

# Entwicklung, Aufbau und dynamischer Betrieb eines PEM-Druckelektrolyseurs der Megawattklasse

---

*Abschlussbericht Förderkennzeichen 0325589A*

---

Dr. rer. nat. Joachim Herrmann

Dr. Lars Jürgensen

Anna Hilberling

Vera Callsen-Bracker

*Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.*

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Inhaltsverzeichnis

### Entwicklung, Aufbau und dynamischer Betrieb eines PEM-Druckelektrolyseurs der Megawattklasse 1

I. Kurze Darstellung.....	3
1 Aufgabenstellung.....	4
2 Voraussetzungen .....	5
3 Planung und Ablauf des Vorhabens .....	10
4 wissenschaftlichem und technischem Stand.....	11
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	13
II. Eingehende Darstellung .....	14
6 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele.....	15
7 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	21
8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	22
9 Voraussichtlicher Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans .....	23
10 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	25
11 Erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.....	26

## I. Kurze Darstellung

---

## 1 Aufgabenstellung

Primäres Ziel des Teilvorhabens ist die Entwicklung und Umsetzung eines Betriebskonzeptes für ein Kombikraftwerk bei dem Wasserstoff vorwiegend aus erneuerbaren Stromquellen über den Elektrolyseur erzeugt, in einem Drucktank gasförmig gespeichert und über ein bestehendes Biogas-BHKW durch Beimischung zum Biogas, zeitlich versetzt wieder verstromt wird.

Es sollen sowohl rechtliche, als auch wirtschaftliche, als auch technische Aspekte geklärt werden und in die Entwicklung von Betriebskonzepten einfließen. Die erarbeiteten Betriebskonzepte sollen es ermöglichen Anlagen nach dem im Punkt II. a der GVB beschriebenen Schema wirtschaftlich im Markt platzieren zu können.

Es sollen die Rahmenbedingungen für Kombikraftwerke sowohl in Kombination mit Photovoltaik- als auch mit Windkraftanlagen geklärt werden.

Ebenso sollen insbesondere die rechtlichen Rahmenbedingungen der Einspeisung von Strom aus Biogas-BHKWs unter Beimischung von Wasserstoff zum Biogas geklärt werden.

## 2 Voraussetzungen

Nach Einschätzung von beispielsweise (M. Sterner, 2010) ist der Bedarf an Speicherkapazität durch den anstehenden Umbau des Stromnetzes für die Integration erneuerbarer Energien enorm und übersteigt die Kapazität und das Potential der derzeit für die Speicherung hauptsächlich verwendeten Pumpspeicherkraftwerke um Größenordnungen.

Für den nötigen Ausbau der Speicherkapazitäten stehen mehrere technische Konzepte zur Verfügung. Vielversprechend für die Speicherung von großen bis sehr großen Energiemengen sind die Technologien der Wasserstoffspeicherung sowie der Methanisierung von Kohlendioxid und Wasserstoff und deren Speicherung in den bestehenden Erdgasspeichern. Für beide Technologien bildet die Wasserstoffproduktion via Elektrolyse eine entscheidende Grundlage.

Sowohl Wasserstoff als auch methanisierter Wasserstoff eignen sich hervorragend als Endenergieträger für weitere Anwendungsgebiete. Beispielsweise als Brennstoff im Mobilitätssektor. Nach (M. Sterner, 2010) scheint „die Wasserstofftechnologie ... durch die vielfältigen Anwendungen eine attraktive Speicherlösung für die Zukunft darzustellen“.

Im heutigen Entwicklungsstand liegen die spezifischen Investitionskosten für die Technologie der Elektrolyse bei ca. 1.000 €/kW. Vornehmlich die hohen Kosten führen zu einem gehemmten Eindringen der Technologie in den Markt.

Stand der Technik sind zum einen alkalische Elektrolyseure mit Stacks im MW Bereich, zum anderen PEM-Elektrolyseure im kW Bereich. Anlagen der kW-Klasse werden dabei vornehmlich für dezentrale Inselösungen und für Notstromeinrichtungen

verwendet. Im Netzbetrieb sind zur Speicherung von Energie Anlagen im Größenbereich der versorgenden Kraftwerke notwendig. Typische Kraftwerksgrößen von Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Windkraftanlagen liegen im Megawatt-Bereich.

Da die Energiespeicherung aus erneuerbaren Energien über den Wasserstoff eine zukunftsweisende Technologie ist, untermauert die Gründung der Strategieplattform „Power to Gas“ der Deutschen Energie-Agentur (dena). In dieser Plattform sind eine Reihe Pilotprojekte verzeichnet, die sich mit der Stromspeicherung über das Zwischenprodukt Wasserstoff bzw. synthetisches Erdgas auseinandersetzen.

So hat das Unternehmen ENERTRAG am 25. 10. 2011 das erste Wasserstoff-Hybridkraftwerk weltweit in Betrieb genommen. Hierbei wird Wasserstoff durch den erzeugten Strom aus drei Windenergieanlagen durch einen Elektrolyseur erzeugt, der bei Bedarf wieder zur Stromerzeugung eingesetzt wird. Als Elektrolyseur dient ein 500 kW-Druckelektrolyseur. Das Kraftwerk wird im ENERTRAG-eigenen Stromnetz integriert, so dass in Zeiten begrenzter Abnahmekapazität im Stromnetz Wasserstoff aus dem nicht abgenommenen Strom erzeugt wird. Bei hohem Strombedarf wird der Wasserstoff mit Biogas gemischt und in zwei 350 kW Blockheizkraftwerken mit hohem Wirkungsgrad CO<sub>2</sub>-neutral in Strom umgewandelt und in das Netz eingespeist. Der erzeugte Wasserstoff soll auch über den Direktabsatz an Industrie und Verkehr (als CO<sub>2</sub>-freier Kraftstoff) Verwendung finden.

Im Vergleich zum diesem Forschungsvorhaben ergeben sich folgende Abgrenzungen:

- Beim Forschungsvorhaben steht die Entwicklung einer schlüsselfertigen Gesamtanlage eines 1 MW-Elektrolyseurs inklusive aller benötigten Komponenten für Biogasanlagenbesitzer im Fokus, der in Containerbauweise an eine bestehende Biogasanlage angeschlossen werden kann.

- ENERTRAG arbeitet mit der BTU Cottbus zusammen an einer Optimierung der alkalischen Druckelektrolyse, sodass fluktuierende Quellen an den Elektrolyseur angeschlossen werden können. H-TEC hat durch die Entwicklung und Fertigstellung eines serienreifen PEM-Elektrolyseurs bereits eine Technologie entwickelt, die diese fluktuierenden Quellen nutzen kann. Im Fokus des Forschungsvorhabens steht die Entwicklung eines PEM-Elektrolyseurs der 1 MW-Klasse, ein Leistungsbereich der heutzutage nur mit alkalischen Elektrolyseuren erreicht werden kann.

Die alkalische Elektrolyse hat allerdings einige Nachteile gegenüber der PEM-Elektrolysetechnik bei der Kopplung mit regenerativen Stromquellen.

- Beim Forschungsvorhaben soll auch die Zumischung von Wasserstoff zum Biogas und die dadurch eventuell entstehende Leistungsoptimierung des BHKWs speziell erforscht werden. Im Gegensatz dazu steht bei ENERTRAG die Wasserstoffproduktion und damit die Speicherung von überschüssiger Energie im Vordergrund. Auch wird der produzierte Wasserstoff von ENERTRAG über den Partner Total an Wasserstofftankstellen vermarktet. Dies ist nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens.
- Der Strom für den Elektrolyseur beim Forschungsvorhaben soll nicht ausschließlich wie bei ENERTRAG aus Windkraftanlagen, sondern auch aus anderen erneuerbaren Energien, wie z.B. der Photovoltaik bezogen werden. Auch ein Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz ist geplant.
- Da der Ausgangsdruck des ENERTRAG-Elektrolyseurs bei ca. 15-20 mbar (atmosphärisch) liegt, ist ein nachgeschalteter Kompressor vonnöten, um den Wasserstoff für die anschließende Gasspeicherung zu komprimieren. Der Technologie des H-TEC Elektrolyseurs ermöglicht einen Ausgangsdruck von 30 bar, so dass keine anschließende Kompression erforderlich ist - Gegenstand der Forschung beim Verbundvorhaben ist auch die

Strombeschaffung aus Erneuerbaren-Energien-Anlagen und dem Stromnetz, sowie die Stromvermarktung.

Beim Projekt RH2-WKA handelt es sich um ein Projekt in Mecklenburg-Vorpommern. Hierbei steht die Entwicklung und Umsetzung eines Wind-Wasserstoff-Systems zur CO<sub>2</sub>-freien Speicherung und bedarfsgerechten Bereitstellung von Windenergie im Fokus. Dabei soll ein Windpark aus 28 Anlagen (15 x E-126, 13 x E-82) den Strom für einen Elektrolyseur liefern. Der alkalische Elektrolyseur hat eine Leistung von 1 MW. Erste Erfahrungen von Wind-Wasserstoff-Systemen im industriellen Maßstab sollen hierbei gesammelt werden. Im Fokus steht auch die Entwicklung und Optimierung einer Steuerungssoftware zwischen Windpark und H<sub>2</sub>-System.

Im Vergleich zum Forschungsvorhaben ergeben sich folgende Abgrenzungen:

- Der Strom für den Elektrolyseur kommt ausschließlich aus einem Windpark.
- Der Elektrolyseur arbeitet mit dem alkalischen Prinzip.
- Der Wasserstoff muss auch hier zuerst durch einen Wasserstoffverdichter verdichtet werden, bevor er gespeichert wird.
- Der erzeugte Wasserstoff soll unter anderem in einem BHKW rückverstromt werden, das ausschließlich mit Wasserstoff betrieben wird. Beim Forschungsvorhaben soll der Wasserstoff dem Biogas zugemischt, und danach verbrannt werden.
- Auch bei diesem Projekt befindet sich eine Betankungsanlage für Wasserstofffahrzeuge und die Einspeisung ins Erdgasnetz für einen Teil des erzeugten Wasserstoffs in Vorbereitung.

Kommerziell verfügbare Elektrolyseure im Leistungsbereich von 1 MW, wie sie beispielsweise in obigen Projekten eingesetzt werden, nutzen ca. 30 %-ige Kalilauge als Elektrolyt. Kommerziell verfügbare alkalische Elektrolyseure können nur in einem Lastbereich von 20 bis 100 % betrieben werden.



PEM-Elektrolyseure haben die o.g. Nachteile bei der Kopplung mit regenerativen Stromquellen nicht und können in einem Lastbereich von 0 bis 100 % betrieben werden. PEM-Elektrolyseure in den, für die Speicherung von flexibel anfallendem regenerativem Strom notwendigen Leistungsklassen von 1 MW sind derzeit nicht kommerziell verfügbar.

Das Unternehmen GP JOULE entwickelt, plant, realisiert und betreibt seit Jahren erfolgreich Erneuerbare-Energien-Anlagen. Insbesondere Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) und Windkraftanlagen. Im Bereich Biomasse-Anlagen entwickelt GP JOULE Betriebskonzepte und betreibt Biogas-Kraftwerke und kleine Energieversorgungsunternehmen inklusive des Betriebes von Wärmenetzen.

Auf dieser Grundlage kann GP JOULE auf einem großen Knowhow im Bereich der Konzeptentwicklung für und Betrieb von Erneuerbare-Energie-Anlagen und der Vermarktung von (Wärme) und Strom aus diesen Anlagen zurückgreifen.

Zusätzlich soll hier das Unternehmen Arge Netz GmbH & Co. KG sein Spezialwissen zu den Themen „Vermarktung von Strom aus Windkraftanlagen“ in Form eines Unterauftrages mit einbringen.

Die Kombination der Projektpartner bildet ein schlagkräftiges Team, das gemeinsam über das nötige Grundlagenwissen verfügt um das gesamten Projekt abzudecken. Zudem liegen die Unternehmen räumlich stark konzentriert in Schleswig-Holstein, was die Projektkommunikation und somit die Projektabstimmung zwischen den Projektpartnern vereinfachen sollte.

### **3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Teilvorhaben ist Bestandteil eines Gesamtvorhabens. Um die Übersichtlichkeit der Beschreibungen zu erhöhen wurde im Teilprojekt auf die gleiche Bezeichnung und Nummerierung wie im Gesamtvorhaben zurückgegriffen. Diesbezüglich ergibt sich im Teilvorhaben keine durchgängige Nummerierung.

Die Entwicklungsarbeiten des Gesamtvorhabens unterteilen sich in vier Projektphasen. In diesem Teilvorhaben werden zwei dieser Phasen koordiniert. Die Phasen des Gesamtvorhabens die nicht Bestandteil dieses Teilvorhabens sind andeutungsweise wiedergegeben:

- 1a. Die Entwicklung des PEM-Elektrolyse-Stacks (1 MW) und Bau eines Prototyps.
- 1b. Die Entwicklung des Elektrolyseurs mit dem Stack aus Projektphase 1a als zentraler Einheit und Bau eines Prototyps
2. Konzeption des Betriebs eines Kombikraftwerks mit dem Elektrolyseur aus Projektphase 1 und einem bestehenden Biogas-BHKW als zentrale Einheiten
3. Entwicklung eines Kombikraftwerks nach Vorgaben aus Projektphase 2 und Bau eines Prototyps am Standort Reußenköge.
4. Testbetrieb für sämtliche Komponenten und Konzepte aus den Projektphasen 1, 2 und 3.

#### 4 wissenschaftlichem und technischem Stand

Nach Einschätzung von beispielsweise (M. Sterner, 2010) ist der Bedarf an Speicherkapazität durch den anstehenden Umbau des Stromnetzes für die Integration erneuerbarer Energien enorm und übersteigt die Kapazität und das Potential der derzeit für die Speicherung hauptsächlich verwendeten Pumpspeicherkraftwerke um Größenordnungen.

Für den nötigen Ausbau der Speicherkapazitäten stehen mehrere technische Konzepte zur Verfügung. Vielversprechend für die Speicherung von großen bis sehr großen Energiemengen sind die Technologien der Wasserstoffspeicherung sowie der Methanisierung von Kohlendioxid und Wasserstoff und deren Speicherung in den bestehenden Erdgasspeichern. Für beide Technologien bildet die Wasserstoffproduktion via Elektrolyse eine entscheidende Grundlage.

Sowohl Wasserstoff als auch methanisierter Wasserstoff eignen sich hervorragend als Endenergieträger für weitere Anwendungsgebiete. Beispielsweise als Brennstoff im Mobilitätssektor. Nach (M. Sterner, 2010) scheint „die Wasserstofftechnologie ... durch die vielfältigen Anwendungen eine attraktive Speicherlösung für die Zukunft darzustellen“.

Im heutigen Entwicklungsstand liegen die spezifischen Investitionskosten für die Technologie der Elektrolyse bei ca. 1.000 €/kW. Vornehmlich die hohen Kosten führen zu einem gehemmten Eindringen der Technologie in den Markt.

Stand der Technik sind zum einen alkalische Elektrolyseure mit Stacks im MW Bereich, zum Anderen PEM-Elektrolyseure im kW Bereich. Anlagen der kW-Klasse werden dabei vornehmlich für dezentrale Insellösungen und für

Notstromeinrichtungen verwendet. Im Netzbetrieb sind zur Speicherung von Energie Anlagen im Größenbereich der versorgenden Kraftwerke notwendig. Typische Kraftwerksgrößen von Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Windkraftanlagen liegen im Megawatt-Bereich.

Dass die Energiespeicherung aus erneuerbaren Energien über den Wasserstoff eine zukunftsweisende Technologie ist, untermauert die Gründung der Strategieplattform „Power to Gas“ der Deutschen Energie-Agentur (dena). In dieser Plattform sind eine Reihe Pilotprojekte verzeichnet, die sich mit der Stromspeicherung über das Zwischenprodukt Wasserstoff bzw. synthetisches Erdgas auseinandersetzen.

So hat das Unternehmen ENERTRAG am 25. 10. 2011 das erste Wasserstoff-Hybridkraftwerk weltweit in Betrieb genommen. Hierbei wird Wasserstoff durch den erzeugten Strom aus drei Windenergieanlagen durch einen Elektrolyseur erzeugt, der bei Bedarf wieder zur Stromerzeugung eingesetzt wird. Als Elektrolyseur dient ein 500 kW-Druckelektrolyseur. Das Kraftwerk wird im ENERTRAG-eigenen Stromnetz integriert, so dass in Zeiten begrenzter Abnahmekapazität im Stromnetz Wasserstoff aus dem nicht abgenommenen Strom erzeugt wird. Bei hohem Strombedarf wird der Wasserstoff mit Biogas gemischt und in zwei 350 kW Blockheizkraftwerken mit hohem Wirkungsgrad CO<sub>2</sub>-neutral in Strom umgewandelt und in das Netz eingespeist. Der erzeugte Wasserstoff soll auch über den Direktabsatz an Industrie und Verkehr (als CO<sub>2</sub>-freier Kraftstoff) Verwendung finden.

## **5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.**

Über die drei Projektpartner hinaus fand keine Zusammenarbeit mit anderen Stellen im Rahmen des Förderprojektes statt.

## II. Eingehende Darstellung

---

## **6 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele**

Primäres Ziel des Teilvorhabens ist die Entwicklung und Umsetzung eines Betriebskonzeptes für ein Kombikraftwerk bei dem Wasserstoff vorwiegend aus erneuerbaren Stromquellen über den Elektrolyseur (aus Punkt I. der GVB) erzeugt, in einem Drucktank gasförmig gespeichert und über ein bestehendes Biogas-BHKW durch Beimischung zum Biogas, zeitlich versetzt wieder verstromt wird<sup>1</sup>.

Die GP JOULE GmbH (GP JOULE) ist mehrheitlich am Unternehmen H-TEC Systems GmbH (H-TEC) beteiligt. Dementsprechend sind die von H-TEC beschriebenen Ziele ebenso Teil der Ziele von GP JOULE.

Es sollen sowohl rechtliche, als auch wirtschaftliche, als auch technische Aspekte geklärt werden und in die Entwicklung von Betriebskonzepten einfließen. Die erarbeiteten Betriebskonzepte sollen es ermöglichen Anlagen wirtschaftlich im Markt platzieren zu können.

Es sollen die Rahmenbedingungen für Kombikraftwerke sowohl in Kombination mit Photovoltaik- als auch mit Windkraftanlagen geklärt werden. Ebenso sollen insbesondere die rechtlichen Rahmenbedingungen der Einspeisung von Strom aus Biogas-BHKWs unter Beimischung von Wasserstoff zum Biogas geklärt werden.

Es sollen sowohl die technisch als auch wirtschaftliche Prozesse während der Testphase weiterentwickelt und optimiert werden. Die Anlage soll als Referenzobjekt für eine spätere Vermarktung von Folgeanlagen dienen. Durch die Erweiterung des Angebotsspektrums von GP JOULE von heute einzelnen Erneuerbare-Energie-

Anlagen zu Kombikraftwerken soll langfristig die Geschäftsgrundlage des Unternehmens sichergestellt werden.

### Energie nonstop.

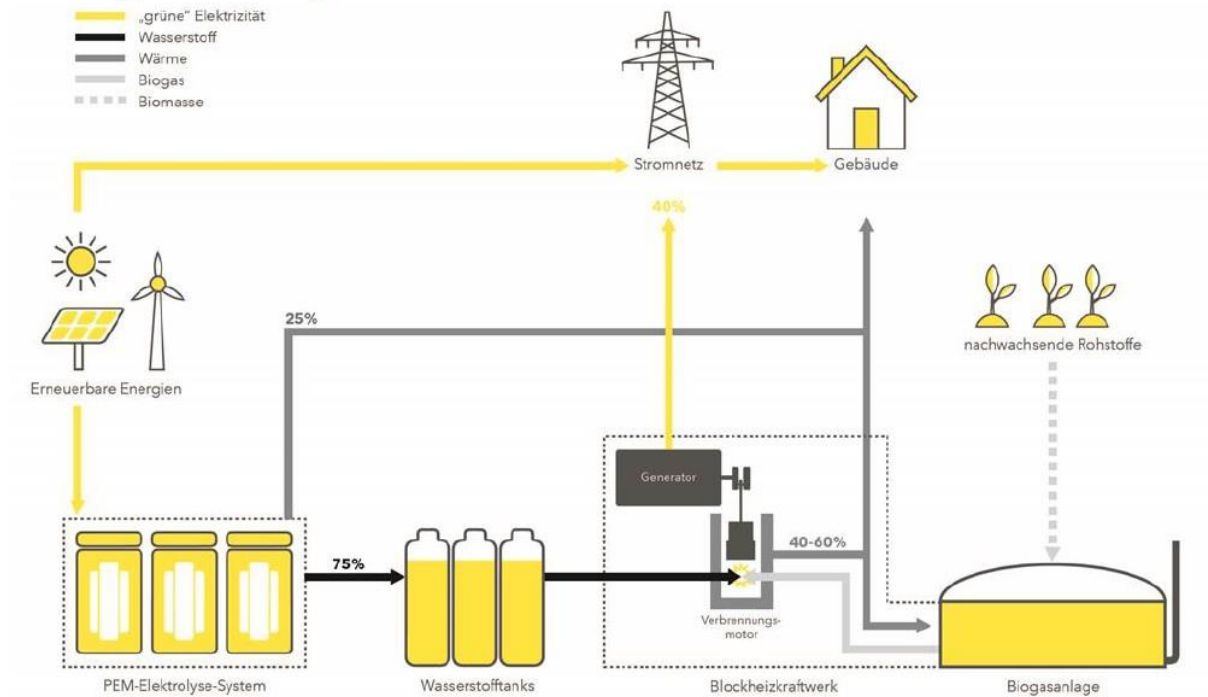


Abbildung 1: Funktionsschema Stromlückenfüller

Die Zuwendungen wurden größtenteils zur Deckung der Personalkosten eingesetzt, sowie zur Deckung der anfallenden Reisekosten (siehe folgendes Kapitel), da die Arbeit GP JOULEs im Rahmen des Förderprojektes sich im Wesentlichen auf die Konzeptentwicklung konzentrierte.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die für GP JOULE gesteckten Projektziele nur begrenzt erreicht worden sind bzw. nicht in der Form, wie es zu Projektbeginn erhofft wurde:

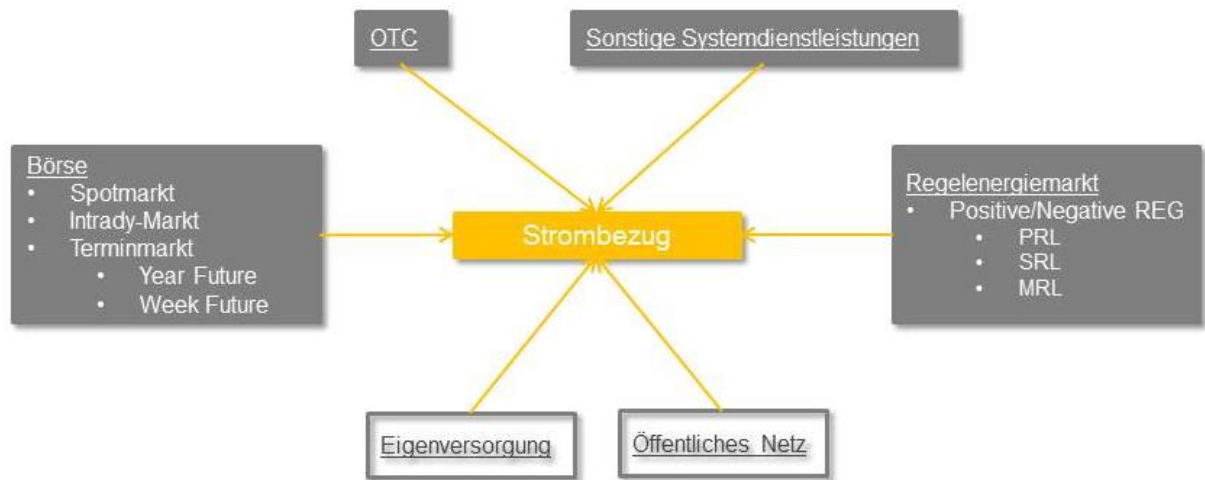
1. Das angestrebte Kombikraftwerk wurde zwar als Konzept erstellt und eingehend technisch, wirtschaftlich und rechtlich untersucht, jedoch stellte



sich heraus, dass ein solches Konzept, insbesondere am Standort Cecilienkoog / Biogasanlage Hof Petersen, aufgrund der rechtlichen Einschränkungen nicht wirtschaftliche zu betreiben ist. Jedoch wurde auch eine Vielzahl anderer Konzepte der Wasserstofferzeugung und -verwertung untersucht, bei denen einige positive Erlöse generieren konnten (s. u.).

2. Da, wie beschrieben, das Konzept des Kombikraftwerkes in der angestrebten Form nicht möglich war, wurde auch dieses Ziel nur eingeschränkt erreicht. Jedoch lieferten die o.g. Arbeitspaket gewonnenen Erkenntnisse die nötige Entscheidungsgrundlage für etwaige zukünftige Betriebskonzepte des durch H-TEC SYSTEMS entwickelten Druckelektrolyseurs, beispielsweise im Zusammenhang mit anderen Abnehmern wie Tankstellen.

Die Wirtschaftlichkeit der Geschäftsmodelle für PtG-Anlagen ist abhängig von den Investitions- und Betriebskosten der Anlage, sowie der energierechtlichen Einordnung des Nutzungspfades, der die Strombeschaffung für den Elektrolyseur und die Verwendung des erzeugten Wasserstoffs beinhaltet. Die Arbeit zeigt, dass in der aktuellen Phase der frühen Markteinführung die Investitions- und Betriebskosten einer PtG-Anlage aufgrund der hohen Entwicklungs- und Herstellungskosten nur begrenzt durch die Vermarktung des Wasserstoffs im Industrie-, Mobilitäts- und Stromsektor gedeckt werden können. Das größte Potential bietet der Einsatz von Wasserstoff als technisches Gas, da hier der Marktpreis am höchsten ist. Jedoch ist für alle Nutzungspfade zu beachten, dass die Investitions- und Betriebskosten nutzungspfadspezifischer Komponenten nicht berücksichtigt wurden. Damit wird die Aussagekraft über die Wirtschaftlichkeit der Nutzungspfade eingeschränkt.



*Abbildung 2: Strombezugsmärkte; Graue Kästen stellen die unterschiedlichen Bezugsmärkte dar, weiße Kästen den physikalischen Bezugsweg (Eigene Darstellung)*

Darüber hinaus haben die Untersuchungen ergeben, dass die Art der Nutzung des Wasserstoffs einen großen Einfluss auf die Strombezugskosten der PtG-Anlage hat. Power-to-Gas-to-Power Konzepten kommt dabei das Privileg der EEG- und KWK-Umlagebefreiung zugute, die einen großen Teil des Strompreises ausmachen. Bei Konzepten, die Strom über eine eigene Leitung aus EE-Anlagen beziehen, reduzieren sich die wesentlich geringeren netzbezogenen Umlagen auf null. Zudem ist im Vergleich zum Strombezug aus EE-Anlagen der Strombezug über die Börse um ein Vielfaches günstiger. Daher sind auch die Nutzungspfade, die Graustrom über das Netz der allgemeinen Versorgung beziehen, lukrativer.

Die Anwendung der Kostendegression, die eine zukünftige Reduzierung der Investitionskosten durch Lernfortschritt beinhaltet, hat ergeben, dass eine wirtschaftliche Realisierung von Power-to-Gas-to-Power Konzepten trotz der energierechtlichen Begünstigungen unwahrscheinlich ist. Im Bereich Mobilität

könnte jedoch eine EEG-Umlagebefreiung den Betrieb von Wasserstofftankstellen zukünftig interessant machen.

Die Ergebnisse der Arbeit und die nationalen Klimaschutzziele sowie das Bestreben den EEAnteil durch die sogenannte Sektorkopplung im gesamten Energiesystem zu erhöhen, stehen im Widerspruch. Eine Sektorkopplung, die die CO<sub>2</sub>-Emissionen senkt, basiert auf dem Einsatz erneuerbarer Energien, welcher durch den weitaus günstigeren Bezug von Graustrom über die Strombörse unattraktiv für den EL-Betreiber ist. Um die Nutzungspfade, die klimapolitisch sinnvoll sind, für den EL-Betreiber nachhaltig wirtschaftlich zu gestalten, müssen zukünftig regulative Rahmenbedingungen und Anreize geschaffen werden. Einen Ansatz bilden die Regelungen zu den sogenannten zuschaltbaren Lasten im EnWG seit 2016, die den Einsatz von PtH im Netzengpassmanagement und somit die die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Wärmesektor durch Nutzung überschüssigen Stroms fördern und zumindest gemäß einer Verordnung die Nutzung von PtG als zuschaltbare Last in Aussicht stellen. Für die Betreiber von EE-Anlagen die eine EEG-Vergütung in Anspruch nehmen, besteht derzeit noch kein Anreiz mit überschüssigem Strom eine PtG-Anlage zu betreiben, da durch den Netzbetreiber eine Ausfallentschädigung in Höhe von mindestens 95 % der Vergütung entrichtet wird. Diese wird über die Netzentgelte auf den Stromkunden umgelegt. Ebenso würde eine Privilegierung der PtG-Konzepte mit stofflicher Nutzung durch die Befreiung der EEG-Umlage zu einer Erhöhung der EEG-Umlage für den Stromkunden kommen. Dieser Effekt wird bereits im Zusammenhang mit der Reduzierung der EEG-Umlage für stromkostenintensive Unternehmen kritisiert. Ein Lösungsweg, die EEG-Umlage zu reduzieren, besteht darin, die stromkostenintensiven Unternehmen wieder mehr in die Pflicht zu nehmen. Eine andere denkbare Lösung könnte die Senkung der EEG-Förderung bei gleichzeitiger Laufzeitverlängerung sein.

In Bezug auf die Sektorkopplung wäre ein nachfragegeführtes System, das Wasserstoff genau da einsetzt, wo er gerade gebraucht wird, wünschenswert. Im Bereich Mobilität bietet sich die Einführung des strombasierten Kraftstoffs über den öffentlichen Sektor an. Auf der einen Seite ergibt sich für Betreiber von PtG-Anlagen Planungssicherheit und dadurch eine Risikominimierung. Auf der anderen Seite nimmt die öffentliche Hand dabei die Vorbildrolle ein und unterstützt somit die gesellschaftliche Integration und Akzeptanz der Technologie. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch diese temporäre staatliche Unterstützung die anfänglich hohen Investitionskosten bis zur kommerziellen Nutzung der Technologie überbrückt werden können. Für die Integration der EE im Energiesystem ist es weiterhin unerlässlich, dass eine Marktkonformität zu fossilen Energieträgern hergestellt wird, welche die gesellschaftlich geforderte Nachhaltigkeit widerspiegeln. Im Bereich Industrie ist das Instrument der CO<sub>2</sub>-Zertifikate sinnvoll, sofern der Preis für die Zertifikate angepasst wird. Im Bereich Mobilität ist eine Modifikation der Definition von Biokraftstoffen im BImSchG notwendig, damit Wasserstoff, der unter Einsatz von EE erzeugt wird, als Biokraftstoff anerkannt wird. Damit würde aufgrund der CO<sub>2</sub>-Minderungsanforderungen der Bundesregierung die Integration von grünem Wasserstoff im Mobilitätssektor gefördert. Insgesamt zeichnet sich ab, dass die Wirtschaftlichkeit von Geschäftsmodellen für den Betrieb von EL sehr stark von den rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen abhängt. Abgesehen davon, dass in dieser Arbeit kein Vergleich mit anderen Technologien hergestellt wurde, ist für eine langfristige sichere Planung ein energierechtlicher Rahmen für Speicher im Allgemeinen und PtG-Anlagen im Besonderen unabdingbar, damit ein netzdienlicher Betrieb auch wirtschaftlich ist.

## 7 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis ist in Tab. 1 gezeigt. Die Kosten auf der Pos. 0837 liegen höher als anfänglich veranschlagt, da die Arbeiten am Arbeitspaket Funktionale Beschreibung mehr Zeit benötigten als ursprünglich veranschlagt. Der über der Vorkalkulation liegende Anteil wurde von GP JOULE finanziert.

Tabelle 1: Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Position	Gesamtvorkalkulation	Gesamtnachkalkulation
813 Material	22.800,00	0
823 FE-Fremdleistungen		
837 Personalkosten	248.449,00	479.664,15
838 Reisekosten	10.800,00	26.213,84
847 Abschreibungen auf vorhabensspezifische Anlagen Abschreibungen auf sonstige genutzte Anlagen des		
848 FE-Bereich		
850 sonstige unmittelbare Vorhabenskosten	10.484,00	8.234,00
855 Summe unmittelbare Vorhabenskosten	292.533,00	514111,99
856 Kosten innerbetriebliche Leistungen	0	0
860 Verwaltungskosten	0	0
881 gesamte Selbstkosten des Vorhabens	292.533,00	514.111,99

## **8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Nach wie vor stellen P2G-Verfahren die hoffnungsvollste Alternative dar, wenn es darum geht große Mengen Strom über lange Zeit zu speichern. Darüber hinaus ist ein derzeitiger Durchbruch beim Aufbau einer H<sub>2</sub>-Tankstelleninfrastruktur zu beobachten. Derzeit werden auch Elektrolyseure als Baumaßnahmen von zu errichtenden Tankstellen gefördert. Beim Betrieb dieser Elektrolyseure kommen genau jene Ergebnisse zum Tragen, die in diesem Projekt erlangt wurden.

Nach wie vor ist die rechtliche Bewertung von P2G-Projekten schwierig, sowohl auf europäischer, wie auch auf nationaler Ebene. Das größte Hemmnis für die Breite Markteinführung ist die Einordnung als Letztverbraucher. Daher spielt es eine entscheidende Rolle bei der Erstellung von Betriebskonzepten die juristischen Details zu kennen.

## 9 Voraussichtlicher Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Der eigene Betrieb von Kombikraftwerken zeichnet sich aus oben genannten Gründen derzeit nicht ab. Dieser Punkt des Verwertungsplans entfällt daher. Die Punkte „Sicherung bestehender Geschäftsfelder“ und „Verkauf von Elektrolyseuren“ bleibt unverändert.

Neu ergeben hat sich die Möglichkeit erzeugten Wasserstoff in Mobilitätskonzepten einzusetzen. GP JOULE legte dazu eine umfangreiche Machbarkeitsstudie vor. „Deutlich wird allerdings, dass der gegenwärtige Rechtsrahmen nicht geeignet ist, sektorenübergreifend Dekarbonisierung mit Wasserstoff zu ermöglichen. Dies gilt insbesondere für das System energierechtlich verankerter Steuern und Abgaben. Wir hoffen, mit dem Verbundvorhaben auch demonstrieren zu können, dass eine entsprechende Neuordnung des Energierechts die Umsetzung der Energiewende in Schleswig-Holstein und Deutschland erleichtern würde.“ (Auszug aus der Machbarkeitsstudie).

Darüber hinaus zeichnen sich derzeit Absatzmöglichkeiten für erzeugten Wasserstoff in der Produktion erneuerbarer Kraftstoffe ab. Die *renewable energy directive (RED II)* wird voraussichtlich Wasserstoff aus erneuerbarem Strom als Biokraftstoff deklarieren bzw. dies ermöglichen.



Abbildung 3: Idealtypische Darstellung



## **10 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Der Einsatz von Wasserstoff auf Biogasanlagen wird an mehreren Stellen untersucht, jedoch immer nur auf technischer Basis (vorwiegend im Bereich biologischer oder chemischer Methanisierung). Über die Betriebskonzepte der dafür in der Praxis nötigen Elektrolyseure wurde bislang jedoch leider nichts veröffentlicht.

## **11 Erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.**

Im Rahmen des Projektes wurde eine Vielzahl wissenschaftlicher Vorträge auf Fachkonferenzen und -messen gehalten und so interessierten Stellen zur Verfügung gestellt (siehe Tabelle 2).

Table 2: Veröffentlichungen nach Nr. 11 NKBF

Name	Titel	Vortragstitel	Ort	Veranstaltung	Datum
Gärnter, Heinrich	Dipl.-Ing.	GP JOULE - The Power Gap Filler	Paris	?	22.10.2015
Gärnter, Heinrich	Dipl.-Ing.	Decentralized energy supply, energy storage and power-to-gas technologies Die Rolle des Stromlückenfüllers in intelligenten Netzen	Garching	Solutions – Made in Bayern: Decentralized Energy Supply with Solar Technologies & Energy Storage for Electricity and Heat	30.11.2016
Herrmann, Joachim	Dr.	Der Stromlückenfüller - Innovative P2G Technologie zur Speicherung erneuerbarer Energie	Hannover	Hannover Messe - Smart Grids Forum	15.04.2015
Herrmann, Joachim	Dr.	HYDROGEN IN A WORLD OF 100% RENEWABLE ENERGY	Buttenwiesen	Umweltkompetenz vor Ort	15.07.2015
Jürgensen, Lars	Dr.	The role of hydrogen for the storage of wind energy	Hannover	Hannover Messe - technical forum	24.04.2016
Jürgensen, Lars	Dr.	Wasserstoffantrieb - Lösung für unbegrenzte Mobilität?	Hamburg	Wind Energy Hamburg -Wind Energy & Grid Integration workshop	28.09.2016
Jürgensen, Lars	Dr.	Power to x: the practical Link between Power and Industries in a Future of Electricity as primary energy carrier	Heide	4. Energieforum Schleswig-Holstein 2018	6.20.2018
Jürgensen, Lars	Dr.		Flensburg	100 % RE Conference	04.10.2016

Volk, Matthias	M. Eng.	On the way to 100% renewable Energy: PEM- Electrolysis as key technology for GP JOULE!	Düsseldorf	Energy Storage Europe	10.03.2015
Volk, Matthias	M. Eng.	Speichertechnologie: Der Stromlückenfüller - Anforderungen und Potentiale	Husum	New Energy	19.03.2015
Volk, Matthias	M. Eng.	Der Stromlückenfüller - Elektrolyse intelligent vernetzt	Garmisch-Partenkirchen	Energie der Alpen	22.10.2015
Volk, Matthias	M. Eng.	Highly Efficient Sector Coupling With Hydrogen	Düsseldorf	Energy Storage Europe	13.03.2018

---

GP JOULE GmbH  
Cecilienkoog 16  
25821 Reußenköge  
T+ 49 4671 6074-0  
F +49 4671 6074-199  
info@gp-joule.de  
www.gp-joule.de