ob die Einführung der Lademodelle eine Einstellungsveränderung initiiert hatte. In Bezug auf die Fragen zum Komfort und Vergleich des Ladens mit dem Tankvorgang, zum Routinisierungsgrad des Ladens, zur Passung mit den Mobilitätsanforderungen und zu Fragen, die das Laden als positiv im Kontext der erneuerbaren Energieerzeugung wahrnehmen,

gibt es keine Veränderungen im Zeitverlauf. Die einzige signifikante Veränderung betrifft die Frage zum Kontrollwunsch. Dieser nimmt nach Einführung der Lademodelle sogar ab. Diese Abnahme ist vor allem auf die Gruppe der *smart3*-affinen Nutzer zurückzuführen, die nach der Einführung der Lademodelle einen signifikant niedrigeren Kontrollwunsch hatten als davor.

### **11.3.1 Fazit aus den sozialwissenschaftlichen Ergebnissen**

Lademodelle sind dann erfolgreich und werden genutzt, wenn sie zur Mobilität der NutzerInnen passen und somit als alltagstauglich wahrgenommen werden. Es muss berücksichtigt werden, dass Mobilitätsanforderungen individuell differieren; Lademodelle sollten deswegen für unterschiedliche Mobilitätsbedarfe gestaltet werden. Zusätzlich sollten sie den als positiv empfundenen Begleitumständen des Ladens, wie einfaches Handling und fehlende Wartezeiten an Tankstellen, nicht entgegenwirken. Dies sollte bei der Gestaltung der Schnittstellen zwischen Nutzer – Wallbox – Elektroauto berücksichtigt werden. So widerspricht beispielsweise die Notwendigkeit einer zeitaufwendigen manuellen Bedienung der Wallbox dem positiven Begleitumstand des einfachen Ladens.

Wichtige Faktoren für die Wahl eines Lademodells sind der individuell benötigte Grad an automobiler Flexibilität und Spontaneitätswünsche der Nutzer. Bezogen auf die getesteten Lademodelle des Feldversuchs lassen die Ergebnisse den Schluss zu, dass Rückspeisemodelle vor allem für Personen geeignet sind, die einen geringeren Bedarf an spontaner Fortbewegung haben. Personen, die höhere Flexibilitäts- und Spontaneitätsansprüche haben, müssen alternative Lademodelle zur Auswahl gestellt werden. Im durchgeführten Feldversuch wurden diese unterschiedlichen Bedarfe durch die Lademodelle *smart2* und *smart3* abgebildet. Es erscheint sinnvoll, zumindest diese zwei Modellvarianten weiter zu entwickeln.

Im Teilnehmerkreis wurden die Lademodelle neben der wahrgenommenen Alltagstauglichkeit sowohl aufgrund eines ausgeprägten Umweltbewusstseins als auch aufgrund des monetären Anreizes genutzt. Diese beiden Faktoren waren individuell unterschiedlich stark ausgeprägt. Da es sich bei dem Teilnehmerkreis um eine umweltbewusste Stichprobe handelte, war es für die meisten Befragten wichtig, die ökologische Sinnhaftigkeit der Lademodelle erkennen zu können.

Bei einer Einführung von Lademodellen sollten in der Kommunikation deswegen sowohl der Faktor Umweltfreundlichkeit als auch der Faktor Kostenersparnis adressiert werden, um die entsprechenden Zielgruppen gewinnen zu können. Für eine erfolgreiche Kommunikationsstrategie scheint es darüber hinaus wichtig zu sein, auf die unterschiedlichen Flexibilitätswünsche von Nutzergruppen einzugehen.

## 12. ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

### 12.1 Veröffentlichungen

Artikel	Verfasser	Erschienen in
<b>Netzintegration im enercity-Ladeversuch erforscht</b>	Matthias Röhrig	InnoWATTion (01/15)- das magazin der landesinitiative energiespeicher und -systeme in niedersachsen (Hrsg.); Göttingen
<b>Akzeptanz von gesteuertem Laden</b>	Matthias Röhrig; Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann; Katja Schlager	Urban 2.0 (energy 2.0 2015/1016 Kompendium), ISSN-Nummer 18661335, publish industry verlag (Hrsg.); München
<b>Technische Herausforderungen und Möglichkeiten zur Steuerung des Ladeverhaltens von Elektrofahrzeugen durch intelligente Ladestationen auf Basis der DIN IEC-61851</b>	Gerrit Schlömer, Constantin Reese, Hannes von Appen, Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann	Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern; Detlef Schulz (Hrsg.); Berlin; 2016.

### 12.2 Film „Können E-Autos atmen – Der enercity Ladeversuch“

Zum Ende des Projektes wurde ein Film gedreht, in dem bereits erste Erkenntnisse gezeigt werden. Im Film berichten TeilnehmerInnen über ihre Erfahrungen mit der Elektromobilität, den CCB und dem gesteuerten Laden. Der Link ist über die Online-Video-Plattform öffentlich verfügbar (<https://www.youtube.com/watch?v=zpZ2SsegLYo>).

## **13. VERWERTUNG, ZUKUNFTSAUSSICHTEN UND WEITERER F&E-BEDARF**

### **13.1 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen**

Die Ergebnisse des Feldversuches liefern einen wertvollen Beitrag als Grundlage für die Entwicklung zukünftiger Geschäftsmodelle und für die weitere Integration der Elektrofahrzeuge gerade auch in die Verteilnetze. Die Kombination der technischen Erfassung und Steuerung von Ladevorgängen mit den sozialwissenschaftlichen Untersuchungen zeigt auf, dass und wie Elektrofahrzeugbesitzer bereit sind, die Zeitpunkte für das Laden ihrer Fahrzeuge den Vorgaben eines Energieversorgers anzupassen. Die Erkenntnisse können in die Entwicklung zukünftiger Geschäftsmodelle einfließen.

Die technische Anbindung der Elektrofahrzeuge an ein Virtuelles Kraftwerk ist gelungen. Diese Grundlage kann für ein Geschäftsmodell mit Integration von Elektrofahrzeugen in den Regelenergiemarkt eingesetzt werden.

### **13.2 Zukünftiger F&E-Bedarf**

Folgende Themen sind vor einer Umsetzung der Geschäftsmodelle und der Einbindung in ein Virtuelles Kraftwerk zur Teilnahme von Elektrofahrzeugen an Regelenergiemarkt noch zu konkretisieren. Hierbei könnten durch F&E-Vorhaben die Auswirkungen unterschiedlicher Ausprägungen untersucht werden:

- Flexibilisierung der Netznutzung
- Flexibilisierung von Netznutzungsentgelten, EEG-Umlage etc.
- Präqualifikation für die Teilnahme am Regelenergiemarkt
- Befreiung von Abgaben und Umlagen für ein- und ausgespeicherten Strom
- Anpassung der Bilanzierungsverfahren für SLP-Abnahmestellen.

In Bezug auf die Akzeptanzforschung ist es wünschenswert, die explorativ gewonnenen Erkenntnisse zum Thema Laden und Geschäftsmodelle auf eine breitere Basis zu stellen. Dazu eignen sich standardisierte Befragungen unter BesitzerInnen von Elektrofahrzeugen. Diese können Aufschluss über die Verteilung der hier gefundenen Einstellungen zum Thema Laden und Fahrzeugnutzung in dieser Zielgruppe geben. Diese Erkenntnisse wären nicht zuletzt für zukünftige Kommunikationsstrategien von Vorteil.

Des Weiteren sollten zusätzliche Feldversuche mit BesitzerInnen von Elektrofahrzeugen durchgeführt werden, wenn Geschäftsmodelle mit Rückspeisung technisch möglich sind. Im Projekt Demand Response lieferte selbst die Simulation der Rückspeisung wertvolle Erkenntnisse. Diese können vertieft werden, wenn das tatsächliche Erleben bidirektionalen Ladens möglich ist und damit die Implikationen für die eigene Mobilität praktisch erlebbar werden.

## **14. BEITRAG ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN DES FÖRDERPROGRAMMES SCHAUFENSTER ELEKTROMOBILITÄT**

Die deutsche Bundesregierung definiert Elektromobilität als ein wichtiges Element einer klimagerechten Energie- und Verkehrspolitik [46]. Mit der Etablierung von Elektrofahrzeugen zeichnet sich nicht nur eine Konvergenz von Automobilindustrie und Energieversorgungswirtschaft ab, sondern eine intelligente Einbindung von Elektrofahrzeugen in die Stromnetze kann auch zu einer größeren Netzstabilität beitragen. Die Erhöhung des Anteils von volatilen erneuerbaren Quellen an der Stromerzeugung, so wie es das neu ausgerichtete Energiekonzept der Bundesregierung vorsieht [47], bedarf einer intelligenteren Steuerung zwischen Energieerzeugung, -transport, -speicherung und -verbrauch.

Laut der Bundesregierung kann die schrittweise Elektrifizierung der Antriebstechnologie hier eine wichtige Rolle spielen. Verbunden mit dem Aufbau eines intelligenten Energiesystems („Smart Grid“) wird durch Elektrofahrzeuge die Einbindung flexibler Lasten, z. B. durch gesteuertes Laden der Batterien des Elektroautos, ermöglicht. Neben dem positiven Beitrag der Elektromobilität zum Lastmanagement besteht perspektivisch auch die Möglichkeit des bidirektionalen Energieaustauschs („Vehicle to Grid“), bei dem die Batterien als Steuerelement zur Systemstabilisierung beitragen.

Die Bundesregierung hat von daher die Themen Ladeinfrastruktur und Netzintegration als wesentliche Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungsförderung im Bereich Elektromobilität benannt [48]. Diese generellen forschungspolitischen Zielsetzungen finden ihren Ausdruck auch in der besonderen Betonung, die bei der Ausschreibung der Schaufenster Elektromobilität auf die systemische Integration von Elektromobilität und Energiesystem sowie die Gestaltung der entsprechenden Schnittstellen gelegt wird [49]. Konkret wird die intelligente und anwenderfreundliche Einbindung der Elektromobilität in das Energiesystem genannt: Durch gesteuertes Be- und Entladen sollen zusätzliche Lastspitzen vermieden und die Integration von fluktuierenden erneuerbaren Energien in das Stromnetz verbessert werden. Des Weiteren sollen in den Schaufenstern, so die Ausschreibung, zu diesem Zweck auch Geschäftsmodelle entwickelt und erprobt werden. Die intelligente Integration von Elektrofahrzeugen in das Energiesystem soll in den Schaufenstern Elektromobilität durch ein Zusammenspiel des Einsatzes von innovativen Informations- und Kommunikationstechnologien, der Entwicklung von tragfähigen Geschäftsmodellen sowie der Ermittlung der Nutzerakzeptanz vorangebracht werden.

## 15. LITERATURVERWEISE

- [1] Agentur für Erneuerbare Energien, *Renews Kompakt Ausgabe 25 (02.09.2015), Die Energiewende auf die Straße bringen.*
- [2] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: *Erneuerbaren-Anteil steigt 2015 voraussichtlich auf 33 Prozent*, online verfügbar unter: <https://www.bdew.de/internet.nsf/id/20151103-pi-erneuerbaren-anteil-steigt-2015-voraussichtlich-auf-33-prozent-de>, letzter Zugriff: 20.05.2016.
- [3] Weider, M., Wiehle, M., Schlager, K., (2011): Wie das Elektroauto an Bedeutung gewinnt – Produktsprache, Narrationen und individuelle Aneignungsprozesse. In: Rammler, S. und Weider, M. (Hrsg.): *Das Elektroauto. Bilder für eine zukünftige Mobilität.* Berlin: LIT Verlag.
- [4] Paetz, A.-G., Jochem, P., Fichtner, W. (2012): Demand Side Management mit Elektrofahrzeugen – Ausgestaltungsmöglichkeiten und Kundenakzeptanz. [http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i4340/eninnov2012/files/lf/LF\\_Paetz.pdf](http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i4340/eninnov2012/files/lf/LF_Paetz.pdf) (Letzter Zugriff: 21.6.2016).
- [5] Schneider, J., Nett, T., Möller, B. (2015): Abschlussbericht zum Verbundvorhaben „econnect Germany“. Teilvorhaben econnect Trier -FVV: IKT für Elektromobilität in der Region Trier – Vom Windrad zum Elektroauto. Förderkennzeichen 01ME12043. <https://www.hochschule-trier.de/fileadmin/groups/12/Downloadbereich/Berichte/Informatik-Bericht-2016-03.pdf> (Letzter Zugriff: 21.6.2016).
- [6] Wickert, M., Gerhard, N., Trost, T., Prior, J., Cacilo, A., Hartwig, M., Reinhardt, A., Münzing, H. (2014). Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erstellung von fahrzeugbezogenen Analysen zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen unter Nutzung erneuerbarer Energien. Endbericht zum Vorhaben FKZ UM 11 96 107. [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz\\_um\\_11\\_96\\_107\\_elektromobilitaet\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_um_11_96_107_elektromobilitaet_bf.pdf) (Letzter Zugriff: 22.6.2016).
- [7] Bortz, J., Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler.* 4. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- [8] Haunberger, S. (2011). *Teilnahmeverweigerung in Panelstudien.* Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- [9] Kurz, A., Stockhammer, C., Fuchs, S., Meinhard, D. (2009). Das problemzentrierte Interview in: Buber, R., Holzmüller, H. H. (Hrsg.) (2009): *Qualitative Marktforschung. Konzepte - Methoden - Analysen.* 2., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. S. 465-475.
- [10] Witzel, A. (1982): *Verfahren der qualitativen Sozialforschung. Überblick und Alternativen.* Campus Verlag: Frankfurt am Main / New York.

- [11] Witzel, A. (2000). Das problemzentrierte Interview [25 Absätze]. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 1(1), Art. 22, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0001228>. (letzter Zugriff: 11.10.2011).
- [12] Kuckartz, U. (2010): Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten. 3. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- [13] Frenzel, I., Jarass, J., Trommer, S., Lenz, B. (2015): Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland. Nutzerprofile, Anschaffung, Fahrzeugnutzung. Berlin: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR). [http://www.dlr.de/vf/Portaldata/12/Resources/dokumente/projekte/pakt2/Ergebnisbericht\\_E-Nutzer\\_2015.pdf](http://www.dlr.de/vf/Portaldata/12/Resources/dokumente/projekte/pakt2/Ergebnisbericht_E-Nutzer_2015.pdf) (Letzter Zugriff: 19.01.2016).
- [14] Bortz, J. (2005). Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 6. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- [15] Westerburg, M. et al. (2011). Öffentlicher Abschlussbericht: Verbundprojekt GridSurfer. [https://www.tib.eu/suchen/download/?tx\\_tibsearch\\_search\[docid\]=TIBKAT%3A788776967&cHash=a122fe94162d60a2133a250fe06e8f7e#download-mark](https://www.tib.eu/suchen/download/?tx_tibsearch_search[docid]=TIBKAT%3A788776967&cHash=a122fe94162d60a2133a250fe06e8f7e#download-mark). Letzter Zugriff: 01.06.2016.
- [16] Kluge, S. (1999): Empirisch begründete Typenbildung. Opladen: Leske + Budrich.
- [17] Kelle, U., Kluge, S. (1999): Vom Einzelfall zum Typus. Opladen: Leske + Budrich.
- [18] Konrad, W., Scholl, G. (2009): Verhaltensroutinen in der Freizeitmobilität – Ergebnisse einer quantitativen und qualitativen Befragung. Schriftenreihe des IÖW 193/09. Berlin. 129 S.
- [19] Karrer, K., Glaser, C., Clemens, C. & Bruder, C. 2009: *Technikaffinität erfassen – der Fragebogen TA-EG*, in A. Lichtenstein, C. Stößel und C. Clemens (Hrsg.), Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS Spektrum, Reihe 22, Nr. 29, S.196-201). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- [20] Bühner, Markus 2010: *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*, Pearson Studium, München.
- [21] Schwab, A.: *Elektroenergiesysteme: Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie*. Berlin, Springer-Verlag, 2015.
- [22] Graeber, D. R.: *Handel mit Strom aus erneuerbaren Energien*, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2014.
- [23] Website der European Power Exchange (EPEX SPOT): *EPEX SPOT Marktregeln: 20160224\_EPEX SPOT\_Operational Rules\_DE*. online verfügbar unter: <https://www.epexspot.com/de/extras/download-center>, letzter Zugriff: 04.03.2016.
- [24] Kranz, M.: *Grundlagen der elektrischen Energiewirtschaft: Kapitel 6*. Leibniz Universität Hannover : Institut für Elektrische Energiesysteme: Fachgebiet Elektrische Energieversorgung, 2013.
- [25] Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz: *Verordnung über den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen*, online verfügbar unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/stromnzv/>, letzter Zugriff: 04.03.2016.

- [26] Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung: *Marktbeschreibung*, online verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/ext/static/market-information>. letzter Zugriff: 07.03.2016.
- [27] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI): *Potenziale der Elektromobilität bis 2050 - Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration*, online verfügbar unter [http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Studien/Politik\\_und\\_Gesellschaft/2010/EWI\\_2010-07-02\\_Elektromobilitaet-Studie.pdf](http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Studien/Politik_und_Gesellschaft/2010/EWI_2010-07-02_Elektromobilitaet-Studie.pdf).
- [28] Forschungsstelle für Energiewirtschaft: *Elektrostraßenfahrzeuge- Elektrizitätswirtschaftliche Einbindung von Elektrostraßenfahrzeuge*, online verfügbar unter: [https://www.ffe.de/download/langberichte/E.ON\\_Elektrostrassenfahrzeuge\\_Endbericht\\_20080611.pdf](https://www.ffe.de/download/langberichte/E.ON_Elektrostrassenfahrzeuge_Endbericht_20080611.pdf), letzter Zugriff: 02.03.2016.
- [29] Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung: Anhang D1 zum Transmission Code 2003 (PRL), online verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/ext/static/prequalification>, letzter Zugriff: 09.03.2016.
- [30] Fuchs, H.: *Simulation der Einbindung von Elektrofahrzeugen in den Markt für Primärregelung*, Bachelorarbeit, Institut für Elektrische Energiesysteme - Fachgebiet Elektrische Energieversorgung, Leibniz Universität Hannover, 2014.
- [31] Fuchs, H.: *Entwicklung von Geschäftsmodellen zur Einbindung von Elektrofahrzeugen in die Regelleistungsmärkte*, Masterarbeit, Institut für Elektrische Energiesysteme - Fachgebiet Elektrische Energieversorgung, Leibniz Universität Hannover, 2014.
- [32] Swider, D.-J.: *Handel an Regelenergie- und Spotmärkten: Methoden zur Entscheidungsunterstützung für Netz- und Kraftwerksbetreiber*, GWV Fachverlage, Wiesbaden, 2006.
- [33] Krengel, Ulrich. *Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik*, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2005.
- [34] Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt: *AMIRIS - Weiterentwicklung eines agentenbasierten Simulationsmodells*, online verfügbar unter: [http://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-2885/4422\\_read-30809/](http://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-2885/4422_read-30809/), letzter Zugriff: 08.03.2016.
- [35] Öko-Instituts e.V.: *Ökonomische Betrachtung der Speichermedien - Arbeitspaket 6 des Forschungsvorhabens OPTUM*, online verfügbar unter: <http://www.oeko.de/publikationen/forschungsberichtestudien/seite/15/>, letzter Zugriff: 08.03.2016.
- [36] von Appen, H.: Bachelorarbeit: Technische und energiewirtschaftliche Analyse eines laufenden Feldversuches zum Ladeverhalten von Elektrofahrzeugen hinsichtlich der Teilnahme an Energiemärkten, Bachelorarbeit, Institut für Elektrische Energiesysteme - Fachgebiet Elektrische Energieversorgung, Leibniz Universität Hannover, 2014.
- [37] Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung: TransmissionCode 2007: Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber Anhand D2, Teil 1 "Präqualifikationsanforderungen", online verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/ext/static/srl/pool>, letzter Zugriff: 09.03.2016.

- [38] Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung: Anhand D3 zum Transmission Code 2007 (MRL). online verfügbar unter <https://www.regelleistung.net/ext/static/prequalification>, letzter Zugriff: 09.03.2016.
- [39] Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung: Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge, online verfügbar unter: [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/e/projekte/316741\\_Markthochlaufszszenarien-E-Fahrzeuge\\_Wi2014.php](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/e/projekte/316741_Markthochlaufszszenarien-E-Fahrzeuge_Wi2014.php), letzter Zugriff 10.03.2016.
- [40] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Ein Strommarkt für die Energiewende - Diskussionspapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Grünbuch)*, Berlin, 2014.
- [41] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Ein Strommarkt für die Energiewende - Ergebnispapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Weißbuch)*, Berlin, 2015.
- [42] Bundesnetzagentur: *Festlegungsverfahren zur Weiterentwicklung der Ausschreibungsbedingungen und Veröffentlichungspflichten für Sekundärregelung und Minutenreserve - Konsultation von Eckpunkten*, online verfügbar unter: [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Service-Funktionen/Beschlusskammern/1BK-Geschaeftszeichen-Datenbank/BK6-GZ/2015/2015\\_0001bis0999/BK6-15-158/BK6-15-158\\_Eckpunktepapier\\_vom\\_23\\_11\\_2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Service-Funktionen/Beschlusskammern/1BK-Geschaeftszeichen-Datenbank/BK6-GZ/2015/2015_0001bis0999/BK6-15-158/BK6-15-158_Eckpunktepapier_vom_23_11_2015.pdf?__blob=publicationFile&v=2), letzter Zugriff 18.03.2016.
- [43] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.: *BDEW-Roadmap – Realistische Schritte zur Umsetzung von Smart Grids in Deutschland*, online verfügbar unter: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/816417E68269AECEC1257A1E0045E51C/\\$file/Endversion\\_BDEW-Roadmap.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/816417E68269AECEC1257A1E0045E51C/$file/Endversion_BDEW-Roadmap.pdf), letzter Zugriff 18.03.2016.
- [44] Gesetzentwurf der Bundesregierung: *Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz)*, online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/entwurf-eines-gesetzes-zur-weiterentwicklung-des-strommarktes,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, letzter Zugriff 18.03.2016.
- [45] Gesetzentwurf der Bundesregierung: *Entwurf eines Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende*, online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/entwurf-eines-gesetzes-zur-digitalisierung-der-energiewende,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, letzter Zugriff 18.03.2016.
- [46] BMWi et al. (2011): Regierungsprogramm Elektromobilität. Online-Dokument: [www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/industrie,did=390612.html](http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/industrie,did=390612.html) (Letzter Zugriff am 21.06.2012), S. 5.
- [47] [www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiekonzept/\\_node.html](http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiekonzept/_node.html) (Letzter Zugriff am 21.06.2012).

[48] BMWi et al. (2011): Regierungsprogramm Elektromobilität. Online-Dokument:  
[www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/industrie,did=390612.html](http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/industrie,did=390612.html) (Letzter Zugriff am  
21.06.2012), S. 22f.

[49] [www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/73086/publicationFile/47047/foerderbekanntmachung-schaufenster-elektromobilitaet.pdf](http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/73086/publicationFile/47047/foerderbekanntmachung-schaufenster-elektromobilitaet.pdf) (Letzter Zugriff am 21.06.2012).

## 16. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BKV	Bilanzkreisverantwortlicher
BEV	Battery Electric Vehicle
CCB	CarConnectBox
df	degrees of freedom, Freiheitsgrade
eCG	enercity Contracting GmbH
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EVU	Energieversorgungsunternehmen
IfES	Institut für Elektrische Energiesysteme, Leibniz Universität Hannover
ITD	Institut für Transportation Design, Hochschule für Bildende Künste, Braunschweig
M	Mittelwert
N	Stichprobengröße
p	Wert zur Beurteilung der Signifikanz
PHEV	Plug-in Hybrid Vehicles
PV	Photovoltaik
SD	Standardabweichung
$\chi^2$	Chi-Quadrat
z	Prüfwert der Verteilung

## 17. GLOSSAR

Faktorenanalyse	Dieses Verfahren entstammt der multivariaten Statistik. Es dient dazu, aus den vielen einzelnen Einschätzungen der Befragten wenige, zugrunde liegende latente Variablen („Faktoren“) zu extrahieren. Das bedeutet, dass man anhand der Ähnlichkeit der Abstimmung der Befragten erkennen kann, welche Aspekte von besonderer Bedeutung in der Einstellung der Population ist. Daher handelt es sich um ein sog. dimensionsreduzierendes Verfahren, da es zu zeigen vermag, welche Aspekte (Faktoren, latente Variablen) für die Befragten von größerer bzw. weniger großer Bedeutung sind.
Freiheitsgrade ( <i>df</i> )	Die Freiheitsgrade spielen bei Wahrscheinlichkeitsverteilungen eine wichtige Rolle, mit denen anhand der Stichprobe Hypothesentests durchgeführt werden. Die Statistik-Software ermittelt anhand der Anzahl der Freiheitsgrade die passende Verteilung aus der jeweiligen Verteilungsfamilie (z. B. F-Verteilungen, t-Verteilungen). Grundsätzlich sind dabei die Anzahl der unabhängigen Beobachtungswerte abzüglich der Anzahl der schätzbaren Parameter von Bedeutung.
Mittelwert ( <i>M</i> ):	Beschreibt den Durchschnittswert der vorliegenden Daten. Zur Berechnung wird die Summe aller Datenwerte gebildet und durch die Stichprobengröße geteilt.
Nichtparametrische Tests	Diese Tests werden eingesetzt, um mögliche nutzerspezifische Unterschiede bei nichtnormalverteilten Variablen bestimmen zu können. Im Rahmen dieser Studie lagen die meisten Variablen nichtnormalverteilt vor. Zum Einsatz kamen deshalb für mehr als zwei unverbundene Stichproben der Kruskal-Wallis-Test und bei zwei unverbundenen Stichproben der Mann-Whitney-U-Test. Bei mehr als zwei verbundenen Stichproben wurden Signifikanzen mit dem Friedman-Test ermittelt oder dem Wilcoxon-Test, wenn nur zwei verbundene Stichproben vorhanden waren.
P-Wert ( <i>p</i> )	Der P-Wert beziffert die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen der Nullhypothese. Mit dem durch einen Signifikanztest berechneten P-Wert wird die Nullhypothese entweder bestätigt – d. h. dass z. B. angenommene Unterschiede mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit nicht vorliegen – oder die Nullhypothese wird abgewiesen. In letzterem Fall kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass z. B. bei den betrachteten Gruppenunterschieden von zwei unterschiedlichen Verteilungen ausgegangen werden kann und sich die Gruppen hinsichtlich des betrachteten Merkmals systematisch voneinander unterscheiden.

Signifikanz	Mit Signifikanztests wird ermittelt, ob ein Unterschied zwischen Gruppen nur zufällig auftrat oder charakteristisch für die Gruppen ist. Dabei wird ermittelt, wie wahrscheinlich bestimmte Werte auftreten, wenn man Annahmen über die Grundgesamtheit, aus der die Stichprobe stammt, trifft. Um Signifikanz anzunehmen, wurde hier ein Alpha-Niveau von 5 % verwendet.
Standardabweichung ( <i>SD</i> )	Die Standardabweichung ist ein absolutes Streuungsmaß für Daten und gibt Auskunft über die durchschnittliche Abweichung der einzelnen Daten vom Mittelwert. Je größer die Standardabweichung, desto weniger einheitlich sind die Antworten ausgefallen.
t-Test	Verfahren, das zur Überprüfung des Unterschiedes zweier Stichprobenmittelwerte eingesetzt wird. Der t-Test ist ein sogenanntes parametrisches Verfahren, d. h. dass die Daten einige Voraussetzungen erfüllen müssen, damit der t-Test sinnvoll durchgeführt werden kann. Beim t-Test sind dies: das Vorliegen einer Normalverteilung und mindestens Intervallskalenniveau. Beim unabhängigen t-Test wird zusätzlich Varianzhomogenität (d. h. eine ähnliche Streuung der Werte) und Unabhängigkeit der Werte vorausgesetzt (d. h., dass keine systematischen Zusammenhänge zwischen den Werten der einen mit der anderen Gruppe bestehen dürfen). Die Prüfung dieser Voraussetzungen wird im Ergebnisteil nicht im Einzelnen dargestellt. Im Rahmen dieser Studie wurde der t-Test zweiseitig durchgeführt (d. h. es wurde keine Vorannahme über die Richtung des Mittelwertunterschieds getroffen).

## **18. ANHANG ZU ABSCHNITT 8**

### **18.1 Items der Einstellungsfrage zur Elektromobilität, die einer Faktorenanalyse unterzogen wurden**

- Durch die Nutzung von Elektroautos übernimmt unser Unternehmen eine Vorreiterrolle.
- Die Nutzung von Elektroautos wirkt sich positiv auf das Image meines Arbeitgebers aus.
- Ich bin davon überzeugt, dass der Umstieg auf Elektromobilität auch für meinen Arbeitgeber der richtige Schritt in die Zukunft ist.
- Ich bin stolz, bei einem Arbeitgeber beschäftigt zu sein, der Elektromobilität aktiv unterstützt.
- Elektrisches Fahren wird auf absehbare Zeit noch nicht ausgereift sein.
- Die Nutzung von Elektroautos schont die Umwelt.
- Das Nutzen eines Elektroautos führt dazu, dass man seine Routen sorgfältiger plant.
- Das Nutzen eines Elektroautos führt dazu, dass man sein Auto bewusster einsetzt.
- Das Nutzen eines Elektroautos führt dazu, dass man bei manchen Strecken grundsätzlich auf das Auto verzichtet.
- Elektroautos sind dann umweltfreundlicher, wenn das Recycling der Batterien verbessert wird.
- Elektroautos haben eine bessere Umweltbilanz als konventionelle Fahrzeuge, wenn sie mit Ökostrom betrieben werden.
- Das Fahren eines Elektroautos passt überhaupt nicht zu meinem Lebensstil.
- Beim Fahren eines Elektroautos fühle ich mich der Zeit voraus.
- Beim Fahren eines Elektroautos fühle ich mich sehr modern.
- Fahren in einem Auto mit Elektromotor ist ein tolles Gefühl.

### **18.2 Items zur Technikaffinität, die einer Faktorenanalyse unterzogen wurden**

- Ich informiere mich über elektronische Geräte, auch wenn ich keine Kaufabsicht habe.
- Ich liebe es, neue elektronische Geräte zu besitzen.
- Ich gehe gern in den Fachhandel für elektronische Geräte.
- Ich bin begeistert, wenn ein neues elektronisches Gerät auf den Markt kommt.
- Es macht mir Spaß, ein elektronisches Gerät auszuprobieren.
- Ich kenne die meisten Funktionen der elektronischen Geräte, die ich besitze.
- Es fällt mir leicht, die Bedienung eines elektronischen Geräts zu lernen.
- Ich habe bzw. hätte Verständnisprobleme beim Lesen von Elektronik- und Computerzeitschriften.
- Ich kenne mich im Bereich elektronischer Geräte aus.