

# PRÄFERENZEN, GESCHÄFTSMODELLE UND MARKTPOTENTIAL DER V2G-TECHNOLOGIE

Joachim Geske

Institut für Energie und Klimaforschung IEK-STE, Forschungszentrum Jülich GmbH; Wilhelm Johnen Strasse, 52428 Jülich, www.fz-juelich.de Tel. +492461611722, j.geske@fz-juelich.de;

## Abstract:

Die V2G-Technologie erlaubt es elektrisch betriebenen Fahrzeugen einen Mehrwert zu verleihen, in dem während Standzeiten die elektrischen Speicher genutzt werden, um Netzdienstleistungen zu erbringen oder Preisarbitrage zu betreiben und damit die Effizienz des Systems zu erhöhen. Die Technologie ist vielfach auf ihr technisches Potential untersucht worden und so weit entwickelt, dass sie als massenmarktauglich bezeichnet werden kann. Wenig bekannt ist dagegen über die Präferenzen der Kunden und deshalb auch über mögliche Geschäftsmodelle und das Marktpotential. Alle drei Aspekte werden in diesem Beitrag aufbauend auf einem Auswahlexperiment (Choiceexperiment) untersucht. Ein Auswahlexperiment ist eine Standardmethode der Bewertung nichtetablierter Produkte über offenbarte Präferenzen. Die Auswertung des Experiments erlaubt es den Beitrag von V2G Vertragskomponenten - wie den Einfluss des Vergütungsschemas, der Einschränkungen der Mindestreichweite und der zeitlichen Verfügbarkeit - für den Vertragsabschluss in Konkurrenz zu alternativen Spezifikationen aber auch gegenüber der „Nichtabschluß“-Alternative zu quantifizieren. Damit werden V2G-Verträge in Konkurrenz vergleichbar und implizit die Frage nach einem Vertragsabschluss beantwortet.

Keywords: V2G-Technologie, Choice Experiment, Optimales Geschäftsmodell

## **1. Einleitung**

Elektromobilität ist ein Ansatz im Verkehrssektor fossile Antriebe durch CO<sub>2</sub> emissionsarme Antriebe zu substituieren und damit CO<sub>2</sub> Emissionen zu reduzieren - falls Elektrizität CO<sub>2</sub> arm erzeugt wurde. Die Bundesregierung verfolgt diesen Ansatz und legt sich in ihrem Energiekonzept auf die ambitionierten Zulassungsziele eine Million Elektrofahrzeuge bis 2020 und sechs Millionen bis 2030 fest. Bislang begrenzen die hohen Kosten der Batterie die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen. Allerdings kann während der im Allgemeinen hohen Standzeiten von Fahrzeugen der elektrische Speicher eines Elektrofahrzeugs zur Stabilisierung des elektrischen Netzes (Kempton, 1997) genutzt werden. Mit daraus erzielbaren Einnahmen könnten die Nettokosten eines elektrisch betriebenen Fahrzeugs gesenkt werden. Diese technische Möglichkeit zur Steigerung der Effizienz wird als „V2G Technologie“ bezeichnet.

Während die Technologiekomponenten einschließlich der Ladeinfrastruktur bis hin zur Serienreife entwickelt sind, und auch die Stromerzeugungskapazitäten und Übertragungsnetzinfrastruktur in Rahmen der angestrebten Zulassungszahlen nicht angepasst werden müssten, besteht Unklarheit über das konkrete Geschäftsmodell einschließlich des Preises der V2G Dienstleistungen. Folglich ist unsicher, ob sich eine derartige Technologie am Markt durchsetzen kann. Zweifel am Erfolg der Technologie entstehen insbesondere, weil 1. durch zusätzlichen Lade und Entladevorgänge die Batterie beschleunigt altern könnte, 2. durch die Nutzung des Speichers potentielle Reichweiteverluste des Elektrofahrzeugs auftreten

könnten und 3. eine Anpassung der Verteilnetzinfrastuktur erforderlich werden könnte. Diese Faktoren mit den verbundenen Kosten könnten die Bereitschaft der Fahrzeugbesitzer reduzieren, freiwillig eine V2G Dienstleistung anzubieten. Ob dagegen Kompensationszahlungen durch die Einnahmen aus dem Angebot von Netzdienstleistungen heute oder in Zukunft die Fahrzeugbesitzer hinreichend motivieren, ihren elektrischen Speicher zum Angebot von Netzdienstleistungen zur Verfügung zu stellen, ist bislang nicht bekannt. Erste Schätzungen deuten auf ein geringes Einnahmepotential hin (NET-ELAN).

Wir werden in diesem Beitrag in Kapitel 2 die relevanten technischen und wirtschaftlichen Auslegungsparameter des V2G Gutes identifizieren. Darauf aufbauend das Angebot von V2G Dienstleistungen in Abhängigkeit der Auslegungsparameter mit Hilfe eines Choice-experiments schätzen (Kapitel 3) und in Kapitel 4 gegeben diese Nachfrage den Gewinn eines Produzenten über der technischen Auslegung maximieren. Damit wird ein optimales V2G Geschäftsmodell abgeleitet.

## **2. Charakteristika eines V2G Geschäftsmodells**

Ein typisches rein elektrisch betriebenes Fahrzeug ist nach heutiger Auslegung mit einem elektrischen Speicher der Kapazität von 20 kWh ausgestattet. Zum Laden dieses Speichers muss ein Netzanschluss bestehen. Die Ladeleistung über herkömmliche Anschlüsse kann mit 3, 10 oder 50 kW erfolgen. Zu einer Fahrt mit dem Elektrofahrzeug wird die Netzverbindung unterbrochen und die gespeicherte elektrische Energie durch einen Elektromotor in Bewegungsenergie umgewandelt. Dabei verbraucht das Elektrofahrzeug durchschnittlich 0.15 kWh/Km. Die maximale Reichweite beträgt in diesem Fall 130 Km. Nach Beendigung der Fahrt kann das Fahrzeug an das Netz angeschlossen und der Speicher aufgefüllt werden. Eine komplette Ladung erfordert je nach Ladeleistung zwischen 6h, 2h oder 24 min.

Bei der V2G Technologie wird der elektrische Speicher während der Standzeiten dazu genutzt elektrische Energie - über das Laden des elektrischen Speichers zu Mobilitätszwecken hinaus - in das Netz einzuspeisen oder aus dem Netz zu laden. Institutionell wird das Angebot an Speicherkapazität von einem Aggregator gebündelt verwaltet. Dieser Aggregator kann die ihm in den Fahrzeugen zur Verfügung stehende Speicher so laden bzw. entladen, dass zeitliche Arbitragegeschäfte möglich werden. Der Speicher wird zeitlich gestaffelt durch den Aggregator und den Fahrzeugbesitzer genutzt. Dabei verursacht die Nutzung durch den Aggregator einen externen Effekt auf den Fahrzeugbesitzer, in dem eine zu stark entladene Batterie eine Folgefahrt unmöglich macht – umgekehrt kann ein bewegtes, nicht an das Netz angeschlossene Fahrzeug nicht durch den Aggregator genutzt werden.

Die Komplexität dieses Koordinationsproblems macht deutlich, dass ein Bottom-Up-Ansatz mit einer umfassenden ökonomischen Analyse nicht operational ist und stattdessen für die Ableitung des auf einem Vertrag aufbauenden Verhaltens auf Heuristiken zurückgegriffen werden muss. Es müssen also technische und ökonomische Auslegungsparameter gefunden werden, die die Nutzungsrechte an der Batterie festlegen und innerhalb derer sich verschiedene Verträge darstellen lassen. Dieser Komplexitätsreduktionsschritt basiert auf folgenden ad hoc Ansätzen:

1. Das Mobilitätsverhalten der Konsumenten verändert sich nicht durch den Abschluß eines V2G Vertrags.

2. Relevante technische und ökonomische Auslegungsparameter werden aus der Vereinigung zweier Experteneinschätzungen übernommen:
  - a) Kempton et al. (1996) präsentieren ein Geschäftsmodell in dem der Fahrzeugnutzer über einen Auf und Entlade-Controller wichtige Lade/Entladeparameter einstellen kann, deren Einhaltung durch den Aggregator garantiert wird. Dazu gehören eine Mindestreichweite und eine Angabe für Zeitpunkt und Länge der nächsten Fahrt.
  - b) Guille und Gross (2009) beschreiben ein Geschäftsmodell, in dem der Aggregator den Fahrzeugbesitzern einen Rabatt auf den Anschaffungspreis der Batterie (einschließlich Wartung und Garantie) gewährt. Der Fahrzeugbesitzer verpflichtet sich, das Fahrzeug zu vertraglich vereinbarten Zeiten an das Stromnetz anzuschließen. Bei absprachekonformen Verhalten folgen ex post Zahlungen wie z.B. Zuschüsse zu Ladekosten oder Parkgebühren. Eine direkte Zahlung an die Fahrzeughalter in Folge einer Einspeisung sieht das Modell nicht vor.

Die von uns betrachteten ökonomischen und technischen Auslegungsparameter umfassen deshalb 1. die Mindestreichweite, 2. eine Angabeoption für den nächsten Trip (Ausstattung mit einem Bordcomputer), 3. die Mindestanschlusszeit je Werktag, 4. die Mindestanschlusszeit je Woche, 5. eine monatliche Prämie und 6. eine Einmalzahlung.

### **3. Angebot von V2G Dienstleistungen durch Fahrzeugnutzer**

In diesem Abschnitt wird ein Multinomiallogit Modell (MNL Modell), mittels der Ergebnisse einer kontrafaktischen Umfrage quantifiziert. Das Modell erlaubt es Vertragsauswahlwahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der o.g. Vertragsparametern und Gewichtungparametern (Nutzenparametern) in einem Schätzschritt so zu bestimmen, dass die beobachteten Entscheidungen durch das Modell möglichst gut beschrieben werden.

#### **3.1. Kontrafaktische Umfrage – Choiceexperiment: Konzeption und Durchführung**

Um Beobachtungen zur Quantifikation des ökonometrischen Modells aufzuzeichnen, wurden im Rahmen einer von einem Marktforschungsinstitut DIMA durchgeführten webbasierten Umfrage 1243 repräsentativ ausgewählte Personen befragt. Aus dieser Grundgesamtheit wurden dann 611 Personen als Stichprobenteilnehmer ausgewählt, die ein elektrisch betriebenes Fahrzeug besitzen oder dessen Kauf planen.

Mit diesen Stichprobenteilnehmern wurde dann ein Choiceexperiment durchgeführt. Dazu wurden die Teilnehmer durch einen Text in die V2G Technologie eingeführt und Daten zum Mobilitätsverhalten, zur Motivation, zu Einstellungen und zu demographischen Klassifikation der Teilnehmer erhoben. Dann wurden -im Rahmen des Choiceexperiments (Appendix: Choiceexperiment) - je dreimal die o.g. Auslegungsparameter ( $m, B_c, d, h, P_m, P_e$ ) zufällig gewählt, zu hypothetischen V2G Verträgen kombiniert und diese den Individuen vorgelegt. Jedes Individuum konnte zwischen einer der drei Alternativen oder „keiner“ („Optout“) wählen. Diese Entscheidung wurde für jedes Individuum 8 mal mit unterschiedlichen Realisationen der Vorgaben wiederholt, so dass insgesamt  $611 \times 8 = 4888$  auswertbare Entscheidungen vorlagen.

#### **3.2. Schätzung**

Die Parameter des MNL Modells werden nun so bestimmt, dass die 4888 beobachteten Entscheidungen des Choiceexperiments möglichst mit den von dem Modell vorhergesagten

übereinstimmen. Der Modellansatz erlaubt es sowohl Charakteristika der entscheidenden Personen, wie auch die Charakteristika der Verträge zu berücksichtigen. Im Folgenden wurde ein MNL-Modelle geschätzt, das ausschließlich auf Vertragscharakteristika aufsetzt.

Die Schätzergebnisse der Nutzenparameter ( $\beta_m, \beta_{BC}, \beta_d, \beta_h, \beta_{pm}, \beta_{pe}, \beta_{optout}$ ) des MNL-Modells sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Parameter Mindestreichweite, Bordcomputer, Mindeststunden, Monatsauszahlung, Einmalauszahlung sind hochsignifikant und haben positive Vorzeichen. Da die Vorzeichen der Schätzparameter bei MNL Modellen nicht mit den Vorzeichen der Elastizitäten der Auswahlwahrscheinlichkeit übereinstimmen müssen, ist es erforderlich, diese zur Beurteilung des qualitativen Einflusses der Parameter explizit zu bestimmen. Es zeigt sich, dass alle Elastizitäten hoch signifikant sind und die Vorzeichen der „Eigenentscheidungsparameter“-Elastizitäten den Vorzeichen der Schätzparameter entsprechen bzw. dass die Vorzeichen der „Kreuzentscheidungsparameter“-Elastizitäten den negativen Vorzeichen der Schätzparameter entsprechen. Das bedeutet zum Beispiel, dass die Erhöhung der Mindestreichweite in Vertrag 1 die Wahrscheinlichkeit, dass Vertrag 1 gewählt wird tatsächlich erhöht, während die Wahrscheinlichkeit sinkt, dass Vertrag 2, 3 oder „Optout“ gewählt werden. Die Entscheidungswahrscheinlichkeitselastizitäten haben somit plausible Vorzeichen.

Variablen		MNL Model				
		Coefficient	Standard Error	z	95% Confidence Interval	
Mindestreichweite	$\beta_m$	0.04393***	0.00150	29.26	0.04099	0.04687
Bordcomputer	$\beta_{BC}$	0.34828***	0.03799	9.17	0.27381	0.42274
Mindesttage	$\beta_d$	0.02077	0.02264	0.92	-0.02360	0.06513
Mindeststunden	$\beta_h$	-0.05348***	0.00420	-12.75	-0.06170	-0.04525
Monatsauszahlung	$\beta_{pm}$	0.01344***	0.00094	14.32	0.01160	0.01528
Jahresauszahlung	$\beta_{pe}$	0.00020***	0.7884D-05	25.69	0.00019	0.00022
Optout-Konstante	$\beta_{optout}$	2.27716***	0.12645	18.01	2.02932	2.52499
Log Likelihood		-5749.85 (Constants only -6746.63)				
<b>Tabelle 1: Schätzergebnisse; Significance at 1%(***), 5%(**), 10%(*) level.</b>						

Der Güte der Modellschätzung kann durch die Abweichung der vom geschätzten Modell vorhergesagten Entscheidungen und den beobachteten Entscheidungen bestimmt werden. Da vom Modell nur Entscheidungswahrscheinlichkeiten bestimmt werden, müssen diese erst „umgewandelt“ werden, um mit den tatsächlichen Entscheidungen „verrechnet“ werden zu können. Dazu haben sich zwei Umwandlungsvorschriften durchgesetzt. Einmal wird die Alternative mit der maximalen durch das geschätzte Modell vorhergesagten Wahrscheinlichkeit mit der tatsächlichen Entscheidung verglichen und über die Entscheidungen summiert. Als Güte des Modells kann man das Verhältnis der aggregierten richtig vorhergesagten Entscheidungen zu den 4880 insgesamt vorgenommenen Entscheidungen mit 48.11% angeben. D.h. die Hälfte aller Entscheidungen wird durch das Modell richtig vorhergesagt. Alternativ kann man den Wahrscheinlichkeitsbeitrag der Entscheidungen aus dem Modell für jede Entscheidungs-Vorhersage-Kombination summieren. Hier beträgt das zuvor vorgeschlagene Maß 35.88%.

Zusätzlich wurde auch eine allgemeinere Modellspezifikation, die demographische Parameter der entscheidenden Person als erklärende Variable mitberücksichtigt, geschätzt. Zu den berücksichtigten Parametern zählten das Alter, das Geschlecht, der Ausbildungsstand und die Haushaltsgröße der Teilnehmer. Nahezu alle demographischen Parameter waren nicht-

signifikant. Dies kann als vollständige Unabhängigkeit der Entscheidungswahrscheinlichkeit von demographischen Faktoren gewertet werden.

Man kann feststellen, dass eine Indifferenz zwischen den Auszahlungsschemata bezüglich des Nettogegenwartswertes eine sehr hohe Diskontrate erforderte. Umgekehrt würde ein Auszahlungsstrom mit einem konstanten Gegenwartswert unter einem gängigen Zinssatz einen höheren Nutzen über eine monatliche Auszahlung ermöglichen. Möglicherweise steht dies in Beziehung mit der Bevorzugung befristeter Verträge, die eine größere zukünftige Entscheidungsfreiheit zulassen.

### 3.3. Interpretation

Der Modellansatz beinhaltet mit der Möglichkeit zur Bestimmung der Bedingungen der Wahl eines spezifischen Vertrags einen Ansatz zur Beantwortung der Frage, ob überhaupt ein Vertragsabschluss erfolgt. Nach dem MNL Modell wird ein V2G-Vertrag abgeschlossen, sobald der Reservationsnutzen durch den Nutzen, der aus dem Vertrag durch garantierte Mindestreichweite, Verfügbarkeit (Mindestladestunden) und Vergütung entsteht, überschritten wird. Skaliert man diese Wahrscheinlichkeit mit Individuen, so erhält man das erwartete Marktvolumen bzw. eine Angebotsfunktion. Eine derartige Angebotsfunktion ist in Abhängigkeit der Mindestreichweite und der monatlichen Vertragsauszahlung in Abbildung 1 dargestellt.

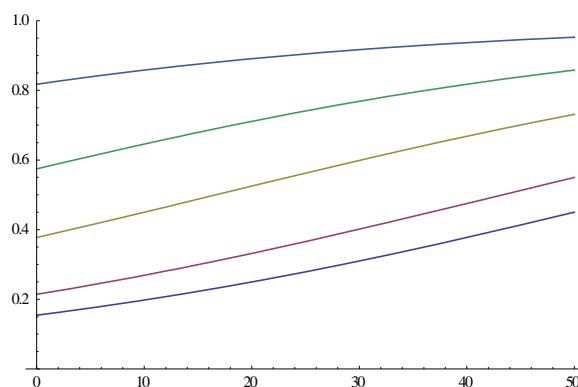


Abbildung 1: Abschlusswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der monatlichen Prämie für Mindestreichweiten (0, 10, 30, 50, 80 Km von unten nach oben) [Km]

In der Abbildung ist auf der Y-Achse die Vertragsabschlusswahrscheinlichkeit aufgetragen und auf der X-Achse die monatliche Prämie. Jeder Graph ordnet einer Mindestreichweite und den Prämienwerten jeweils spezifische Vertragsabschlusswahrscheinlichkeit zu. Die Graphen sind (von „unten“ nach „oben“) von den Mindestreichweiten 0, 10, 30, 50 und 80 Km abhängig. Man erkennt, dass die Abschlusswahrscheinlichkeit durch die Prämie um maximal 25 %-Punkte angehoben werden kann, während durch die Erhöhung der Mindestreichweite eine Erhöhung um mindestens 40%-Punkte möglich wird. Unter den Vertragsparametern dominiert im relevanten Bereich die Mindestreichweite – insbesondere die Vertragsauszahlung. Das impliziert, dass das Marktpotential der V2G-Technologie signifikant ausfallen kann, selbst wenn eine finanzielle Kompensation dies nicht ist. Weiter kann man schlussfolgern, dass V2G nicht zwingend auf Grund fehlender finanzieller Anreize für die Fahrzeughalter - seien es private oder öffentliche – scheitern muss. Diese Ideen werden im nächsten Abschnitt präzisiert, in dem die Einnahmemöglichkeiten, Kosten und die Vertragsabschlusswahrscheinlichkeit der V2G Technologie berücksichtigt werden und daraus ein optimaler Vertrag abgeleitet wird.

#### 4. Optimales V2G Vertragsdesign

In diesem Abschnitt werden das technische Betriebsmodell des Elektrofahrzeugs und der Batterie, die Nachfrage und Einnahmemöglichkeiten aus dem Arbitragehandel mit Elektrizität zusammengeführt, um die Auslegungsparameter eines gewinnmaximalen V2G Geschäftsmodells abzuleiten.

Der Vertrag erlaubt es dem Aggregator Einnahmen aus zeitlichen Arbitragegeschäften mit dem zur Verfügung gestellten elektrischen Speicher zu erzielen. Der Aggregator kann seine Ladestrategie  $d_t$  [kWh], die sich an den Kauf- und Verkaufspreisen des elektrischen Stroms  $p_{et}$  [€/kWh] orientiert und die Vertragsparameter mit der Mindestreichweite  $R$  [Km] und der Prämie  $P$  [€] so bestimmen, dass der erwartete Profit - das Produkt aus Profit  $p_t d_t$  und der im vorigen Abschnitt empirisch bestimmten Teilnahmewahrscheinlichkeit  $P_{accp}(P, R)$  - maximal wird. Eine Erhöhung der Mindestreichweite und der Prämie  $P$  [€] erhöhen die Wahrscheinlichkeit des Vertragsabschlusses. Allerdings reduzieren sie die Nutzbarkeit der Batterie und verhindern so die Generierung von Einnahmen bzw. erhöhen Kosten.

Das tägliche Fahrprofil  $F_t$  ist als zeiteinheitsbezogener Index für Fahrt (= 1 und Stand = 0) gegeben. Man kann in einer Periode entweder fahren oder mit Netzanschluss Laden/Entladen – und damit Einnahmen erzielen. Die Batterieladung beträgt  $S_t$  [kWh], die Kapazität des Batteriespeichers  $\bar{S}$  [kWh]. Für eine Stunde Fahrt erfolgt eine Entladung in Höhe von  $L$  [kW], bezogen auf den Verbrauch  $V$  [kWh/Km]. Die Lade/Entladeleistung  $d_t$  [kW] wird durch die ebenfalls frei wählbaren Ladeleistungsbeschränkungen  $\bar{d}$  [kW] und  $\underline{d}$  [kW] begrenzt. Zu den Kosten zählt auch die Prämie  $P$ .  $v$  [Km/h] ist die Durchschnittsgeschwindigkeit. Das Gewinnmaximierungsproblem des Aggregators lautet:

$$\begin{aligned} \max_{P, R, d_t, \bar{d}} \pi &= P_{accp}(P[\text{€}], R[\text{Km}]) \left( \sum_{t=0 \dots T} -p_t \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] [L_t d_t [\text{kW}] + F_t V v] - P[\text{€}/d] \right) \\ \bar{S} [\text{kWh}] &\geq S_{t+1} [\text{kWh}] = S_t [\text{kWh}] + \left( L_t d_t [\text{kW}] - F_t V \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{Km}} \right] v \left[ \frac{\text{Km}}{\text{h}} \right] \right) 1 [\text{h}] \\ &\geq V \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{Km}} \right] R [\text{Km}] \\ \bar{d} [\text{kW}] &\geq d_t [\text{kW}] \geq \underline{d} [\text{kW}]; P[\text{€}], R[\text{Km}] \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Im Folgenden wird ein numerisches Beispiel für einen Zeitraum von 48 Stunden vorgestellt. Da bei einer Stundenauflösung unter den o.g. Parametern keine Lösung existiert, wurde eine halbstündige Zeitauflösung gewählt. Um den Einfluss von Unsicherheiten auszuschalten, wurde der Berechnung eine dem Aggregator bekannte Dayahead Preisreihe [€/kWh] vom 01.01.2012-02.01.2013 zu Grunde gelegt. Ebenfalls als ex ante bekannt wurde das Fahrprofil in Form eines Indexvektors unterlegt (in Abbildung 2 und Abbildung 3 als farbiges Band dargestellt). Mit den zuvor geschätzten Parametern des MNL Modells bei lediglich einer Vertragsalternative.

Der optimale Vertrag charakterisiert sich durch eine garantierte Mindestreichweite von 23.09 Km ohne Zahlung einer monatlichen Prämie. Der Aggregator wählt eine Ladeleistung von 20 kW. Die Pluginzeit bei diesem Fahrprofil beträgt 15 h. In diesem Fall beträgt die V2G Vertragsabschlusswahrscheinlichkeit eines Elektrofahrzeugbesitzers 40%. Bei einem Verbrauch von 11.25 kWh pro Tag kommt es durch Arbitragegeschäfte zu einer gesamt Ladung

der Batterie von 20.42 kWh. Der Aggregator übernimmt also zwei Funktionen: erstens deckt er den Tagesbedarf an elektrischer Energie für Mobilitätszwecke zum optimalen Zeitpunkt und zweitens tätigt er Arbitragegeschäfte. Dabei erhöht sich die Anzahl der Volllastzyklen auf 1 pro Tag. Auf diese Weise kann der Aggregator netto einen Profit von 0.25 €/Teilnehmertag erwarten.

Die Batterieladestrategie kann in Abbildung 2 und Abbildung 3 nachvollzogen werden. So erfolgt die Ladung der Batterie während der Plug in Zeit nachts, zu der der Strompreis niedrig oder sogar negativ ist. Zum Fahrtantritt „morgens“ ist die Batterie dann voll geladen. Während der Standzeit ist die Batterie nicht mit dem Netz verbunden so, dass sich der Ladezustand nicht ändert. Nach Abschluss der Fahrt um 18.00 Uhr wird die Batterie wieder mit dem Netz verbunden und es kommt zu einer arbitragebedingten Entladung, ehe sich der Zyklus am nächsten Tag wiederholt. Durch die Optimierung des Vertrags wurde den Wünschen der Teilnehmer nach Mindestreichweite Rechnung getragen. Die dadurch erreichte Steigerung des Marktvolumens kompensiert den Aggregator für die geringeren Möglichkeiten Einnahmen aus der Ladestrategie zu generieren.

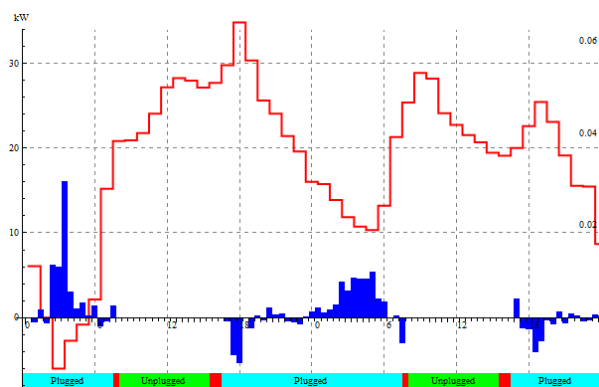


Abbildung 2: Optimale Ladestrategie (blau, linke Skala [Kw]), Strompreis (rot, rechte Skala [€/kWh]) bei umfassender Optimierung mit Fahrprofil (rot: „Fahrt“, grün: „unplugged“, blau: „plugged“).

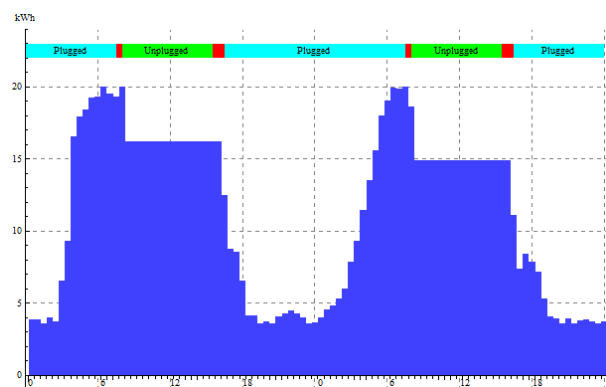


Abbildung 3: Gespeicherte Energie [kWh] bei umfassender Optimierung. Deutlich zu erkennen sind die Nachtphasen in denen lediglich die Mindestreichweite vorgehalten wird und die Tagesphasen, in denen „unplugged“ der billige „Morgenstrom“ für den Abend gespeichert wird.

## 5. Conclusion

Für den Erfolg der V2G Technologie ist sowohl das Angebot, als auch die Nachfrage relevant. Auf dem zugehörigen Markt wird sich ein Preis bilden, der maßgeblich das Marktvolumen auf Angebots-, als auch auf Nachfrageseite mitbestimmt. In dieser Arbeit wird ein solches partielles Gleichgewicht bestimmt. Dabei werden umfassende empirische Untersuchungen zur Bestimmung von Nachfrage und Angebot berücksichtigt. Die in diesem Beitrag durchgeführten empirischen Analysen lassen erwarten, dass die klassische Darstellung für die V2G Technologie nicht ausreichend detailliert ist. Zwar ist der optimale Preis der V2G Technologie in einem plausiblen Beispiel gleich Null, dennoch kommt es zu einem signifikanten Angebot der Dienstleistung durch Besitzer von elektrischen Fahrzeugen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass in dem bisher betrachteten Beispiel die Nutzung der Batterie durch den Aggregator nur einen geringen Nutzenverlust darstellt, solange Mindestreichweiteforderungen erfüllt sind. Außerdem erfüllt der Aggregator die Dienstleistung die Batterie zum bestmöglichen Zeitpunkt für die zu erwartende Fahrleistung zu laden. Selbst

wenn die Arbitrage-Einnahmen für den Aggregator gering ausfallen, heißt das nicht unbedingt, dass die V2G Technologie nicht breite Anwendung finden kann.

## 6. Acknowledgements

Die Arbeit ist im Rahmen des Projekts „Netzintegration mobiler Energiespeicher: Testbasierte Evaluierung, technische Potentiale und Bereitschaft von Fahrzeughaltern (NET-INES)“ entstanden - gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

## Literatur

- Kelvin Lancaster, Change and Innovation in the Technology of Consumption, *The American Economic Review* Vol. 56, No. 1/2 (Mar. 1, 1966), pp. 14-23
- Kelvin J. Lancaster, A New Approach to Consumer Theory, *The Journal of Political Economy*, Vol. 74, No. 2 (Apr., 1966), pp. 132-157
- Michael K. Hidrue, George R. Parsons, Willett Kempton, Meryl P. Gardner: "Willingness to pay for electric vehicles and their attributes", *Resource and Energy Economics*, Volume 33, Issue 3, September 2011, Pages 686-705, ISSN 0928-7655.
- George R. Parsons, Michael K. Hidrue, Willett Kempton, and Meryl P. Gardner: "Can vehicle-to-grid revenue help electric vehicles on the market?", Working Paper No. 2011-21, University of Delaware.
- Kempton, Willett/ Letendre, Steven E. (1996), Electric vehicle as a new power source for electric utilities; in: *Transportation Research Part D: Transport und Environment*, Vol.2, Issue 4, S.157-175. S. 162
- Guille, Christophe, Gross, George (2009), A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation; in: *Energy Policy*, 37, S.4379-4390, hier: S.4388.
- NET-ELAN Projektbericht
- NET-INES Webadresse



## Appendix: Choiceexperiment

Bitte stellen Sie sich vor, Sie bekämen beim Kauf Ihres Elektrofahrzeugs drei unterschiedliche V2G-Verträge angeboten.

**Vergleichen Sie die Bedingungen und entscheiden Sie sich dann jeweils für einen Vertrag.**

Falls Sie sich nicht entscheiden können, steht Ihnen auch die Möglichkeit "keiner dieser Verträge" zur Wahl. Im Folgenden werden Sie insgesamt 8 Mal vor diese Entscheidung gestellt.

---

**Vorausgesetzt alle anderen Vertragsbestandteile würden sich nicht unterscheiden. Welche dieser Vertragsvarianten würden Sie wählen?**

<b>20 km Mindestreichweite</b>	<b>30 km Mindestreichweite</b>	<b>50 km Mindestreichweite</b>	
<b>Ohne Bordcomputer</b>	<b>Mit Bordcomputer</b>	<b>Mit Bordcomputer</b>	
<b>5 Tage pro Woche gesteuertes Laden/Entladen</b>	<b>3 Tage pro Woche gesteuertes Laden/Entladen</b>	<b>4 Tage pro Woche gesteuertes Laden/Entladen</b>	
<b>Mindestens 5 Stunden pro Tag Anschluss an Ladestation</b>	<b>Mindestens 7 Stunden pro Tag Anschluss an Ladestation</b>	<b>Keine</b> Mindeststunden an der Ladestation pro Tag	Keinen der drei Verträge
<b>30 € monatliche Rückvergütung</b>	<b>45 € monatliche Rückvergütung</b>	<b>Keine</b> monatliche Rückvergütung	
<b>7.000 € Gutschrift bei Fahrzeugkauf</b>	<b>Keine</b> Gutschrift bei Fahrzeugkauf	<b>Keine</b> Gutschrift bei Fahrzeugkauf	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Zur Erklärung:**

- 1. Garantierte Mindestreichweite:** Unabhängig davon, wie häufig die Batterie durch den V2G-Vertragspartner ge- und entladen wird, erreicht das Elektrofahrzeug eine Mindestreichweite, die je nach Vertrag zwischen 10 und 50 Kilometern liegt.
- 2. Bordcomputer:** Im Elektrofahrzeug befindet sich ein Bordcomputer, mit dem man den Zeitpunkt und die Länge der nächsten Fahrt programmieren kann. Damit wird garantiert, dass die Batterieladung zum angegebenen Zeitpunkt für die Durchführung der Fahrt ausreicht. Dadurch kann man auch solche Fahrten garantiert durchführen, deren Länge über der garantierten Mindestreichweite liegt. Die Mindestreichweite ist weiterhin garantiert, unabhängig vom Zeitpunkt der Fahrt.
- 3. Anzahl der Tage pro Woche für gesteuertes Laden und Entladen:** Gesteuertes Laden und Entladen kann nur erfolgen, wenn das Fahrzeug steht und an eine Ladestation angeschlossen ist. Es wird angenommen, dass eine Ladestation sowohl am Arbeitsplatz als auch privat vorhanden ist. Der Besitzer stellt sicher, dass das Fahrzeug jede Woche mindestens an der angegebenen Anzahl von Tagen (je nach Vertrag zwischen 3 und 5 Arbeitstagen) zum gesteuerten Laden zur Verfügung steht. Andernfalls erhält er vom V2G-Vertragspartner eine geringere Vergütung.
- 4. Anzahl der Stunden, an denen das Elektrofahrzeug an eine Ladestation angeschlossen sein muss:** An der zuvor angegebenen Anzahl von Tagen stellt der Besitzer sicher, dass das Fahrzeug mindestens für die angegebene Anzahl von Stunden an eine Ladestation angeschlossen ist. Die mögliche Mindeststundenzahl liegt je nach Vertrag zwischen 0 und 14 Stunden jeden Tag. Andernfalls erhält er vom V2G-Vertragspartner eine geringere Vergütung.
- 5. Monatliche Rückvergütung** zwischen 10 und 60 € pro Monat
- 6. Preisgutschrift auf die Anschaffung des Elektrofahrzeugs.** Die Preisgutschrift kann zwischen 0 und 7000 € betragen.