

Forschungsberichtsblatt BWPLUS

**Kommunaler Energieverbund Freiburg**  
**Demonstrationsbetrieb einer Elektrolyseanlage im Industriegebiet**  
**Freiburg Nord zur Verbindung des Strom- und Erdgasnetzes und zur**  
**Speicherung erneuerbarer Energien – Bindeglied zwischen**  
**Energiesystemen**

von

Christopher Voglstätter, David Fischer, Simon Wieser  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

Anke Weidlich, Andreas Kutz  
Hochschule Offenburg  
Fakultät Maschinenbau und Verfahrenstechnik

Richard Tuth, Jonas Schmidinger  
badenova AG & Co. KG, Freiburg

Förderkennzeichen: BWE13031-13032-13035

Die Arbeiten des Baden-Württemberg-Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre  
Sicherung (BWPLUS) werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

November 2018

## 1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Ziel des Ende 2017 abgeschlossenen Projektes Energieverbund Freiburg war die Entwicklung und Demonstrierung von Wasserstoff-Erzeugungsanlagen auf Basis von Elektrolyseuren als Teil eines kommunalen Energieverbunds. Hierfür wurden zwei Demonstrationsanlagen geplant, implementiert und getestet, welche einerseits die Machbarkeit von Power-to-Gas im Verbund demonstrierten und andererseits als Plattform für den Test von Betriebsführungsalgorithmen dienen.

Für den Betrieb des Elektrolyseurs als Teil des kommunalen Energieverbundes wurde eine Demonstrationsanlage auf dem Gelände des Fraunhofer ISE im Industriegebiet Nord errichtet. Die Anlage enthält einen 120 kW Elektrolyseur, eine Gas-Aufbereitungsanlage, einen Gas-Speicher mit 1,8 m<sup>3</sup> Volumen, der bei Elektrolyse-Druck (max. 35 bar) betrieben wird und damit ca. 2,5h Wasserstofferzeugung bei Volllast zwischenspeichern kann. Der erzeugte Wasserstoff wird mit bis zu 2 Vol-% Anteil in das kommunale Erdgasverteilnetz der bnetze eingespeist.

Betriebsalgorithmen wurden aus verschiedenen betrachteten Geschäftsmodellen ausgewählt, entwickelt und auf die Zielanlage portiert. Hierbei wurden Betriebs-Algorithmen, die sich am Strommarkt, an den regionalen erneuerbaren Energien und an der Netzsituation orientieren, implementiert und an der Demonstrationsanlage getestet. Vor allem der Algorithmus Mischbetrieb „EEX & regionale-EE-Erzeugung“ erlaubt eine kombinierte Berücksichtigung von lokaler Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und der deutschlandweiten Situation (abgebildet durch die Preise an der EEX Day-Ahead Strombörse). Für die Umsetzung wurde dabei eine modellprädiktive Regelung, welche die Speicherbewirtschaftung optimiert und trotz der Restriktionen im Gasnetz einen möglichst optimalen Betrieb erlaubt entwickelt, auf die Demonstrationsanlage übertragen und dort erfolgreich seit August 2017 betrieben.

Für den Betrieb des Elektrolyseurs als Teil eines bspw. Industrie-oder gewerblichen Microgrids wurde das an der Hochschule Offenburg bestehende Smart Grid Labor mit seiner Wasserstoffsystemeinheit in einem Feldversuch zum Einsatz gebracht. Dieses Demonstrationsnetz umfasst eine Photovoltaikanlage, einen großen Batteriespeicher sowie das Wasserstoffsystem, bestehend aus einem Elektrolyseur, einem Wasserstoffspeicher und einer Brennstoffzelle. Auch ein Teil der Stromverbraucher in den Büros sowie ein vorhandenes, batterieelektrisches Fahrzeug sind Teil des INES Smart Grids.

Für diesen Fall wurde entschieden, das Ziel der optimierten Nutzung von Überschussstrom zu verfolgen, d.h. eine größtmögliche Unabhängigkeit vom Energieversorger und einen planbaren Austausch zum Stromnetz der öffentlichen Versorgung (Eigenverbrauchsmaximierung sowie die Kappung der Spitzenlast). Der Anwendungsfall Microgrid wurde exemplarisch für das INES-Microgrid modelliert und darauf folgend ein Optimierungsmodell entwickelt, welches Einsatzfahrpläne für alle relevanten Systemkomponenten liefert. Die Simulationen zeigen, dass das Wasserstoffsystem zwar zu einer deutlich erhöhten lokalen Stromnutzung der PV-Anlage führt, aber andererseits der Elektrolyseur einen hohen Standby-Bedarf (vor allem bei kleinen Elektrolyseuren typisch) und einen niedrigen Gesamtnutzungsgrad aufweist. Die zum INES-Modellnetz gehörigen Komponenten konnten mit dem im Projekt Steuerungssystem einzeln gemäß der vom entwickelten Algorithmus vorgegebenen Fahrplänen erfolgreich gesteuert werden und können damit die prinzipielle technische Eignung beweisen.

## **2. Fortschritte für Wissenschaft und Technik**

Im Projekt wurden folgende Fortschritte für Wissenschaft und Technik erreicht:

- Es wurde gezeigt, wie Elektrolyse als Teil eines kommunalen Energieverbundes sowohl als alleinstehende Anlage, als auch als Teil eines Industrie-Minigrids agieren kann.
- Es wurden verschiedene Geschäftsmodelle verglichen und jeweils eines davon für den Betrieb von Elektrolyse im kommunalen Energieverbund umfassend bis zum praktischen Einsatz analysiert.
- Es wurde Wasserstoff in ein kommunales Gasnetz eingespeist. Die Menge bewegte sich dabei am Limit der im Gas-Netz zum Projektzeitraum aus abrechnungstechnischen Gründen möglichen Beimischung.
- Es wurde gezeigt, welche Hemmnisse für Power-to-Gas im Verteilnetz aktuell existieren.
- Es wurde die Methodik der modellprädiktiven Regelung für die Elektrolyse angewendet, um die Elektrolyse unter den Randbedingungen und Restriktionen des kommunalen Netzes bestmöglich zu betreiben.

## **3. Nutzen / Verwertbarkeit**

Die Ergebnisse der Forschung (siehe 2.) lassen sich direkt auf weitere Anlagen übertragen und können als Basis für weitere Forschung oder zu errichtende Anlagen dienen.

Ein wirtschaftlich selbst tragender Betrieb der Anlagen konnte im Projekt nicht dargestellt werden – somit hängt eine praktische Verwertbarkeit für weitere Anlagen von dem jeweiligen Wert / Preis ab, der dem grünen Gas zugemessen oder der Autarkie zugemessen wird sowie der Entwicklung der relevanten Regularien.

Darüber hinaus haben die Teil-Ergebnisse (bspw. der Betriebsalgorithmen, der Betriebserfahrungen, etc.) auch bei leichter Anpassung des Geschäftsmodells weiterhin Gültigkeit.

## **4. Ergebnis- und Forschungstransfer**

Ein Ergebnis- und Forschungstransfer wurde bereits umfangreich praktiziert und über folgende Wege umgesetzt:

- Beantragung nachfolgender Projektanträge zur Untersuchung weiterer sich aus dem Projekt ergebender Fragestellungen und zur Untersuchung von weiteren aus dem Projekt entstandenen Ideen bspw. zur besseren Integration von Elektrolyse in das Gasnetz.
- Das Minigrid und die Power-to-Gas-Anlage werden als Forschungsplattformen auch über das Projektende hinaus weiterbetrieben und für weiterführende Projekte eingesetzt. Bspw. wird 2019 ein neuartiges eichfähiges Brennwert-Messgerät auf Basis von Infrarot-Spektroskopie in der Power-to-Gas-Anlage im Testbetrieb betrieben.
- Es wurden mehrere Paper und mehrere Artikel in Fachmagazinen (bspw. BWK) veröffentlicht. Darüber hinaus sind Vorträge auf Konferenzen (bspw. IRES 2019) geplant.
- Die Power-to-Gas-Anlage ist seitens der Gasbranche auf sehr viel Interesse gestoßen und wurde bereits vielfach von Fachpublikum besichtigt. Mehrere Gespräche mit interessierten Anlagenbetreibern wurden geführt, welche aktuell prüfen, auf diesem Projekt aufbauende Anlagen zu errichten. Die im Projekt errichtete Power-to-Gas-Anlage ist bei den Partnern badenova und bnnetze zu einem Keimpunkt für weitere Aktivitäten im Bereich Grüner

Wasserstoff im Verteilnetz geworden. Ein enger Austausch mit der Thüga-Gruppe als Multiplikator findet statt.