

Forschungsbericht BWPLUS

H₂BW
Einsatz der PEM-Elektrolyse zur Verbesserung der
Wasserstoffversorgung von H₂-Tankstellen

von

Fabian Burggraf, Svenja Kolb,
Kaspar Andreas Friedrich

DLR Stuttgart
Institut für Technische Thermodynamik

Förderkennzeichen: BWH 14001

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

Juli 2017

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	3
1. Abstract – Kurzbeschreibung der Projektergebnisse	4
2. Motivation und Hintergründe des Vorhabens	4
3. Aufgabenstellung.....	5
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	6
5. Fortschritte auf diesem Gebiet von anderen Stellen	7
6. Planung und Ablauf des Vorhabens	8
6.1. Ursprüngliche Projekt- und Zeitplanung	8
6.2. Planungsphase und projektbezogene Vorarbeiten	9
6.3. Genehmigungsprozess	11
6.4. Installationsarbeiten.....	13
6.5. Gegenwärtiger Stand und Ausblick	16
7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	16
8. Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms des Zuwendungsgebers	18
9. Erzielte Ergebnisse und deren Nutzen/Verwertbarkeit	19
10. Verwertungsplan	20
11. Veröffentlichungen.....	21
Anhang	18
A. Kurzzusammenfassung (deutsch).....	18
B. Abstract (English).....	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über Power-to-Gas und Wasserstoffinfrastruktur-Projekte im Demonstrationsmaßstab in Deutschland (Stand 01/2015): blau: Anlage in Betrieb; grün: Anlage im Bau; Orange: Anlage in Planung 8

Abbildung 2: Ursprüngliche Zeitplanung im Vorhaben BWH14001 laut Projektantrag 8

Abbildung 3: Einblick in die Verfahrenstechnik des 50 kW PEM Elektrolyseurs: Links: Einbindung des Short-Stacks; Recht: Einheit zur Gasaufreinigung für die Sicherstellung der 5.0 Wasserstoff-Reinheit 10

Abbildung 4: Standortansicht Gelände NetzeBW, Talstraße 117, Stuttgart 11

Abbildung 5: Übersicht über das zweigeteilte, mehrstufige Genehmigungsverfahren, sowie über die genehmigungsrelevanten Dokumente 12

Abbildung 6: Tiefbauarbeiten: Bodenplatte inkl. Blitzschutz-Ableitungen und Auflagepunkten für den Container (Bild vom Dez. 2015) 14

*Abbildung 7: Vereinfachtes Blockschema der Integration des PEM Elektrolysesystems (Die in rot angedeutete LOHC Hydriereinheit ist nicht Gegenstand dieses Projekts und soll andeuten, dass die im Projektantrag angedeutete Untersuchung unterschiedlicher H₂-Speicher an dieser Stelle umgesetzt werden kann.)*15

Abbildung 8: Installiertes PEM Elektrolysesystem (Jan. 2016) inkl. Blitzableitung, Gasausbläsern und Tischkühlern 16

1. Abstract – Kurzbeschreibung der Projektergebnisse

Im Rahmen des Projekts „Einsatz der PEM-Elektrolyse zur Verbesserung der Wasserstoffversorgung von H₂-Tankstellen“ wurde an einer bereits vom lokalen Verteilnetzbetreiber NetzeBW betriebenen Tankstelle für Wasserstoff, Erdgas, Autogas und Strom im Stuttgarter Osten eine in Deutschland bislang einzigartige Vernetzung verschiedener Wasserstoffproduktionsverfahren, Wasserstoffnutzung sowie -speicherung installiert. Parallel zur bereits am Standort vorhandenen und betriebenen alkalischen Elektrolyse wurde eine PEM Elektrolyseanlage der Leistungsklassen 50 kW installiert und an die bestehende Infrastruktur gekoppelt. Für diese Installation eines wasserstoffproduzierenden Systems im öffentlichen Raum musste ein zeit- und arbeitsintensiver mehrstufiger Genehmigungsprozess durchlaufen werden. Neben baurechtlichen musste auch sicherheitstechnische und emissionsschutzrechtliche Aspekte bei der Planung des Gesamtkonzepts berücksichtigt werden. Nach Abschluss der vorbereitenden Bau- und Infrastrukturarbeiten konnte das PEM Elektrolysesystem am 10.12.2015 installiert und im Zuge der folgenden Wochen in die vorhandene Wasserstoff-Infrastruktur integriert werden. Seit Januar diesen Jahres laufen die finalen Inbetriebnahmearbeiten vor Ort durch den Anlagenbauer. Nach deren Beendigung wird das PEM-System zum einen als wichtiger Baustein in einer regionalen Wasserstoff-Infrastruktur in Stuttgart dienen und zum anderen eine wichtige und in dieser Form einzigartige Testumgebung für Materialien, Komponenten und (gekoppelten) Betriebsweisen von Elektrolyseuren darstellen.

2. Motivation und Hintergründe des Vorhabens

Die von der Bundesregierung vorangetriebene Energiewende zielt darauf ab auch im Verkehrssektor langfristig regenerative Kraftstoffe flächendeckend einzusetzen. Eine Einführung in großem Maßstab sieht sich allerdings mit zwei korrelierenden Problemen konfrontiert. Bislang existiert keine flächendeckende Infrastruktur von Tankstellen, die Elektrofahrzeuge der neuen Generation entsprechend versorgen könnte. Aus diesem Grund wiederum zögern viele potentielle Käufer mit dem Kauf eines Elektrofahrzeugs, was wiederum den Neubau und wirtschaftlichen Betrieb entsprechender Tankstellen erschwert bis unmöglich macht. Daher fördert das Land Baden-Württemberg im Sinne einer Anschubfinanzierung Projekte die den Ausbau und die technologische Weiterentwicklung von Wasserstofftankstellen zum Ziel haben. Eine wasserstoffbasierte Kraftstoffinfrastruktur für den Verkehrssektor in Deutschland verspricht dabei einige Vorteile:

- Durch eine Wasserstoff-Direkterzeugung vor Ort kann der Transport durch ein aufwendiges Pipelinesystem oder mittels Tanklastwagen vermieden werden.
- Schon heute können umweltfreundlich Brennstoffzellenfahrzeuge mit hohem Wirkungsgrad im Prinzip serienmäßig produziert werden.
- Ein flächendeckender Ausbau der Wasserelektrolyse bringt weitere signifikante Kosteneinsparungspotentiale mit sich. Eine vielversprechende Möglichkeit temporäre Überangebote erneuerbarer Energien zu nutzen ist eine Speicherung der Energie als elektrolytisch produzierter Wasserstoff. Auf diese Weise kann theoretisch auch die Notwendigkeit eines teuren Ausbaus von Übertragungsnetzen quer durch Deutschland verringert werden.

Von entscheidender Bedeutung für eine möglichst effiziente Vor-Ort-Gewinnung von Wasserstoff mittels Elektrolyse sind Technologien mit hohen Wirkungsgraden und einer kompakten, modularen Bauform. Dynamische Stromeinspeisung und eine starke Fluktuation in den Abnahmemengen (z.B.

Nachtverkehr) verlangen zudem die Möglichkeit einer dynamischen Betriebsführung mit kurzen Ansprechzeiten. Die Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyse (PEM-Elektrolyse) ist diesbezüglich eine vielversprechende Technologie.

Am Standort Stuttgart–Talstraße existiert bereits eine vom lokalen Energieversorger NetzeBW betriebene Wasserstofftankstelle, die bis zum jetzigen Zeitpunkt durch eine alkalische Elektrolyseanlage mit Wasserstoff versorgt wird. Im Rahmen dieses Projektes soll diese Anlage durch ein kompaktes PEM-Elektrolysesystem ergänzt werden. Dadurch wird ein in seiner Form einzigartiger Standort geschaffen, an dem es möglich ist, unter realen Bedingungen die Vor- und Nachteile beider Technologien im Alltagsbetrieb beim Einsatz an einer Tankstelle zu evaluieren. Zudem können mögliche Synergieeffekte beim hybridisierten Betrieb beider Technologien im jeweiligen optimalen Betriebspunkt identifiziert und für zukünftige Anwendungen genutzt werden.

3. Aufgabenstellung

Im Rahmen diese Projektes sollte an einer bereits von der NetzeBW betriebenen Multi-Energie-Tankstelle für Wasserstoff, Erdgas, Autogas und Strom im Stuttgarter Osten eine in Deutschland bislang einzigartige Vernetzung verschiedener Wasserstoffherstellverfahren, Wasserstoffnutzung sowie -speicherung installiert und unter realen Bedingen betrieben werden. Hierzu sollte in einem ersten Schritt eine PEM-Elektrolyseanlage der Leistungsklasse 50 kW_e am Standort installiert werden. In einem zweiten Schritt sollte der Anschluss an die Wasserstoff-Infrastruktur vor Ort sowie die Kopplung an die alkalische Elektrolyse erfolgen. Ein Parallelbetrieb der PEM-Systeme mit dem schon vorhandenen Alkali-Elektrolysesystem (400 kW_e) sollte dann Aufschluss geben über die Wechselwirkung mehrerer verschiedener Elektrolyseeinheiten und mögliche Synergien im Betrieb der Tankstelle.

Die Aufgaben gliedern sich dabei in vier Arbeitspakete (Tabelle 1):

Arbeitspaket	Aufgabenstellung
AP 1: Installation des neuen PEM Elektrolysesystems	<ul style="list-style-type: none"> • Der Aufbau des PEM-Elektrolysesystems auf dem Tankstellengeländer wird ausgelegt und geplant. • Zulassungsfragestellungen werden gemeinsam mit der EnBW bearbeitet. • Das Fundament für den das Elektrolysesystem enthaltenden Container wird gelegt.
AP 2: Autarker Betrieb des Systems	<ul style="list-style-type: none"> • Die PEM-Elektrolyseanlage wird in Betrieb genommen und autark betrieben. • Die Gasqualität wird unter Berücksichtigung der Anforderungen einer Tankstelle untersucht. Basierend auf diesen technischen Untersuchungen wird die Entscheidung getroffen, unter welchen Bedingungen die PEM-Elektrolyse an die Tankstelle angeschlossen werden kann.
AP 3: Parallelbetrieb und Hybridisierung von alkalischer und PEM	<ul style="list-style-type: none"> • Es werden Messungen durchgeführt mit den alkalischen als auch den PEM-Systemen, um eine Vergleichbarkeit der Leistungsfähigkeiten zu ermöglichen.

Elektrolyse	<ul style="list-style-type: none"> • Das Alkalisystem wird mit den PEM-Systemen hybridisiert und in Betrieb genommen. • Das hybridisierte System wird in mehreren Testreihen unter Berücksichtigung der Anforderungen einer Tankstelle (v.a. Gasqualität) untersucht.
AP 4: Anschluss der Elektrolyse an die Tankstelle	<ul style="list-style-type: none"> • Die Elektrolyse wird an die Tankstelle angeschlossen. • Der erzeugte Wasserstoff wird, je nach Bedarf und Möglichkeit, entweder in den Gasspeicher geleitet oder direkt an der Tankstelle zum Tanken freigegeben. • Beide Elektrolysetechniken werden autark sowie im hybridisierten Betrieb auf ihre Stärken und Schwachstellen im Tankstellenbetrieb hin untersucht

Tabelle 1: Aufgabenstellungen im Projekt in den einzelnen Arbeitspaketen organisiert

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Wasserstoff ist ein immer stärker in den Fokus rückender Energieträger und ein wichtiger Baustein hin zu einer nachhaltigen und zuverlässigen Energieversorgung. Er ist nicht nur in der Petrochemischen Industrie ein wichtiges Prozessgas, sondern besitzt auch großes Potential als Energieträger und –Speicher. Die Wasserelektrolyse ist eine Technologie um Wasserstoff aus Strom und Wasser nachhaltig und potentiell auch rein regenerativ zu produzieren.

Die Elektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff ist prinzipiell eine seit Jahrzehnten bekannte und innerhalb bestimmter technischer Parameter auch kommerziell verfügbare Technologie. Wegen deutlich kostengünstigerer Herstellungsrouten von Wasserstoff aus fossilen Energieträgern hat allerdings seit Anfang der neunziger Jahre das Forschungsinteresse an moderner Elektrolysetechnologie deutlich nachgelassen und erlebt erst in den letzten Jahren, angetrieben durch die Anforderungen aus der Speicherung fluktuierender erneuerbarer Energien und dem zukünftigen Bedarf nach nichtfossilen Energieträgern für die Mobilität, eine Renaissance. Zu Projektbeginn verfügbare Elektrolysesysteme größerer Leistung (bis max. 760 Nm³/h pro Zellstapel) waren zum überwiegenden Teil alkalische Systeme, die für eine statische Betriebsweise ausgelegt sind. PEM-Elektrolyseure wurden meist in kleineren Leistungsbereichen angeboten (bis ca. 10 Nm³/h pro Zellstapel) und haben gegenüber der alkalischen Elektrolyse prinzipiell noch eine geringere Lebensdauer. Gegenüber der konventionellen alkalischen Elektrolyse besitzt die PEM Elektrolyse jedoch einige Vorteile:

- Durch eine sehr kompakte Bauweise ist der Platzbedarf sehr gering. Gerade im Vergleich zur alkalischen Elektrolyse kann dieser bei gleicher Leistung um ein Vielfaches reduziert werden.
- Die PEM-Elektrolyse zeichnet sich zudem durch eine gute Modularisierbarkeit und Skalierbarkeit. Bei geeigneter Auslegung der Peripherie lassen sich mit sehr geringem Aufwand mehrere Elektrolysestacks problemlos hinzuschalten. Dies führte schon zu Projektbeginn zu einer Skalierbarkeit der Leistung bis weit in den MW-Bereich.
- Im Vergleich zur alkalischen Elektrolyse, die einen Systemwirkungsgrad von etwa 70 % hat, sind bei der PEM-Elektrolyse zukünftig Systemwirkungsgrade von bis zu 85 % zu erwarten.

- Die PEM-Elektrolyse kann sich innerhalb kürzester Zeit dynamischen Lastschwankungen anpassen. Durch diese Fähigkeit eignet sich diese Technologie vor allem, um die mitunter stark intermittierende Netzeinspeisung erneuerbarer Energien auszugleichen. Im Gegensatz zur alkalischen Elektrolyse, deren Potential erst im Vollastbetrieb ausgeschöpft wird, kann die PEM-Elektrolyse zudem in Teillast flexibel mit hoher Gasreinheit betrieben werden.
- Die PEM-Elektrolyse erlaubt darüber hinaus für kurze Zeiträume eine zum Teil massive Überschreitung des Regelbereiches. Wird das System dauerhaft bei 2 A/cm^2 betrieben, kann es für eine bestimmte Zeit bei bis zum 10 A/cm^2 betrieben werden. Ein 1 MW-System erlaubt somit eine kurzfristige Stromaufnahme von bis zu 5 MW.

Der Betrieb der PEM-Elektrolyse sowie die Hybridisierung einer alkalischen mit der PEM-Elektrolyse war zu Projektbeginn vor allem bezogen auf den realen Einsatz an einer Tankstelle ein praktisch unbekanntes Gebiet. In diesem Projekt sollte daher das (Langzeit-) Verhalten beider Technologien sowie des Parallelbetriebs unter Einfluss des intermittierenden Stromangebots und der ebenfalls dynamischen Nachfrage ein erstes Mal umfassend untersucht und getestet werden.

Die Notwendigkeit solcher Untersuchungen ergab sich direkt aus den Umgebungsbedingungen, unter denen eine Wasserstofftankstelle generell betrieben wird. Im Rahmen des Ausbaus regenerativ erzeugten Stromes (v.a. durch Photovoltaik und Windkraft) werden in Zukunft verstärkt fluktuierende Stromeinspeisemengen zu berücksichtigen sein. Auf der anderen Seite schwankt aber auch der Bedarf an Wasserstoff in der Mobilität stark. Im Berufsverkehr ist beispielsweise mit einem höheren Bedarf zu rechnen als in der Nacht. Diese Randbedingungen stellen hohe Ansprüche an die (Dauer-)Belastbarkeit wasserstofferzeugender Anlagen, deren Verhalten für einen optimierten Betrieb allerdings genau bekannt sein muss. Dies gilt für Tankstellen besonders, da hier Sicherheitsaspekte und eine garantierte Gasreinheit in jedem Fall berücksichtigt und gewährleistet bleiben müssen.

5. Fortschritte auf diesem Gebiet von anderen Stellen

Das hier vorgestellte Vorhaben reiht sich nahtlos ein in eine ganze Reihe vor Power-2-Gas- bzw. Wasserstoff-Infrastrukturprojekte in Deutschland. Gerade im Zuge des 50 Tankstellen-Programms des Clean Energy Partnerships (CEP) oder der Förderinitiative Energiespeicher des Bundesministeriums für Wirtschaft werden Projekte auf diesem Gebiet vorangetrieben. Eine Übersicht über die Projektsituation in Deutschland Anfang 2015 ist in Abbildung 1 dargestellt.

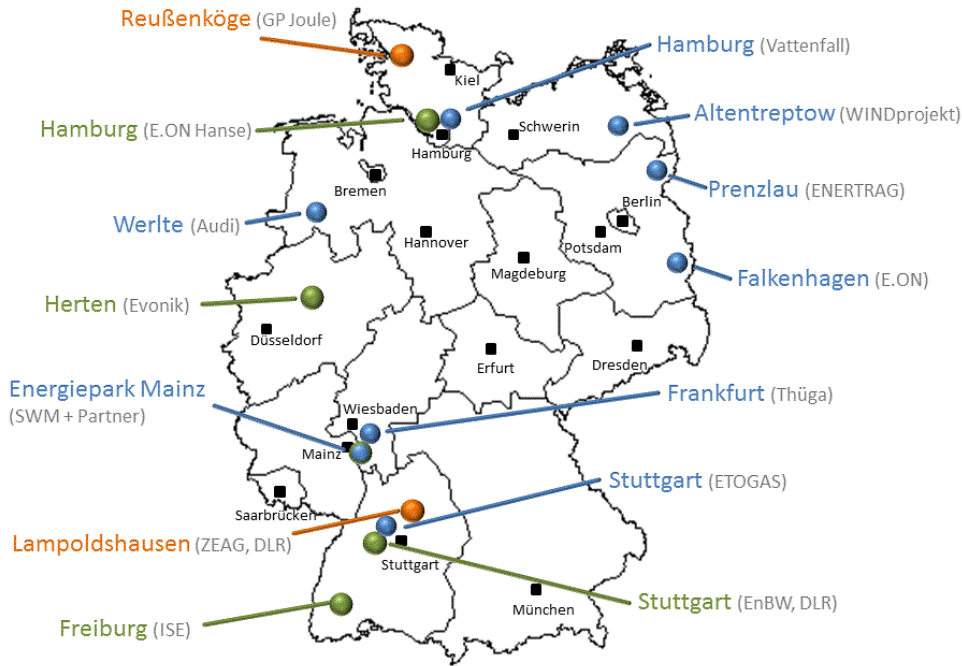


Abbildung 1: Übersicht über Power-to-Gas und Wasserstoffinfrastruktur-Projekte im Demonstrationsmaßstab in Deutschland (Stand 01/2015): blau: Anlage in Betrieb; grün: Anlage im Bau; Orange: Anlage in Planung

Gerade mit dem 1 MW PEM-Elektrolyse-Projekt in Hamburg/Reitbrook besteht ein enger Anknüpfungspunkt. Dort wurde im letzten Jahr eine baugleiche, aber hochskalierte Anlage mit 1MW Leistung installiert und in Betrieb genommen. Der weitere Betrieb diese 1MW Systems wird weiterhin durch Arbeiten und Ergebnisse aus diesem Projekt unterstützt. So werden Betriebsprofile und Fahrweisen parallel an beiden Elektrolyseuren abgefahren um in beiden Fällen die Systemantwort aus dem MW Bereich, mit der aus dem kW Bereich vergleichen zu können.

Auch in Werlte oder Mainz wurden im vergangenen Jahr PEM Elektrolyseure großer Leistungsklassen in Betrieb genommen. Im Unterschied zu diesem Projekt geschah dies jedoch meist nicht in städtischem bzw. öffentlichen Raum, sodass die Genehmigungsverfahren vergleichen mit dem hier präsentierten sich deutlich geringer an Umfang darstellten.

6. Planung und Ablauf des Vorhabens

6.1. Ursprüngliche Projekt- und Zeitplanung

Das Projekt wurde während der Planungsphase und der Durchführung in enger Abstimmung mit dem zuständigen Bau- und Objektmanagement des DLR durchgeführt. Die ursprüngliche Zeitplanung laut Projektantrag vom 17.02.2014 und die daraus abgeleitete Meilensteinplanung sind in Abbildung 1 bzw. Tabelle 1 dargestellt:

	2014				2015				2016			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
AP 1	Installation der neuen PEM-Elektrolysesysteme	M1										
AP 2	Autarker Betrieb der PEM-Elektrolyse		M2									
AP 3	Parallelbetrieb und Hybridisierung von alkalischer und PEM-Elektrolyse			M3								
AP 4	Anschluß der Elektrolyse an die Tankstelle				M4							

Abbildung 2: Ursprüngliche Zeitplanung im Vorhaben BWH14001 laut Projektantrag

Meilenstein	Beschreibung	Fälligkeit
M1	PEM-Elektrolysesysteme installiert	07/2014
M2	System in Betrieb genommen und autark betrieben	09/2014
M3	PEM- und alkalische Elektrolyse parallel und hybridisiert betrieben	03/2015
M4	Elektrolyse an Tankstelle angeschlossen und untersucht	06/2015

Tabelle 2: Ursprüngliche Meilensteinplanung laut Projektantrag

Nach der ursprünglichen Zeitplanung war das Projektende auf den 30.06.2015 angesetzt. Im Verlauf des Projekts kam es jedoch zu erheblichen zeitlichen Verzögerungen v.a. im Zuge des Genehmigungsprozesses. In Absprache mit dem Projektträger wurden daher zwei kostenneutrale Laufzeitverlängerungen bis einschließlich 31.03.2016 erwirkt (15.09.2014 bzw. 26.10.2015). Die Ursachen für die zeitlichen Verzögerungen werden in den folgenden Abschnitten zusammen mit dem Ablauf der Planungs-, Genehmigungs- und Installationsarbeiten dargestellt.

6.2. Planungsphase und projektbezogene Vorarbeiten

Noch während der Projektantragsphase begannen in Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller Hydrogenics die Planungs- und Auslegungsarbeiten für das 50 kW System. Da es sich um kein „System von der Stange“ handelte, sondern um eine eigens für die Verwendung an diesem Standort geplante Anlage, gestalteten sich diese Vorarbeiten als sehr zeitintensiv. Neben betriebs- und anlagensicherheitsrelevanten Fragestellungen musste das System auch den strengen Auflagen einer emissionsschutzrechtlichen Genehmigung standhalten (siehe Abschnitt 6.3). Das System wurde als Containerlösung realisiert und mit einer zusätzlichen Gasaufreinigungsstufe zur Gewährung der 5.0 Reinheit des produzierten Wasserstoffs versehen. Innerhalb des Containers wurde eine räumliche Trennung von verfahrenstechnischen Explosionsschutz-Teil und Elektronik/Strom- und Wasserversorgung realisiert (Abbildung 3). Zudem wurde das System mit einem Short-Stack der Leistungsklasse 50 kW und einer aktiven Zellfläche von 1500 cm² bestückt. Die Wahl dieser großen aktiven Fläche erlaubt aus wissenschaftlicher Sicht die Untersuchung von Inhomogenitätseffekten innerhalb der Elektrolysezelle und die Qualifizierung neuer Materialien und Komponenten für die Elektrolyseure der neuen MW-Generation.

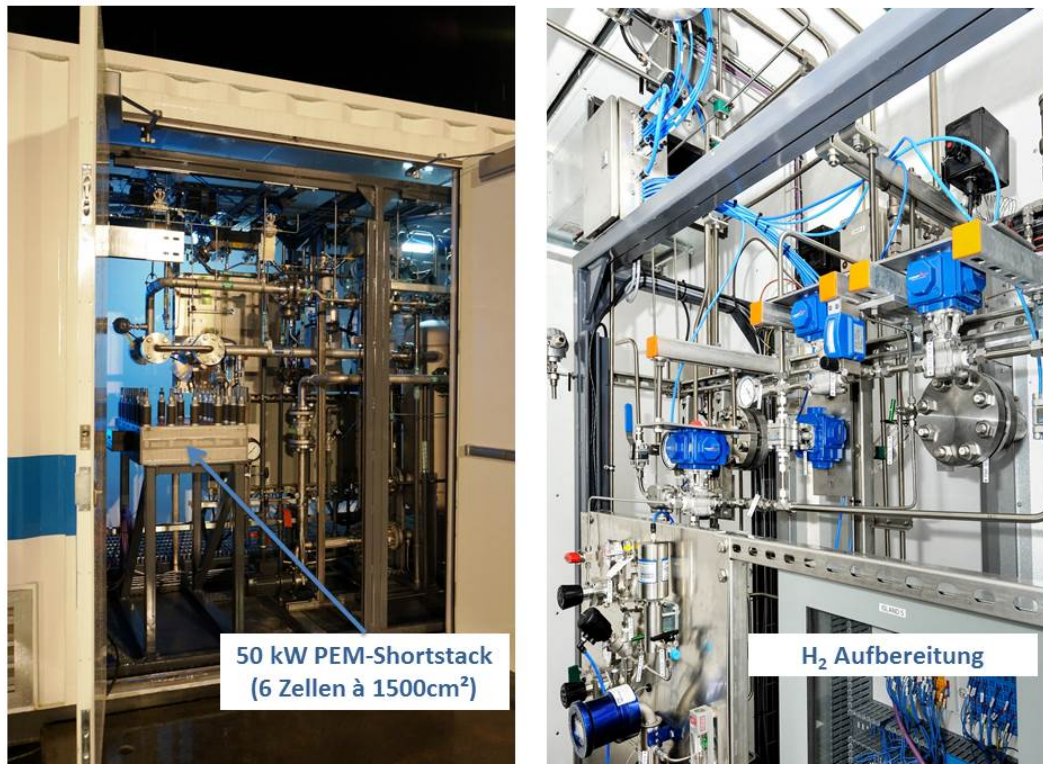


Abbildung 3: Einblick in die Verfahrenstechnik des 50 kW PEM Elektrolyseurs: Links: Einbindung des Short-Stacks; Recht: Einheit zur Gasreinigung für die Sicherstellung der 5.0 Wasserstoff-Reinheit

Begleitet wurden die Auslegungsarbeiten durch verfahrenstechnische Modellierungen, die vorrangig im Zuge weiterer Forschungsprojekte durchgeführt wurden und im Zuge derer ein dynamisches Modell eines PEM Elektrolyseurs entwickelt wurde. Zudem wurde ein der Anlage ähnliches System im Labormaßstab dazu genutzt, Erfahrungen in der dynamischen Fahrweise von PEM Elektrolyseuren zu gewinnen, wie sie typischerweise beim Einsatz unter realen Betriebsbedingungen gegeben sind, beispielsweise durch ein intermittierendes Stromangebot bzw. eine wechselnde Wasserstoff-Nachfrage an einer Tankstelle. Hierbei stellte sich unter anderem heraus, dass eine stark dynamische Fahrweise – auch bei hohen Stromdichten von bis zu 4 A/cm^2 - keinen beschleunigenden Einfluss auf die Degradation von Stack-Komponenten hat ¹.

Neben der Auslegung des Elektrolysesystems war die erste Projektphase geprägt von der Planung der Vor-Ort Installation und deren sicherheitstechnischen Realisierung. Diesbezüglich stellte sich die Abstimmung zwischen den beiden Hauptbeteiligten im Projekt (DLR und NetzeBW) bei der Findung eines Kooperationsvertrages als sehr zeitintensiv heraus. Vor allem betriebs- und anlagensicherheitstechnische Fragestellungen sowie die Erstellung eines gemeinsamen Sicherheitskonzepts für die Umsetzung der Anlageninstallation erfolgten in äußerst zeitintensiven Diskussionen, was zu einer Verzögerung von etwa 6 Monaten führte. Hauptursächlich für die langwierige Abstimmung war der neuartige und einzigartige Charakter der Anlage verbunden mit der Tatsache, dass eine entsprechende sicherheitstechnische Anlagendokumentation seitens des Herstellers daher noch nicht vorlag.

¹ Lettenmeier, P. *et al.* Durable Membrane Electrode Assemblies for Proton Exchange Membrane Electrolyzer Systems Operating at High Current Densities. *Electrochim. Acta* **210**, 502–511 (2016)

Mit der Unterzeichnung des Kooperationsvertrags im November 2014 konnte diese initiale Projektphase erfolgreich abgeschlossen werden.

6.3. Genehmigungsprozess

An das Genehmigungsverfahren der Anlage waren besondere Ansprüche und Voraussetzungen geknüpft, die im Standort an sich begründet sind. Das Gelände der NetzeBW im Stuttgarter Osten liegt in sogenanntem Mischgebiet nach § 6 der Baunutzungsverordnung (BauNVO) (Abbildung 3).

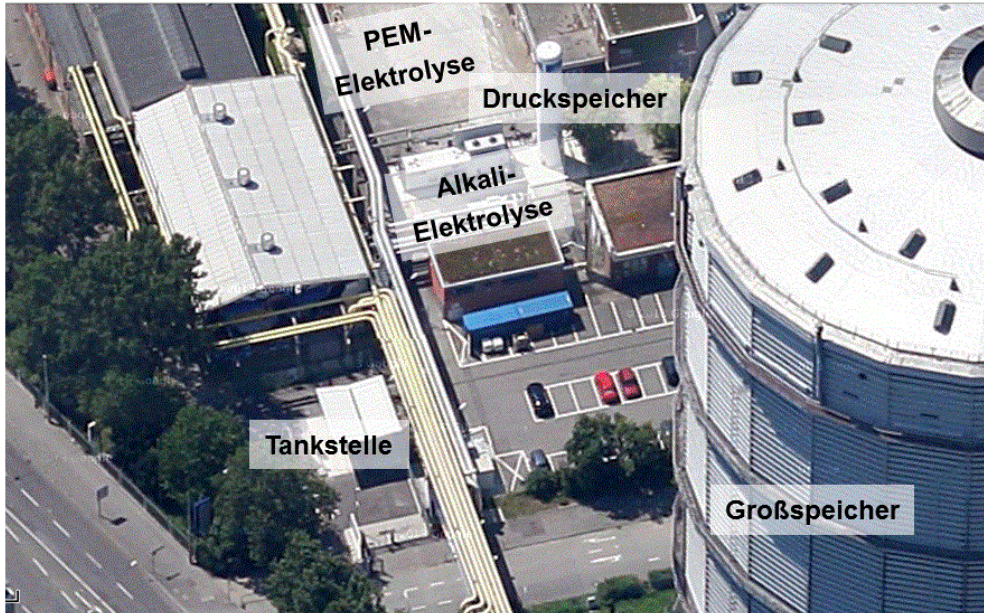


Abbildung 4: Standortansicht Gelände NetzeBW, Talstraße 117, Stuttgart

Dadurch greifen besonders restriktive Emissionsgrenzen für beispielsweise Schallemissionen bei Nacht, die einen Grenzwert von 39 dB nicht überschreiten dürfen. Eine Übersicht über den umfangreichen behördlichen Genehmigungsprozess ist in Abbildung 4 dargestellt.

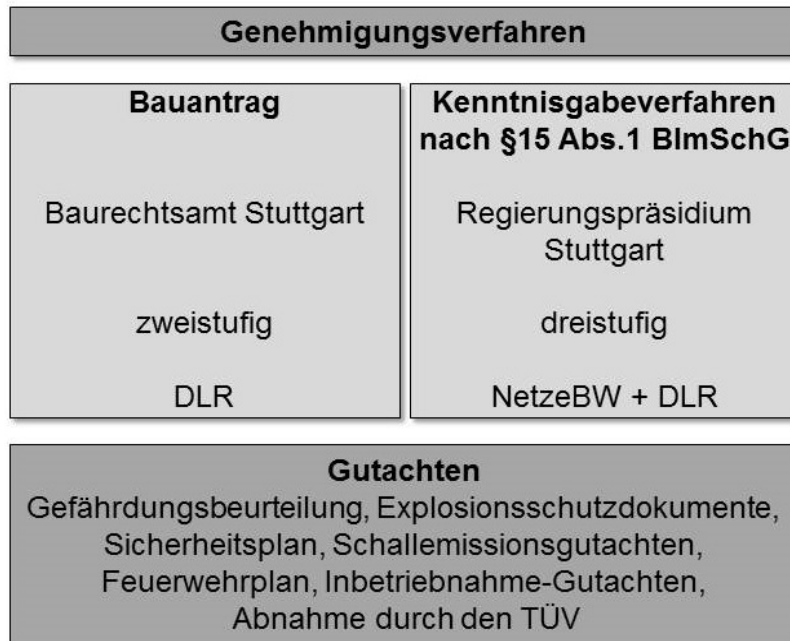


Abbildung 5: Übersicht über das zweigeteilte, mehrstufige Genehmigungsverfahren, sowie über die genehmigungsrelevanten Dokumente

Der lokale Energieversorger NetzeBW betreibt an diesem Standort bereits eine alkalische Elektrolyseanlage, die nach der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV, immissionsschutzrechtlich genehmigungspflichtig ist. Aufgrund des angestrebten Parallelbetriebes von alkalischer und PEM Elektrolyse und der Einspeisung des produzierten Wasserstoffs in die Wasserstofftankstelle, galt die zu installierende PEM-Elektrolyse des DLR als Erweiterung der NetzeBW-Anlage und bedingte daher eine Änderungsanzeige in einem Kenntnisgabeverfahren nach §15 Absatz 1 BImSchG. Um den Zeitverzug in Grenzen zu halten wurde in Absprache mit dem Regierungspräsidium Stuttgart (RP) ein dreistufiges Verfahren abgesprochen. Die drei Phasen folgen dabei dem zeitlichen Verlauf der Installationsarbeiten und minimieren daher den zeitlichen Verzug:

1. Anlageninstallation
2. Autarker Betrieb der Anlage
3. Parallelbetrieb und Anschluss an die Tankstelle

Die für die Genehmigung der Anlageninstallation und des autarken Betriebs notwendigen Dokumente (Aufstellungslageplan, Schallimmissionsprognose, Risikoanalyse der Anlage, Sicherheitskonzept, Explosionsschutz-Dokumente, Technische Beschreibung der Anlagenkopplung an die NetzeBW-Anlage und Integration in das Sicherheitskonzept und den Feuerwehrplan des Standorts) wurden für die Genehmigungsstufen 1 und 2 zusammengestellt und dem Standortbetreiber und dem RP zur Genehmigung vorgelegt. Auf Basis der Unterlagen wurden am 07.09.2015 seitens des RP die Genehmigungen für die Installation und den autarken Anlagenbetrieb erteilt. Das für die Genehmigung des gekoppelten Betriebs notwendige Inbetriebnahme-Gutachten wird nach Fertigstellung der Anlageninstallation und –Kopplung seitens des TÜV Süd angefertigt und eingereicht. Voraussetzung für dieses Gutachten ist eine Konformitätserklärung des Anlagenherstellers, die eine Zertifizierung nach Maschinenrichtlinie (CE-Siegel) einschließt. In diesem Punkt ist noch Abstimmungsbedarf zwischen Anlagenhersteller und DLR nötig, da die ursprüngliche

Anlage als Forschungs- und Laborsystem ausgelegt war und im Rahmen einer momentan seitens Hydrogenics durchgeführten GAP-Analyse zu klären, ob und in welchem Maße Nacharbeiten am gegenwärtigen System zum Erhalt der Zertifizierung notwendig sind. Um dennoch die Anlage inzwischen nutzen zu können wurde mit dem Standortbetreiber und den Sachverständigen des TÜV Süd eine Vorabnahme der Anlage als Laborsystem nach erfolgreicher Inbetriebnahme durch Hydrogenics abgesprochen (28.7.2016), auf deren Basis dann ein zeitlich begrenzter autarker Probetrieb von maximal 6 Monaten durch das DLR erfolgen kann².

Unabhängig von dieser emissionsschutzrechtlichen Genehmigung durch das RP Stuttgart war beim Baurechtsamt der Stadt Stuttgart eine Baugenehmigung einzuholen. Die erforderlichen Antragsunterlagen wurden in Zusammenarbeit des Baumanagements des DLR und des Ingenieurbüros Vitek erstellt. Um den Genehmigungsprozess zu beschleunigen wurde mit der zuständigen Behörde ein verkürztes Anzeigeverfahren abgesprochen. Trotz dieser vorherigen Absprache wurde der verkürzte Bauantrag im Rahmen eines Kenntnissgabeverfahrens nach §51 Abs. 1 und 2 LBO mit Verweis auf den Flächennutzungsplan der Stadt Stuttgart unerwarteter Weise abgelehnt. Um ein Scheitern des Projekts zu diesem Zeitpunkt zu verhindern und den zusätzlichen Zeitverlust im Rahmen zu halten wurde daraufhin seitens des Baumanagements ein zweistufiges Bauantragsverfahren eingeleitet, das die baurechtliche Genehmigung des Containeraufbaus von der der Anlageninstallation separierte. Beide Genehmigungen wurden am 07.08.2015 bzw. am 01.10.2015 schriftlich erteilt, sodass die Bauarbeiten vor Ort in KW 48 / 2015 beginnen konnten. Durch die zusätzlichen Verzögerungen im Zuge des Genehmigungsverfahrens konnten die Bauarbeiten jedoch erst mit 11 Monaten Verspätung begonnen werden.

6.4. Installationsarbeiten

Nach der erfolgreichen Genehmigung des Bauantrags konnten die Tiefbauarbeiten in KW 48 (2015) beginnen. Hierzu wurde die Realisierung einer tragenden Betonplatte mit einer entsprechender unterirdischen Blitzschutzeinrichtung vorgesehen und realisiert (Abbildung 4).

² Dies ist auch gegenwärtig Stand im Projekt. Die Nutzung der Anlage hängt demnach momentan nur noch von der erfolgreichen Inbetriebnahme der Anlage durch Hydrogenics ab, welche sich wohl aufgrund des Prototypen-Charakters der Anlage als ungewöhnlich zeitintensiv darstellt.



Abbildung 6: Tiefbauarbeiten: Bodenplatte inkl. Blitzschutz-Ableitungen und Auflagepunkten für den Container (Bild vom Dez. 2015)

Entsprechend der vom Anlagenhersteller berechneten Gewichtsverteilung wurden zudem die Auflagepunkte des Containers bestimmt und betoniert.

Zur Einbindung der Anlage in die vorhandene Wasserstoff-Infrastruktur des Standorts wurde mit der Firma Linde ein Konzept ausgearbeitet, das sowohl die Kopplung der Anlage an die alkalische Elektrolyse, als auch an die Wasserstoff-Speicher und Kompressionseinheiten vor Ort umfasste (Abbildung 5). Die PEM Elektrolyse wurde – um auch einen autarken Betrieb zu ermöglichen mit einem eigenen Wasserstoffpufferspeicher auf demselben Ausgangsdruckniveau wie die alkalische Anlage versorgt. Im Anschluss an die Vorverdichtung auf 45 bar erfolgt die zweite Kompressionsstufe auf 900 bar, auf der der Wasserstoff für die Mobilitätsanwendungen vorgehalten werden kann.

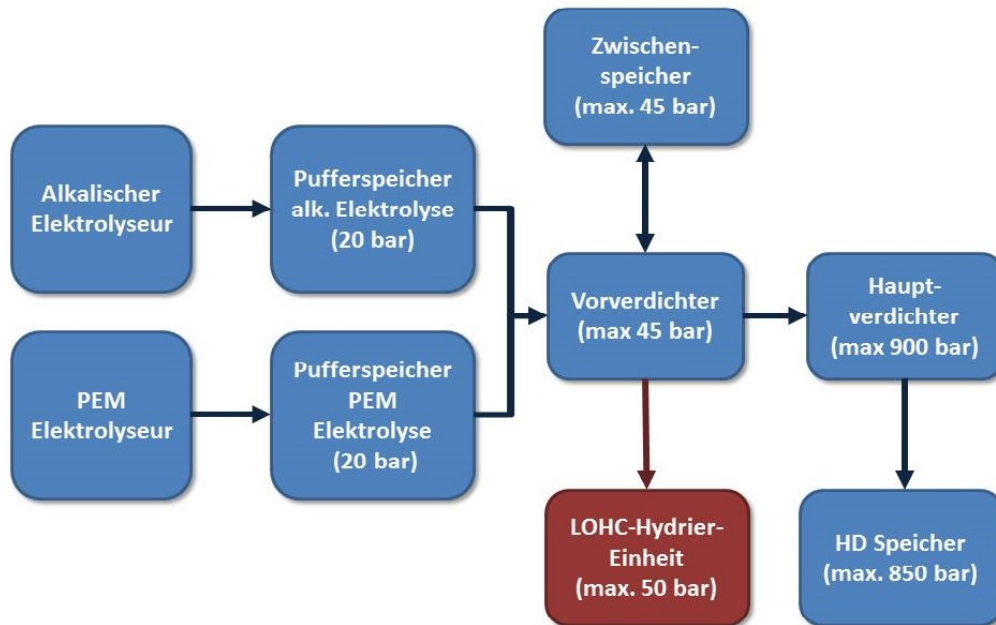


Abbildung 7: Vereinfachtes Blockschema der Integration des PEM Elektrolysesystems (De in rot angedeutete LOHC Hydriereinheit ist nicht Gegenstand dieses Projekts und soll andeuten, dass die im Projektantrag angedeutete Untersuchung unterschiedlicher H₂-Speicher an dieser Stelle umgesetzt werden kann.)

Zusätzlich wurde eine Steuermöglichkeit realisiert, bei der zwischen autarkem (Abblasen des Wasserstoffs über Dach) und gekoppeltem Anlagenbetrieb (Einspeisung des Wasserstoffs in die Speicher und Kompressionseinheiten) umgeschaltet werden kann.

Ein weiterer wesentlicher Punkt war die Integration der Anlage in das Sicherheitskonzept des Standorts. Über ein entsprechendes Signal, verbunden mit dem augenblicklichen Abfahren des Elektrolyseurs in einen sicheren Betriebszustand (Not-Aus) wird im Störungs- oder Havariefall die Anlage heruntergefahren und dies der zuständigen Leitwarte automatisiert mitgeteilt. Auch im entgegengesetzten Fall erreicht die Anlage diesen sicheren Betriebszustand bei einem entsprechenden Störungssignal aus der Umgebung oder der Anlagenperipherie.

Nach Beendigung der baulichen Vorarbeiten wurde am 10.12.2015 der Elektrolysecontainer seitens Hydrogenics geliefert und wie vorgesehen aufgestellt (Abbildung 7). Bis zum Ende des Jahres wurden die Anschlussarbeiten seitens der beteiligten Firmen weitestgehend abgeschlossen, sodass nach der Weihnachtspause in KW 3 die Inbetriebnahmearbeiten durch Hydrogenics beginnen konnten.



Abbildung 8: Installiertes PEM Elektrolysesystem (Jan. 2016) inkl. Blitzableitung, Gasausbläsern und Tischkühlern

6.5. Gegenwärtiger Stand und Ausblick

Zum momentanen Zeitpunkt dauern die Inbetriebnahme-Arbeiten durch den Anlagenhersteller Hydrogenics an. Die mittlerweile erheblichen Verzögerungen bei der Inbetriebnahme der Anlage durch den Hersteller liegen zum einen in dem Prototypen-Charakter des Systems begründet. Zudem ist die Inbetriebnahme in einer Umgebung wie sie die Wasserstoff-Tankstelle darstellt mit erheblichen Anforderungen und Hürden verbunden. Beim Fortschritt und der Fertigstellung der Arbeiten ist das DLR vollends auf Durchführung und den Einsatz seitens Hydrogenics angewiesen und ist allenfalls unterstützend tätig. Nichtsdestotrotz ist die Vorabnahme der Anlage in ihrem jetzigen Zustand als „Laboranlage“ durch den TÜV für den 28.7.2016 angesetzt. Unter der Bedingungen einer bescheinigten Abnahme kann die Anlage dann im Zuge eines Probetriebs für 6 Monate durch das DLR autark betrieben werden. Diese Phase wird zum einen genutzt um erste Betriebserfahrung zu sammeln und mit definierten Messkampagnen noch ausstehende Untersuchungen im Rahmen verwandter und eng an diese Vorhaben geknüpfter Projekte durchzuführen. Zum anderen ist geplant innerhalb dieses Zeitraums die noch erforderlichen Installationsarbeiten zur Zertifizierung der Anlage durchzuführen um so einen anschließenden Betrieb über das Jahresende hinaus und die Weiternutzung der Anlage und des Standort über 2016 hinaus zu ermöglichen.

7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Installation der Anlage erfolgte auf dem firmeneigenen Gelände der NetzeBW in der Talstraße im Stuttgarter Osten. Alleine dadurch bedingt war die NetzeBW über die gesamte Projektlaufzeit eng in die Planung und Umsetzung der erforderlichen Arbeiten eingebunden. Auch über die Projektlaufzeit hinaus ist eine weitere enge Zusammenarbeit auf dem Gebiet der elektrolytischen „Grün“-Wasserstoffgewinnung vorgesehen.

Die Organisation, Beaufsichtigung und Abnahme der baulichen Maßnahmen erfolgte durch das Ingenieurbüro Vitek, vertreten durch Herrn Christian Vitek. Gemeinsam mit dem DLR-Baumanagement (in Person von Herrn Matthias Schwartz) oblag besagtem Ingenieurbüro auch die Erstellung von Ausschreibungsunterlagen und des Bauantrags.

Im Zuge der Installationsarbeiten waren zudem weitere Firmen im (Unter-)Auftrag des DLR tätig. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind sie und ihre jeweilige Rolle im Projekt in Tabelle 1 dargestellt:

Beteiligte Firmen im (Unter-) Auftrag des DLR	Rolle bzw. Aufgaben im Projekt
Adams	Blitzschutzinstallation
Berner	EMSR Technik; elektrische und steuerungstechnische Anbindung der Elektrolyseanlage an die Standort-Infrastruktur
DEKRA	Erstellung Schallemissionsgutachten
Hydrogenics	Anlagenbauer; Auslegung, Lieferung und Inbetriebnahme des PEM Elektrolysesystems vor Ort
Linde	Anbindung der Anlage an die Wasserstoff-Infrastruktur vor Ort; Installation eines H ₂ -Pufferspeichers (40 bar); Installation eines steuerbaren Ventils zum externen Ansteuerung der Anlage
NetzeBW	Standortbetreiber; Unterstützung bei Genehmigungsprozess und Umsetzung; Installation einer Baustromstation
ProTech	Erstellung von Gefährdungsbeurteilung und Explosionsschutzdokumentation
Schneller Bau	Tiefbauarbeiten; Fundamentlegung und Gießen der Bodenplatte; Zementierungsarbeiten
Scholz GmbH & Co KG	SiGeKo während der Baumaßnahmen
TÜV Süd	Unterstützung beim Erstellen der Genehmigungsunterlagen; Abnahme der Anlage (muss noch erfolgen)
Vitek (Ingenieurbüro)	Planung, Überwachung und Abnahme der Arbeiten; Erstellung von Ausschreibungs- und Genehmigungsunterlagen

Tabelle 3: Am Projekt beteiligte Firmen und ihre Aufgaben (Auflistung alphabetisch)

Die baulichen Maßnahmen, deren Planung, Umsetzung und Abnahme wurde in enger Zusammenarbeit mit dem DLR Objektmanagement Stuttgart umgesetzt.

Die emissionschutzrechtliche Genehmigung nach BImSchG wurde durch das Regierungspräsidium Stuttgart begleitet und durchgeführt.

8. Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms des Zuwendungsgebers

Wie bereits in den einleitenden Worten zu Abschnitt 2 erwähnt, ist eine Umstellung der deutschen Energieversorgung hin zu erneuerbaren Energien ein gesellschaftlicher und politischer Wunsch. Die Herausforderungen hierfür sind enorm vor allem in jenen Bereichen, in denen eine Umstellung durch die Tatsache erschwert wird, dass sich Technologien bereits seit Jahrzehnten dezentral etabliert haben. Hierzu gehört zweifelsohne der Bereich der Kraftstoffversorgung für Verbrennungsmotoren im Verkehrssektor. Um hier Änderungen herbeizuführen bzw. neue Ansätze zu etablieren, müssen rechtliche, politische und technologische Rahmenbedingungen und Voraussetzungen geschaffen werden. Mit an vorderster Stelle steht dabei eine flächendeckende Versorgung mit Wasserstoff an speziell hierfür ausgerüsteten Tankstellen. Nur wenn die Wegstrecke zur nächsten Wasserstofftankstelle vergleichbar wird mit dem einer herkömmlichen Tankstelle, wird die allgemeine Bereitschaft signifikant wachsen, sich auch entsprechendes Fahrzeug zuzulegen.

Im Rahmen dieses Projekt wurde zum einen die Sicherstellung des Weiterbetriebs einer bereits bestehenden Wasserstofftankstelle gewährleistet. Zum anderen wurde gleichzeitig an der Optimierung der eingesetzten Technologie gearbeitet, die den Betrieb von Wasserstofftankstellen zukünftig wirtschaftlich rentabel gestalten soll. Nur wenn diese Voraussetzung erfüllt ist, werden Wasserstofftankstellen ohne Förderung der öffentlichen Hand gebaut werden und bestehen können. Daher eignet sich der in seiner Form einzigartige Forschungsstandort, der im Zuge dieses Projekts auch geschaffen wurde, als ideale Plattform für die Erprobung neuer Entwicklungen auf technischer und technologischer Ebene.

Baden-Württemberg ist im deutschen und internationalen Vergleich ein hochindustrialisiertes Bundesland. Sollte es hier gelingen, eine Vorreiterposition in der Entwicklung von für den Verkehrssektor geeigneten Elektrolysesystemen sowie daraus resultierend geeignete Geschäftsmodelle zu entwickeln, könnte das Bundesland in zweifacher Hinsicht gewinnen: Zum einen stellen die gewonnenen Erkenntnisse über den kostenoptimierten Betrieb einer Wasserstofftankstelle eine nationale und internationale Vermarktungsmöglichkeit dar, zum anderen ist ein für die Öffentlichkeit wichtiger Prestigegewinn in diesem gerade durch seine weltbekannte Automobilindustrie sicher. Mit der Realisierung des Projekts wurde diesbezüglich ein erster wichtiger Schritt geleistet, der die Basis für zukünftige anwendungsorientierte Projekte bildet.

9. Erzielte Ergebnisse und deren Nutzen/Verwertbarkeit

Im Projektantrag wurden die folgenden Meilensteine verankert:

Meilenstein	Beschreibung	Fälligkeit	Erreicht
M1	PEM-Elektrolysesysteme installiert	07/2014	12/2015
M2	System in Betrieb genommen und autark betrieben	09/2014	Steht noch aus
M3	PEM- und alkalische Elektrolyse parallel und hybridisiert betrieben	03/2015	z.T. erfüllt
M4	Elektrolyse an Tankstelle angeschlossen und untersucht	06/2015	z.T. erfüllt

Tabelle 4: Meilensteine aus dem Projektantrag und deren Status (Juni 2016)

Nach gegenwärtigem Stand konnte nur M1 vollständig und umfassend erreicht werden. M3 und M4 wurden zumindest teilweise erfüllt, da der Anschluss des PEM Elektrolyseurs an die Tankstelle und deren Infrastruktur genauso realisiert wurde, wie die Kopplung mit dem alkalischen System. Durch die momentan immer noch nicht abgeschlossenen Inbetriebnahmearbeiten seitens des Anlagenherstellers war ein Betrieb der Anlage auch im Rahmen der verlängerten Projektlaufzeit leider nicht möglich. Trotz erheblicher Reduktion des eigentlichen Bau- und Installationszeitraums konnten die erheblichen zeitlichen Verzögerungen der Planungs- und vor allem Genehmigungsphase nicht mehr aufgeholt werden.

Die übrigen Arbeiten, die zur Erfüllung der Meilensteine 2 – 4 noch durchzuführen sind, wird das DLR mit internen Mitteln bestreiten um das Projekt dennoch zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen. Sobald diese erfüllt sind, werden wir dies – sofern dies vom Projektträger gewünscht – gesondert berichten und veröffentlichen.

Dennoch wurden im Zuge des Projektes einige sehr wertvolle Ergebnisse erzielt. Mit der Erfüllung von M1 gelang es, einen in dieser Form einzigartigen Standort einer (dezentralen) Wasserstoff-Infrastruktur zu schaffen. Durch die Kopplung der beiden momentan wichtigsten Wasserelektrolysetechnologien und deren Anbindung in die Wasserstoff-Infrastruktur einer H₂-Tankstelle im städtischen Raum konnte gerade auch aus wissenschaftlicher Sicht eine einmalige Versuchsumgebung geschaffen werden. Zum einen konnte die H₂-Versorgung der Multi-Energie Tankstelle der NetzeBW verbessert und damit ein wertvoller Beitrag zum Aufbau einer lokalen Wasserstoff-Infrastruktur im Raum Stuttgart geschaffen werden. Zum anderen bietet der Standort aus wissenschaftlicher Sicht enormes Potential. So können beispielsweise Synergieeffekte bei der Kopplung des Betriebs beider Anlagen untersucht werden, um beispielsweise abzuschätzen, in wie weit ein Betrieb des alkalischen Systems am Nominalpunkt und ein bedarfsweises Dazuschalten der flexibel dynamischen PEM Elektrolyse ein technologisch und ökonomisch sinnvoller Ansatz ist. Außerdem können mit Hilfe des neuen PEM Elektrolyseurs Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Material- und Komponentenforschung für PEM Elektrolyseure unter realen Anwendungsbedingungen getestet und validiert werden. Somit können neue wissenschaftliche Erkenntnisse direkt in die Anwendung übertragen werden.

Ein weiteres Ergebnis des Projekts ist das erfolgreiche aber zeitintensive Durchlaufen des behördlichen Genehmigungsprozesses für die Installation von Elektrolysesystemen im öffentlichen Raum. Für zukünftige ähnlich geartete Vorhaben konnten wertvolle Erkenntnisse über Ablauf, Hürden und über den erheblichen Zeitaufwand solcher Verfahren gewonnen werden. Aber nicht nur für das DLR, auch für die zuständigen Behörden lassen sich diesbezüglich wertvolle Erkenntnisse ziehen. Durch wiederkehrenden Kontakt und dem Sich-Auseinandersetzen mit Wasserstoff und wasserstoffbezogenen Fragestellungen lassen sich ggf. durch entsprechende Schulungen o.Ä. diese Prozesse beschleunigen.

Zudem gelang es im Rahmen des Projekts Wasserstoff als Energieträger, sowie dessen Erzeugung aus erneuerbaren Quellen als zukunftsweisenden Baustein eines neuen Energiesystems öffentlichkeitswirksam zu präsentieren. Vor allem im Zuge der Anlagenpräsentation im Rahmen des 5. Stuttgarter Energiespeichersymposiums im Februar diesen Jahres konnte diese Thematik auch über den gängigen Interessekreis hinaus in das Bewusstsein der Leute zu rücken. Beispielsweise konnte die Anlage seitdem schon im Zuge mehrerer Führungen für Schul- und Studentengruppen dem (ingenieurs-) wissenschaftlichen Nachwuchs der Zukunft präsentiert und nähergebracht werden.

10. Verwertungsplan

Durch die Tatsache, dass die Elektrolyseanlage auch über das Projektende hinaus im realen Praxistest weiterbetrieben werden soll, können die gewonnenen Erkenntnisse des Betriebs direkt in der Anwendung umgesetzt werden. Die weitere Verwertung über den Projektverlauf hinaus ist somit gegeben und umfasst die folgenden Aspekte:

Wissenschaftliche Verwertung über das Projektende hinaus

Durch die parallele Nutzung zweier Elektrolysetechnologien in dieser Leistungsklasse (400 kWel Alkali, bis zu 50 kWel PEM) und der Vor-Ort-Verfügbarkeit verschiedener Nutzungspfade für den produzierten Wasserstoff ist eine exzellente Vergleichbarkeit der verschiedenen Technologien unter Nutzung erneuerbarer Stromprofile gegeben. Zudem wurde ein Forschungsstandort geschaffen, der deutschlandweit seinesgleichen sucht. Neben dem wirtschaftlichen Potential, dessen Untersuchung in diesem Projekt im Vordergrund stand, wird im Rahmen weiterer am DLR laufender wissenschaftlicher Projekte (KompElSys, WESpe) auch die Langlebigkeit und Effizienz des Systems unter realistischen Bedingungen getestet. Die Anlage wird des Weiteren als Forschungsplattform genutzt werden, um Neuentwicklung im Bereich der Material und Komponentenforschung für PEM Elektrolyseure unter realen Betriebsbedingungen zu erproben. Gerade die Möglichkeit auch großflächige Zellkomponenten von bis zu 1500 cm² integrieren zu können birgt ein enormes Potential bei der Erforschung von beispielsweise inhomogenitätsbedingtem Degradationsverhalten. Darüber hinaus bietet der im Rahmen des Projekts erweiterte Standort die Möglichkeit der Weiterentwicklung und Untersuchung neuer Speichermöglichkeiten im realistischen Betrieb. Desweiteren ist geplant die Erkenntnisse, die aus dem hybridisierten Betrieb beider Technologien gewonnen werden, im Rahmen einer noch zu beantragenden Studie auf Kostensenkungspotentiale bzgl CAPEX und OPEX näher zu untersuchen. Dies soll dazu beitragen, weitere mögliche business cases für den Einsatz der Wasserelektrolyse-Technologie zu eruieren und die Technologie somit in den Markt zu bringen.

Wirtschaftliche Verwertung über das Projektende hinaus

Die Erkenntnisse, die durch den Betrieb der gekoppelten Anlage gewonnen werden, sollen zu einer starken Kostenminderung im Gesamtsystem führen. Die PEM-Elektrolyse bietet die Möglichkeit, kostengünstige Spitzenlastströme aufzufangen und dient somit dem wichtigen Ausgleich des öffentlichen Stromnetzes. Eine auf diese Weise erfolgende dezentrale Wasserstoffgewinnung kann damit auch das Ausmaß des teuren Ausbaus neuer Übertragungsnetze senken. Als Folge kann durch den flächendeckenden Ausbau von Elektrolyseanlagen vermieden werden, daß Windanlagen in windstarken Zeiten abgeschaltet werden müssen, was wiederum der Steigerung des Anteils erneuerbaren Stroms dient und sich kostenmindernd auswirkt. Die Tatsache, daß der Strom vor Ort in Kraftstoff umgewandelt werden kann, dient vor allem aber gleichsam dem flächendeckenden Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur, was wiederum tragende Geschäftsmodelle für die Einfuhr wasserstoffgetriebener Fahrzeuge möglich macht. Am Ende dieses Projekts soll die Erkenntnis stehen, ob sich eine der beiden Technologien im alleinigen Betrieb als die technisch wie wirtschaftlich bessere Option darstellt oder ob vor diesen Gesichtspunkten ein Parallel-/gekoppelter Betrieb beider Technologien sinnvoller erscheint. Die Erkenntnisse, die durch den Vergleich verschiedener Speichertechnologien gewonnen werden, werden sich auch direkt preislich widerspiegeln, da ein im dynamischen Betrieb möglichst verlustfrei, aber dennoch sicher funktionierender Gasspeicher sich auf die Effizienz des Gesamtsystems auswirkt.

11. Veröffentlichungen

Im Rahmen des Projektes gab es keine Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Dies ist jedoch, sobald die Anlage und das Gesamtsystem vollständig in Betrieb sind geplant. Das Projekt und die Anlage an sich wurden jedoch im Zuge verschiedenster Veranstaltungen und Tagungen vorgestellt und präsentiert.

Konferenzbeiträge

- **17.09.2015:** F.Burggraf, *Einsatz der PEM-Elektrolyse zur Verbesserung der Wasserstoffversorgung von H₂-Tankstellen*, eingeladener Vortrag im Rahmen des 3. Wasserstofftags, DLR Lampoldshausen
- **06.05.2016:** F.Burggraf, *New components for PEM electrolysis: Status and challenges*, Vortrag im Rahmen der 115. Bunsentagung, Rostock

Veranstaltungen

- **24.02.2016:** Feierliche Präsentation der PEM-Elektrolyseanlage im Rahmen des 5. Stuttgarter Energiespeichersymposiums, DLR Stuttgart