



Transformation durch Wasserstofftechnologien: Chancen und Herausforderungen für die deutsche Energiewirtschaft

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: Döring



Vorname: Leah



Prüfer: Prof. Dr. rer. nat. Michael H. Breitner

Hannover, den 16. Juli 2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	1
Tabellenverzeichnis.....	1
Abkürzungsverzeichnis.....	2
1. Einleitung	3
1.1 Relevanz und Motivation	3
1.2 Vorgehen und Zielsetzung.....	4
1.3 Definition Energiewirtschaft	5
2. Grundlagen Wasserstofftechnologie.....	6
2.1 Produktion	6
2.2 Speicherung	8
2.3 Transport.....	10
2.4 Definition Wasserstoffwirtschaft.....	12
3. Grundlagen der Erhebungsverfahren.....	14
3.1 PESTEL – Analyse.....	14
3.2 Leitfadengestütztes Experteninterview	15
3.2.1 Auswahl der Experten	16
3.2.2 Erstellen des Leitfadens.....	17
3.2.3 Durchführung der Interviews	19
3.2.4 Datenauswertung: Qualitative Inhaltsanalyse.....	19
4. Marktanalyse: Ergebnisse der Erhebungsverfahren.....	28
4.1 Fallzusammenfassungen der Experteninterviews.....	28
4.2 Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse anhand der PESTEL-Kriterien	28
4.2.1 Rolle in der Energiewirtschaft.....	28
4.2.2 Berührungspunkte mit Wasserstoff	29
4.2.3 Strategien der Unternehmen zur Erweiterung auf Wasserstoff	30
4.2.4 Transformationsprozesse zur Umsetzung der Strategie.....	32
4.2.5 Chancen durch Implementierung von Wasserstoff	34
4.2.6 Herausforderungen bei der Implementierung von Wasserstoff.....	36
4.2.7 Bedarf im Energiemarkt	39
4.2.8 Voranbringende Faktoren	40
4.2.9 Ausbremsende Faktoren.....	42
4.2.10 Politische Rolle	44
4.2.11 Potential von Wasserstoff als Energieträger der Zukunft.....	46

5. Auswertung	47
5.1 Chancen.....	47
5.1.1 Technologische Chancen.....	47
5.1.2 Ökonomische Chancen.....	47
5.2 Herausforderungen	48
5.2.1 Technologische Herausforderungen	49
5.2.2 Ökonomische Herausforderungen	50
6. Diskussion, Implikationen & Handlungsempfehlungen	52
6.1 Diskussion der Ergebnisse	52
6.2 Limitationen.....	54
6.3 Handlungsempfehlungen.....	55
7. Fazit & Ausblick auf weiterführende Forschung	58
Literaturverzeichnis	60
Anhang	62
I Anschreiben an die Experten	62
II Leitfaden der Experteninterviews	63
III Codebuch (MAXQDA)	66
IV Fallzusammenfassungen	74
i. E.ON.....	74
ii. RWE Generation	77
iii. Siemens Energy	79
iv. Vattenfall Europe Windkraft.....	83
v. Wintershall Dea.....	86
V Transkripte mit Codierungen (MAXQDA)	88
VI Summary-Tabelle der Experteninterviews (MAXQDA)	126
Ehrenwörtliche Erklärung	151

1. Einleitung

Wegen des fortschreitenden Klimawandels legte die Weltklimakonferenz 2015, mit dem Pariser Klimaabkommen fest, die Erderwärmung auf möglichst 1,5°C zu begrenzen, um die Erde und die Bevölkerung zu schützen (BMU 2021). Die möglichen Ausmaße des Klimawandels waren erst jüngst in Deutschland bei der Flutkatastrophe in der Eifel zu spüren und können eine erneute verschärfte Debatte über die Klimapolitik auslösen.

1.1 Relevanz und Motivation

Laut der Europäischen Kommission liegt der Anteil der vom Energiesystem verursachten Emissionen bei 75%. Das Einhalten des Abkommens soll durch eine Treibhausgasneutralität bis 2050 und eine Reduktion der Emissionen um 55% bis 2030 erreicht werden (Europäische Kommission 2021). Deutschland hat sich als Ziel gesetzt 2030 die Treibhausgase um 65% zu reduzieren und bis 2045 eine Neutralität zu erreichen. Dazu soll unter anderem der Kohleausstieg bis 2038 vollzogen sein (BMU 2021).

Durch den Wegfall der fossilen Energieträger müssen alternative Medien und Technologien gefunden werden, um die Energieversorgung der Zukunft gewährleisten zu können. Hierbei könnte Wasserstoff als Energieträger und Energiespeicher eine bedeutende Rolle spielen, die durch die nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung und den Green Deal der Europäischen Kommission bestätigt wurde.

„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.“ (Verne 1870)

In seinem Buch „Die geheimnisvolle Insel“ verdeutlichte Jules Verne schon 1870 welches Potential Wasserstoff in der Energiewirtschaft zugeschrieben werden könnte.

Durch diese Entwicklungen stellt sich die Frage, wie sich die aktuelle Energiewirtschaft wandeln wird. Welche die neuen, nachhaltigen Energieträger werden und welche Position der klimaneutralen Wasserstoff einnehmen könnte. Wie planen vor allem die großen Unternehmen der Energiewirtschaft, die schon seit Jahrzehnten den herkömmlichen, fossilen Energiemarkt beherrschen, damit umzugehen.

Um die Transformation der Akteure der Energiewirtschaft im Zuge der Implementierung von CO₂-neutralem Wasserstoff und dessen Erzeugungs- und Anwendungstechnologien zu analysieren, werden in der vorliegenden Arbeit Experteninterviews mit Unternehmen durchgeführt. Damit sollen die Strategien und Umsetzungen aufgezeigt werden. Nach Analyse der Interviews werden Chancen und Herausforderungen, anhand der PESTEL-Kriterien, die sich während der Transformation ergeben oder vor denen die Akteure stehen, herausgearbeitet. Abschließend folgen Handlungsempfehlungen für die Unternehmen der Energiewirtschaft, für die Politik und für die Verbraucher.

1.2 Vorgehen und Zielsetzung

In der vorliegenden Arbeit soll die Relevanz von CO₂-neutralem Wasserstoff und dessen Technologie für die deutsche Energiewirtschaft beleuchtet werden. Die deutsche Energiewirtschaft und die Akteure werden im späteren Abschnitt der Einleitung dieser Arbeit definiert. Im Kapitel 2 folgen zunächst die Grundlagen der Wasserstofftechnologien, um Möglichkeiten der Erzeugung, Speicherung und des Transports zu präsentieren. Auch eine Definition der Wasserstoffwirtschaft folgt am Ende des Kapitels. Das Kapitel 3 präsentiert die Forschungsmethoden. Für diese Arbeit wird eine qualitative Forschung durch Experteninterviews genutzt. Anschließend werden die erhobenen Daten unter Einbezug der PESTEL-Kriterien softwarebasiert ausgewertet. Für die Auswertung wird das Tool MAXQDA genutzt. Zur Analyse der Daten wird eine Fallzusammenfassung der jeweiligen Interviews und eine qualitative Inhaltsanalyse in Kapitel 4 durchgeführt. Diese dient dazu, die Interviews innerhalb der Kategorien gegenüberzustellen. Ausgehend von diesen Ergebnissen werden die technologischen sowie ökonomischen Chancen und Herausforderungen in Kapitel 5 herausgearbeitet, damit die der Arbeit zugrundeliegende Forschungsfrage beantwortet werden kann.

„Welche technologischen und ökonomischen Chancen sowie Herausforderungen ergeben sich für die deutsche Energiewirtschaft durch die Implementierung von CO₂-neutralem Wasserstoff als Energieträger und wie sollten sich die Akteure in Bezug auf Wasserstofftechnologien transformieren?“

Das Ziel dieser Arbeit ist es, durch die Durchführung der Experteninterviews mit unterschiedlichen Unternehmen der Energiewirtschaft aktuelle Strategien und Planungen zur Implementierung von Wasserstoff in das Unternehmensportfolio zu identifizieren. Weiterhin sollen sich Probleme und Vorteile durch die Erweiterung darstellen und diese für die Beantwortung der Forschungsfrage aufgegriffen werden. Somit soll geklärt werden, wie die großen Unternehmen der Energiewirtschaft sich zum CO₂-neutralen Wasserstoff positionieren. Es stellt sich die Frage, wie Unternehmen sich wandeln müssen, um weiterhin eine entscheidende Rolle in dieser Branche zu spielen. Die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für die Unternehmen der Energiewirtschaft, die Verbraucher und für die Politik schließt, diese Arbeit ab.

Die in dieser Bachelorarbeit gewählte männliche Form bezieht sich immer zugleich auf weibliche, männliche und diverse Personen.

1.3 Definition Energiewirtschaft

Die Akteure der klassischen Energiewirtschaft lassen sich in fünf Gruppierungen unterteilen. Die erste Gruppe sind Stromproduzenten und -erzeuger. Diese sind, wie der Name schon sagt für die Stromproduktion zuständig. Die vier größten Stromerzeuger in Deutschland sind E.ON, Vattenfall, EnBW und RWE. Anschließend folgen die Stromversorger, die die Vermittlung des Stroms zum Verbraucher gewährleisten. Der Zuständigkeitsbereich der Netzbetreiber liegt in der Infrastruktur und dem Transport. Unterschieden wird in Übertragungsnetzbetreiber (überregional) und Verteilnetzbetreiber (regional). Auch der Staat muss als Akteur genannt werden, da dieser die Energiewirtschaft reguliert (EHA 2020). Die Energiewirtschaft in Deutschland wird durch das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) und das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) reguliert. Für die Durchsetzung der Regulierungen hat die Bundesnetzagentur Sorge zu tragen, ebenso wie für den Wettbewerb, die Preise und die Qualität der Stromversorgung (Bundesnetzagentur 2021). Die Verbraucher beziehungsweise die Gesellschaft sind die letzte Gruppe und haben durch ihre Meinung, Haltung und dementsprechendes Handeln ebenfalls einen Einfluss auf die Energiewirtschaft.

Diese Akteure im Energiemarkt werden durch die Energiepolitik hinsichtlich unterschiedlicher Grenzen reguliert. Neben deutschen Gesetzgebungen spielt vor allem auch die EU eine essentielle Rolle in der Gestaltung der Energiepolitik (Löschel et al. 2020). Die Ziele der deutschen und auch EU-Energiepolitik können in einem energiepolitischen Zieldreieck abgebildet werden. Abbildung 1 zeigt, dass im Rahmen der Energiepolitik beachtet werden muss, dass die Energieversorgung, die Verträglichkeit mit der Umwelt und die Wirtschaftlichkeit sichergestellt und miteinander vereinbar sein müssen. (Bundeszentrale für politische Bildung 2021).

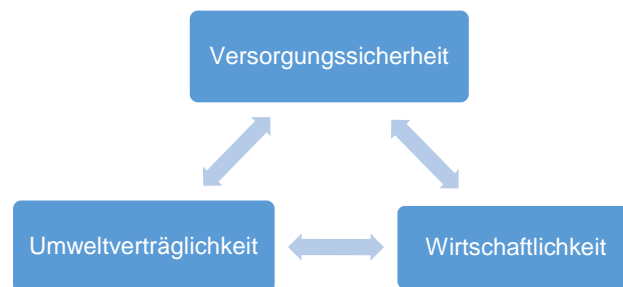


Abbildung 1: Energiepolitisches Zieldreieck (Bundeszentrale für politische Bildung 2021), Eigene Darstellung

Durch das Bestreben die Energieversorgung auf erneuerbare Energien umzustellen, kann auch CO₂-neutraler Wasserstoff eine Möglichkeit zum Ersetzen von fossilen Energieträgern darstellen. Die im folgenden Kapitel definierte Wasserstoffwirtschaft wird dementsprechend ein Teil der Energiewirtschaft darstellen und somit werden Akteure der Wasserstoffwirtschaft meistens auch Akteure der Energiewirtschaft darstellen. Das können auch jetzt schon aktive Teilnehmer der Energiewirtschaft, als auch durch Wasserstoff neuhinzukommende sein. Für die vorliegende Arbeit werden die Akteure in drei Hauptgruppen unterteilt. Zum einen in die Industrie beziehungsweise die Unternehmen in der Energiewirtschaft, dann in die Verbraucher, die auch als Gesellschaft zusammengefasst werden und zuletzt in die Politik.

7. Fazit & Ausblick auf weiterführende Forschung

Das gesetzte Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit war die Beantwortung der Frage: „Welche technologischen und ökonomischen Chancen sowie Herausforderungen ergeben sich für die deutsche Energiewirtschaft durch die Implementierung von CO₂-neutralem Wasserstoff als Energieträger und wie sollten sich die Akteure in Bezug auf Wasserstofftechnologien transformieren?“. Hierzu wurden Interviews mit Experten aus Unternehmen der deutschen Energiewirtschaft geführt, um die aktuelle Haltung und bestehende Strategien aufzuzeigen sowie Chancen und Herausforderungen anhand der PESTEL-Kriterien zu analysieren (vgl. Kapitel 4.1, Kapitel 5). Anschließend wurden auf Basis der Ergebnisse Handlungsempfehlungen entwickelt (vgl. Kapitel 6.3).

Aus den dargestellten Ergebnissen lässt sich als wesentliche Chance der Implementierung von CO₂-neutralem Wasserstoff in den Energiemarkt die Ergänzung der direkten Elektrifizierung betrachten. Wasserstoff und dessen Erzeugungs- und Anwendungstechnologien können somit Anwendungsbereiche dekarbonisieren, in denen eine Elektrifizierung schwer möglich ist. Gleichzeitig bietet die Entwicklung der Technologien und Innovationen eine Möglichkeit der Leistungssteigerung. Durch den erheblichen Beitrag des Energiesystems zu den CO₂-Emissionen ergibt sich ein großes Geschäftspotential. In dem die Unternehmen auf klimaschonende Energieversorgung umsteigen, tragen sie zur Dekarbonisierung bei und wandeln das fossile Bestandgeschäft in ein zukunftssträchtiges, mit nachhaltigen Energieträgern wie grünem Wasserstoff, um. Dadurch besteht für Unternehmen die Chance eines Imagewechsels und die Steigerung der Attraktivität. Die aktuelle Aufbruchsstimmung und Unterstützung ermöglicht viele Förderungs- und Subventionsmaßnahmen, die in Anspruch genommen werden können. Auch aus politischer Sicht ist durch die aktuellen Transformationsprozesse der Energiewirtschaft eine Neugestaltung und internationale Angleichung möglich. Bei einer erfolgreichen Transformation und Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft, kann die Sicherung des Industriestandortes Deutschland ermöglicht werden.

Aktuell ist CO₂-neutraler Wasserstoff noch nicht wettbewerbsfähig und wesentliche Rahmenbedingungen für die nötige Planungssicherheit fehlen. Es existiert dadurch kein fester Preis und auch kein liquider Absatzmarkt. Aus diesem Grund stellt der Business Case einen herausfordernden Aspekt dar. Eine Umstellung der gesamten Prozesse und des Bestandgeschäfts ist somit noch nicht möglich. Ebenfalls ist die fehlende Infrastruktur problematisch. Die Entwicklung kann jedoch erst durch gewisse Mengen an Wasserstoff gerechtfertigt werden. Dieses zuvor vielbeschriebene Henne-Ei-Problem muss gelöst werden. Durch ein Ineinandergreifen von der Bereitstellung von größeren Mengen CO₂-neutralem Wasserstoff und der Umstellung von Geschäftsmodellen, begleitet durch Förderungen und Industriekonsortien, kann das möglich gemacht werden. Mittels industrieller Zusammenschlüsse ist eine Verminderung des wirtschaftlichen Risikos möglich.

Weiterhin geht aus den Ergebnissen hervor, dass vor allem die erneuerbaren Energien ein limitierender und kostentreibender Faktor sind. Diese müssen dementsprechend weiter

ausgebaut werden. Die Konkurrenz auf dem Energiemarkt zwischen der Direktelektrifizierung und der Verwendung und Erzeugung von grünem Wasserstoff um die Nutzung erneuerbarer Energien sollte ebenfalls betrachtet und gegebenenfalls reguliert werden. Zukünftig wird es durch die Integration von Wasserstofftechnologien in die bestehenden Prozesse komplexere technische Gefüge geben, sodass aus den Pilotprojekten stetig Erfahrungen gesammelt werden müssen. Ein Zusammenbruch der Systeme würde die Energieversorgung gefährden.

Letztendlich besteht bei der Lösung dieser Aufgaben immer die Gefahr der sozialen Verwerfung. Es wird steigende Preise, eine Umstellung von Prozessen und auch eine Neustrukturierung der Arbeits- und Ausbildungswelt geben. In diesen Transformationsprozessen ist es bedeutsam die Gesellschaft zu integrieren. Es muss auf die sozial Schwächeren geachtet und Möglichkeiten gefunden werden, jeden der möchte, einzubinden. Eine zu hohe Belastung muss vermieden werden, da sonst die Transformation nicht auf Akzeptanz und Unterstützung trifft.

Der gesamte Transformationsprozess hin zu einer CO₂-neutralen Energieversorgung wird nicht nur von einem Akteur verantwortet. Vielmehr müssen sich alle beteiligen und ihren Beitrag leisten. Unternehmen der Energiewirtschaft sollten diese Zeichen der Zeit erkennen, ihren Beitrag daran planen und wenn möglich teilweise bereits umsetzen. Die Ergebnisse aus den Experteninterviews haben gezeigt, dass dies so auch bereits auf Seite der Unternehmen umgesetzt wird. Abzuwarten bleibt, wie die Weichen seitens der Politik nach der anstehenden Bundestagswahl gestellt werden, welche Erfahrungen aus den ersten großen Pilotprojekten gezogen werden und wie schnell die nachhaltige Energieversorgung von morgen angegangen werden kann. Bis zur Umsetzung und Erreichung der gesteckten Ziele für 2050 muss noch einiges geschehen. Deshalb gilt es die Frist im Gedächtnis zu behalten und die Projekte möglichst zeitnah zu realisieren.

Für eine weiterführende Betrachtung wäre interessant, welche Projekte die Unternehmen der Energiewirtschaft derzeit konkret umsetzen, um anhand dieser eine Analyse durchzuführen. Durch die Betrachtung kleinerer Akteure im Markt könnten neue Herangehensweisen und Denkanstöße entwickelt werden. Eine Untersuchung hinsichtlich eines bestimmten Spektrums dieser handelnden Akteure, würde tiefere Ergebnisse hierzu liefern. Sinnvoll erscheint es, die Akzeptanz und Erwartungen der Bevölkerung, auch unter Berücksichtigung der Altersstruktur und Bevölkerungsschicht, in einer Studie zu untersuchen.