



Leibniz Universität Hannover

Institut für Wirtschaftsinformatik

Prof. Dr. Michael H. Breitner

**Kostenanalyse der Methanisierung zur Speicherung des
Stroms aus erneuerbaren Energien**

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

Jannik Breiter



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner
Ort, Ende der Arbeit: Hannover, den 25.02.2012

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
TABELLENVERZEICHNIS	IV
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	V
VERWENDETE FORMELZEICHEN	VI
1 EINLEITUNG	1
2 INTEGRATION ERNEUERBARER ENERGIEN IN DAS ENERGIESYSTEM	3
2.1 Ausgangssituation.....	3
2.2 Ausblick	4
2.3 Konsequenzen	5
2.4 Lösungsansätze	6
3 ENERGIESPEICHERUNG	8
3.1 Anforderungen	8
3.2 Übersicht über Speichertechnologien	9
3.2.1 Pumpspeicher	10
3.2.2 Druckluftspeicher	10
3.2.3 Kondensatoren.....	10
3.2.4 Batteriespeicher	11
3.2.5 Supraleitende Magnetische Energiespeicher	11
3.2.6 Schwungradspeicher.....	11
3.2.7 Chemische Energieträger.....	11
3.3 Diskussion.....	12
4 DAS KONZEPT POWER-TO-GAS	15
4.1 Überblick.....	15
4.2 Erzeugung und Nutzung des Wasserstoffs	17
4.2.1 Wasserelektrolyse	17
4.2.2 Speicherung	20
4.2.3 Einspeisung und Verwendung.....	20
4.3 Methanisierung	21
4.3.1 Methanisierungsreaktion	21
4.3.2 Speicherung und Einspeisung.....	25
4.3.3 Verwendung	26

4.3.4	Diskussion.....	27
4.4	Projekte und Pilotanlagen	27
5	KOSTENANALYSE	31
5.1	Einflussfaktoren	31
5.2	Kosten.....	33
5.2.1	Investitionskosten.....	33
5.2.2	Betriebskosten	36
5.3	Technische Parameter	39
5.3.1	Prozesswirkungsgrad	39
5.3.2	Elektrische Nennleistung	41
5.3.3	Volllaststunden.....	42
5.3.4	Lebensdauer	42
5.4	Spezifische Methangestehungskosten	43
5.5	Kosten-Modell	45
5.5.1	Benutzeroberfläche	45
5.5.2	Szenarien	46
5.5.3	Ergebnisse	49
5.5.4	Sensitivitätsanalyse.....	51
5.6	Diskussion.....	52
5.6.1	Auswahl der Einflussfaktoren und Datenlage	53
5.6.2	Fazit	53
6	ZUSAMMENFASSUNG UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	55
7	LITERATURVERZEICHNIS	58
8	ANHANG	62

1 Einleitung

Das Energiesystem befindet sich derzeit in einem umfassenden globalen Wandlungsprozess. Bedingt durch die Endlichkeit fossiler Energieträger werden weltweit Anstrengungen unternommen, den Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung sukzessiv zu steigern. Weiter verstärkt wird dieser Prozess durch die Bestrebung, den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid zu reduzieren, um die globale Erwärmung durch den anthropogenen Treibhauseffekt zu begrenzen.

Diese und weitere Beweggründe, wie beispielsweise die Reduktion der Abhängigkeit von Öl- und Gasimporten, haben auch die Bundesregierung dazu bewogen, den Ausbau der erneuerbaren Energien zu forcieren.

Doch die Transformation des Energiesystems birgt auch Probleme und Gefahren. Durch den steigenden Anteil volatil einspeisender erneuerbarer Energien wird es zunehmend schwerer, den Energiebedarf stabil zu decken und ein Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage zu schaffen. Unter Berücksichtigung des im Energiekonzept der Bundesregierung anvisierten weiteren Zubaus erneuerbarer Energien wird in Zukunft daher ein drastischer Ausbau der Speicherkapazität unerlässlich sein.

Im Rahmen dieser Arbeit wird hierzu das Konzept Power-to-Gas genauer betrachtet und einer Kostenanalyse unterzogen. Die Idee, Wasser elektrolytisch zu spalten und den dabei entstehenden Wasserstoff zu methanisieren, bietet insbesondere im Hinblick auf eine langfristige, saisonale Speicherung große Potenziale.

Wenngleich sich die beschriebene Technologie derzeit noch in einem frühen Innovationsstadium befindet, kann eine erste grobe Kostenabschätzung wichtige Anhaltspunkte liefern, inwiefern die weitere Erforschung und Entwicklung forciert werden sollte und welche Schwerpunktsetzungen hier angeraten sind.

Der Aufbau der Arbeit folgt einer deduktiven Struktur. Nach einer allgemeinen Einleitung und Problembeschreibung sowie der Darlegung verschiedener Lösungswege erfolgt die detaillierte Betrachtung eines technischen Konzepts.

Kapitel 2 liefert die nötigen Grundlagen und führt mit einer Darstellung der Ausgangssituation sowie einem Blick in die Zukunft in das Thema ein. Mögliche Lösungsansätze für die Integration der erneuerbaren Energien leiten zu Kapitel 3 über. Hier findet eine Darstellung verschiedener Speichertechnologien statt. Das vierte Kapitel behandelt das Konzept Power-to-Gas. Es werden die technischen Grundlagen umfassend erläutert sowie Chancen und Grenzen des Konzepts auf-

gezeigt. Diese Ausführungen sind relativ umfangreich, da die Kosten maßgeblich durch technische Aspekte definiert werden und deren Entstehung und Abhängigkeiten andernfalls nur schwer nachvollziehbar wären. In Kapitel 5 wird die Kostenstruktur von Power-to-Gas-Anlagen untersucht und mittels eines mathematischen Modells sowie einer Szenarioanalyse abgeschätzt. Im sechsten Kapitel findet eine Zusammenfassung der erarbeiteten Ergebnisse statt. Weiterhin werden Fragestellungen, die in Zukunft zu untersuchen sind, als auch Handlungsstrategien dargelegt.

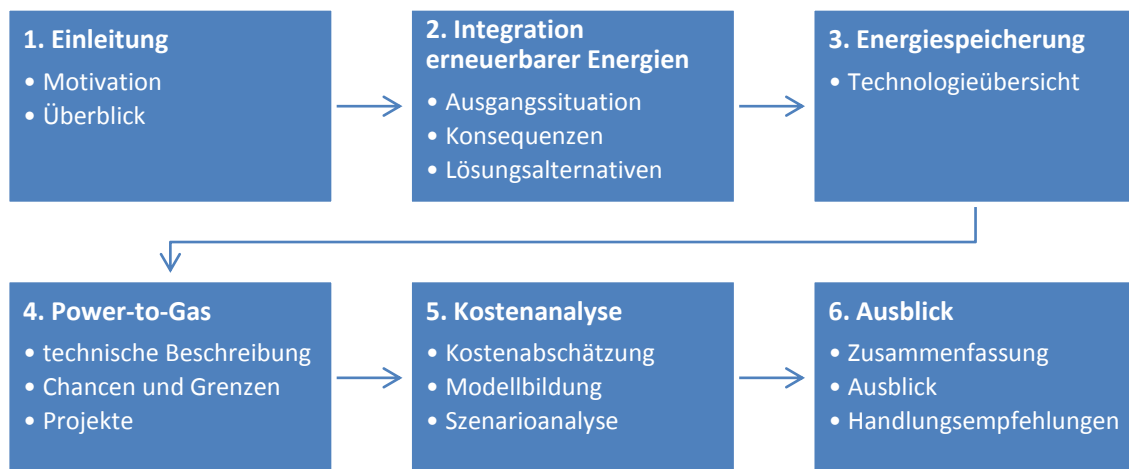


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

6 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden vor dem Hintergrund des massiven Ausbaus erneuerbarer Energien mögliche Alternativen zur Netzstabilisierung erörtert. Das Konzept Power-to-Gas wurde als innovative Technologie der Energiespeicherung identifiziert und einer Kostenabschätzung und Szenarioanalyse unterzogen.

Die ehrgeizigen Pläne der Bundesregierung zum Ausbau volatil einspeisender erneuerbarer Energien werden zukünftig vermehrt zu Situationen führen, in denen das Energieangebot die Nachfrage überschreitet. In gleichem Maße steigt der Betrag nicht einspeisbarer Energiemengen.

Für die Aufgabe eines langfristigen Ausgleichs zwischen faktischen Energieüberschüssen und drohenden Energiedefiziten konnten in Kapitel 3 die wesentlichen Speicheroptionen identifiziert werden.

Die umfassende technische Darlegung des Konzepts Power-to-Gas zeigt, dass in diesem Bereich eine grundlegend benötigte Technologie zur Verfügung steht. Schlechte dynamische Eigenschaften und insbesondere die niedrigen Wirkungsgrade stellen aktuell hohe Hürden dar und erfordern in der Zukunft große Anstrengungen, um das Konzept der Methanisierung den bestehenden Anforderungen anzupassen und einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen.

Die Bewertung des Wirkungsgrades muss aber vor dem Hintergrund der Alternative, einer Abregelung der erneuerbaren Energien, und im Hinblick auf den maßgeblichen Beitrag zur Stabilität des Energieversorgungsnetzes erfolgen. Unter diesem Gesichtspunkt birgt das Konzept Power-to-Gas große Potenziale zur langfristigen Energiespeicherung.

Gleichzeitig wird politischen Forderungen nach einer stärkeren Loslösung von Energieimporten entsprochen. Auch aus ökologischer Perspektive lassen sich für die Methanisierung und Wiederverstromung überschüssiger erneuerbarer Energien Argumente anführen. So kann im Rahmen des Power-to-Gas-Konzepts durch die Zuführung von biogenem Kohlenstoffdioxid bei der Methanisierung eine CO₂-neutrale Bilanz erreicht werden. Zudem ergibt sich bei dieser Form der Methansynthese gegenüber dem in der Produktion ähnlich teuren Biomethan keine Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion.

Die hier vorgenommene Kostenanalyse erfolgte auf Grundlage eines selbstentwickelten mathematischen Modells, das mittels einer graphischen Oberfläche in Microsoft Excel bedient wird. Hinzuweisen ist dabei auf die Grenzen der Genauig-

keit. Das frühe Innovationsstadium und die Partizipation weniger Marktakteure erschweren die Beschaffung von quantitativem Datenmaterial und führten zu der dargestellten Bandbreite des Ergebnishorizonts (vgl. S. 49 ff.).

Für eine in naher Zukunft realistisch erscheinende Anlage in einer Leistungsklasse von 20 MW wurden Gestehungskosten von 0,14 €/kWh ermittelt (Basis-Szenario). Im Falle optimistischer Annahmen fallen diese Kosten auf 0,07 €/kWh („best case“-Szenario, vgl. S. 46 ff.).

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Gestehungskosten zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht mit den Import- und Handelspreisen von Erdgas konkurrieren können, wohl aber mit denen von Biomethan.

Bei der Interpretation und Bewertung der vorgestellten Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass der gegenwärtige Erdgaspreis keine starre Grenze darstellt. Durch eine langfristig zu erwartende Verknappung der Ressourcen ist vielmehr mit steigenden Handelspreisen zu rechnen. Die Erreichung eines Break-Even-Punktes wird unter dieser Annahme unter Umständen zeitlich deutlich früher erfolgen.

Vor dem Hintergrund der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen lassen sich folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

- In naher Zukunft muss die Forschung und Entwicklung von Energiespeichertechnologien, insbesondere durch Installation weiterer Demonstrationsanlagen, forciert werden. Durch staatliche Subventionen könnten hier, ähnlich dem Ausbau der erneuerbaren Energie durch das EEG, wirtschaftliche Anreize gesetzt werden.
Die technologische Vorreiterrolle Deutschlands sowie damit verbundene enorme Exportpotenziale können als Argument für eine volkswirtschaftlich rentable Investition von Steuergeldern herangezogen werden.
- Möglichkeiten einer steuerlichen Begünstigung staatlich gewünschter Speichertechnologien sind im umfassenden Sinne herzustellen. Bereits existierende Ansätze wie die Flexibilitätsprämie und eine Befreiung der Energiespeichertechnologie von Netznutzungsentgelten sollten weiter verfolgt und auf neue Technologien erweitert werden.
- Da der zukünftige Ausbau erneuerbarer Energien eine effiziente und wirtschaftliche Speichertechnologie voraussetzt, ist eine bevorzugte Genehmigung von Windparks mit integrierten Speichern politisch zu erwägen. Insbesondere erscheint der Aufbau einer Power-to-Gas-Anlage am Netzanschlusspunkt von Offshore Windparks sinnvoll, um so die großen

Kapazitäten dieser Anlagen durchgehend nutzen zu können. Die gegenwärtig praktizierte Subventionierung von abgeregelten Anlagen ist vor dem Hintergrund der obigen Argumentation kontraproduktiv und volkswirtschaftlich nicht wünschenswert.

- Im Zuge einer sinnvollen Systemintegration müssen die Kapazitäten des Erdgasnetzes für zusätzliche Einspeisungen untersucht werden.

Technologische Entwicklungen im Energiesektor werden zukünftig zunehmend daran gemessen werden, inwieweit sie ökologisch vertretbar und gleichzeitig wirtschaftlich rentabel sind. Vor dem Hintergrund einer extensiven Ausbeutung schwindender fossiler Ressourcen und der Notwendigkeit, mittel- bis langfristig alternative Energieträger bereitzustellen, kann der Power-to-Gas-Technologie eine zukunftsweisende Funktion zukommen. Schon dieses Faktum für sich wie auch die Ergebnisse der bisherigen Entwicklungen legitimieren intensive Anstrengungen technologischer Weiterentwicklung unter Einsatz angemessener finanzieller Mittel.