

Programm Lebensgrundlage Umwelt
und ihre Sicherung (BWPLUS)

Zwischenbericht anlässlich des Statuskolloquiums
Umweltforschung Baden-Württemberg 2016

am 3. und 4. Februar 2016
im Haus der Wirtschaft Karlsruhe

Kommunaler Energieverbund Freiburg

von

David Fischer, Marius Holst,
Christopher Voglstätter
Fraunhofer ISE

Anke Weidlich
Hochschule Offenburg

unter Zuarbeit von
Richard Tuth
badenova AG

Förderkennzeichen: BWE13031, BWE13032 & BWE13035

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

Kommunaler Energieverbund Freiburg

Zwischenbericht für das Jahr 2015

Förderkennzeichen: BWE13031, BWE13032 & BWE13035

Datum des Berichts: 22.12.2015

Autoren: David Fischer (Fraunhofer ISE), Marius Holst (Fraunhofer ISE), Christopher Voglstätter (Fraunhofer ISE) und Prof. Dr. Anke Weidlich (Hochschule Offenburg) unter Zuarbeit von Herrn Richard Tuth (badenova AG)

Kurzfassung

Aufgrund eines Änderungsantrages in einem Schwesterprojekt steht die ursprünglich geplante Wasserstoffquelle für den Demonstrationsbetrieb des vorliegenden Projektes nicht zur Verfügung. Statt der geplanten Nutzung von Abfallwasserstoff aus dem Elektrolyse-Testzentrum des Fraunhofer ISE, wird nun ersatzweise beantragt, den Demonstrationsbetrieb mit einem inzwischen vorhandenem alternativen Elektrolyseur durchzuführen.

Die Planungsarbeiten der Einspeiseanlage wurden in enger Zusammenarbeit mit der Badenova/bnnetze erfolgreich abgeschlossen, die Umsetzung jedoch aufgrund o.g. noch nicht gestelltem/beschiedenen Änderungsantrags nicht beauftragt.

Auf Seiten der Algorithmenentwicklung wurden Betriebsstrategien für die verschiedenen Märkte entworfen und eine simulationsbasierte Analyse deren Wirtschaftlichkeit durchgeführt. Aktuell wird die Kopplung der verschiedenen Modelle des Stromnetzes, des Gasnetzes und der Marktmodelle vorangetrieben und in ein übergeordnetes Simulationsframework auf Basis von Python eingebunden. Die auf dem Algorithmus basierende Betriebssteuerung der realen Anlage wird in diesem Framework anschließend getestet und optimiert, bevor sie auf die finale Anlage übertragen wird.

An der Hochschule Offenburg wurde parallel ein dort vorhandenes Microgrid mit einem alkalischen Elektrolyseur modelltechnisch abgebildet. Zudem wurde das Modell um einen flexiblen Verbraucher erweitert. Aus den Ergebnissen konnte eine optimierte Betriebssteuerung für den Elektrolyseur entworfen und über eine Schnittstelle auf die reale Anlage übertragen werden. Nach technischen Problemen mit einigen Komponenten ist der Feldtest für Beginn 2016 geplant. Die wichtigsten Ergebnisse sollten bis Fristenende vorliegen.

Abstract

In alternative to the originally planned use of hydrogen from the electrolysis-test centre at Fraunhofer ISE the hydrogen for this project shall be provided by another electrolyser existing at the test centre at Fraunhofer ISE.

The development on the feed-in installation of the hydrogen to the natural gas grid was completed successfully in cooperation with badenova/bnnetze. The feed-in installation has not been commissioned yet, awaiting a decision regarding the changes in the project.

The development of operation strategies based on cost effectiveness regarding the different energy markets has been completed successfully. At the moment the different simulation models of the power network, the natural gas grid and the model for the markets are integrated into a framework based on

python. First tests were performed. The developed algorithms will be tested and optimized in the framework and later transferred to the real system application.

At the University Of Applied Science of Offenburg the locally existing microgrid was simulated and a flexible load was added to the system. A connected electrolyser was optimized with the test results. Because of broken hardware components of the microgrid the field tests will start with some delay in early 2016.

Änderungsantrag Dezember 2015 (Fraunhofer ISE)

Der Original-Antrag vom Dezember 2013 wurde durch einen im Oktober 2014 eingereichten Änderungsantrag, angepasst und verlängert, um den ursprünglich bereits im Dezember 2013 beantragten, aber noch nicht bewilligten Demonstrationsbetrieb realisieren zu können und diverse Projektentwicklungen administrativ zu berücksichtigen.

Da jedoch das Schwesterprojekt BWh14004 zur Erweiterung der Elektrolyse-Teststände im Elektrolyse-Testzentrum zu einer Wasserstoff-Quelle aufgrund zeitlicher Gründe nicht mehr wie geplant umgesetzt werden konnte, wurde im August 2015 klar, dass für den im vorliegenden Projekt (BWE13031) geplanten Demonstrationsbetrieb des Fraunhofer ISE die Wasserstoff-Quelle fehlt. Daher musste ab August 2015 geklärt werden, wie das vorliegende Projekt alternativ fortgeführt werden soll. Große Teile der Arbeiten des Fraunhofer ISE wurden daher mit Stand zum August 2015 bis zur Klärung gestoppt.

Vorgeschlagen wird seitens des Fraunhofer ISE die Verwendung eines anderen Elektrolyseurs am selben Standort, um das Projekt ohne wesentliche inhaltliche Änderung fortzuführen. Am 11.12.2015 wurde das Fraunhofer ISE vom Projektträger Karlsruhe zur Einreichung eines Änderungsantrages aufgefordert, welcher sich aktuell in Vorbereitung befindet.

Da der Änderungsantrag bis zum Einreichungsdatum des Zwischen-Berichtes nicht beschieden sein wird, adressiert der Zwischenbericht neben dem Status, den aktuell gültigen Zeitplan, die bisher erfolgten Planungen und den aktuellen Bewilligungsstand, was jedoch aufgrund der teilweise gestoppten Arbeiten einen deutlichen Verzug zeigen wird.

Voraussichtlich (!) werden u.A. folgende Eckpunkte im Änderungsantrag adressiert werden:

- Fortführung der Arbeiten mit dem vor Ort verfügbaren 20 Nm³/h Elektrolyseur
- Darlegung, warum die geringere Größe den Projektinhalt und den Demonstrationsbetrieb nicht verändert
- Verlängerung des Demonstrationsbetriebes aufgrund der geringeren Einspeisung und der daher längeren Reichweite der angesetzten Betriebsmittel
- Verschiebung der gestoppten Arbeitspakete um ca. 6 – 9 Monate und entsprechend Verlängerung des Projekts

Arbeitspaket I (Fraunhofer ISE)

Das Ziel des Arbeitspakets ist die Konzeption, Beschaffung, Errichtung und der hardwareseitige Anschluss der Einspeiseanlage als Ergänzung zu dem bestehenden Elektrolysetestzentrum des Fraunhofer-Instituts im Freiburger Industriegebiet Nord.

Der aktualisierte Zeitplan sieht vor, dass die Ermittlung der Rahmenbedingungen nach dem ersten Projektjahr abgeschlossen ist und die Ausschreibung der Einspeiseanlage sowie alle weiteren Schritte im Jahr 2015 beginnen.

Arbeitspaket II (Fraunhofer ISE)

Das Ziel des Arbeitspakets ist die Abnahme und der Test des Gesamtsystems. Hierzu soll das System in einem mehrtägigen Dauerbetrieb laufen, um zu überprüfen, ob das erweiterte System den Anforderungen und Planungen entspricht und ggf. Nachforderungen an Lieferanten oder Subunternehmer durchzusetzen. Eine Abnahme durch eine zugelassene Überwachungsstelle und die Genehmigungsbehörde vervollständigen den Probebetrieb.

Der Zeitplan sah vor, dass alle Arbeitsschritte des Arbeitspakets 5 im Oktober 2015 oder später beginnen. Aufgrund des im Kapitel „Änderungsantrag Dezember 2015“ genannten Wegfalls der ursprünglich geplanten Wasserstoff-Quelle wurde der Beschaffungsprozess Mitte 2015 gestoppt und wird bei vorliegender Bewilligung des Änderungsantrages wieder fortgesetzt.

		2015												2016											
Arbeitspakete		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AP II:	Ab- und Inbetriebnahme PtG-Anlage																								
AP II.1	2 x 24 h Dauerbetrieb																								
AP II.2	Ggf. Nachforderungen Lieferanten																								
AP II.3	Vergleich mit Planung																								
AP II.4	Abnahme durch ZÜS und Erdgas-Netzbetreiber																								

Abbildung 3: Bisher gültiger Zeitplan Arbeitspaket II

Arbeitspaket 1 (Fraunhofer ISE)

Das Ziel des Arbeitspakets ist die modellreduzierte Abbildung des Energieverbunds Freiburg und Definition der Parameter, die in die Steuerung des Energieverbundes eingebunden werden sollen. Zu untersuchende Komponenten sind der Elektrolyseur, das Gasnetz und ggf. Gasspeicher und Gasnetzeinspeisung, die im Netzgebiet regelbaren elektrischen Erzeuger, Verbraucher und Speicher sowie Markt- und Wetterparameter, die für eine Steuerung von energiewirtschaftlichen Komponenten maßgeblich sind.

		2013												2014												2015			
Arbeitspakete		12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
AP 1:	Modellbildung zur Betriebsoptimierung																												
AP 1.1	Erfassung Ausgangssituation																												
AP 1.2	Modellreduzierte Abbildung des Energieverbundspeichers																												
AP 1.3	Definition und Anbindung Steuerungsparameter																												
AP 1.4	Entwicklung Steuerungsalgorithmus Integrationsumgebung																												
AP 1.5	Netzmodellvalidierung																												

Abbildung 4: Zeitplan Arbeitspaket 1

Für die modellreduzierte Abbildung des Energieverbundspeichers (AP1.2) und die darin enthaltene Marktbetrachtung und Auswahl eines Zielmarktes wurde zunächst ein idealer Standort ohne Restriktionen durch das Strom- oder Gasnetz gewählt. Dieser wurde mit dem realen Standort mit Restriktionen in Freiburg verglichen. Die unterschiedlichen Märkte werden anhand historischer Preise und Gasnetzdurchflüsse des Jahres 2013 simuliert. Bei Strombezug an der Börse EEX werden zunächst die Grenzkosten ermittelt, die abhängig vom vergüteten Wasserstoffpreis für einen positiven Deckungsbeitrag benötigt werden. Diese Grenzkosten entsprechen dem Preisgebot für den Strombezug. Bei den Simulationen der Regelleistung wurde für eine Maximalabschätzung zunächst von einem perfektem Marktwissen ausgegangen, in dem der Betreiber in jeder Bietperiode den maximal bezuschlagten Leistungspreis und einen Arbeitspreis mit dem bestmöglichen wirtschaftlichen Ergebnis erhält. Zusätzlich werden Szenarien definiert, in denen kein perfektes Marktwissen besteht. In diesen Szenarien erhält der Bieter in jeder Bietperiode den mittleren Leistungspreis und das gesamte Jahr über

einen konstanten Arbeitspreis. Für die betrachteten Märkte wird jeweils die nötige Wasserstoffvergütung ermittelt, die einen wirtschaftlichen Betrieb des Elektrolyseurs ermöglicht. Je nach Rahmenbedingungen stellen sich die Strombörse EEX oder der Markt der negativen Sekundärregelleistung als sinnvollste Märkte für den Elektrolyseur-Betrieb heraus. Jedoch stellt der Strombezug an der Börse EEX die risikoärmere und vor allem im Fall von Gasnetzrestriktionen die zu empfehlende Variante dar. Für einen wirtschaftlichen Betrieb wäre unter heutigen Bedingungen am Idealstandort ein Wasserstoffpreis von 14.6 - 16.5 ct/kWh nötig. Am realen Standort mit Gasnetzrestriktionen erhöht sich der Wasserstoffpreis auf 20.5 ct/kWh. Die nötigen Wasserstoffpreise der Märkte EEX, positive und negative SRL liegen dabei in der ähnlichen Größenordnung. Anhand der Ergebnisse lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt vermuten, dass Power-to-Gas unter heutigen Rahmenbedingungen grundsätzlich nicht wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann. Ein bedeutender Grund dafür, sind die geltenden Regulatorien. Die EEG-Umlage, die aufgrund der Einstufung von Power-to-Gas als Letztverbraucher anfällt, verschlechtert das wirtschaftliche Ergebnis wesentlich. Gleiches gilt für die langen Bietzeiträume von 7 Tagen bei Sekundärregelleistung, aufgrund welcher nur ein Bruchteil der Nennleistung angeboten werden kann, um die Gasnetzrestriktionen nicht zu verletzen. Die Einstufung von Power-to-Gas Anlagen als Letztverbraucher und die langen Bietzeiträume für die Bereitstellung von Sekundärregelleistung, sollten überdacht werden. Die Ergebnisse sollen in einem nächsten Schritt in einem Konsortialtreffen noch diskutiert und bewertet werden, um für den Abschlussbericht eine umfassende Betrachtung der beteiligten Akteure geben zu können.

Um eventuelle Restriktionen im Stromnetz zu ermitteln, wurden Referenznetze (AP1.2) simuliert. Es hat sich gezeigt, dass der Betrieb eines Elektrolyseurs im städtischen Bereich wenig problematisch ist. Gasnetzseitig wurden bereits im letzten Zwischenbericht die deutlich stärkere Restriktionen erläutert.

Zur Durchführung der o.g. Betrachtungen / Bewertungen der Märkte wurden die Steuerungsalgorithmen (AP1.4) für Regelleistung und EEX entwickelt und in den o.g. Idealbedingungen und mit Restriktionen bereits simulativ betrachtet. (Teilweise Arbeiten, die auch AP2.3 zuzuordnen sind).

Eine Netzmodellvalidierung (AP 1.5) wurde gasnetzseitig mit Messdaten der bnnetze durchgeführt. Hier hat sich gezeigt, dass bei Betrachtung des versorgten Wohngebiets eine hohe Genauigkeit erzielt werden kann. Durch den zeitweise sehr stochastischen Gasbedarf der anliegenden Industriekunden wird die Genauigkeit der Gasverbrauchsmodellierung zeitweise jedoch empfindlich reduziert.

Arbeitspaket 2 (Fraunhofer ISE)

Das Ziel des Arbeitspakets ist die Entwicklung von Betriebsführungsstrategien für die Elektrolyse-Einheit im Energieverbund. Hierzu sollen einheitliche Schnittstellen definiert werden und ein Elektrolyse-Modell für eine Simulationsumgebung (siehe AP 1) entwickelt werden. Die entwickelten Betriebsführungsstrategien sollen in der Simulationsumgebung getestet werden und dann in einen Regelalgorithmus für die Power-to-Gas-Anlage transferiert werden.

Der aktualisierte Zeitplan sieht vor, dass die Arbeiten ab April 2014 beginnen und im November 2015 abgeschlossen sind.

Arbeitspakete	2014												2015											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
AP 2: Anpassung /Integration Elektrolyseanlage																								
AP 2.1 Schnittstellendefinition der P2G-Anlage an Optimierungsalgorithmus																								
AP 2.2 Entwicklung Elektrolyseurmodell																								
AP 2.3 Simulation und Bewertung Betriebsführungsstrategien																								
AP 2.4 Transfer Betriebsführungsstrategien in Regelalgorithmus																					ME			

Abbildung 5: Bisher gültiger Zeitplan Arbeitspaket 2

gleichzeitig einsatzfähig waren. Sobald dies der Fall ist (geplant Beginn 2016), wird der vollständige Funktionstest umgesetzt. Für die Ermöglichung von Jahressimulationen wurde das Optimierungsmodell jeweils über einen Zeitraum von knapp zwei Wochen berechnet, da längere Zeiträume mit einer sehr langen Rechenzeit verbunden waren. Die Einzelsimulationen wurden in einem rollierenden Zeithorizont mit jeweils überlappenden Optimierungszeiträumen nacheinander durchgeführt und zu einem Jahr zusammengeführt, wobei Ergebnisse aus einem Zeitraum in den folgenden übertragen wurden. Dieses Vorgehen ermöglicht es, längere Optimierungshorizonte des Speichereinsatzes annähernd abzubilden; saisonale Zeiträume des Speichereinsatzes sind jedoch mit diesem Vorgehen nicht möglich.

Einige Erkenntnisse aus dem Modellbetrieb lassen sich hier kurz zusammenfassen:

- Durch die vergleichsweise lange Anfahrzeit des alkalischen Elektrolyseurs aus dem Kaltbetrieb kann es je nach Situation im optimierten Betrieb sinnvoll sein, den Anfahrbetrieb oder einen Weiterbetrieb des Elektrolyseurs auch mit Strom aus dem öffentlichen Netz zu betreiben, um den Elektrolyseur in den Situationen, in denen (wieder) ein Überschuss erwartet wird, voll einsatzfähig zu haben. Somit wird der Elektrolyseur nicht ausschließlich mit „Überschussstrom“ betrieben (vgl. Abbildung 7).
- Der Wert des Wasserstoffsystems liegt primär in der Bereitstellung von Flexibilität an sich (positive und negative Leistung) und weniger in der Eigenschaft der Energiespeicherung. Dies lässt sich sehr einfach daraus ableiten, dass der Wirkungsgrad der Wasserstoffherzeugung und Rückverstromung in der Brennstoffzelle insgesamt eher niedrig ist und damit je nach Einspeisevergütung eine Speicherung des Stroms bei reiner Stromkostenbetrachtung nicht sinnvoll ist. Die Brennstoffzelle kann jedoch helfen, die Spitzenlast des Microgrids zu reduzieren und an dieser Stelle Kosten einzusparen
- Ein wirtschaftlicher Betrieb eines Microgrids mit Elektrolyseur und Wasserstoffspeicherung sowie Brennstoffzelle lässt sich gemäß der Ergebnisse der Langzeitmodellierung unter aktuellen Rahmenbedingungen erwartungsgemäß noch nicht darstellen. Die Hemmnisse und Herausforderungen werden im Austausch mit den Projektpartnern in 2016 noch detaillierter erfasst und beschrieben.

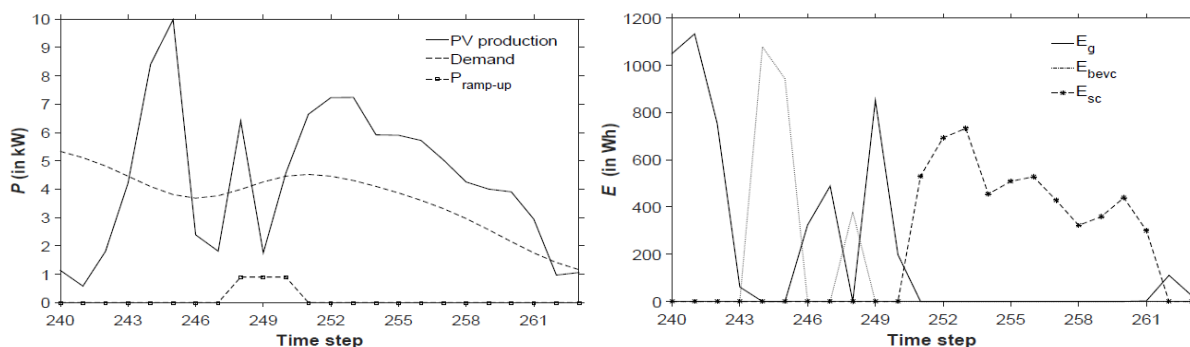


Abbildung 7: Betrieb des Microgrids in einem beispielhaften Zeitraum; links: PV-Einspeisung, Nachfrage und Anfahrbetrieb des Elektrolyseurs, rechts Energiebezug aus dem Netz (E_g), Betrieb des flexiblen Verbrauchers (E_{bevc}), Energieaufnahme des Elektrolyseurs (E_{sc})

Die Beschreibung des Modells wurde in einem wissenschaftlichen Fachartikel zusammengefasst, der zur Veröffentlichung eingereicht wurde.

Arbeitspaket 4 (Fraunhofer ISE)

Das Ziel des Arbeitspakets ist der Demonstrationbetrieb des Energieverbunds Freiburg, d.h. der Betrieb der fertigen und funktionsfähigen Anlage unter Einsatz der entwickelten Algorithmen. Hierzu ist ein erster Testbetrieb geplant, gefolgt von einem exemplarischen Versuchs- und Demonstrationbetrieb an exemplarischen Wochen verteilt über ein Jahr (bspw. Übergangszeit, Sommerbetrieb, Winterbetrieb, usw.). Die Ergebnisse sollen ausgewertet werden und für eine Optimierung des Algorithmus verwendet werden.

Der Zeitplan sieht vor, dass alle Arbeitsschritte des Arbeitspakets 4 im Februar 2016 oder später beginnen.

Arbeitspakete	2016												2017		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
AP 4: Demonstrationbetrieb Energieverbund Freiburg															
AP 4.1 Anlagentestbetrieb als Nachweis der Ansteuerbarkeit durch Optimierer															
AP 4.2 Versuchsbetrieb Betriebsführung an einzelnen exemplarischen Wochen															
AP 4.3 Auswertung und Anpassung des Simulationsmodells															
AP 4.4 Implementierung der Steuerung für optimierten Dauerbetrieb															M8

Abbildung 8: Bisher gültiger Zeitplan Arbeitspaket 4

Aufgrund des im Kapitel „Änderungsantrag Dezember 2015“ genannten Wegfalls der ursprünglich geplanten Wasserstoff-Quelle wurde der Beschaffungsprozess der Einspeiseanlage (API) Mitte 2015 gestoppt und wird bei vorliegender Bewilligung des Änderungsantrages wieder fortgesetzt. Der Demonstrationbetrieb wird sich daher analog zum Beschaffungsprozess nach hinten verschieben.

Arbeitspaket 5 (Hochschule Offenburg)

Das Ziel des Arbeitspakets war die Demonstration der Verwendbarkeit der Steuerungsalgorithmen und Parameter für den Energieverbund Freiburg auch für andere Energieverbünde und Optimierungsziele, Validierung der Regelungsalgorithmen und der Übertragbarkeit auf andere Anlagen und andere Einsatzzwecke, Nachweis des Betriebs der im INES-Modellnetz integrierten Komponenten gemäß Vorgaben für den optimierten Probetrieb. Gemäß Zeitplan sollten die Arbeiten im April 2015 beginnen und Ende Mai 2016 abgeschlossen sein.

Arbeitspakete	Projektmonat	2015												2016						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
AP 5: Demonstrationbetrieb INES-Modellnetz																				
AP 5.1 Testbetrieb unter Verwendung Parametersatz Energieverbund Freiburg																				
AP 5.2 Betrieb gemäß definierten Einsatzprofilen																				
AP 5.3 Auswertung und Anpassung des Simulationsmodells																				
AP 5.4 Implementierung der Steuerung für optimierten Dauerbetrieb																				M8

Abbildung 9: Zeitplan Arbeitspaket 5

Die Arbeiten am Feldversuch wurden planmäßig Anfang April 2015 begonnen, jedoch waren noch umfangreichere Vorarbeiten nötig, um die geplanten Arbeitsschritte zu ermöglichen. So ist beispielsweise die an der Hochschule vorhandene Wasserstoffanlage als Backupsystem konzipiert, wodurch die Brennstoffzelle nur unter Last arbeitet und nicht mit einem herkömmlichen Wechselrichter betrieben werden kann. Erst durch die Integration einer elektrischen Last mit Rückeinspeisung konnte der forcierte Betrieb der Brennstoffzelle ermöglicht werden. Des Weiteren war die Kopplung des Optimierungsmodells mit den physischen Microgrid-Komponenten zu realisieren, um die Regelalgorithmen auch tatsächlich im Modellnetz betreiben zu können. Dies erforderte den Entwurf einer Softwarearchitektur für den Feldbetrieb und die Programmierung entsprechender Schnittstellen. Der Feldversuch an sich wurde leider durch einige technische Probleme mit den Systemkomponenten verzögert. Ein Betrieb gemäß den definierten Einsatzprofilen sowie ein Dauerbetrieb konnten noch nicht realisiert werden. Der aktuelle

Stand des Systems ist jedoch so, dass mit Beginn 2016 alle weiteren geplanten Aktivitäten im Feldversuch durchgeführt werden können und bis Mai 2016 (geplantes Ende) die wichtigsten Ergebnisse vorliegen können, sofern keine weiteren Probleme auftreten. Wenn möglich soll der Feldbetrieb noch darüber hinaus weitergeführt werden, um mehr Erfahrungen aus einem längeren Dauerbetrieb sammeln zu können. Die Aktivitäten im Feldversuch sind im Folgenden kurz skizziert:

- Um die Betriebssicherheit bei der Durchführung des Demobetriebs zu gewährleisten, wurde ein Wartungsplan für die Wasserstoffsystemeinheit erstellt. Dieser beinhaltet u. a. Wartungsverträge mit Firmen sowie den Aufbau von Kompetenzen am Institut
- Ein Programm zum Auslesen und Abspeichern der zu Verfügung stehenden Datenpunkte wurde erstellt. Die Messdaten werden kontinuierlich in eine MySQL Datenbank geschrieben.
- Für die Erfassung des Wasserstoffdrucks im System wurden zwei für Wasserstoff ungeeignete Sensoren (starker Nullpunktdrift) durch geeignete Drucksensoren ersetzt. Zur Bilanzierung des Elektrolyseurs wurde die Messtechnik um einen AC-Energiezähler und einen Wärmemengenzähler erweitert.
- Für die Erstellung des INES-Modellnetzes wurden Vorversuche durchgeführt (siehe Beispiel in Abbildung 10).

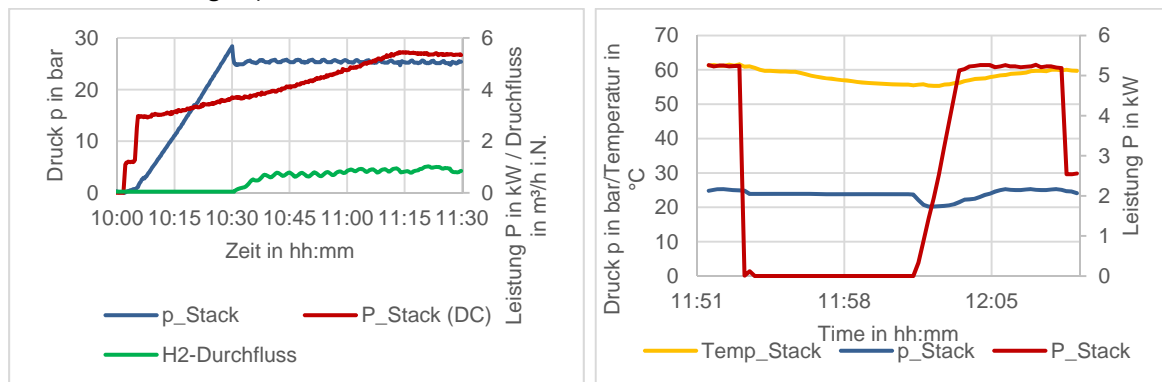


Abbildung 10: Charakteristiken des Elektrolyseurs am INES; links: Kaltstart $T_{stack}=16 \text{ °C}$, rechts: Warmstart unter Druck

- Rückspeisung von Energie aus dem Wasserstoffspeicher über die Brennstoffzelleneinheit wurde über ein geeignetes Wechselrichterkonzept realisiert. Hierbei wird der Wechselrichter unter Verwendung zwischengeschalteter Ultrakondensatoren zugeschaltet, sobald die Brennstoffzelle einen Netzausfall erkennt.
- Das implementierte Wechselrichterkonzept wurde im Rahmen von Vorversuchen für den Feldbetrieb des H_2 -Systems getestet. Die Wechselrichter-Brennstoffzellen-Kombination zeigte dabei ein gutes Betriebsverhalten bei einer Einspeiseleistung von ca. 1.250 W. Zusätzliche Tests mit Klein-Wechselrichtern mit einstellbarer Kennlinie wurden durchgeführt und sollen in Verbindung mit dem Energiemanagement für das Gesamtsystem fortgesetzt und abgeschlossen werden.

Es traten bei der Umsetzung Verzögerungen auf, die aus technischen Problemen des Wasserstoffsystems resultierten: Der Elektrolyse-Stack war undicht und wurde zunächst von der Herstellerfirma nicht zufriedenstellend repariert. In der Folge konnte der Elektrolyseur aufgrund eines zu hohen Sauerstoffanteils auf der Wasserstoffseite nicht kontinuierlich betrieben werden. Eine erneute Reparatur wurde durch die Insolvenz der Herstellerfirma erschwert; die Abstimmung mit einer neuen Firma dauerte bis Herbst 2015 und die Wiederinbetriebnahme des Elektrolyseurs erfolgte durch diese Ende Oktober 2015. Nun steht die Feinkalibrierung (Druckausgleich) des Elektrolyseurs noch aus und konnte bis zum Jahresende nicht durchgeführt werden, da die zwischenzeitlich defekte Brennstoffzelle den Betrieb der

Wasserstoffsystemeinheit Elektrolyseurs blockiert (Sicherheits-Not-Aus). Der Einbau der mittlerweile reparierten Brennstoffzelle soll im Januar 2016 erfolgen. Im November 2014 wurde zudem das batteriebetriebene Elektroauto des Instituts durch Brandstiftung vollständig zerstört, sodass der Einsatz der flexiblen Last im Feldversuch erst nach der geplanten Neubeschaffung wieder möglich ist.

Arbeitspaket 6 (Fraunhofer ISE in Vertretung der FWTM Freiburg)

Das Ziel des Arbeitspakets ist die Evaluation und Verwertung der Ergebnisse unter der Federführung der FWTM Freiburg.

Der Zeitplan sah vor, dass alle Arbeitsschritte des Arbeitspakets 6 im September 2015 mit Start der der Inbetriebnahme oder später beginnen. Aufgrund des im Kapitel „Änderungsantrag Dezember 2015“ genannten Wegfalls der ursprünglich geplanten Wasserstoff-Quelle wurde der Fortschritt in diesem Arbeitspaket Mitte 2015 – also vor Beginn – gestoppt und wird bei vorliegender Bewilligung des Änderungsantrages wieder fortgesetzt.

Arbeitspakete	Projektmonat	2015						2016						2017										
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
AP 6:	Evaluation und Verwertung, Öffentlichkeitsarbeit																							
AP 6.1	Evaluation und Verwertung der Ergebnisse																							
AP 6.2	Konzeption der Öffentlichkeitsarbeit																							
AP 6.3	Multiplikation, Einbindung lokaler Akteure, Besichtigungen																							M8

Abbildung 11: bisher gültiger Zeitplan Arbeitspaket 6

Meilensteine

Folgende Meilensteine wurden im Projektantrag definiert. Fälligkeit und Status der Meilensteine kann folgender Tabelle entnommen werden.

Aufgrund des im Kapitel „Änderungsantrag Dezember 2015“ genannten Wegfalls der ursprünglich geplanten Wasserstoff-Quelle wurde der Fortschritt einiger Arbeitspaketen Mitte 2015 gestoppt. Daher wurden die Meilensteine M2 & M5 bisher nicht erfüllt.

M7 und M8 sind noch nicht fällig, werden aber durch den Stopp einiger Arbeitspakete verzögert.

	Meilenstein	Fälligkeit	Erfüllt?	Verzug absehbar?
M1	Konzept der PtG-Anlage, inkl. Schnittstellen zur Erzeuger- und Netzseite erstellt	08/2014	✓	
M2	Ausschreibung Einspeiseanlage veröffentlicht	03/2015	x	Ja
M3	Netzmodellierung abgeschlossen	02/2015	✓	
M4	Definition der Steuerungsparameter abgeschlossen	02/2015	✓	
M5	Technische Betriebsbereitschaft der Einspeiseanlage hergestellt	10/2015	x	Ja
M6	Regelalgorithmus für Demobetrieb an beiden Standorten aus Betriebsführungsalgorithmus abgeleitet	11/2015	✓	
M7	PtG-Anlage durch Netzbetreiber und ZÜS abgenommen	02/2016		Ja
M8	Optimierte Steuerung erlaubt Dauerbetrieb, Begleitende Öffentlichkeitsarbeit abgeschlossen	03/2017		Ja

Abbildung 12: Übersicht Meilensteine