

Power to Gas: Chancen und Herausforderungen für die Mobilitätswende

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Science (B. Sc.)“ im
Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik,
Fakultät für Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der
Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Köster



Vorname: Nico



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Hannover, den 23.09.2020

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
Abstrakt	1
1 Einleitung	1
1.1 Relevanz des Themas	1
1.2 Struktur und Zielsetzung	2
2 Theoretische Grundlagen des Power-to-Gas	3
2.1 Begriffsdefinition Power-to-Gas	3
2.2 Elektrolyse	4
2.2.1 Alkalische Elektrolyse	5
2.2.2 Membran-Elektrolyse	6
2.2.3 Hochtemperatur-Elektrolyse	6
2.3 Methanisierung	7
2.3.1 Chemische Methanisierung	8
2.3.2 Biologische Methanisierung	8
2.4 CO ₂ -Quellen	9
3 PESTEL-Analyse zum Einsatz des PtG-Konzeptes im Verkehrssektor	11
3.1 Politische Einflussfaktoren	11
3.2 Ökonomische Einflussfaktoren	14
3.3 Sozio-Kulturelle Einflussfaktoren	19
3.4 Technologische Einflussfaktoren	21
3.5 Ökologische Einflussfaktoren	28
3.6 Rechtliche Einflussfaktoren	30
4 SWAT-Analyse des PtG im Verkehrssektor	34
4.1 Stärken	35
4.2 Schwächen	36
4.3 Chancen	37
4.4 Risiken	39
4.5 Herleitung der SWAT-Strategien	41
5 Fazit und Ausblick	42

Literaturverzeichnis	VII
Anlagenverzeichnis	XI
Ehrenwörtliche Erklärung.....	XVIII

Abstrakt

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Thematik des Power-to-Gas-Konzeptes und dessen Nutzungsmöglichkeiten im deutschen Verkehrswesen. Ziel ist es Strategien zu erarbeiten, an denen gezeigt wird, dass das Konzept einen wichtigen Teil in der Bewältigung einer erfolgreichen Mobilitätswende einnimmt. Dazu wird eine SWAT-Analyse durchgeführt. Durch die davor durchgeführte PESTEL-Analyse, welche die politischen, wirtschaftlichen, sozio-kulturellen, technologischen, ökologischen und rechtlichen Aspekte erarbeitet und analysiert, werden die Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen für den Einsatz vom Power-to-Gas-Konzept im Hinblick auf die Anwendung im Verkehrswesen und die Mobilitätswende untersucht. Die SWAT-Analyse stellt somit die Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen heraus und kombiniert diese miteinander. Anhand dieser Ergebnisse können SWAT-Strategien entwickelt werden, welche die Handlungsmöglichkeiten aufzeigen.

Schlagwörter: Power-to-Gas, Mobilitätswende, SWAT-Analyse, Mobilität, Methan, Wasserstoff

1 Einleitung

„Das Wasser ist die Kohle der Zukunft. Die Energie von morgen ist Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist. Die so zerlegten Elemente des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, werden auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern.“ – Jules Verne (1874)

1.1 Relevanz des Themas

In der heutigen Zeit nimmt die Bedeutung Erneuerbarer Energien (EE) eine immer wichtigere Rolle in Bezug auf den Klimawandel und die damit verbundenen Klimaschutzziele ein und die Thematiken verschiedener Konzepte, die dadurch an Bedeutung gewinnen, wird immer relevanter. Im November 2016 ist im Zuge der Weltklimakonferenz in Paris das erste Klimaschutzabkommen beschlossen worden. Das langfristige Ziel des Klimaschutzplans 2050 ist es, die Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) bis zum Jahr 2050 stark zu minimieren um bis dahin eine weitestgehende Treibhausgasneutralität zu erreichen. Die Erderwärmung soll dabei auf deutlich unter 2°C gegenüber den Vorindustriellen Werten verringert und der Temperaturanstieg auf 1,5°C begrenzt werden.¹

Ein Umdenken ist somit erforderlich, wobei EE die Grundlage für neue Investitionen bilden werden. Der Klimaschutzplan gliedert sich in verschiedene Handlungsfelder, von denen eins der Verkehrssektor darstellt. In diesem Handlungsfeld wird bis zum

¹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Klimaschutzplan 2050: Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, 2.Aufl., Berlin, Deutschland: 2019, S. 6

Jahr 2030 eine Verringerung von 40-42% des CO₂-Ausstoßes gegenüber dem Jahr 1990 bis zum Jahr 2030 angestrebt.² Die THG-Emissionen beliefen sich 2014 auf einen Anteil von 18% der gesamten THG-Emissionen.³ Der Mobilitätssektor bringt zur Erreichung der Ziele viele Möglichkeiten mit sich, wobei im Folgenden dieser Arbeit im speziellen auf die Anwendung des Power-to-Gas-Konzeptes im Verkehrssektor eingegangen wird.

Die Mobilität stellt heutzutage ein Grundbedürfnis dar, das in der gegenwärtigen Gesellschaft nicht wegzudenken, jedoch aktuell mit einem großen Problem verbunden ist, da es nicht nachhaltig genug ist und die angestrebten Ziele der Treibhausgasneutralität im Jahr 2050 somit nicht erreicht werden können. Es wird deutlich, dass die etablierten Technologien, wobei es sich um konventionell betriebene Verbrennungsmotoren handelt, langfristig nicht weiterverwendet werden können. Ein sinnvoller Ansatz besteht also darin, die gängigen Kraftstoffe durch Nachhaltigere, welche eine CO₂-Neutralität gewährleisten können, zu substituieren. Um die EE für Mobilitätsanwendungen nutzen zu können benötigt es Speichertechnologien. Der Einsatz von Power-to-Gas (PtG) bietet die nötige Speichermöglichkeit von volatilen EE und ermöglicht eine CO₂ neutralen Mobilität. Dies wird durch die Nutzung der energiereichen Gase Wasserstoff und synthetischem Erdgas erreicht, welche bei diesem Prozess entstehen. Ein weiterer Vorteil besteht in der bereits zum Teil bestehenden Infrastruktur in Form des Deutschen Erdgasnetzes, welche für die Verteilung genutzt werden kann.

Es lässt sich erahnen, dass das PtG-Konzept Potenziale und Herausforderungen mit sich bringt, um eine tragende Rolle bei der Umsetzung einer CO₂ neutralen Mobilität einzunehmen. Im Rahmen dieser Arbeit wird diese Thematik detailliert betrachtet.

1.2 Struktur und Zielsetzung

Der Aufbau dieser Arbeit gliedert sich in sechs Bereiche auf. Nach der allgemeinen Einleitung im ersten Abschnitt, werden die relevanten theoretischen Grundlagen betrachtet. Die Komponenten des PtG werden dabei grundlegend erläutert, um die Funktionsweise zu verdeutlichen und die Potenziale für den Verkehrssektor und damit für die Mobilitätswende identifizieren zu können. Um die in Kapitel 1.1 geschilderte Thematik im Weiteren genauer zu analysieren, werden in einem ersten Schritt mithilfe der PESTEL-Analyse die politischen, wirtschaftlichen, sozio-kulturellen, technologischen, ökologischen und rechtlichen Einflussfaktoren erarbeitet. Somit wird zunächst analysiert, wie sich PtG im Verkehrssektor, anhand der betrachteten Aspekte, einbinden lässt. Im Anschluss daran wird das PtG-Konzept im Rahmen der SWAT-Analyse genauer betrachtet. Die daraus resultierenden Erkenntnisse über Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken, welche für den Einsatz im Verkehrssektor bestehen, lassen sich zu Handlungsempfehlungen formulieren. Das Ergebnis der SWAT-Analyse lässt sich dann in SO- (Stärken-Chancen), ST- (Stärken-Risiken), WO- (Schwächen-Chancen) und WT-Strategien (Schwächen-Risiken) zusammenführen.

² Vgl. BMU, 2019, S. 8

³ Vgl. BMU, 2019, S. 49

Abschließend werden die wesentlichen Aspekte der Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf die zukünftige Relevanz gegeben.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, die Chancen und Herausforderungen, die sich bei dem Einsatz von PtG zur Erreichung der erfolgreichen Mobilitätswende ergeben, zu erläutern. Die folgenden Forschungsfragen sollen dabei beantwortet werden:

1. Wann ist die Nutzung des Power-to-Gas sinnvoll und welche Rahmenbedingungen müssen dafür geschaffen werden?

2. Welchen Beitrag kann das Power-to-Gas für die Mobilitätswende leisten und welche Chancen und Herausforderungen bestehen dabei?

2 Theoretische Grundlagen des Power-to-Gas

2.1 Begriffsdefinition Power-to-Gas

Das Energiespeicherkonzept PtG bezeichnet die Umwandlung von regenerativ erzeugter elektrischer Energie in einen gasförmigen Energieträger mittels der Wasserelektrolyse. Bei dem Prozess entsteht mithilfe von Wasser (H_2O) und erneuerbarem Strom das energiereiche Gas Wasserstoff (H_2). Das Gas lässt sich bis zu einer bestimmten Konzentration im bereits bestehenden Gasnetz einspeisen oder es wird über eine weitere Wasserstoffinfrastruktur, welche jedoch zum jetzigen Stand noch nicht vorhanden ist, zum jeweiligen Nutzungsstandort transportiert. Es besteht heute die sogenannte „Henne-Ei-Problematik“, da, aufgrund der fehlenden Infrastruktur, die Verteilung des Wasserstoffes kaum und wenn nur mit hohen Investitionen möglich ist. Ohne eine Wasserstoffinfrastruktur besteht nur eine geringe Nachfrage der Abnehmer und umgekehrt braucht es ohne genügend Abnehmer keine entsprechende Infrastruktur. Optional ist es in einem zweiten Schritt möglich, durch die Methanisierung aus Wasserstoff (H_2) und Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4) zu erzeugen. In diesem zweiten Fall spricht man dann von synthetischem Erdgas oder auch SNG (Synthetic Natural Gas oder Substitute Natural Gas). Dieser zweite Schritt bietet aufgrund der Kompatibilität von Methan zu Erdgas die Lösung zur beschriebenen „Henne-Ei-Problematik“. Im Gegensatz zum Wasserstoff kann Methan ohne weitere Probleme vollständig in das bereits vorhandene Erdgasnetz eingespeist, transportiert und gespeichert werden.

Die durch PtG erzeugten Gase können im Gegensatz zu elektrischer Energie in großen Mengen gespeichert werden. Somit kann durch PtG eine CO_2 -neutrale Umwandlung mithilfe der Wasserelektrolyse und der Methanisierung zu Energieträgern mit hohen Energiedichten erfolgen, welche ihren Nutzen in verschiedenen Anwendungsbereichen finden. Neben der Rückverstromung in Gaskraftwerken oder Blockheizkraftwerken, können sie in der Wärmeerzeugung oder als Kraftstoff im Verkehrssektor genutzt werden. Das PtG ermöglicht die Anwendungsmöglichkeiten der Stromspeicherung, des Energietransports und vor

realisieren. Zudem sollte der CNG-Tankstellenausbau trotz der bereits erreichten Mindestabdeckung des AFI-RL nicht stagnieren.

5 Fazit und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die relevanten Einflussfaktoren für den Einsatz von PtG-Anlagen zur Versorgung des Verkehrssektors mit Wasserstoff und synthetischem Methan zu erarbeiten. Anhand der Ergebnisse der PESTEL-Analyse konnten durch die darauffolgende SWAT-Analyse Handlungsstrategien entwickelt werden, welche aufzeigen durch welche Maßnahmen das PtG eine bedeutsame Rolle hinsichtlich der voranschreitenden Mobilitätswende einnehmen kann. Es wurde somit auch überprüft, welche Chancen und Herausforderungen sich für den Einsatz des PtG im Verkehrssektor ergeben und worin die gegenwärtigen Probleme liegen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass insbesondere die technischen und rechtlichen Einflussfaktoren relevant für die zukünftige Entwicklung des PtG sind, da die Wirtschaftlichkeit der PtG-Anlagen maßgebend von diesen Faktoren beeinflusst wird. Nach heutigem Stand ist das PtG durch die derzeitige Gesetzeslage noch nicht ausreichend berücksichtigt. Für die PtG-Anlagen fallen daher noch hohe Umlagen, Abgaben und Steuern an. Die Gasgestehungskosten für Wasserstoff und Methan im PtG sind somit vergleichsweise hoch. Diese belaufen sich für Wasserstoff auf 22-27 ct/kWh. Für Methan sind die Gasgestehungskosten wegen der anschließenden Methanisierung noch höher anzusetzen. Im Gegensatz dazu ist der Preis für fossiles Erdgas und für nicht CO₂-neutralen Wasserstoff deutlich günstiger. Aus wirtschaftlicher Sicht besteht somit kein Anreiz, synthetisches Methan anstelle von fossilem Erdgas oder Wasserstoff aus dem PtG anstelle von nicht CO₂-neutralem Wasserstoff zu nutzen. Aufgrund der hohen Belastung der Gasgestehungskosten durch die EEG-Umlage, ist für den Einsatz vom PtG im Verkehrssektor über eine Befreiung dieser nachzudenken. Neben den rechtlichen Faktoren sind auch die technischen für die hohen Gasgestehungskosten verantwortlich. Durch die stetige Weiterentwicklung und die Forschung an den einzelnen Komponenten der PtG-Anlage, sowie der Entwicklung von serientauglichen PtG-Anlagekonzepten, sind die Investitions- und Betriebskosten weiter zu senken. Erst durch geringe Gasgestehungskosten kann das PtG im Verkehrssektor verwendet werden, da es mit anderen Kraftstoffen konkurrieren kann. Für die Nutzung des Wasserstoffs kommt es, neben den noch zu hohen Gasgestehungskosten, zu Transportproblemen. Da es noch kein Wasserstoffnetz gibt, kann der Wasserstoff aktuell nur als Zusatzgas in das Erdgasnetz eingespeist werden. Damit ist jedoch die Nutzung des Wasserstoffs für FECV ausgeschlossen und es kann zu Problemen bezüglich der Wasserstoffverträglichkeit des Erdgasnetzes kommen. Ein separates Wasserstoffnetz macht Sinn, ist aber mit sehr hohen Investitionskosten für den Aufbau verbunden. Der Plan des „Europäischen Wasserstoff Backbone“ für den Wasserstoffnetzausbau auf Grundlage von umgewidmeten Erdgasleitungen, liefert diesbezüglich einen

umsetzbaren Ansatz. Jedoch sind die Anschaffungskosten für FECV hoch und die Auswahl an Fahrzeugen ist gering. Die Nachfrage nach reinem Wasserstoff als Kraftstoff fällt deswegen sehr gering aus, weswegen aus ökonomischer Sicht zum jetzigen Zeitpunkt noch kein Wasserstoffnetz benötigt wird. Die flächendeckende Verfügbarkeit von Wasserstoff als Kraftstoff ist somit nicht gegeben. Für das synthetische Methan aus dem PtG bestehen die Transportprobleme nicht. Es kann unproblematisch als Austauschgas ins Erdgasnetz eingespeist werden. Hinsichtlich der Verwendung von Methan als Kraftstoff für CNG-Fahrzeuge kann es jedoch nur zu begrenzten CO₂-Minderungen kommen, da es dem fossilen Erdgas zugemischt wird. Je höher der Anteil des synthetischen Methans, desto klimaneutraler sind die CNG-Fahrzeuge.

Insbesondere aus ökologischer Sicht und unter Berücksichtigung des Klimawandels und der damit verbundenen Klimaschutzziele ist der Einsatz des PtG für den Verkehrssektor sinnvoll. Wird für die Erzeugung des Wasserstoffs und Methans in PtG-Anlagen nur Strom aus EE und CO₂ aus biogenen CO₂-Quellen oder der Atmosphäre genutzt, können diese Gase dem Verkehrssektor als CO₂-neutrale Kraftstoffe dienen. Somit besteht die Möglichkeit, dass vermehrt FECV und CNG-Fahrzeuge zum Einsatz kommen, die THG-Emissionen reduziert werden und damit zu einer erfolgreichen Mobilitätswende beigetragen wird.

Abschließend lässt sich sagen, dass das PtG für die Mobilitätswende einen entscheidenden Beitrag leisten kann. Nach heutigem Stand besteht die zentrale Herausforderung jedoch darin, die Gasgestehungskosten zu senken und den Einsatz des PtG damit wirtschaftlich zu gestalten, sowie die entsprechende Infrastruktur für die Nutzung der Biogase im Verkehrssektor aufzubauen. Inwieweit sich die Wirtschaftlichkeit des PtG in Zukunft steigern lässt und wann in einen Aufbau des Wasserstoffnetzes investiert wird ist abzuwarten. Zukünftige Forschungsarbeiten zu dieser Thematik könnten sich detaillierter mit Lösungsansätzen zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit auseinandersetzen. Weitere denkbare Fortführungen könnten das Problem näher beleuchten, inwiefern ein umfangreiches Wasserstoffnetz aufgebaut werden kann oder, wie der Wasserstoff und das synthetische Methan flächendeckend für die Mobilitätsanwendung bereitgestellt werden können.