


Leibniz Universität Hannover
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
IWI - Institut für Wirtschaftsinformatik
Prof. Dr. Michael H. Breitner



Bachelorarbeit SS 2013

Szenarioanalyse der Kosten für die Nutzung eines Elektro-Fahrzeugs

Verfasser:

Damian Reck



08. August 2013

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Abbildungs-/Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1. Das Elektrofahrzeug als umweltpolitische Maßnahme	1
2. Theoretische Grundlagen	2
2.1 Entstehungsgeschichte, Aufbau und Funktion eines Elektrofahrzeugs in einer Übersicht	2
2.1.1 Die Batterietechnik im Elektrofahrzeug	4
2.2 Der Volkswagen E-Up!	7
2.3 Das Erdgasauto VW Eco-Up! Als Vergleichsobjekt.....	8
2.4 Strompreiszusammensetzung und Entwicklung 2013	10
2.4.1 Stromeinsatz, Stromverbrauch und Industriestrompreise am Standort Deutschland	10
2.4.1.1 Erzeugung und Vertrieb.....	11
2.4.1.2 Netzentgelte.....	12
2.4.1.3 Paragraph-19-Umlage	13
2.4.1.4 Umlage Haftungsregelung Offshore-Windparks	13
2.4.1.5 Stromsteuer.....	14
2.4.1.6 Konzessionsabgabe.....	14
2.4.1.7 KWK-Aufschlag	15
2.4.1.8 EEG-Umlage und Strompreis-Prognose für das Jahr 2013.....	15
3. Szenarioanalysen	17
3.1 Strom-Szenario 1: Eigenproduktion mittels Photovoltaik.....	18
3.1.1 Annahme für das Szenario Eigenproduktion mittels Photovoltaik.....	18
3.1.2 Kostenanalyse der PV-Anlage in Kombination mit dem VW E-Up! für das Szenario 1	23
3.2 Strom-Szenario 2: Energiebezug aus dem deutschen Stromnetz in Kombination mit dem VW E-Up!.....	31
3.2.1 Kostenkalkulation des Haushaltsstroms und des VW E-Up!	32
3.3 Szenario 3: Energiebezug aus dem deutschen Stromnetz und die Nutzung des VW Eco-Up!	36
3.3.1 Kostenkalkulation des VW Eco-Up! mit Einbezug der Haushaltsstromkosten	37
4. Vergleich der Szenarien und ein Ausblick in die Zukunft	43

5. Fazit	47
Literaturverzeichnis.....	50
Anhang	A1

1. Das Elektrofahrzeug als umweltpolitische Maßnahme

Die Umweltproblematiken, die auf die Globalisierung zurückzuführen sind, zwingen die EU zu klimapolitischen Zielen, um den erheblichen Folgen für die Umwelt entgegenzuwirken. Demnach werden etwa 20 Prozent der Treibhausgas-Emissionen vom Verkehrssektor verursacht. Um den tendenziell zunehmenden Belastungen durch den Verkehrssektor entgegenzuwirken gibt es unterschiedliche Maßnahmen und Technologien (vgl. Umweltbundesamt, 2013). Eine vielversprechende Möglichkeit ist das Elektrofahrzeug das gegenüber dem konventionellen Verbrennungsmotor zahlreiche Vorteile aufweist. Als größtes Plus ist die Umweltfreundlichkeit zu nennen, da das E-Auto im Fahrbetrieb keine Emissionen ausstößt (Zero-Emission). Darüberhinaus besitzt es einen sehr hohen Wirkungsgrad von ca. 90 Prozent. D.h., die genutzte Energie wird zu fast 100 Prozent für den Antrieb verwendet, wohingegen in konventionellen Automobilen etwa ein Drittel durch die Wärme verloren geht. Das Nachsehen hat das E-Auto jedoch beim Kaufpreis und der Reichweite. Der hohe Kaufpreis ist vor allem auf die teure Batterie zurückzuführen und erfordert Ladezeiten von bis zu zehn Stunden. Die maximale Reichweite ist auf 300 Kilometern begrenzt, sodass sich eine Investition eher für Endverbraucher eignet, die zum größten Teil im Stadtverkehr unterwegs sind (vgl. Bücherl, 2013). Diese Nachteile, die sich gegenüber den Verbrennungsmotoren ergeben können jedoch durch die steigenden Preise der fossilen Ressourcen eingedämmt werden. Die fossilen Energieträger sind nicht endlos vorhanden, sodass von zukünftig steigenden Ölpreisen auszugehen ist. Dieser Problematik kann das E-Auto entgegenwirken, da es unabhängig der Ölpreisentwicklungen von Strom angetrieben wird. Allerdings ergeben sich hieraus andere Problematiken, die auf die umweltpolitischen Ziele zurückzuführen sind. Die politischen Handlungen zur Effizienzsteigerung und dem Ausbau erneuerbarer Energien treiben die Strompreise der Endverbraucher und die Spritkosten des E-Fahrzeugs in die Höhe. Folglich ergeben sich viele Fragen, inwieweit eine Investition in ein E-Fahrzeug sinnvoll ist, ob es mit Strom aus dem allgemeinen Netz oder durch die erzeugte Energie einer Photovoltaikanlage betrieben werden sollte, bzw. ob die Investition in ein umweltfreundliches fossiles Automobil nutzenbringender ist. Dementsprechend liegt das Hauptaugenmerk der vorliegenden Untersuchung auf zwei Strom-Szenarien für den VW E-Up! und einem Vergleichsszenario des fossilen VW eco-Up!. Der Fokus der Untersuchung wird im Folgenden auf die Kostenanalyse des

VW E-Up! gelegt, welcher in den zwei Strom-Szenarien zum einen mit der Sonnenenergie der Photovoltaikanlage und zum anderen mit der aus dem Stromnetz bezogenen Energie betankt wird. Die Analyse soll Klarheit darüber verschaffen, wie sich die Kosten für die einzelnen Investitionen zusammensetzen und Aufschluss darüber geben, welches Szenario auf lange Sicht für einen privaten Haushalt die kostengünstigste Variante ist. Dabei werden neben den Anschaffungskosten auch die laufenden Kosten für einen Zeitraum von 2013 bis 2025 kalkuliert. Zusätzlich werden unterschiedliche Finanzierungsmöglichkeiten in Betracht gezogen, um aufzuzeigen inwiefern und mit welchen Methoden die hohen Kosten amortisiert werden. Die Kalkulation wird somit Aufklärung darüber bringen, welche Investitionsbestandteile am kostenintensivsten sind und langfristig die größten Aufwendungen erzeugen. Im nächsten Kapitel werden zunächst die theoretischen Grundlagen der Studie erläutert. Darauf aufbauend werden im dritten Kapitel die Annahme der unterschiedlichen Szenarien definiert, sowie die jeweiligen Kostenanalysen durchgeführt. In diesem Kontext werden die einzelnen Kostenbestandteile der Photovoltaikanlage, des VW E-Up! und des VW eco-Up! kalkuliert. Eine wesentliche Rolle werden dabei die Stromkosten spielen. Zusätzlich wird auf verschiedene Finanzierungsmöglichkeiten und den damit verbundenen unterschiedlichen Gesamtkosten eingegangen. Im vierten Kapitel erfolgt ein Vergleich der im dritten Kapitel kalkulierten Szenarien mit einem abschließenden Ausblick in zukünftige Kostenanalysen. Abschließend werden die Erkenntnisse aus der Studie zusammengefasst.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Entstehungsgeschichte, Aufbau und Funktion eines Elektrofahrzeugs in einer Übersicht

Zurzeit erlebt die Elektromobilität eine Art Renaissance und ist zu einem lebhaften und viel diskutierten Thema im öffentlichen Leben und vor allem in den Medien geworden. Vor ca. 130 Jahren ergab sich ein ähnliches Bild, als Gustave Trouvé das erste Elektroauto der Öffentlichkeit präsentierte. Dieses weltweit erste dreirädrige elektrisch betriebene Automobil leistete zwölf km/h, wurde von zwei Motoren angetrieben und zog die erforderliche Energie aus sechs Bleiakkumulatoren. Die Menschheit war gegenüber dieser Erfindung geteilter Meinung. Während die Einen dem gegenüber skeptisch waren, sahen die Anderen darin die Zukunft der Mobilität. Der eigentliche Grundstein für die Geburt des Automobils entstand durch die Einreichung eines Patents durch Karl

verschiedenen Temperaturen hat gezeigt, dass die Batterien bei kälteren Temperaturen schneller verbraucht werden. Folglich muss der Faktor Winterzeit für zukünftige Kalkulationen in Betracht gezogen werden, um in Bezug auf den Spritverbrauch genauere Kosten zu ermitteln. Hinsichtlich des VW E-Up! kommen bei den laufenden Kosten die Versicherungen als weiterer Kostenfaktor bei den Berechnungen in Betracht. Ein weiterer Punkt ist die Effizienzsteigerung von elektronischen Haushaltsgeräten, PV-Anlagen und Batterietechniken des VW E-Up!, welche den Eigenbedarf eines privaten Haushalts senken. Bezüglich der Batterietechnologie besteht viel Potential, sodass die Reichweite und die mögliche Kapazität in Zukunft gesteigert werden können. Die Kalkulation dieser Effizienzsteigerungen ist allerdings mit einer hohen Komplexität verbunden und sollte in naher Zukunft berücksichtigt werden, um die Gesamtkosten auf den neusten Stand zu halten. Eventuell ist eine Analyse der Gesamtkosten von PV-Anlagen in Kombination mit Erdgasautos durchzuführen. Der fehlende Batteriespeicher und die damit verbundene Abhängigkeit von den Stromerzeugern lässt jedoch bei einer Kalkulation in der Hinsicht Zweifel aufkommen. Ein weiterer wichtiger Bereich sind die politischen Faktoren bei denen in zukünftigen Kostenanalysen auf mögliche Reformänderungen eingegangen werden sollte bzw. auf die einzelnen Faktoren, die den Strompreis beeinflussen. Wichtig hierbei ist die Berücksichtigung der Preisentwicklung von EEG-Umlagen, Netzentgelten und der Paragraph-19-Umlage. Des Weiteren müssen die klimapolitischen Ziele der EU sowie der intensive Ausbau der EE berücksichtigt werden. Ein abschließender wichtiger Punkt sind die Strompreisentwicklungen im Zusammenhang mit dem geplanten Atomausstieg. Alles in allem muss Berücksichtigt werden, inwieweit die geplanten Ziele der EU und der Bundesregierung realisiert werden können, ob es zu gravierenden Veränderungen kommt und inwiefern sich die Kosten hinsichtlich PV-Anlage, E-Auto und Strom entwickeln.

5. Fazit

Ausgangspunkt dieser Studie ist die Szenarioanalyse zur Ermittlung der Kosten für die Nutzung eines Elektro-Fahrzeugs für den Zeitraum von 2013 bis 2025. Dabei sind zunächst die grundlegenden Funktionen eines Elektrofahrzeugs hinsichtlich des E-Motors und der Batterietechnik erläutert worden. Im Anschluss wurden Zahlen und Fakten zu den Versuchsobjekten des VW E-Up! und VW Eco-Up! konkretisiert. Darüber hinaus sind die Kostenbestandteile der Energiequelle der E-Fahrzeuge, dem Strom, näher er-

läutert worden. Basierend auf diesen Informationen wurden die Analysen der drei Szenarien mit jeweils fest definierten Annahmen durchgeführt. Hierbei wurden die Kostenbestandteile der getätigten Investitionen unter dem Gesichtspunkt unterschiedlicher Finanzierungsmöglichkeiten kalkuliert. Anschließend erfolgte ein Vergleich und eine kritische Auseinandersetzung mit den Szenarien. Des Weiteren ist auf die Preisentwicklungen von Strom und Erdgas über den definierten Zeitraum von 2013 bis 2025 eingegangen worden.

In S1 wurden die Kostenbestandteile einer Photovoltaikanlage und des VW E-Up! kalkuliert. Dabei floss der Eigenbedarf des Stroms in die Kalkulation mit ein. Kostentreibende Faktoren der beiden Investitionen waren der Grundanschaffungspreis, der bei der PV-Anlage 12.755,40 € und beim E-Auto 25.000 € betrug. Dem gegenüber waren die laufenden Kosten mit ca. 20 Prozent der Investitionskosten über die 12 Jahre äußerst gering. Folglich ergaben sich in dem definierten Zeitraum Gesamtkosten von **45.341,51 €**.

Die Investitionen in S2 wurden auf den VW E-Up! beschränkt. Die notwendige Energie wurde aus dem Stromnetz bezogen. Dementsprechend erfolgte in Anlehnung an die vergänglichen Strompreisentwicklungen der Statista GmbH eine Berechnung der Wachstumsrate mit Hilfe des geometrischen Mittels. Die resultierende Wachstumsrate diente zur Ermittlung der Strompreise für die Jahre von 2014 bis 2025. Daraus ergaben sich für den Strom Gesamtkosten in Höhe von 17.863,15 € in denen neben dem Eigenbedarf auch der Spritverbrauch des VW E-Up! mit inbegriffen ist. Als zusätzliche Option wurde eine Vollfinanzierung des VW E-Up! mit einem Kredit der KfW zu einem Effektivzinssatz von 1,56% in Höhe von 25.000 € berechnet. Als Rückzahlungssumme entstanden Kosten in Höhe von 27.194,78 €. Die Gesamtkosten von Szenario 2 ergaben bei einer Barfinanzierung Gesamtkosten in Höhe von **54.125,84 €** und bei einer Vollfinanzierung Kosten von **56.320,62 €**.

Im abschließenden dritten Szenario wurde ein konventionelles Automobil mit Verbrennungsmotor zum Vergleich herangezogen. Die Kalkulation der Kostenbestandteile des erdgasbetriebenen VW Eco-Up! erfolgte analog zum VW E-Up!. und wurde mit den beiden Optionen der Bar- und Vollfinanzierung berechnet. Darüberhinaus wurden durch die vergängliche Preisbindung zwischen Erdgas und Erdöl die Benzinpreisarchive der Aral AG als Basis für die Ermittlung der zukünftigen Erdgaspreisentwicklung herangezogen. Diese erfolgte analog zur Strompreisentwicklung und ergab eine Wachstumsrate von 1,033 Prozent pro Jahr und damit Gesamtspritkosten in Höhe von 8348,15 €. Der in

S2 ermittelte Strompreis in Höhe von 17.863,15 € wurde berücksichtigt, um eine Verzerrung der Ergebnisse gegenüber den anderen Szenarien zu vermeiden. Folglich ergaben sich für die Barfinanzierung Gesamtkosten in Höhe von **46.480,79 €** und für eine Vollfinanzierung Kosten in Höhe von **49.609,92 €**.

Nach Auswertung der Ergebnisse stellte sich heraus, dass Szenario 1 trotz der hohen Anfangsinvestitionen über den Zeitraum von 12 Jahren weit aus geringere laufende Kosten aufweist. Folglich wird in S1 trotz der im Ausgangsjahr (2013) getätigten kostenintensiven Investitionen durch die Unabhängigkeit vom Strommarkt einen Opportunitätsgewinn gegenüber den Szenarien 2 und 3 über die Jahre erwirtschaftet. Vor allem der hohe Gas- und Strompreis führt in den anderen beiden Szenarien gegenüber S1 zu drei bis vier Mal höheren laufenden Kosten.

Die Arbeit hat gezeigt dass der Strompreis der größte Kostentreiber ist und viele Einflussfaktoren dessen Preisentwicklung beeinflussen. Eine Verbesserung bzw. Effizienzsteigerung der Batterietechnologie, eine Entlastung der Endverbraucher durch politische Veränderungen oder eine Verlängerung des Atomausstiegs können den Strompreis in den nächsten Jahren verändern. Dementsprechend muss bei zukünftigen Kalkulationen sowie Szenarionanalysen von E-Fahrzeugen Rücksicht auf veränderte politische Rahmenbedingungen, technologische Veränderungen und umweltpolitische Ziele genommen werden.