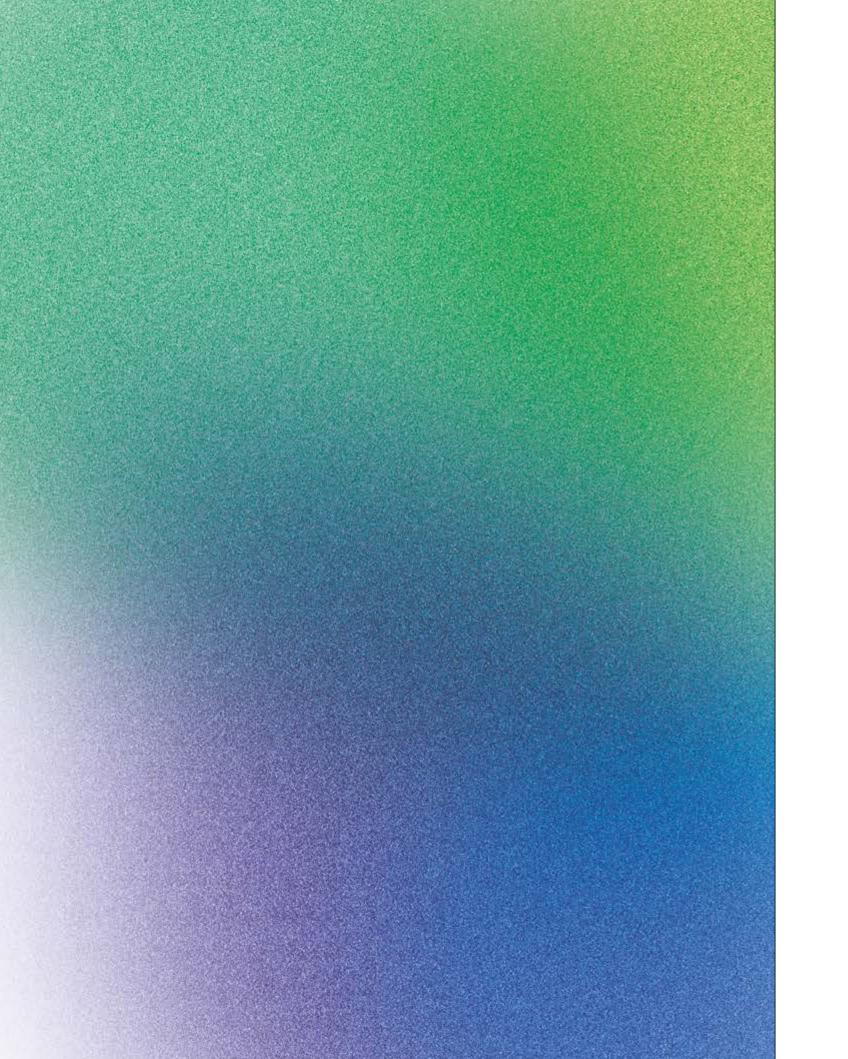
Zukunftsweisende Forschung für eine Grüne Wasserstoffwirtschaft

Meilensteinpublikation geförderter Projekte des HYPOS e.V. im Rahmen von Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation





Zukunftsweisende Forschung für eine Grüne Wasserstoffwirtschaft

Meilensteinpublikation geförderter Projekte des HYPOS e.V. im Rahmen von Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation 4 Über HYPOS

HYPOS e.V.

Innovation, Vernetzung und Forschung zu Grünem Wasserstoff

Erneuerbare Energien bilden die tragende Säule der zukünftigen, energieeffizienten Energieversorgung. Sie speisen sich aus der Energie, die uns Sonne, Gravitation und Erdwärme bieten. Im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern und Uran sind erneuerbare Energien im menschlichen Ermessen unendlich verfügbar und das potenzielle Angebot übersteigt den Weltenergiebedarf um ein Vielfaches. Doch auch diese Ressourcen können nur in Verbindung mit einer effizienten Verwendung und Erzeugung nachhaltig genutzt werden. Wenn aus Wind und Sonne mehr Energie erzeugt als gebraucht wird, muss die überschüssige Energie für die Zeit, in der kein Wind weht und die Sonne nicht scheint – also während sogenannter Dunkelflauten – gespeichert werden. Mithilfe der Umwandlung in Wasserstoff wird grünerzeugte Energie transportierund temporär speicherbar und kann dem Bedarf entsprechend in Wärme, Kraft und Strom verwandelt werden.

Wasserstoff als ein Schlüsselelement für die erfolgreiche Energiewende

Der HYPOS e.V. versteht Grünen Wasserstoff von Beginn an als einen Energieträger, welcher flexibel zwischen Sektoren transportiert, gespeichert und genutzt werden kann. Die Wasserstoffwirtschaft bedeutet in diesem Kontext, tragfähige technologische Lösungen zu entwickeln, die auch langfristig wirtschaftlich funktionsfähig sind. Daher lautete die Vision der 2013 in Halle an der Saale gegründeten Initiative, die Energiewirtschaft, Chemie und Anlagenbau im Verbund mit kleinen und mittleren Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen vernetzt: »Von Ostdeutschland soll eine Revolution in der Wasserstoffwirtschaft ausgehen«. Neben der Vernetzung von Mitgliedern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik initiierte und begleitet HYPOS e.V. Forschungsprojekte zu Wasserstoff. Die Leipziger Geschäftsstelle des HYPOS e.V. steht als Informations- und Kompetenzstelle für Grünen Wasserstoff zur Verfügung und koordiniert die laufenden Projekte der Initiative. Seit Januar 2022 befindet sich eine weitere Geschäftsstelle in Leuna und ermöglicht den direkten Kontakt zur Chemieindustrie und dem Fraunhofer »House of Transfer«. Netzwerkangebote wie z. B. HYPOS-Forum und -Dialog, Arbeitsgruppen oder der HYPOS-Website dienen zudem dem Wissensaustausch, der Vernetzung sowie der Sichtbarkeit.

Vernetzung und Forschung, um grüne Innovation hervorzubringen

Das Innovationsnetzwerk Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e.V. verfolgt den Ansatz der überregionalen und interdisziplinären Kompetenzbündelung in Mitteldeutschland mit dem gemeinsamen Ziel, eine rentable Umwandlung von Strom in Wasserstoff sowie dessen Nutzung zu erreichen. Ebenso wird der Aufbau einer flächendeckenden Grünen Wasserstoffwirtschaft in der Wasserstoffregion Mitteldeutschland und darüber hinaus angestrebt. Als eines der zehn Innovationsprojekte der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung ins Leben gerufenen Förderinitiative »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« wurde das Innovationsnetzwerk HYPOS mit 45 Millionen Euro gefördert. Aus diesen Fördermitteln entstanden 34 innovative Projekte, die von der Strombereitstellung über die Herstellung, Speicherung,

Verteilung und Nutzung von Grünem Wasserstoff in den Bereichen Chemie, Raffinerie, Mobilität und Energieversorgung Forschung betrieben. Im Zeitraum von 2013 bis 2022 entstanden so Erkenntnisse entlang der Wertschöpfungskette der Wasserwirtschaft, die der Industrie, Wirtschaft und Gesellschaft zur Verfügung gestellt werden – mit dem Ziel, die Energiewende voranzutreiben. Mit dem Auslaufen der BMBF-Förderung im Jahr 2021 organisiert sich

ben. Mit dem Auslaufen der BMBF-Förderung im Jahr 2021 organisiert sich das HYPOS-Netzwerk als Innovationscluster. Dafür setzt HYPOS die regionale und überregionale Zusammenarbeit fort, stärkt die Potenziale und Wettbewerbsfähigkeit in der Region und intensiviert die bewährten Kooperationen vor Ort. Aktuell kombiniert HYPOS mit über 160 Mitgliedern die Potenziale innovativer kleiner und mittlerer Unternehmen mit den Kompetenzen der Industrie sowie der Expertise von Hochschulen und Forschungseinrichtungen, welche über die mitteldeutsche Region sowohl national als auch international

Das Zusammenspiel aus Energiewirtschaft, Industrie und Politik

ausstrahlen.

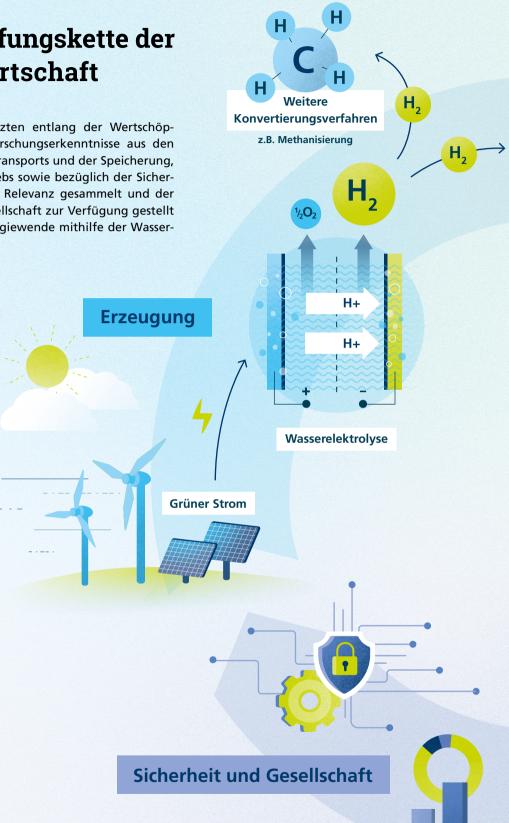
Die Forschung und Entwicklung im Bereich Wasserstoff steht mit den Aktivitäten in der Energiewirtschaft, der Industrie und der Politik in Zusammenhang. Die Energiewirtschaft kann mit erforschten Wasserstofflösungen die Energiewende resilienter gestalten und das Problem langfristiger Speicherung von erneuerbarem elektrischem Strom lösen. Die Industrie erhält Ansätze, den heutigen fossilbasierten Wasserstoff mit Grünem Wasserstoff zu ersetzen und kann damit sehr früh in der Wertschöpfungskette zahlloser Produkte defossilisieren. Die Politik verbindet mit der Forschung in diesem Bereich eine neue Form von Industriepolitik, bei der Grüner Wasserstoff aus günstigen Regionen mit hohen Windkraft- und Photovoltaik-Potenzialen nach Deutschland importiert und vorab deutsche Anlagentechnik an die entsprechenden Standorte exportiert werden kann. Die Bundesregierung verabschiedete zudem am 10. Juni 2020 die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS), in der die Wasserstofftechnik als Schlüsseltechnologie der Energiewende zur Reduktion der CO₃-Emissionen anerkannt wurde. Das hohe Potenzial der Wasserstoffforschung und -wirtschaft ist somit in allen drei Bereichen sichtbar und entdeckt.

Die Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft

Um die Energiewende voranzutreiben, werden wirtschaftliche Strukturen geschaffen, welche die Kosten für Grünen Wasserstoff erheblich senken. Gleichzeitig wird dessen Konkurrenzfähigkeit zu Grauem Wasserstoff und Erdgas gesteigert. Die Förderung einer hohen Akzeptanz in der Gesellschaft und die dauerhafte Integration in ein nachhaltiges, innovatives Versorgungsnetz gehen damit einher. Dabei steht die Vernetzung des Strom- und Gasnetzes, des Gasspeicher und der Wasserstoff-Pipelines zu einer intelligenten Infrastruktur der Stromerzeugung, Wasserstoffgewinnung, Transport und Speicherung im Mittelpunkt. Einzeltechnologien werden verbessert und weiterentwickelt, Neuentwicklungen und Innovationen gefördert, Nutzungspfade eröffnet bzw. erweitert und neue Wege für großangelegte Anwendungen geschaffen. Die Summe der Einzelinnovationen soll so Vorteile für die gesamte Wertschöpfungskette ergeben.

Die Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft

Die 34 Forschungsprojekte setzten entlang der Wertschöpfungskette an. So konnten Forschungserkenntnisse aus den Bereichen der Erzeugung, des Transports und der Speicherung, der Verwertung und des Vertriebs sowie bezüglich der Sicherheit und der gesellschaftlichen Relevanz gesammelt und der Industrie, Wirtschaft sowie Gesellschaft zur Verfügung gestellt werden – mit dem Ziel die Energiewende mithilfe der Wasserstoffwirtschaft voranzutreiben.



Transport und Speicherung



Inhalt

1 Klimaschonende und nachhaltige Erzeugung

12	H2-Flex: Flexible Lösung für Erzeugungslücken in der nachhaltigen Stromversorgur
14	rSOC: Power-to-Gas als wichtiger Baustein in der Energiewende
16	ELKE: Kommerzielle Nutzung der nächsten Elektrolyse-Generation
17	REVAL: Weiterentwicklung zu einer reversiblen Elektrolyse
18	Elykon: Einsatz der Wasserelektrolyse für schwankende Strommengen
19	MegaLyseurPlus: Verbesserung der Elektrolyse von der Quelle his zum Verbrauch

2 Flexibilität in Transport und Speicherung

2	H2-Pims: Vorbereitung der Erdgas-Pipelines auf das Element Wasserstoff
4	H2-MEM: Trennende Membranen auf dem Weg zur Erdgas-Substitution
6	H2-Netz: Zukünftige Wärmeversorgung in realem Testfeld sicherstellen
8	MMH2P: Möglichkeiten des dezentralen Transports und der Speicherung
0	H2-UGS und H2-Forschungskaverne: Unterirdische Speicherung ermöglichen
2	Speicherstudie: Aufmerksamkeit für die notwendige Großspeicherung schaffen
3	H2PROGRESS: Lange Haltbarkeit und leichter Transport in Form einer Paste
4	RWTrockner: Innovative Technologie für den Trocknungsprozess
6	H2HD: Höhere Speicherkapazität für mehr Versorgungssicherheit

Vielseitigkeit in der Verwertung und im Vertrieb

EU	Hz-Hollie & Hz-Hollie Opti. Warnie und Strom in Haushalten dezentral Schem
12	LocalHy: Innovatives System für dezentrale Anwendungen
14	ImplaN: Ausbau von Wasserstoff-Tankstellen in ganz Deutschland
16	COOMet: Methanol als nachhaltiger Chemierohstoff und Energielieferant
<u>1</u> 9	Hythanol eCO2: Attraktivität von Wasserstoff in der Wirtschaft steigern
18	eKeroSyn: Kerosin für die Luftfahrt klimafreundlich herstellen
60	COLYSSY: Vom Abfall zum Rohstoff – Das Potenzial von CO ₂
52	FRAGRANCES: Nachhaltige Synthesegas-Erzeugung zugänglich machen
3	H2-Index I & II: Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von H ₃ -Wertschöpfungsketten

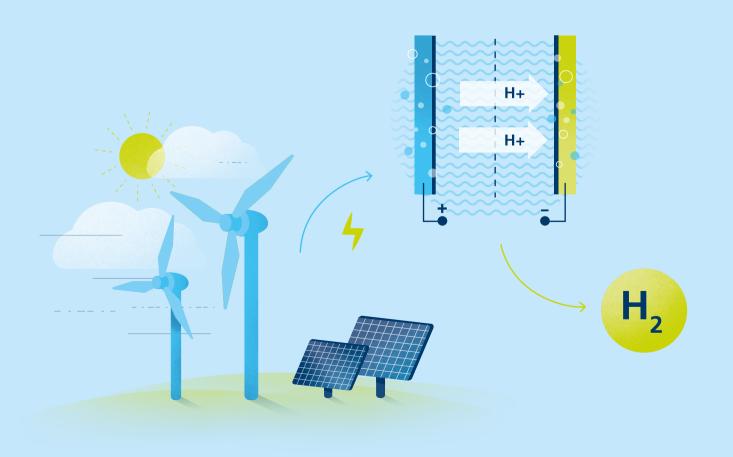
4 Gesellschaftliche Akzeptanz und sicherer Umgang

56	INES: Integrative Erhöhung der Sicherheit entlang der Wertschöpfung
58	HyProS & H2-MEMS: Qualität sichern für eine moderne Wasserstoffwirtschaft
50	H2-Chancendialog: Akzeptanz als Voraussetzung für die Einführung neuer Technologien
52	HYPOS macht Schule: Zukunftsthema »Grüner Wasserstoff« in den Schulunterricht bringen

Die angeführten Fördervolumina der einzelnen HYPOS-Projekte sind Annäherungswerte, da diese den Schwankungen der Projektverläufe unterliegen. Die durchschnittliche Förderquote der Forschungsprojekte liegt bei 65 Prozent.

1 Klimaschonende und nachhaltige Erzeugung

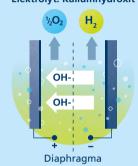
Wasserstoff als alternativer Energieträger könnte die Energiewende entscheidend mitgestalten. Zum Grünen Wasserstoff wird er aber erst, wenn er auch selbst mithilfe erneuerbarer Energien produziert wird. Den elektrochemischen Prozess der Elektrolyse zur Herstellung dieses klimaschonenden Wasserstoffs bezeichnet man auch als Power-to-Gas. Vor allem ermöglicht diese Technologie die Umwandlung von volatilen Stromüberschüssen in einen chemisch gebundenen und dauerhaften Energieträger.



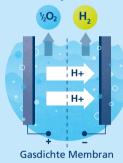
speicherbar und transportfähig und kann auch in anderen Sektoren eingesetzt werden. Bei der Wasserelektrolyse findet der elektrochemische Vorgang in einzelnen sehr flachen Zellen statt. Mehrere dieser Zellen werden zu sog. Stacks aufgestapelt und in ein effizientes Gesamtsystem, dem Elektrolyseur, mit Aggregaten zur Wasserzufuhr und Gasabfuhr zusammengeschaltet. Erste großtechnische Anlagen existieren bereits. Im HYPOS-Themenfeld zur Erzeugung arbeiteten Forscher:innen an verschiedenen Arten von Wasserelektrolysen und den dazugehörigen Systemen. Mehrere HYPOS-Projekte widmeten sich der Erforschung und Optimierung der H₂-Herstellungstechnologien. Neben den hier aufgeführten Verfahren wurden auch andere Elektrolysearten wie reversible Membranelektrolysen oder Chlor-Alkali-Elektrolysen betrachtet. Den Verfahren ist gemein, dass sie Wasser mithilfe von erneuerbarem Strom in Wasserstoff und Sauerstoff auftrennen. Der Unterschied liegt in der technischen Umsetzung.

So wird Strom in Form von Grünem Wasserstoff im weiteren Verlauf leichter

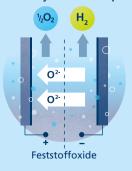
Elektrolyt: Kaliumhydroxit



Elektrolyt: Wasser



Elektrolyt: Wasserdampf



Die alkalische Elektrolyse (AEL)

Bei der alkalischen Elektrolyse kommen Metallelektroden zum Einsatz, die in eine alkalische wässrige Lösung getaucht werden. Die Seiten der Zelle, in denen die Elektroden hängen, werden durch eine permeable Membran getrennt. Durch das Anlegen einer Spannung entsteht an der Anode Sauerstoff und an der Kathode Wasserstoff. Die besonderen Vorteile der AEL-Technologie: eine hohe Langzeitstabilität und geringe Investitionskosten. Außerdem werden für das Elektrodenmaterial keine seltenen Edelmetalle benötigt. Trotz der einfachen Bauweise erzielen diese Anlagentypen derzeit die höchsten Wirkungsgrade. Es besteht jedoch das Problem einer trägen Laständerung und eines relativ geringen Teillastbereichs. AELs funktionieren daher langfristig am besten mit einer konstanten Stromzufuhr.

Die Protonenleitende-Membran-Elektrolyse (PEM-Elektrolyse/PEMEL)

Die Protonenleitende-Membran-Elektrolyse arbeitet hingegen im sauren Milieu. Dies zeigt sich an der Wanderung der Wasserstoffionen. Da eine saure Lösung starke Korrosionsschäden verursachen kann, wird für die Elektroden der Einsatz von Edelmetallen notwendig. Die Trennung der beiden Halbzellen erfolgt durch eine gasdichte Membran. Der große Vorteil dieser Technologie liegt in dem flexiblen Lastwechselverhalten. Im Vergleich zu anderen Verfahren kann hier schneller auf schwankende Strommengen eingegangen werden. Da es sich bei der Proton Exchange Membrane Elecrolysis jedoch um eine relativ neue Technologie mit aktuell nur geringem Marktanteil handelt, sind die Investitionskosten noch deutlich höher als bei der AEL.

Die Hochtemperatur-Festoxid-Elektrolyse (SOEC)

Die Hochtemperatur-Festoxid-Elektrolyse befindet sich im Übergang zwischen Forschung und industrieller Anwendung. Ihre Besonderheit besteht darin, dass mit sehr hohen Temperaturen und Wasserdampf statt Wasser gearbeitet wird. Dabei kann ein Teil der benötigten Energie zur Spaltung des Wassers aus Wärme bereitgestellt werden. Die Folge: ein verringerter Strombedarf. Für die Trennung der Halbzellen wird dabei ein festes Oxid verwendet, durch das Sauerstoff-lonen diffundieren können. Das hohe Temperaturniveau und die Kopplung mit Wärmeanwendungen bieten großes Potenzial. Die hohen Temperaturen führen jedoch auch dazu, dass die Anfahrzeiten der Solid Oxide Electrolyzer Cell wesentlich größer sind als etwa bei der AEL.

12

1 – Erzeugung

13

H2-Flex

Flexible Lösung für Erzeugungslücken in der nachhaltigen Stromversorgung

Der Anteil erneuerbarer Energien steigt. Gleichzeitig kommen Angebot und Nachfrage im Stromnetz zunehmend aus dem Gleichgewicht. Das HYPOS-Projekt H2-Flex widmete sich den entstehenden Erzeugungslücken in der Stromversorgung, die es besser auszugleichen gilt. Dies stellt einen wichtigen Beitrag für mehr Versorgungssicherheit und das Gelingen der Energiewende dar.



Bisher: Die variable Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist niedriger und hat geringere Auswirkungen auf die Strompreise; der Stromverbrauch bei einer industriellen Last wird nicht an die Strompreise angepasst. Zukünftig: Die variable Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist höher und korreliert negativ mit den Strompreisen; der Stromverbrauch wird in Zeiträume mit niedrigeren Strompreisen und höherer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien verschoben.

Mehr Versorgungssicherheit im Bereich der erneuerbaren Energien

Laufzeit:

09/2018 - 12/2021 (40 Monate)

Fördervolumen:

ca. 1,2 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- · BTU Cottbus-Senftenberg
- enviaM
- · Nobian GmbH
- · Universität Leipzig

→ Defossilisierung

beschreibt die Beendigung des Ausstoßes von CO₂ aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe. Dafür wurde im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen in Sachsen-Anhalt eine 30 Megawatt Chlor-Alkali-Elektrolyseanlage eingesetzt, deren Betrieb sich flexibel an das Stromangebot anpassen lässt.

Angepasster Betrieb und finanzielle Anreize

Ziel des H2-Flex-Projekts war es, flexiblere Lösungen bei Erzeugungslücken im Bereich der erneuerbaren Energien – kurz EE – zu finden. Diese Lücken treten etwa auf, wenn keine Sonne scheint oder kein Wind weht. Bislang werden die Lücken häufig durch konventionelle Kraftwerke und technische Speicher ausgeglichen. Doch mit deren Stilllegung wird die Nachfrage nach anderen Lösungen künftig steigen. Die erforderliche Defossilisierung macht weiteren Handlungsbedarf deutlich. Die am Projekt beteiligten Ingenieur:innen erprobten mithilfe einer großtechnischen Chemieanlage im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen, wie sich die Stromnachfrage für eine begrenzte Zeit drosseln lässt.

Die 30 Megawatt Chlor-Alkali-Elektrolyseanlage produzierte seit Jahrzehnten Chlor, Natronlauge und Wasserstoff als Grundchemikalien. Chlor wird unter anderem zu Polivinylchlorid (kurz PVC) weiterverarbeitet – ein Material, das etwa bei der Fertigung von Garten- und Campingmöbeln zum Einsatz kommt. Grundsätzlich sollte die Produktionsanlage kontinuierlich gefahren werden. Die Projektbeteiligten erforschten daher Potenziale für mehr Flexibilität, die die Produktion nicht gefährden und gleichzeitig neue Einnahmemöglichkeiten bieten. So drosselt die Anlage bei zu wenig Strom im Netz ihre Stromnachfrage für wenige Minuten und enthält für diese sogenannte Systemdienstleistung eine finanzielle Entlohnung. Das berechtigt die Chlor-Alkali-Elektrolyse zur Teilnahme an diversen Regelleistungsmärkten am Strommarkt.

Neue Nutzungsszenarien mit bewährter Technologie

Die Chlor-Alkali-Elektrolyse, eine seit Jahrzehnten verbreitete und betriebswirtschaftlich tragfähige Technologie, setzt wässrige Natriumchloridlösungen elektrolytisch zu Chlor, Natronlauge und Wasserstoff um. Letzterer tritt zwar lediglich als Nebenprodukt auf – durch die Beschaffung von Herkunftsnachweisen oder in Kombination mit EE-Anlagen lassen sich aber in Zukunft große Mengen Grünen Wasserstoffs erzeugen. Im Vergleich zur Wasserelektrolyse benötigt die Chlor-Alkali-Elektrolyse deutlich mehr Nebenanlagen und ist damit komplexer. Aus diesem Grund wurde die Gesamtanlage für das Projekt mit allen Nebensystemen für den flexiblen Betrieb untersucht. Bislang werden entsprechende Anlagen lediglich im Grundlastbetrieb gefahren – sie bieten jedoch auch Möglichkeiten zur systemdienlichen Anpassung. Bei Übertragung der Ergebnisse des H2-Flex-Projekts stünde bundesweit ein Flexibilitätspool von circa 1,5 GW zur Verfügung.

Wertvoller Beitrag zur Netzstabilisierung

Die Idee von H2-Flex hat Potenzial: Durch die schon heute bestehende Integration von Chlor-Alkali-Elektrolysen in Industrie- und Chemieparks können die Wasserstoffmengen direkt zur Defossilisierung des Sektors beitragen. Der an das Stromangebot angepasste Elektrolysebetrieb reduziert die Kosten von Grünem Wasserstoff, fördert die Netzstabilisierung und trägt so zu einer sicheren Energieversorgung bei. Die in H2-Flex entwickelte Anlage wurde als erste Chlor-Alkali-Anlage in Deutschland nach dem TÜV Süd CMS 70 Standard »GreenHydrogen« in Deutschland zertifiziert. Seit 2021 produziert sie Grünen Wasserstoff und speist diesen in die über 100 km lange Wasserstoff-Pipeline in Mitteldeutschland ein – eine wegweisende Demonstration für andere Chlor-Alkali-Elektrolysen in Deutschland und weltweit.

14 1 - Erzeugung

rSOC

Power-to-Gas als wichtiger Baustein in der Energiewende

Erneuerbare Energien wie Wind und Sonne sind für die Energiewende unerlässlich – aber naturgemäß Schwankungen unterworfen. Hier sind flexible Speichermöglichkeiten gefragt, um die entstehenden Differenzen auszugleichen. Die reversible Festoxid-Brennstoffzelle – kurz rSOC – als Basis von Power-to-Gas-Anlagen hat wirtschaftliche Vorteile gegenüber den bekannten Wasserelektrolysetechnologien.

Bewertung der Schlüsseltechnologie Power-to-Gas

Laufzeit: Machbarkeitsstudie: 03/2016 - 07/2016 (5 Monate)

Umsetzung:

09/2018 – 08/2020 (24 Monate)

Fördervolumen:

ca. 90.000 EUR + ca. 1,8 Mio EUR

${\bf Projekt beteiligte:}$

- Air LiquideDLR e.V.
- sunfire GmbH

Diese speziellen Brennstoffzellen können nicht nur Strom erzeugen, sondern lassen sich auch für die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse nutzen und verbinden damit praktisch zwei Geräte in einem. Der Zelltyp ist daher in besonderer Weise für den Bau von Anlagen geeignet, die Elektrizität in Form von Wasserstoff zwischenspeichern und diesen zu einem späteren Zeitpunkt wieder rückverstromen können – so können die Schwankungen ausgeglichen werden.

Das Potenzial der reversiblen Festoxid-Brennstoffzelle

Mit dem Projekt rSOC – kurz für reversible Festoxidzellen – wurden die Vorteile von Power-to-Gas als Baustein für die Energiewende aufgezeigt. Da Batterien in ihrer Kapazität begrenzt sind und sich zudem der Energiemarkt über die reine elektrische Energie hinaus erstreckt, ist der Schritt zu Power-to-Gas nur folgerichtig. Hierbei wird Überschussenergie in chemische Energie umgewandelt. Diese lässt sich länger und kostengünstiger speichern und ist auch für andere Energiesektoren nutzbar – die sogenannte Sektorenkopplung. Basis des Projekts war eine Machbarkeitsstudie zur technischen und wirtschaftlichen Beurteilung einer reversiblen Festoxid-Brennstoffzelle. Im Rahmen der Studie wurden eine belastbare Energiebilanz und künftige Systemkosten ermittelt. Auch eine technologievergleichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und die Erarbeitung eines tauglichen Geschäftsmodells waren Teil des Projekts. Im Anschluss daran erfolgten weiterführende technisch-ökonomische Untersuchungen.

Hoher Wirkungsgrad und geringe Betriebskosten

Die einfachste Power-to-Gas-Anwendung stellt die Elektrolyse von Wasser bzw. Wasserdampf zu Wasserstoff und Sauerstoff dar, da die elektrische Energie hier unmittelbar und mit sehr hohen Wirkungsgraden in chemische Energie gewandelt wird. Bei erhöhtem Elektroenergiebedarf im Netz und einer Angebotsunterdeckung der erneuerbaren Quellen kann zudem der Wasserstoff direkt wieder in Brennstoffzellen zu elektrischer Energie und Wärme gewandelt werden.

Elektrolyse und Brennstoffzelle sind seit Jahrzehnten bekannte Technologien, die sich bereits in Nischenmärkten behaupten können.

15

In der speziellen Technologieform der Festoxidzellen (SOC – Solid Oxide Cell) für Elektrolyse und Brennstoffzellen ist es nun möglich, beide Pfade miteinander zu vereinigen und eine reversible Wandlung von elektrischer in chemische Energie und retour in ein und demselben System zu erreichen. Gegenüber den konkurrierenden Technologien der PEM (Polymerelektrolytmembran)- und Alkalielektrolyse bietet die rSOC durch die Reversibilität nicht nur den Vorteil der höheren Auslastung, sondern weist auch im Elektrolysemodus durch die direkte Nutzung von Dampf statt Wasser einen Wirkungsgradvorteil von mehr als 15 Prozent auf. Die Folge sind deutlich geringere Betriebskosten. Hierdurch lassen sich womöglich auch höhere Investitionskosten innerhalb weniger Betriebsjahre ausgleichen.

Flexibles rSOC-System im industriellen Umfeld

Die Ergebnisse der rSOC-Machbarkeitsstudie flossen direkt in ein Folgeprojekt ein, in dem ein flexibles, dynamisch betreibbares rSOC-System entwickelt und getestet wurde. Hier entspricht die Größenordnung einer Wasserstoffproduktionskapazität von ca. 50 Nm³/h. Im Anschluss an die Entwicklung wird der Betrieb der rSOC-Anlage in einer industriell relevanten Umgebung demonstriert. Als potenzielle Anwendungsbereiche des SOEC-Elektrolyseurs haben die Projektbeteiligten Stahlwerke und Raffinerien identifiziert, die durch ihre energieintensiven Prozesse ein hohes CO₂-Minderungspotenzial besitzen. Aktuell wird der HyLink Gen 1 Elektrolyseur im Stahlwerk in Salzgitter eingesetzt. Durch die hohe Effizienz bei der Umwandlung von Energie in Wasserstoff kann die SOEC-Elektrolyse einen wichtigen wirtschaftlichen Beitrag zur Energiewende leisten.

16 1 - Erzeugung

ELKE

Kommerzielle Nutzung der nächsten Elektrolyse-Generation

Alkalische Elektrolyseure werden an zahlreichen technischen Anlagen in Megawattgröße installiert – so z. B. am Asuanstaudamm in Ägypten. Zukünftig sollen die Systeme vermehrt mit erneuerbarer Energie kombiniert werden. Dabei können häufige und schnelle Lastwechsel ein Problem darstellen, dessen Lösung sich das HYPOS-Projekt ELKE annahm.

Kostensenkung der alkalischen Elektrolyse

Laufzeit:

06/2017 - 05/2021 (48 Monate)

Fördervolumen:

ca. 1.3 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- Forschungszentrum Jülich
- Fraunhofer IWES
- AVX/KUMATEC Hydrogen GmbH & Co. KG

Obwohl sich die Alkalische Elektrolyse bereits als ein kommerzielles System zur Erzeugung von Grünem Wasserstoff etabliert hat, besteht noch weiterer Entwicklungsbedarf der Technologie – besonders hinsichtlich der Leistungsoptimierung und Kostenreduktion.

Die Leistung der Elektroden optimieren

Im HYPOS-Projekt ELKE arbeiteten die Forscher:innen an neuen Elektroden für Alkalische Elektrolyseure. Der Ausgangspunkt des Forschungsvorhabens war eine veränderte Beschichtung der Elektrode. Gleichzeitig wurde an einem entsprechenden kontinuierlichen Beschichtungsverfahren geforscht, um die wissenschaftlichen Erfolge auch kommerziell nutzen zu können. Die produzierten Elektroden wurden zusammen mit einem Elektrolysehersteller spektroskopisch analysiert, mechanisch charakterisiert und unter realen Bedingungen getestet.

Der Vorteil der vorangeschrittenen Entwicklung

Wie bereits dargestellt, kann die Erzeugung von Grünem Wasserstoff mithilfe verschiedener Elektrolyseverfahren erfolgen. Im Vergleich zur PEM-Elektrolyse – also der Membran-Elektrolyse – ist die Alkalische Technologie sehr weit entwickelt (siehe Seite 11). An den Elektroden werden durch das Anlegen von Spannung Wasserstoff und Sauerstoff gebildet. Mittels veränderter Materialien und Strukturen sollen diese elektrochemischen Vorgänge effizienter und schneller ablaufen. Das ist nötig, damit möglichst viel erneuerbarer Strom wirksam in Grünen Wasserstoff umgesetzt werden kann.

Unmittelbare Integration in die Industrie

Zu Projektabschluss stehen neue Elektroden zur Verfügung, damit für alkalische Elektrolyseure der nächsten Generation die Kosten durch günstigere Materialien und geeignete Beschichtungsverfahren gesenkt werden können. Die Herstellungskosten sollen langfristig von 1000 €/kW auf unter 700 €/kW Leistung gesenkt werden. Trotzdem wird eine verbesserte Leistungscharakteristik erreicht. Durch die enge Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen konnten die Projektergebnisse – die erzeugten Elektroden – unmittelbar in bereits bestehende Systeme integriert werden und im Realbetrieb unter variierenden Betriebsbedingungen getestet werden.

REVAL

Weiterentwicklung zu einer reversiblen Elektrolyse

Mit dem Wissen in der Forschung, dass sich kompaktere Elektrolyseure und kostengünstige Katalysatormaterialien auch über alkalische Elektrolysezellen realisieren lassen, entstand das Forschungsvorhaben REVAL. Dessen Ergebnisse können einen wichtigen Beitrag in der Speicherung und der Rückverstromung von Energie in dezentralen Anlagen leisten.

Entwicklung und Erforschung einer neuartigen Elektrolysetechnologie

Im HYPOS-Projekt REVAL wird eine neuartige Technologie – die reversible alka-

lische PEM-Elektrolyse – entwickelt und erprobt. Die besonderen Herausforde-

rungen bestehen in der Verbesserung der chemischen Stabilität vorhandener

Membranen und in der Erprobung geeigneter Katalysatoren, die sowohl für

den Elektrolyse- als auch den Brennstoffzellenmodus geeignet sind. Darüber

hinaus stellt die Auslegung sowie die Erprobung eines für den reversiblen Be-

trieb geeigneten Zellaufbaus eine weitere Herausforderung dar. Ziel ist es,

einen langzeitstabilen und effizienten Prototyp zu entwickeln und für die Pro-

Entwicklung eines langzeitstabilen und effizienten Prototyps

Laufzeit:

08/2019 - 09/2022 (38 Monate)

Fördervolumen:

ca. 1,6 Mio. EUR

Projektpartner:

- FUMATECH BWT GmbH
- Fraunhofer IFAM
- Fraunhofer IWES
- · H-TEC SYSTEMS GmbH

Technologielevel der reversiblen alkalischen Membranelektrolyse

Im Projektverlauf soll der technische Reifegrad – das Technology Readiness Level (TRL ¬) – der reversiblen alkalischen Membranelektrolyse (rAEM) von TRL 2 auf 4 gehoben werden. Als Projektziel von REVAL ist ein funktionierender rAEM-Shortstack im Laboraufbau vorgesehen.

Relevanz in Zeiten von knappen Ressourcen

duktion vorzubereiten.

Die Ergebnisse von REVAL können nahtlos in Folgevorhaben weiterentwickelt werden. Die Untersuchungen – besonders die werkstoff- und fertigungstechnischen Neuerungen – werden auf benachbarte Gebiete ausstrahlen. In der Fertigung von MEAs (Membran-Elektroden-Einheiten) und Gasdiffusionselektroden wird dies z.B. einen großen Stellenwert einnehmen. Da keine Edelmetalle benötigt werden, ist das Verfahren auch in Bezug auf die aktuelle und zukünftige Rohstoffsituation relevant.

↗ TRL

steht für Technology Readiness Level – also dem Technologie-Reifegrad. Es dient der Bewertung des Entwicklungsstandes von neuen Technologien. Auf einer Skala von 1 bis 9 gibt der TRL an, wie weit eine Technologie entwickelt ist.

Forschung

Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips



Beschreibung des Technologiekonzepts/der Anwendung



TRL 3 Proof of Concept

F&E, Demonstrator

TRL 4 Versuchsaufbau im Labor



TRL 6 Prototyp in Einsatzumgebung

Entwicklung und Pilotanwendung

17

TRL 7 Prototyp im Einsatz

Nachweis der Funktionstüchtigkeit im Einsatzbereich

TRL 9 Serienreife, Nachweis des erfolgreichen Einsatzes

Übersicht der Technologie-Reifegrade (TRL)

18 1 – Erzeugung

ElyKon

Einsatz der Wasserelektrolyse für schwankende Strommengen

Grüner Wasserstoff ist ein wichtiger chemischer Energieträger für die Speicherung überschüssiger elektrischer Energie. Wegen der schwankenden Strommengen sind für seine Herstellung dynamische Betriebsbedingungen nötig, die jedoch Effizienz, Lebensdauer und Zuverlässigkeit einzelner Bauteile beeinflussen. Die PEM-Elektrolyse gewinnt in diesem Zusammenhang immer mehr Bedeutung.

Zustandsüberwachung und Testverfahren zur Verbesserung der PEM-Elektrolyse

Laufzeit:

04/2019 - 07/2022 (40 Monate)

Fördervolumen:

ca. 2,2 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH
- DLR e.V.
- ISLE GmbH
- TU Bergakademie Freiberg

Im Vergleich zu anderen Verfahren kann im Rahmen der PEM-Elektrolyse grundsätzlich schneller auf schwankende Strommengen reagiert werden. Die Wasserelektrolyse ist also eine Schlüsseltechnologie zur Herstellung von Wasserstoff als Energieträger zur Speicherung überschüssiger Energie aus regenerativen Energiequellen.

Tests und Kontrollen für eine bessere PEM-Elektrolyse

Dabei konzentrierte sich das Projekt ElyKon auf die Herausforderung der Koppelung der PEM-Elektrolyse mit regenerativen Energien – das dynamische Lastprofil und die damit verbundenen Änderungen der Betriebsbedingungen. Ziel des HYPOS-Projekts war eine verbesserte Zustandsüberwachung der dynamischen Betriebsbedingungen. Die Forscher:innen nutzten dafür spezifische Sensoren im Zusammenspiel mit einer schnellen mehrkanaligen sowie parallelen Erfassung und Verarbeitung von Messwerten. Diese Sensoren messen den Stromfluss durch die Elektrolyse im Querschnitt orts- und zeitaufgelöst oder detektieren selektiv Degradationsprodukte im Wasserkreislauf. Ungünstige Betriebszustände können so ortsgenau identifiziert werden.

Gleichzeitig wurden Testverfahren vorgeschlagen, die es erlauben, eine beschleunigte Alterung der Elektrolyse zu simulieren und die damit verbundenen Degradationsvorgänge zu untersuchen. So können langfristige Alterungsprozesse künftig deutlich kostengünstiger und schneller erkannt werden. Abgeleitet aus dem Testverfahren wurde eine Kontrollstrategie zur Vermeidung von ungünstigen Betriebszuständen vorgeschlagen, um die Lebensdauer des Systems zu erhöhen. Der Fokus bei den Untersuchungen zur Lebensdauer lag insbesondere auf dem Vergleich eines nominellen konstanten Betriebs mit Überlastbetrieb und stark dynamischem Betrieb.

MegaLyseurPlus

Verbesserung der Elektrolyse von der Quelle bis zum Verbrauch

Zahlreiche Elektrolyseanlagen sind bereits am Markt und in Betrieb. Dennoch ist der tatsächliche Betrieb, insbesondere einer PEM-Elektrolyse mit mehreren Megawatt Leistung, unter stark schwankendem Stromaufkommen nur unzureichend entwickelt und erforscht. Mit MegaLyseur-Plus soll sich das ändern.

Optimierung der Elektrolyse als Gesamtsystem

Laufzeit:

11/2019 - 05/2022 (31 Monate)

Fördervolumen:

ca. 4,5 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- Borsig ZM Compression GmbH
- Fraunhofer IMWS
- Fraunhofer IWESFraunhofer CBP
- FUMATECH BWT GmbH
- Hannweber Engineering
- IFBIP GmbH & Co. KGinfineon Technologies
- Siemens AG

⊅ CCM

ist kurz für Catalyst Coated Membrane. Diese Membran-Elektroden-Einheiten bezeichnen das Herzstück einer jeden PEM-Elektrolyse. Das HYPOS-Projekt schafft mit der Entwicklung und Harmonisierung technischer Teilsysteme die Voraussetzungen für die Entwicklung und den Betrieb künftiger Großelektrolysesysteme.

19

Optimierung von Elektrolysesystemen

Das Ziel des Forschungsprojekts MegaLyseurPlus stellte die Verbesserung des Gesamtsystem einer Elektrolyse dar – vor allem in Hinblick auf eine sichere Steuerung aller Schnittstellen. Das schließt den Weg von der Stromquelle zur Elektrolyse zum Speicher zur Leitung und schließlich zu den Verbraucher:innen ein. Insbesondere die Systemdienlichkeit – also der Beitrag der Elektrolyse zur Stabilisierung eines künftig hochdynamischen Stromnetzes – bedarf optimierter Teilsysteme der Leistungselektronik und Gastechnik.

Neue Halbleiterkombinationen und verbesserte Leistungselektronik

Zu Beginn des Projekts definierten die Projektbeteiligten das Gesamtsystem und entsprechende Randbedingungen einer Großelektrolyse. Die Nutzbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Großelektrolysen kann z. B. entscheidend durch eine wiederkehrende Verdichtung oder mögliche Verunreinigung durch Schmierstoffe der Kompressoren beeinflusst werden. Parallel dazu lief die Forschung an verbesserten CCMs. Innerhalb dieses Teilsystems findet die Umwandlung der erneuerbaren elektrischen in chemische Energie – also Wasserstoff – statt. Im Rahmen des HYPOS-Projektes sollten die Effizienz, Produktionsleistung und Lebensdauer der CCMs erhöht werden. Die Degradation und der Einsatz der teuren Komponente Iridium als Katalysator konnte verringert werden. Außerdem wurde die notwendige Leistungselektronik weiterentwickelt. Da die Großelektrolysen nicht nur effizient, sondern auch dynamisch sein sollen, musste die elektrische Leistungsaufnahme verbessert und neugedacht werden. Hierzu wurden auch innovative Kombinationen unterschiedlicher Halbleiter wie MOSFETs oder Thyristoren sowie Bauweisen simulativ bewertet. Zudem wurde die Kompression, also die Verdichtung des Wasserstoffs zur weiteren Verwertung bei der Endanwendung, optimiert und in verschiedenen Konfigurationen experimentell standardisiert.

Validierung im Fraunhofer Hydrogen Lab Leuna

Der im Projektverlauf entwickelte Kompressor wird als Versuchsaufbau im »Hydrogen Lab« der Fraunhofer-Gesellschaft im Chemiepark Leuna aufgebaut und validiert. Am Standort kann der erzeugte Wasserstoff unmittelbar in die Wasserstoff-Pipeline eingeleitet werden.

20 21

Plexibilität in Transport und Speicherung

Ein entscheidender Vorteil des CO₂-frei gewonnenen Grünen Wasserstoffs ist seine Flexibilität in der Speicherung und im Transport. Es bestehen zentrale sowie dezentrale Möglichkeiten das Gas einzulagern, die eine bedarfsgerechte und emissionsfreie Nutzung möglich machen. In Pipeline-Infrastrukturen kann das Gas zudem technisch sicher über weite Strecken transportiert werden.



Die chemisch gebundene erneuerbare Energie kann z.B. in großen unterirdischen Speicherkavernen aber auch in stationären oder mobilen Speichertanks gelagert werden und zum Zeitpunkt der Nachfrage nachhaltig abgerufen werden. Durch den möglichen sicheren Transport kann das Gas nach der Erzeugung in spezifische Wasserstoff-Pipelines oder die bestehende Erdgasinfrastruktur eingeleitet werden. Durch den leitungsgebundenen Transport werden so eine Vielzahl von industriellen Abnehmenden versorgt.

Erforschung grüner Speichertechnologien

Der HYPOS e.V. unterstützt die Forschung und Entwicklung unterschiedlicher Speichertechnologien und -infrastrukturen in Deutschland. Dabei sind die zwei HYPOS-Projekte H2-UGS und H2-Forschungskaverne herauszustellen, die wissenschaftliche Grundlagen für einen Untergrundgasspeicher für Grünen Wasserstoff am Standort Bad Lauchstädt in Sachsen-Anhalt gelegt haben. Deren Forschungsergebnisse konnten inzwischen in ein industrielles Anschlussvorhaben mit internationaler Bedeutung überführt werden. Das Projekt H2-PIMS beschäftigte sich mit der Vorbereitung des Erdgasnetzes auf Wasserstoff, da das Element mit seinen Eigenschaften die bestehenden Pipelines schädigen kann. Um nachhaltig bestehende Netze zu nutzen, lag hier der Fokus darauf, die Erkenntnisse in einem Handlungsleitfaden Netzbetreibenden zur Verfügung zu stellen. Auf die Übergangsphase von der Nutzung von Erdgas zu Wasserstoff konzentrierte sich das Projekt H2-MEM, das eine spezielle Membrantechnologie entwickelt, die es ermöglicht, Wasserstoff-Erdgas-Gemische zu trennen und die Stoffe differenziert zu nutzen. Darüber hinaus wurden in vier weiteren Projekten - H2-HD, Speicherstudie, H2PROGRESS sowie RWTrockner - unterschiedliche Aspekte der Speicherung von Grünem Wasserstoff erforscht, deren Ergebnisse die Energiewende unterstützen.

Erkenntnisse zum Transport aus der Wasserstoffregion Mitteldeutschland

Das HYPOS-Netzwerk ist unter anderem in Mitteldeutschland entstanden, weil hier bereits seit Jahrzehnten eine Wasserstoff-Pipeline in Betrieb ist. Das aus Stahl bestehende 150 km lange Rohrleitungsnetz verbindet die mitteldeutschen Chemie- und Industrieparks in Zeitz, Böhlen, Leuna, Schkopau, Bitterfeld-Wolfen und Rodleben. Zukünftig werden solche Rohrleitungen vermehrt durch dezentrale Transportwege ergänzt werden - denn Wasserstoff kann in Behältern unterschiedlicher Größenordnungen über Verkehrsmittel wie LKW-Aufliegern oder Tankschiffen transportiert und in der Fläche verteilt werden. Mit dem Ziel die Wärmeversorgung der Zukunft zu sichern, wurde im weltweit einmaligen Forschungsprojekt H2-Netz ein 12.000 m² großes, reales Testfeld geschaffen, das die Wasserstoffverteilung hinsichtlich Erdgasinfrastrukturen und die Verwendung von Wasserstoff bewertet. Die Erkenntnisse aus dem Wasserstoffdorf fließen in die Praxis zur Umstellung der Netze ein sowie in Bildungsangebote für Monteur:innen und Ingenieur:innen. Das Projekt MMH2P vereinte die Erkenntnisse aus den Bereichen der Speicherung und des Transports und kooperiert mit den Beteiligten der Forschungsprojekte H2-Home und H2-Netz. Der Fokus lag hier auf dem Schaffen von dezentralen Lösungen für den Transport und die Speicherung.

22 — Transport und Speicherung

H2-PIMS

Vorbereitung der Erdgas-Pipelines auf das Element Wasserstoff

Das Erdgasnetz bietet hervorragende Möglichkeiten zur Speicherung und Nutzung von Grünem Wasserstoff. Insbesondere aus überschüssigem Strom erzeugtes Gas kann durch das Netz schnell nutzbar gemacht werden und zu den Verbraucher:innen gelangen. Jedoch kann Wasserstoff die Materialien von z. B. Pipelines, Verdichtern oder ganzen Gasspeichern schädigen.

Erstellung des PIMS-Moduls zur Umwidmung der Erdgasnetze

Laufzeit:

07/2016 - 12/2019 (42 Monate)

Fördervolumen: ca. 3 Mio. EUR

ca. 5 Milo. Loi

Projektbeteiligte: • DBI GUT

- Fraunhofer IWM
- · ONTRAS Gastransport GmbH
- SZMF GmbH
- TÜV SÜDVeenker GmbH
- Technische Integrität meint die technische Nutzungsdauer und Unversehrtheit.

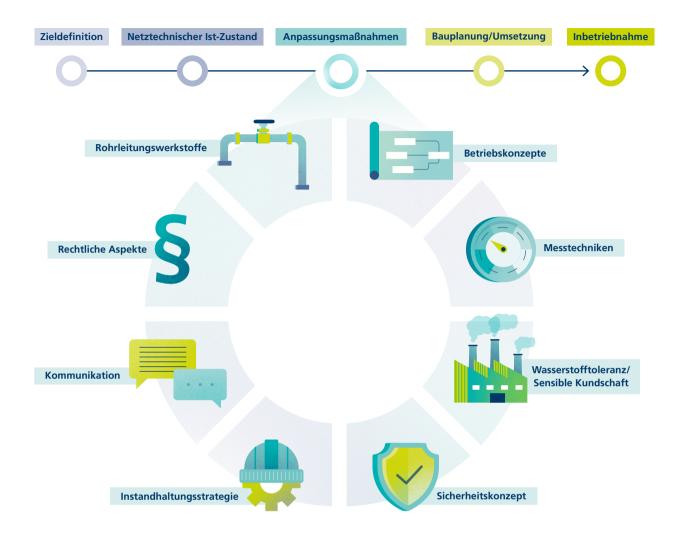
Bislang waren die Wissenslücken bezüglich der Schädigung aus technischer Sicht unproblematisch. Mit Blick auf eine großangestellte Infrastruktur wie das Erdgasnetz, das mit seiner über 500.000 km Leitungslänge zukünftig vermehrt mit Wasserstoff in Kontakt kommen soll, ist zusätzliches Wissen nun dringend erforderlich.

Vorbereitung des Erdgasnetzes auf die Tücken des Wasserstoffs

Das übergreifende Ziel des HYPOS-Projektes H2-PIMS war die Vorbereitung des Erdgasnetzes auf das Element Wasserstoff. Denn Wasserstoffatome - die kleinsten von allen – können in das Gefüge des Metalls eindringen und dort zu hohen inneren Spannungen führen. Risse und Brüche können die Folge sein. Da es jedoch unterschiedliche Theorien gibt, wie sich die Schädigung auf atomarer Ebene vollzieht, herrscht ein hoher Forschungsbedarf. Das Projektname PIMS steht dabei für Pipeline Integrity Management System, und bezeichnet eine Methode von Pipelinebetreibenden, um die technische Integrität ⁷ eines Netzes im Blick zu behalten – dafür werden Daten benötigt. Im Forschungsprojekt wurden so z.B. in einem Labor in Freiburg die Auswirkungen von Wasserstoff auf unterschiedlichste Werkstoffe untersucht. Da sich viele Materialschädigungen erst über lange Zeiträume beobachten lassen, stellt die Simulation einer beschleunigten Alterung der Materialien im Labor eine wichtige Komponente dar. Dabei werden Prozesse wie das Risswachstum oder die allgemeine Wasserstoffversprödung der Leitungen betrachtet. Mithilfe von Algorithmen entstehen auf dieser Grundlage Aussagen über den potenziellen Zustand der Materialien in der Zukunft. Daraus können Betreibende wiederum Maßnahmen zur Ertüchtigung der Netze ableiten.

Von der Beimischung bis zur vollständigen Umwidmung

Die gesammelten Forschungsergebnisse wurden als sogenanntes PIMS-Modul »Wasserstoff« zusammengefasst und können zukünftig von Netzbetreibenden genutzt werden. Neben der Entwicklung des Moduls wurde außerdem



Darstellung der Roadmap mit einem Überblick zu den acht Themenbereiche der Anpassungsmaßnahmen

23

→ Wasserstoff-Pipelines

ermöglichen der Stahl- und Chemieindustrie einen direkten Zugang zu Wasserstoff. In Deutschland bestehen drei dieser Pipelines.

Mitteldt. Chemiedreieck: 150 km Chemiepark Marl: 240 km Schleswig-Holstein: 30 km

Entsprechende Infrastruktur und das notwendige Know-how für eine Energiewende sind also gegeben eine Roadmap sowie ein Handlungsleitfaden zur Umstellung bestehender Netze erarbeitet. Im Fokus stehen dabei die Qualifikation der Leitungen für einen Transport von 10 Vol.-% Wasserstoff im Erdgas sowie die vollständige Umwidmung auf einen Betrieb von 100 Vol.-% Wasserstoff. Im ersten Schritt wird das Ziel der Roadmap festgelegt. Welcher Wasserstoff-Anteil in der Erdgas-Transportleitung gewünscht ist, hat Auswirkung darauf, welcher Pfad verfolgt wird. Soll Wasserstoff mit bis zu 10 Vol.-% dem Erdgas zugemischt werden, wird der Pfad der Qualifizierungsroadmap (kurz: QRM) verfolgt. Soll hingegen reiner Wasserstoff in der bestehenden Leitung transportiert werden, gilt die Umwidmungsroadmap (kurz: URM). Anschließend gilt es die Anpassungsmaßnahmen für das definierte Ziel festzulegen. Es werden dabei acht Themenbereiche unterschieden, die es zu betrachten gilt (siehe Abbildung). Die Beimischung von Wasserstoff wird in Deutschland bereits in geringem Maße praktiziert. Je nach Netzabschnitt sind es bis zu 2 Vol.-% - mitunter sogar bis zu 10 Vol.-% - möglich. Eine Herausforderung stellte die große Inhomogenität des Gasnetzes für H2-PIMS und die allgemeine Umstellung dar. Zurückzuführen ist dies u.a. auf die großen Unterschiede in den verwendeten Materialien und technischen Geräten zwischen West- und Ostdeutschland sowie jeweils innerhalb der Netzgebiete.

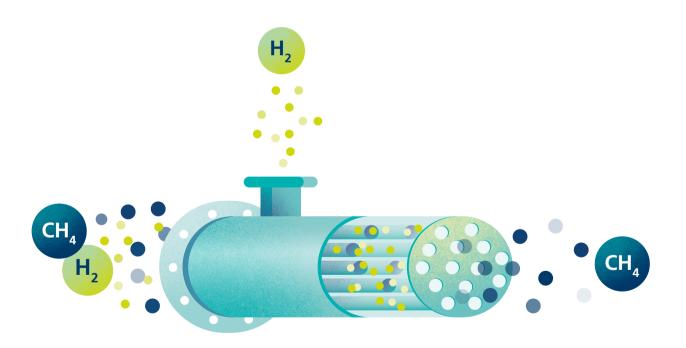
24

2 - Transport und Speicherung

H2-MEM

Trennende Membranen auf dem Weg zur Erdgas-Substitution

Langfristig ist die Nutzung der bestehenden Erdgasinfrastruktur eine technologische und ökonomisch sinnvolle Option zur Speicherung und Verteilung von Grünem Wasserstoff. Bis zur vollständigen Substitution von Erdgas durch Wasserstoff wird es eine langdauernde Übergangsphase geben, in der beide Medien gleichzeitig in den Netzen transportiert werden.



Funktionsprinzip einer Membran: Durch die unterschiedliche Größe der Moleküle können H₂ und CH₄ durch die Membran voneinander getrennt werden.

Entwicklung kostengünstiger Membranen zum gemeinsamen Strom von Erdgas und Wasserstoff

Laufzeit:

12/2015 - 11/2018 (36 Monate)

Fördervolumen: ca. 500.000 EUR

Projektbeteiligte:

- DBI GUT
- Fraunhofer IKTS

→ CNG-Tankstelle

oder auch Erdgastankstelle genannt – nutzt Compressed Natural Gas (CNG). Dabei handelt es sich um komprimiertes Erdgas, das als alternativer Kraftstoff für Erdgasautos eingesetzt wird. Dabei wird das CNG bei einem Druck von 200 bar gasförmig komprimiert getankt. Entsprechend kritisch ist diese Übergangszeit für sogenannte sensible Anwendungen. Die Glasindustrie ist auf sehr hohe und konstante Temperaturen bei ihren Produktionsprozessen angewiesen und benötigt dafür Erdgas aus dem Netz.

25

Herausforderungen bei der Zumischung von Wasserstoff zu Erdgas

Vor allem in der industriellen Endanwendung sind die Verbrennungseigenschaften von Erdgas entscheidend – denn mit Wasserstoff im System können nicht alle Anlagen korrekt betrieben werden. Grenzen dieser fehlenden Flexibilität können durch Schutzmechanismen überwunden werden. Dazu wurden im HYPOS-Projekt H2-MEM spezielle Membranen entwickelt, welche den gemeinsamen Volumenstrom von Erdgas und Wasserstoff für die Endanwendung auftrennen können. Je nach Anwendungsfall kann durch die Membranen Wasserstoff vor Ort angereichert oder abgespalten werden, um somit einen reinen Gasstrom zu erhalten.

Membrantechnologie als zusätzliche Wasserstoff-Transportfunktion im Pipelinenetz

Membranverfahren eignen sich sehr gut für Abtrennungsprozesse. Bezüglich dieser Verfahren ist eine große Materialvielfalt anzumerken. Im Projekt wurden Kohlenstoffmembranen entwickelt, um Wasserstoff-Erdgas-Gemische zu trennen. Dabei wurde am Versuchsaufbau auch mit Realgasen getestet. Ziel ist es, mithilfe der Membranen den Wasserstoffgehalt in Gasgemischen situativ auf unter 1 Vol.-% zu senken bzw. auf über 99 Vol.-% anzureichern. Die Membranen wären damit für den Einsatz an kritischen Erdgasnetz- und Infrastrukturpunkten, wie den CNG-Tankstellen geeignet. Diese erlauben unter derzeitigen Bedingungen lediglich Konzentrationen von unter 2 Vol.-%.

Kostengünstige und energetische sinnvolle Option

Die in H2-MEM zu entwickelnden Kohlenstoffmembranen sind eine kostengünstige, verfahrenstechnisch einfache und energetisch sinnvolle Option beide Energieträger gemeinsam zu speichern, aber getrennt nutzen zu können. Je nach Anforderungsprofil kann die Technologie den Wasserstoffgehalt der ausgespeisten Gasmengen reduzieren oder anreichern. 26 2 – Transport und Speicherung

H2-Netz

Zukünftige Wärmeversorgung in realem Testfeld sicherstellen

Um Sicherheit in der Wärmeversorgung für die Gesellschaft zu gewährleisten und gleichzeitig die Energiewende voranzutreiben, braucht es einen innovativen Ansatz, der sich die existierenden Erdgasverteilnetze zunutze macht. Das HYPOS-Projekt H2-Netz testete im sogenannten »Wasserstoffdorf«, inwieweit ein sicherer und zuverlässiger Transport von Wasserstoff über existierende und zukünftige Netzinfrastrukturen möglich ist.

Praxisrelevante Erkenntnisse durch die Testung im 12.000 m² großen Wasserstoffdorf

Laufzeit:

11/2016 - 12/2021 (62 Monate)

Fördervolumen: ca. 2,0 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- DBI GUTHTWK Leipzig
- MITNETZ GAS

• REHAU SE & Co. KG

TÜV SÜD

Aktuell leisten die Erdgasverteilnetze den sicheren Transport von Erdgas bis zu den Hausbesitzer:innen und stellen so die Wärmebereitstellung sicher. Diese Netze zeichnen sich durch feingliedrigere Strukturen mit geringeren Leitungsdurchmessern und -drücken aus, deren Potenzial für den nachhaltigen Wärmemarkt untersucht wurde.

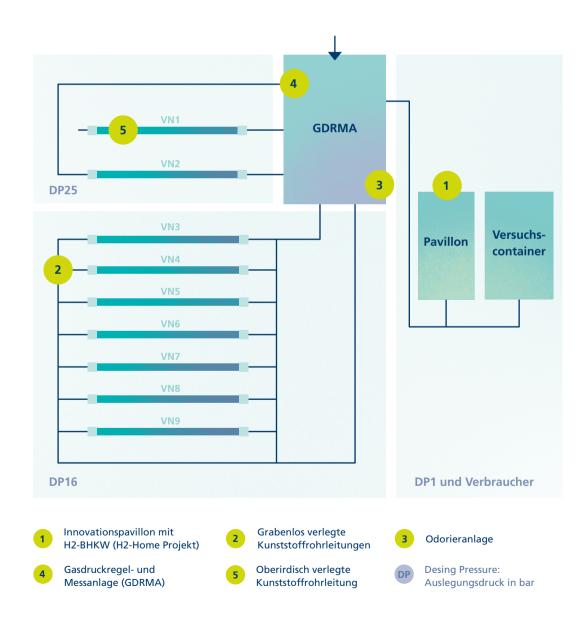
Das Wasserstoffdorf im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen

Das HYPOS-Projekt H2-Netz stellt ein Gasverteilnetz nach, das mit 100 Vol.-% Wasserstoff betrieben wird. Im weltweit einmaligen Forschungsprojekt setzten die Projektbeteiligten dabei entlang der Infrastruktur von 1400 m Leitungslänge fast vollständig auf klassische Erdgastechnik. Die Umsetzung eines realen Testfelds – dem Wasserstoffdorf – machte eine technische, wirtschaftliche und ökologische Bewertung von Wasserstoffinfrastrukturen und die Verwendung von Wasserstoff möglich. So konnten praxisrelevante Erkenntnisse direkt für die zukünftige, leitungsgebundene Versorgung mit 100 Vol.-% Wasserstoff gesammelt werden. Bestandteile der Anlage sind u.a. eine klassische Anlage für die Gasdruckregelung und Gasdruckmessung, hochdichte Kunststoffrohrleitungen, Versuchsstände und mehrere potenzielle Endbrauchende. Die Bauund Genehmigungsplanung sowie die Erstellung einer Bauakte erfolgten analog zu regulären Erdgas-Projekten. Nach Beendigung der Bauphase konnte das H2-Netz im Mai 2019 in Betrieb genommen werden. Im Laufe der Forschung wurden verschiedenste Verlegeverfahren der Rohre und ihre Einflüsse auf die Werkstoffe qualifiziert, relevante Sicherheitstechnik definiert und exemplarische Verbrauchende wie ein Blockheizkraftwerk angeschlossen und langzeitgetestet. Außerdem wurde eine spezifische Odorieranlage für Wasserstoff entwickelt, welche die Riechbarmachung des Gases ermöglicht - was ein sehr wichtiges Kriterium darstellt, um Menschen im Fall von Havarien Gefahr zu signalisieren.

Bildungsprogramme für die Montage und das Ingenieurswesen

Nach Abschluss des Projektes im Jahr 2021 wird die Wasserstoffforschung im Chemiepark fortgesetzt. Im Januar 2022 startete das Folgeprojekt H2INFRA. Im Fokus steht die Sicherstellung der Funktionalität eines H₂-Verteilnetzes – inklusive aller Komponenten unter dynamischen Betriebsbedingungen und auf der Bereitstellung einer extrem hohen Gasqualität und Versorgungssicherheit für zukünftige Anwendungen. Das Ziel ist es, weitere Endverbrauchende anzuschließen und den effizienten und sicheren Betrieb des H₂-Verteilnetzes zu gewährleisten. Die für H2-Netz fertiggestellte Testinfrastruktur bleibt dabei erhalten und wird um Anwendungstechniken aus dem Wärmemarkt und weitere Wasserstoffverbraucher ergänzt. Auf Grundlage der in H2-Netz generierten Ergebnisse und Erfahrungen wurde ein spezielles Bildungsprogramm für Monteur:innen und Ingenieur:innen für das praktische Arbeiten mit Wasserstoff und die Durchführung von Schulungen vor Ort entwickelt.

27



Schematische Darstellung des Wasserstoffdorfs im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen

2 - Transport und Speicherung

MMH2P

Möglichkeiten des dezentralen Transports und der Speicherung

Um die Energiewende zu bewältigen, sollten Elektrizität, Wärmeversorgung, Verkehr und Industrie ganzheitlich betrachtet werden. Vor dem Hintergrund einer solchen Sektorenkopplung ist ein Ausbau der Wasserstofferzeugung und -infrastruktur notwendig. Im HYPOS-Projekt MMH2P wurde ein portabler, modularer Wasserstoffspeicher entwickelt, der künftigen Herausforderungen gerecht werden soll.

Speichersystem für die dezentrale Versorgung

Laufzeit:

03/2019 - 12/2021 (34 Monate)

Fördervolumen: ca. 650.000 EUR

- Projektbeteiligte:
- Anleg GmbHFraunhofer IFF

Mobil und modular: Wasserstoffspeicher für die dezentrale Versorgung

Ziel des Vorhabens MMH2P war es, dezentrale Lösungen für den Transport und die Speicherung von Wasserstoff zu etablieren. Bei bereits bestehenden dezentralen Versorgungskonzepten, wie sie etwa für Industrie- und Gewerbeparks genutzt werden, sind Transportmittel mit großem Ausmaß mengentechnisch nicht sinnvoll und deshalb unwirtschaftlich. Für kleine Versorgungsgebiete mit unter 100 Quadratkilometern fehlt es derzeit an Systemen, die Erneuerbare-Energien-Lösungen unterstützen. Erforderlich ist demnach eine Anpassung zwischen der Wasserstoffinfrastruktur sowie den Erzeugenden und Verbraucher:innen. Weiterhin müssen Ortsparameter integriert werden, um auch Komponenten außerhalb des Netzes durch den Speicher zu versorgen. Branchenübliche Versorgungssysteme wie Pipelines, Flüssigspeicher- oder Gasspeicher – insbesondere transportable Gasspeicher in Form von Stahlflaschen – sind jedoch als Lösung ungeeignet. Genau hier setzte MMH2P an – mit einem portablen, modularen System, das das Gas nutzt, einspeist, transporiert, managt und somit als Service-Speicher-System agiert. Dadurch wird es zum Bindeglied in lokal abgegrenzten Stromnetzen (Mikrogrids) und Kleinsystemen für dezentrale Anwendungen.

Pilottest und Kooperation mit anderen HYPOS-Projektpartnern

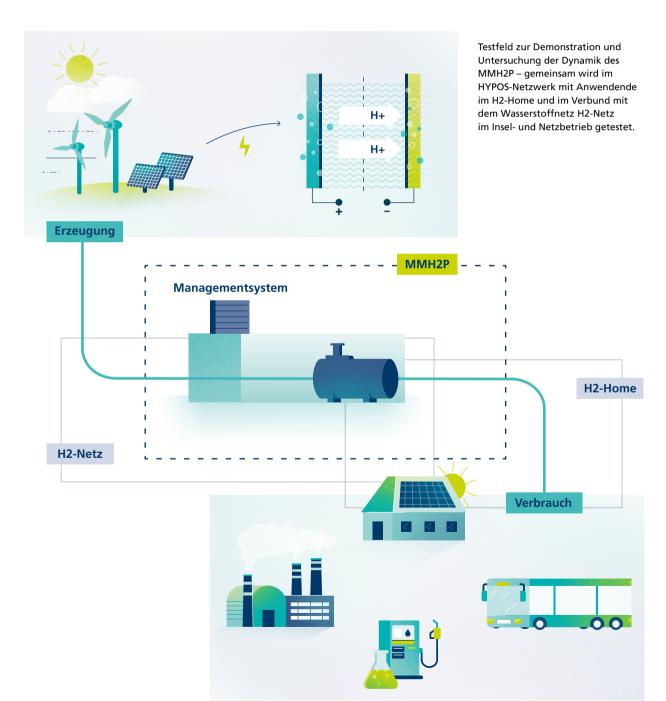
Zur Demonstration und Untersuchung der Dynamik des MMH2P-Systems testeten die Projektbeteiligten den Insel- und Netzbetrieb im HYPOS-Netzwerk gemeinsam mit Anwendenden im HYPOS-Projekt H2-Home (siehe Seite 40) und im Verbund mit dem Wasserstoffnetz (HYPOS-Projekt H2-Netz auf Seite 26). Darüber hinaus wurde ein Inseltestfeld in einem Industriepark – am Beispiel des Industrie- und Gewerbeparks Mittelelbe – integriert. Hier besteht zusätzlich die Möglichkeit, Strom aus erneuerbaren Energien für die Wasserstoffproduktion aus Windenergieanlagen zu beziehen und Wärme in ein Wärmenetz abzugeben mithilfe der Elektrolyse und einem Brennstoffzellenheizkraftwerk. Zudem kann Wasserstoff an die Wasserstofftankstelle bzw. an eine eigene Versorgung

der Mobilität geliefert und dabei der MMH2P inkl. dem Managementsystem zwischen den Nutzenden getestet werden. Auf Basis der im Verbund ermittelten Daten ist dann die Auslegung eines Systems für die einzelnen Anwendungsfälle möglich.

29

Breites Anwendungsfeld - von Tanksystemen bis Telekommunikation

Mögliche weitere Anwendungsfälle für die Ergebnisse des MMH2P-Projekts liegen in der Versorgung von dezentral angesiedelten Fahrzeugflotten in Industrie und Gewerbe ebenso wie bei der Post, der Polizei oder der Feuerwehr. Auch für Fahrzeugnotbetankungen sowie für Notstromsysteme im Telekommunikations-, Notfall- und Eventbereich steckt Potenzial. Stadtwerke, selbstversorgende Kommunen sowie Industrie- und Gewerbeparks mit kleinen Wasserstoffanwendungen sind weitere perspektivische Auftraggebende.



30 2 – Transport und Speicherung

H2-UGS und H2-Forschungskaverne

Unterirdische Speicherung ermöglichen

Als Energiespeicher haben sich Salzkavernen⁷ bewährt. Nach aktuellem Wissensstand bieten sie hervorragende Voraussetzungen, um Grünen Wasserstoff aus stark fluktuierenden Prozessen wie Power-to-Gas langfristig und in großen Mengen zu speichern. Denn zukünftig muss das Gas zentral gespeichert werden, sodass Nachfragespitzen abgedeckt werden können.



Die Kavernenspeicher in Bad Lauchstädt

Rechts: Die aus einer 500 Meter dicken Salzschicht ausgesolten Kavernen befinden sich in einer Tiefe zwischen 765 und 925 Metern.

Links: Bohrungen für einen Porenspeicher, bei dem Gas unter hohem Druck in ein unterirdisches Speichergestein gepresst wird, werden durchgeführt.

H2-UGS: Begleitforschung zur Eignung von Salzkavernen-Untergrundgasspeichern

Laufzeit:

09/2018 - 02/2022 (42 Monate)

Fördervolumen:

ca. 3,3 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- DBI GUT
- · ESK GmbH
- · Fraunhofer IWM
- IfG GmbH
- · Isodetect GmbH
- · MicroPro GmbH
- TU Bergakademie Freiberg
- UFZ
- UGS GmbH

H2-Forschungskaverne: Entwicklung einer H₂-Speicherforschungsplattform (SPF)

Laufzeit:

05/2019 - 07/2021 (27 Monate)

Fördervolumen:

ca. 1 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- DBI GTI
- · Fraunhofer IMWS
- IfG GmbH
- ONTRAS Gastransport GmbH
- · VNG Gasspeicher GmbH

→ Salzkavernen

sind künstlich erzeugte Hohlräume in Salzstöcken, die durch die Gewinnung von Sole – einem Gemisch aus Salz und Wasser – geschaffen werden. Da Europa über viele unterirdische Salzvorkommen verfügt, dienen Kavernen zur Speicherung von Erdöl und Erdgas. Sie können aber auch mit anderen Gasen befüllt werden – z. B. mit Wasserstoff. In den HYPOS-Projekte H2-UGS und H2-Forschungskaverne wurden Forschungsarbeiten zur großvolumigen Untergrundspeicherung von Grünem Wasserstoff in unterirdischen Hohlräumen – den Salzkavernen – gebündelt. Sie sind als Leuchtturmprojekte im Rahmen der HYPOS-Initiative herauszustellen.

31

Fragestellungen und Umsetzung der unterirdischen Speicherung von Wasserstoff

Im Fokus von H2-UGS standen wissenschaftliche Untersuchungen von Untertage- und Obertage-Speicheranlagen. Dabei wurde überprüft, ob sich Kavernenspeicher für eine sichere und effiziente Wasserstoffspeicherung eignen. Das Projekt H2-Forschungskaverne entwickelte eine Speicherforschungsplattform (SPF) und bereitete diese für die Untergrundspeicherung von Wasserstoff in Salzkavernen am Standort Bad Lauchstädt vor. Die Untergrundgasspeicher sind durch ihre natürlichen geologischen Formationen in der Lage, Erdgas in großen Mengen einzulagern. Im Bedarfsfall – wie der Heizperiode im Winter oder Dunkelflauten – können diese Speicher genutzt werden, um ausreichend Erdgas im Netz zu haben. Die großvolumigen Untergrundgasspeicher sind derzeit die einzige Option die Energieversorgungssicherheit bei wachsendem EE-Anteil zu sichern.

Handlungsempfehlungen für Kavernenspeicher

Das Projektteam von H2-UGS leitete aus seinen Erkenntnissen – rund um die Geomechanik, die Mikrobiologie oder der Betriebsführung – wissenschaftlich fundierte Empfehlungen ab und fasste diese in einem Leitfaden zusammen. Mithilfe einer allgemeinen Methodologie können nun konkrete Maßnahmen zur Umnutzung und Neuerrichtung von Wasserstoffkavernen getroffen werden. Das Projekt orientierte sich dabei am Fallbeispiel eines bereits existierenden Speichers in Bad Lauchstädt. Nichtsdestotrotz ermöglicht der Leitfaden eine standortunabhängige Bewertung von Kavernen und hilft Unternehmen, Behörden und Investor:innen potenzielle Maßnahmen schneller umzusetzen.

Erster Speicher für Grünen Wasserstoff in Kontinentaleuropa

H2-UGS diente als Grundlage für das HYPOS-Vorhaben H2-Forschungskaverne. Im Rahmen von H2-Forschungskaverne wurden die Maßnahmen im Reallabor getestet. Das Vorhaben wurde damit ein Leuchtturmprojekt zur Entwicklung und Erprobung von Technologien der großindustriellen Wasserstoffspeicherung aus erneuerbarem Strom. Als Ergebnis wurden die bergrechtlichen Genehmigungsunterlagen für die Zulassung zur Errichtung und Betrieb des H₂-Speichers eingereicht.

Regionale Potenziale nutzen

Die Modellregion Mitteldeutschland ist durch die Chemiestandorte Leuna, Merseburg und Bitterfeld geprägt, die einen hohen Wasserstoffbedarf haben. Vor diesem Hintergrund kommt dem Reallabor Energiepark Bad Lauchstädt mit seinem Kavernenspeicher – die aus einer 500 Meter dicken Salzschicht ausgesolten Kavernen in einer Tiefe zwischen 765 und 925 Metern – eine zentrale Rolle zu. Die Maßnahmen reichen noch weiter: Neben den Speicheranlagen werden am selben Standort ein Windpark zur Stromversorgung und ein dazugehöriger Elektrolyseur mit einer Leistung von 30 MW zur Erzeugung von Grünem Wasserstoff errichtet. Die Kaverne wird damit direkt mit Grünem Wasserstoff versorgt und demonstriert die komplette Wertschöpfungskette bis zur Anwendung. Das Gesamtsystem aller drei Projektphasen demonstriert die Bereitstellung von hochreinem Grünem Wasserstoff für die chemische Industrie sowie für die öffentliche urbane Energieversorgung in den Bereichen der häuslichen, gewerblichen und industriellen Nutzung als auch der Mobilität – und hat internationale Strahlkraft.

2 - Transport und Speicherung

Speicherstudie

Aufmerksamkeit für die notwendige Großspeicherung schaffen

Wasserstoff könnte als Langzeitspeicher für die fluktuierende Erzeugung aus erneuerbaren Energien die Versorgungssicherheit erhöhen. In den sektorbezogenen Wasserstoffstrategien wird jedoch selten ein konkreter Speicherbedarf ausgewiesen. Die Studie zeigt den szenarioabhängigen Einsatz von Großspeichern in einem klimaneutralen Energiesystem auf.

Analyse eines konkreten Förderungsbedarfs für die Speicherinfrastruktur

Laufzeit: 09/2020 – 12/2021 (16 Monate)

Fördervolumen:

Projektbeteiligte:

- Universität Leipzig
- INZIN e.V.

→ Sensitivitätsanalyse

auch Empfindlichkeitsanalyse genannt, ist ein Verfahren, welches helfen soll, die kritischen Werte und den Einfluss einzelner Risiken auf ökonomische Zielgrößen zu untersuchen.

Die Rolle von Großspeichern in zukünftigen Energiesystemen

Im Zentrum der Studie stand die energieökonomische Frage, inwieweit Großspeicher für »grüne Gase« in einem klimaneutralen Energiesystem im Kontext der zukünftig zu erwartenden Veränderungen der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen systemnotwendig oder bei existierenden Alternativen im Vergleich dazu gesamtwirtschaftlich vorteilhaft sind. Der Mangel an Aufmerksamkeit für den infrastrukturellen Teil der Wasserstoffwertschöpfungskette – der Speicherung – zeigt sich auch in der Debatte über öffentliche Fördermittel zur Entwicklung regionaler Wasserstoffmärkte. Oft liegt der Fokus auf der Schließung der Kostenlücke auf der Angebots- und Nachfrageseite bei der Erzeugung und dem Verbrauch von Grünem Wasserstoff. Um die Gesamtkosten der Wasserstoffversorgung widerzuspiegeln, muss jedoch auch die Speicherinfrastruktur berücksichtigt werden. Es wurde ein Energiesystem modelliert, das den Strom- und den Wasserstoffsektor im Jahr 2045 abbildet. Damit kann die Wertschöpfungskette für die Energieträger Strom und Wasserstoff integriert untersucht werden. Mithilfe einer Sensitivitätsanalyse wurde die Unsicherheit in der Projektion einzelner Systemelemente in Form von 192 Modellrechnungen aufgezeigt. Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass sich sowohl im Speichervolumen als auch in der gespeicherten Energiemenge große Unterschiede in den Szenarien ergeben.

Die Einführung von Wasserstoff ist nur mit der Speicherung möglich

Die Ergebnisse unterstützen energiewirtschaftlich Agierende – insbesondere Betreibende von Gasspeichern – bei der Bewertung von Geschäftsmodellen im Zusammenhang mit dem Bau und dem Betrieb von gasbasierten Großspeichern im Kontext zukünftiger energiewirtschaftlicher und -politischer Rahmenbedingungen. Politische Entscheidungsträger:innen erhalten Antworten zu erforderlichen Speicherkapazitäten und damit verbundenen Ausbaupfaden. Die szenarioabhängigen Betriebsparameter der Großspeicher dienen dabei als Grundlage von Kostenschätzungen und Förderbedarfe. Um Fortschritte bei der Einführung von Wasserstoff zu erreichen, müssen staatliche Maßnahmen zur Entwicklung von Märkten für die entsprechenden Endverbrauchssektoren ergriffen werden. Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass die Wertschöpfungsstufe der Speicherung mitgedacht wird.

H2PROGRESS

Lange Haltbarkeit und leichter Transport in Form einer Paste

Als Energieträger wird Wasserstoff üblicherweise gasförmig oder tiefgekühlt flüssig bereitgestellt. Das HYPOS-Projekt H2PROGRESS nutzt ihn hingegen als Paste in einem neuartigen Brennstoffzellen-Energiespeichersystem. Das schafft eine neue Flexibilität in Sachen Energiespeicherung – vor allem in der dezentralen, mobilen und netzunabhängigen Anwendung.

Dezentrales Energiespeichersystem für netzunabhängige und mobile Anwendungen

Laufzeit:

03/2020 - 04/2022 (26 Monate)

Fördervolumen: ca. 920.000 EUR

Projektbeteiligte:

- · Fraunhofer IFAM
- Siemens AG

Technologie für netzunabhängige und mobile Anwendungen

Das Ziel von H2PROGRESS war die Entwicklung und Erprobung eines neuartigen Brennstoffzellen-Energiespeichersystems mit 1 kW elektrischer Leistung. Das genutzte Wasserstoffspeichermaterial ist eine patentierte Entwicklung aus Dresden, die sogenannte »Powerpaste«. Der Clou daran: Der Wasserstoff wird in einer Paste in Form von Magnesiumhydrid gebunden und kann bedarfsgerecht bei Raumtemperatur freigesetzt werden.

33

Lange haltbar und leicht zu transportieren

Die Paste hat eine ähnliche Beschaffenheit wie Zahnpasta und kann in einfachen Kanistern oder Kartuschen transportiert werden. Kommt sie mit Wasser in Kontakt, setzt sie den Wasserstoff wieder frei. Damit dies kontrolliert erfolgt, wird am Ort der Anwendung ein spezieller Wasserstoff-Generator verwendet. Die völlig ungiftige und sichere Powerpaste zeichnet sich durch eine sehr hohe Energiedichte bezogen auf Gewicht und Volumen sowie durch eine extrem lange Haltbarkeit aus. So beträgt der Energiegehalt mehr als das Zehnfache heutiger Lithium-Ionen-Batterien. Im HYPOS-Projekt wurde die Paste nun in einem Gesamtsystem genutzt, das den Wasserstoff in einer PEM-Brennstoffzelle in Strom umwandeln kann.

Powerpaste mit Potenzial

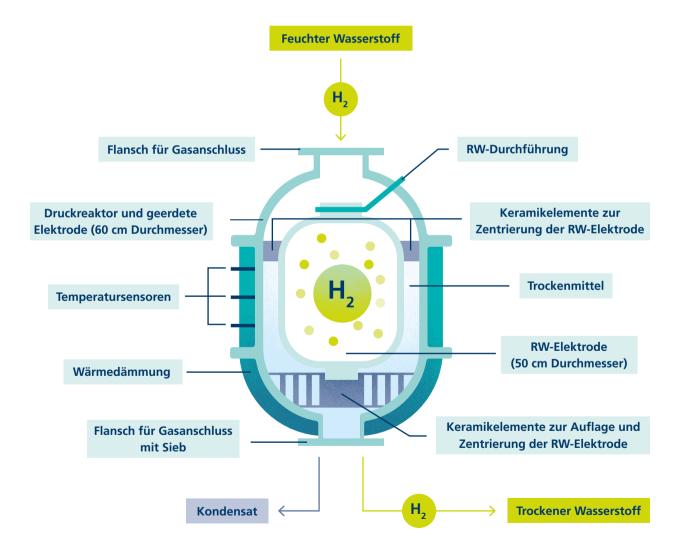
Durch die schnelle Verfügbarkeit großer Energiemengen bei gleichzeitig geringem Gewicht und die Unabhängigkeit vom Stromnetz eignet sich die Technologie vor allem für netzunabhängige und mobile Anwendungen. Mögliche Einsatzgebiete sind unter anderem Backup- und Notfallenergiesysteme, tragbare elektronische Geräte und Ladegeräte, Sensoren, Sonden, Bojen und Lichtsignale sowie die Camping- und Outdoorausrüstung.

34 2 - Transport und Speicherung

RWTrockner

Innovative Technologie für den Trocknungsprozess

Für einen störungsfreien Betrieb vieler technischer Anwendungen bedarf es der entsprechenden Reinheit von Gasen. Für die notwendige Trocknung entwickelte das Projekt RWTrockner eine zukunftsfähige Lösung, die bei den Power-to-Gas-Technologien, speziell im Zusammenhang mit der Wasserelektrolyse oder der Untertagespeicherung und der Mobilität von großer Relevanz ist.



Konzept für den druckfesten Radiowellen (RW)-Reaktor mit zwei elektrisch voneinander isolierten Elektroden und der entsprechenden Peripherie (Hochfrequenz- und Messtechnik)

Einsatz von Radiowellen zur Trocknung von Wasserstoff

Laufzeit:

08/2016 - 07/2021 (60 Monate)

Fördervolumen: ca. 580.000 EUR

Projektbeteiligte:

- · hf sensor GmbH
- Schulz & Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH
- UFZ

Reinheit bezieht sich im Allgemeinen auf die Grenzwerte für die Konzentration von Fremdbestandteilen wie Kohlenmonoxid, Stickstoff, Ammoniak oder Sauerstoff. Die notwenige Reinheit von Wasserstoff hängt dabei stark von der Anwendung ab. In vielen Fällen ist die Feuchte – also der Gehalt an Wasserdampf – ein kritischer Parameter für den späteren Einsatz. Aus diesem Grund ist die Trocknung von Wasserstoff essenziell für viele Einsatzfälle, wobei Restgehalte weit unterhalb des Prozentbereiches (< 1%) erzielt werden müssen. Dies ist z.B. bei der Brennstoffzelle, die Strom für den E-Motor des Autos erzeugt und für Wasserstofftankstellen von großer Wichtigkeit.

Radiowellen für die Wasserstofftrocknung

Ein kostengünstiges und effizientes Verfahren zur Wasserstofftrocknung mittels Radiowellen – mit diesem Ziel ging das HYPOS-Projekt RWTrockner im Jahr 2016 an den Start. Der Feuchtigkeitsgehalt, also der Anteil von Wasser im Wasserstoff, ergibt sich durch vorgelagerte Prozesse und muss in der Regel deutlich reduziert werden. In einem gewissen Maße ist dies durch Temperaturabsenkung oder Druckerhöhung möglich. Meist ist jedoch eine zusätzlich adsorptive Trocknungsstufe erforderlich. So muss Wasserstoff nach der Elektrolyse in den allermeisten Fällen getrocknet werden. Auch bei Wasserstoff aus Salzkavernen ist es vor der Einspeisung in ein Pipelinesystem nötig, ihn zunächst auf die notwendigen Restfeuchten hin zu behandeln. Die nach entsprechenden Regelwerken zulässige Restfeuchte ist dabei von der jeweiligen Anwendung – z.B. der Bereitstellung für Brennstoffzellenfahrzeuge, Tankstellen oder Pipelineanwendungen – abhängig.

Minimierter Energieeintrag – minimierte Kosten

Innovativer Kern des angestrebten Verfahrens ist die effiziente thermische Regenerierung des Trocknungsmittels. Dabei erfolgt die Erwärmung mithilfe elektromagnetischer Felder. Der damit verbundene direkte Energieeintrag in das Volumen verhindert eine örtliche Überhitzung und einen ungewollten Energieaustrag durch ein Heizgas. Das minimiert den insgesamt erforderlichen Energieeintrag und spart Energiekosten. Weitere Einsparpotenziale entstehen, wenn die Wärme selektiv in das Trockenmittel eingebracht wird und nur feuchte Bereiche des Reaktors erwärmt werden.

Lohnender Einsatz bei großen Systemen

Die vom Projektteam RWTrockner entwickelte Technologie mittels Radiowellen bietet einige technische Vorteile für die Trocknung selbst, allerdings ist sie in ihrem Systemaufbau aber auch vergleichsweise komplex und hinsichtlich der Alltagsinvestition teuer. Entsprechend lohnen sich derartige Systeme vor allem beim Einsatz für große Volumenströme und insbesondere bei Untergrundgasspeichern, die sehr große Mengen Wasserstoff ein- und ausspeichern.

36 2 – Transport und Speicherung

H2-HD

Höhere Speicherkapazität für mehr Versorgungssicherheit

Für die Nutzung von Grünem Wasserstoff im Bereich Mobilität sind spezifische Speicherbehälter nötig. Diese beinhalten den Treibstoff – ähnlich wie ein Öltank bei einem konventionellen Fahrzeug. Das HYPOS-Vorhaben H2-HD arbeitete an leistungsfähigen Tanksystemen mit hoher H₂-Speicherdichte – die Ummantelung eines Kunststoff-Hybridtanks stand dabei im Fokus der Forschung.

Entwicklung moderner Kunststoff-Hybrid-Hochdruck-Tanksysteme

Laufzeit: 12/2018 - 03/2022 (40 Monate)

Fördervolumen: ca. 1,5 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- Fraunhofer IMWS
- Fraunhofer IWM
- RayScan Technologies GmbH
- Hexagon Purus GmbH

Damit der Grüne Wasserstoff bis zu den Endkund:innen in ländlichen Gebieten oder zu Tankstellen in der Innenstadt gelangen und kurzfristig zwischengelagert werden kann, sind entsprechende Speicher- und Transporttanks notwendig. Diese Speicherbehälter kommen in unterschiedlichen Größen, Druckstufen und Materialien vor. Sie müssen über unzählige Speicherzyklen sicher und zuverlässig funktionieren, wenig Eigengewicht aufweisen und ein möglichst hohes Speicherpotenzial bieten. Da gasförmiger Wasserstoff eine geringe volumenspezifische Energiedichte hat, bieten Hochdrucktanks eine praktikable Speicherlösung. Der Wasserstoff wird darin hoch komprimiert. In einen gleich großen Tank passt bei 1000 bar fast 600-mal so viel Wasserstoff wie im unkomprimierten Zustand und mehr als doppelt so viel wie in einen 350-bar-Behälter.

Zuverlässig und effizient: Kunststoff-Hybrid-Hochdruck-Tanksysteme

Ziel des Forschungsprojektes H2-HD war die Weiterentwicklung von Kunststoff-Hybridtanks für Betriebsdrücke bis zu 1000 bar. Ummantelt werden solche Behälter von einem kohlenstofffaser-verstärkten Kunststoff (CFK). Um die Effizienz der Hochdruckbehälter zu steigern, erforschten die Projektbeteiligten das werkstoffmechanische Verhalten des Verbundstoff-Laminats auf mikro-, meso- und makroskopischer Ebene und analysierten dabei die Auswirkungen von Schädigungen und fertigungsbedingten Fehlstellen. So wurde z.B. ein verbessertes thermoplastisches Liner-Material entwickelt und in das Behälterkonzept integriert, das auch bei hohen Speicherdrücken eine niedrige Wasserstoffpermeationsrate sicherstellt. Auf Basis des Materialverständnisses bis hin zur Mikrostruktur der eingesetzten Werkstoffe wurde ein neuartiges makroskopisches und für die verlässliche Vorhersage des Bauteilverhaltens anwendbares Schädigungsmaterialmodell entwickelt. Außerdem kamen zahlreiche – vor allem zerstörungsfreie – Prüfverfahren zum Einsatz, die im Zuge des Projekts ebenfalls weiterentwickelt wurden.

Im Mittelpunkt der Untersuchung standen Werkstoffkonzepte mit Blick auf den Multimaterialcharakter des Druckbehälters – insbesondere in Bezug auf dessen betriebsbedingte Alterung und dessen spezifische Anforderungen in Kontakt mit hochverdichtetem Wasserstoff. Ziel sind Konzepte für eine effiziente 3D-Röntgen-Prüfung, die eine hundertprozentige Qualitätsüberwachung produktionsbegleitend im späteren Serien-Fertigungsprozess von Kunststoff-Hybrid-Druckbehältern möglich machen.

37

Eine Herausforderung für die Dichtungstechnik - Betriebsdrücke bis 1000 bar

Auf dem Markt sind Druckbehälter mit 200 bis 350 bar - teilweise 500 bar - üblich. Dieser Wert sollte deutlich gesteigert werden - und die Masse dabei nicht zunehmen. In der Kombination von neuen Auslegungs- und Analysemethoden mit verbesserten Fertigungstechnologien konnte im Projekt die Masse von CFK am Beispiel eines 700 bar Hochdrucktanks sukzessive um etwa 20 Prozent reduziert und so die Speicherdichte deutlich erhöht werden. Darauf basierend erfolgte die Auslegung und Validierung eines H.-Druckbehälters mit einem Betriebsdruck von 1000 bar. Um die Menge an transportiertem Wasserstoff zu steigern, sind höhere Speicherdichten ein ausschlaggebender Punkt. Hochdruckbehälter mit Betriebsdrücken von bis zu 1000 bar erfordern erhöhte Investitionskosten in Form von Material- und Fertigungskosten. Eine Weiterentwicklung dieser Behälter ist somit nicht nur für den sicheren Betrieb, sondern auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht notwendig. Durch sichere und leichte Hochdrucktanks kann das ökologische Potenzial von Grünem Wasserstoff gesteigert werden. Für den Transport der gleichen Menge an Energie sind folgend weniger Fahrten nötig und die Anwendung in verschiedensten Bereichen wird attraktiver.

Attraktive Lösung für die Mobilität und die Speicherung

Die Chancen und Einsatzmöglichkeiten des Wasserstofftanks sind vielfältig, denn die Hochdruckbehälter ermöglichen große Mengen Grünen Wasserstoffs ohne vorhandene Leitungsnetze zu transportieren. Im Mobilitätsbereich stellen sie insbesondere für den Straßen- und Schienentransport eine attraktive Möglichkeit dar. Auch finden sie ihre Anwendung als großskalige Lösung für Obertagegasspeicher. Die Tanks eignen sich außerdem als Zwischen- und Pufferspeicher – sie können in vorhandene Systeme integriert werden, um so langfristig dezentral große Mengen Grünen Wasserstoffs zu speichern und die Infrastruktur weiter auszubauen.

38 3 – Verwertung und Vertrieb

3 Vielseitigkeit in der Verwertung und im Vertrieb

Wasserstoff ist seit Beginn der industriellen Revolution einer der wichtigsten Bestandteile industrieller Prozesse und Technologien. Als Grundstoff und Produktionsmittel wird Wasserstoff in vielen Gebieten verwendet – und steht damit am Anfang einer langen Wertschöpfungskette, auf deren Anwendungsmöglichkeiten die HYPOS-Initiative in den Forschungsprojekten ihren Fokus gelegt hat.



Vielseitige Anwendungs- und Forschungsgebiete

Die hauptsächlichen Anwendungsgebiete sind die Bereiche der Industrie, des Mobilitätssektors, der Stromerzeugung sowie des Wärmemarkts. Wasserstoff ist dabei immer in Kombination mit Kohlenstoff zu sehen, sodass sich ganz unterschiedliche und neue Standorte für eine kombinierte Wasserstoffproduktion und -verwertung ergeben können. Im Bereich der Verwertung und des Vertriebs werden spezifische Produktionsverfahren für die anschließende Wasserstoffverwendung erforscht. Dazu gehören Methanol, synthetisches Kerosin und höherwertige Kohlenwasserstoffe wie synthetische Wachse. Da Wasserstoff vor allem in der chemischen Industrie zum Einsatz kommt – wie z. B. in der Herstellung von synthetischen Kraftstoffen – widmet sich eines der Forschungsvorhaben von HYPOS der Kerosinsynthesetechnologie auf Basis von Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff. Zusätzlich ist Wasserstoff als Energieträger zur Wärme- und Energiebereitstellung Teil dieses Forschungsfeldes, da er als Speicher sowie Produzent elektrischer Energie in vielen Industriezweigen verwendet werden kann. So lassen sich mittels Brennstoffzellen aus Wasserstoff auch Strom und Wärme gewinnen. Das wasserstoffbasierte Brennstoffzellsystem, das im Rahmen eines Forschungsprojekts entwickelt und getestet wurde, stellt dabei nur einen Ansatz von HYPOS dar, Mehrfamilienhäuser und Gewerbeeinrichtungen nachhaltig und sicher mit Wärme und Energie zu versorgen. Im Bereich der Mobilität wurde die Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff, der Umsetzung der Brennstoffzelle sowie der Ausbau eines Wasserstoff-Tankstellennetz erforscht. Herauszustellen ist dabei das dezentrale Anlagenkonzept für die Wasserstoffnutzung in Fahrzeugen. Mithilfe dessen wird Grüner Wasserstoff nicht nur erzeugt, zwischenspeichert und Fahrer:innen zur Verfügung gestellt, sondern es unterstützt angeschlossen an ein Klärwerk ebenso bei der Abwasserreinigung.

39

Das große Potenzial von Wasserstoff

Wasserstoff birgt als vielseitig einsetzbarer Energieträger große Potenziale auf dem Weg zu einer klimaneutralen Energieversorgung. Umso wichtiger ist die Erforschung dieser Potenziale und Anwendungsmöglichkeiten – denn es bestehen ebenso eine Vielzahl an Herausforderungen – wie die Vereinbarkeit und Kompatibilität mit fossilen Systemen, den Eigenschaften von Wasserstoff sowie die Energiewende mit Versorgungssicherheit zu gestalten.



3 - Verwertung und Vertrieb

H2-Home & H2-Home Opti

Wärme und Strom in Haushalten dezentral sichern

Entscheidend für die Energiewende ist die Frage, wie wir in Zukunft leben und arbeiten werden. Hier kann Wasserstoff eine wichtige Rolle in der Wärme- und Strombereitstellung spielen wie die HYPOS-Projekte H2-Home und H2-Home OPTI zeigen. Dabei wurden innovative stationäre Lösungsansätze für den Wohnbereich entwickelt, die weit über den aktuellen Stand der Technik hinausgehen.

H2-Home: Entwicklung eines neuartigen H₂-BHKW für das Wohnen der Zukunft

Laufzeit:

09/2016 – 11/2018 und 05/2019 – 08/2021 (insgesamt 55 Monate)

Fördervolumen:

ca. 1,3 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- DBI GUT
- ENASYS GmbH
- inhouse engineering GmbH
- Fraunhofer IMWS
- TU Bergakademie Freiberg

H2-Home Opti: Schnittstellenoptimierung zwischen BHKW und künftigem Wasserstoffnetz

Laufzeit:

03/2021 - 01/2022 (15 Monate)

Fördervolumen: ca. 110.000 EUR

Projektbeteiligte:

- DBI GUT
- · inhouse engineering GmbH

Blockheizkraftwerke sind kleine Energieerzeuger, die Quartiere oder auch einzelne Häuser mit Wärme und Strom versorgen. Sie nutzen häufig Energieträger wie Erdgas – oder wie das Projekt H2-Home demonstriert künftig auch Wasserstoff.

Blockheizkraftwerke als Bestandteil der Energiewende

Ziel des Projektes H2-Home war die Entwicklung und Demonstration eines integrativen Systems zur Bereitstellung von Strom und Wärme für Mehrfamilienhäuser und Gewerbeeinrichtungen. Dieses System wurde in Form eines Wasserstoff-Blockheizkraftwerks realisiert. Blockheizkraftwerke (BHKW) machen sich den Effekt zunutze, dass beim Verfeuern der Brennstoffe nicht nur Strom, sondern auch viel Wärme entsteht. Diese Wärmeenergie kann direkt im Haus genutzt werden. Ein BHKW ist damit eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage und ermöglicht eine enorme Steigerung des Gesamtwirkungsgrades auf 80 bis über 90 Prozent der Primärenergie. Herkömmliche zentrale Großkraftwerke mit langen Leitungen bis zu den Endverbraucher:innen erreichen dagegen häufig Wirkungsgrade von nur etwa 45 Prozent.

Dezentrale Energieversorgung mit Wasserstoff-Brennstoffzellen

Die Forscher:innen von H2-Home entwickelten ein wasserstoffbasiertes Brennstoffzellensystem mit gebäudeintegrierter Kraft-Wärme-Kopplung, das weit über den aktuellen Stand der Technik hinausgeht. Es verfügt im Grad der Gebäudeintegration und der damit zu erwartenden Effizienzsteigerung der Wasserstoffnutzung über erhebliche Alleinstellungsmerkmale gegenüber bisherigen Forschungsansätzen. In Kooperation mit dem HYPOS-Projekt H2-Netz wird das H₂-BHKW als potenzieller H₂-Verbrauchender auf dem Versuchsgelände in Bitterfeld-Wolfen mit Wasserstoff versorgt. Dabei werden spezifische Schnittstellenprobleme der Wasserstoffnutzung in Gebäuden projektübergreifend gelöst – das Vorhaben ist somit essenziell für die HYPOS-Gesamtstrategie. Zu den Schnittstellenproblemen zählen vor allem Fragen zum H₂-Gasanschluss und den technischen Parametern zu Druckniveau, Wasserstoffqualität, Sicherheit und Odorierung ⁷. Auch für das Folgeprojekt H2-INFRA bleibt das Versuchs-

→ Odorierung

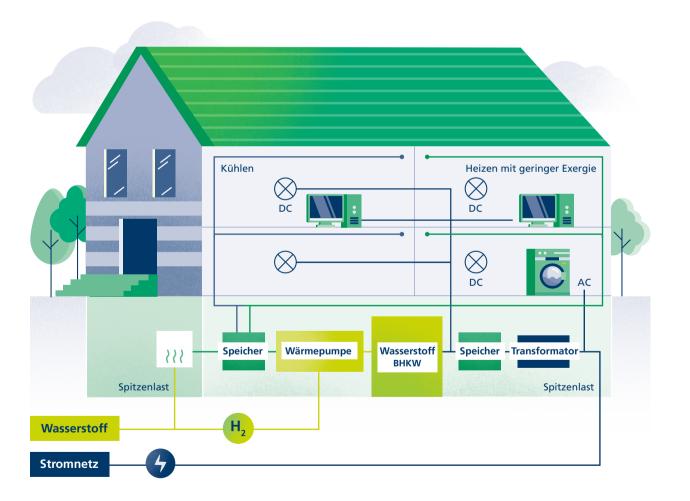
bedeutet das Riechbarmachen von Gasen mithilfe von geruchsintensiven Substanzen – den sogenannten Odoriermitteln. In der öffentlichen Gasversorgung dient der Prozess als wichtige Sicherheitsmaßnahme, um unbeabsichtigte Gasaustritte frühzeitig zu erkennen. Im Wasserstoffdorf wird es jedoch nur für den reinen Forschungszweck erprobt.

gelände im Einsatz. Im Rahmen dessen sollen Anwendungstechnik für Haushalt und Gewerbe auf Wasserstoffeignung getestet und weitere Betriebserfahrungen bei der Versorgung von Endverbraucher:innen gesammelt werden.

41

Noch besser, noch effizienter: Folgeprojekt ermittelt Optimierungsansätze

Das Anschlussvorhaben H2-Home Opti setzte diese Entwicklungen fort. Der Schwerpunkt lag auf der Optimierung der Schnittstelle zwischen BHKW und künftigem Wasserstoffnetz. So sollten das Druckniveau des Wasserstoffanschlusses deutlich abgesenkt und der Betrieb mit odoriertem Wasserstoffbzw. dessen effiziente Vorreinigung untersucht werden. Letzteres ist vor allem dann notwendig, wenn Fremdbestandteile des Odoriermittels 7, z.B. Schwefel, die Brennstoffzelle des BHWK langfristig schädigen könnten. In Verbindung mit H2-Home stellte das Vorhaben eine sinnvolle Endnutzung von Grünem Wasserstoff in der Gebäudeenergieversorgung mit Strom und Wärme dar und schließt damit die Wasserstoffwertschöpfungskette – ganz im Sinne von HYPOS.



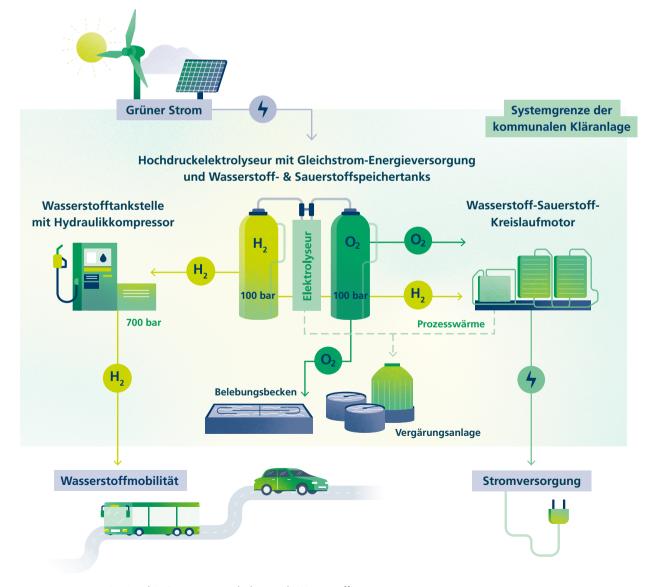
Das H2-Home-System zur Objektversorgung auf Basis von Grünem Wasserstoff und optimierten Betriebsregimen

42

LocalHy

Innovatives System für dezentrale Anwendungen

Der Verkehrssektor ist für ca. 20 Prozent der deutschen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Für wasserstoffbetriebene Pkws muss die Möglichkeit zur Betankung ausgebaut werden. Dabei bietet das LocalHy-System eine einzigartige, dezentrale und lokale Lösung an – die neben dem Bereich Mobilität auch die gesamte Wertschöpfungskette von dezentralen Wasserstoffanwendungen mit der kommunalen Abwasserbehandlung nachhaltig verbindet.



Das LocalHy-Gesamtsystem als dezentrale Wasserstofflösung auf einer kommunalen Kläranlage

3 - Verwertung und Vertrieb

43

Erstes dezentrales Power-to-Gas-System zur Reduzierung von Emissionen

Laufzeit

08/2015 - 10/2020

Fördervolumen

ca. 3,8 Mio. EUR

Projektbeteiligte

- · Bauhaus-Universität Weimar
- Fraunhofer IMWS
- · ISLE GmbH
- Kyros Hydrogen Solutions
- sera
- · Wasserwerke Sonneberg
- WTZ Roßlau

Das LocalHy-System stellt weltweit das erste Power-to-Gas-System dar, das gleichzeitig die Verbesserung der Energieeffizienz und die Reduzierung von Emissionen in einem dezentralen Maßstab anstrebt, um Lösungen in den Bereichen der Energiewirtschaft, Mobilität und kommunalen Abwasserbehandlung zu liefern.

Dezentrale Erzeugung und Nutzung von Grünem Wasserstoff

Dabei stand die dezentrale Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff im Zentrum des HYPOS-Projekt LocalHy. Mit dem Ansatz eines dezentralen Systems wird eine lokale Wertschöpfung ermöglicht und – neben einem wirksamen Umwelt-, Gewässer- und Klimaschutz – auch eine nachhaltige Entwicklung auf lokaler Ebene gefördert. Das System diente der Entwicklung von Bausteinen der Wasserstoffwirtschaft und ihrer Zusammenfügung in ein System für eine dezentrale Nutzung. Das Ergebnis stellte eine Wasserstoffelektrolyse-Versuchsanlage dar, die die Aspekte der Wasserstoffwirtschaft von der Erzeugung bis zur Elektrolysesauerstoffnutzung untersuchte sowie die Wasserstoffverwertung durch Rückverstromung und für Mobilitätszwecke praxisorientiert entwickelte und testete. Das System kann nun beliebig in seiner Leistung skaliert werden, ist modular und im Siedlungsumfeld dezentral einsetzbar.

Wasserelektrolyse-Versuchsanlage mit kombinierter Wasserstoff- und Sauerstoffnutzung

Dabei handelt es sich um eine Anlagenkombination, die mittels eines Hochdruck-Elektrolyseurs mit 100 bar aus Grünem Strom Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt wird. Der Wasserstoff wird anschließend in einem geeigneten Speichersystem zwischengespeichert und kann an einer neuartigen Wasserstofftankstelle zur Betankung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen genutzt werden. Außerdem existiert eine Rückverstromungseinheit auf Basis einer speziell auf Wasserstoff umgerüsteten Verbrennungskraftmaschine – einem neu entwickelten Wasserstoff-Sauerstoff-Kreislaufmotor. Diese Anlagen wurden an Standorten mit der Verbindung zu Klärwerken errichtet, welche wiederum den bei der Elektrolyse – neben dem Wasserstoff – anfallenden Sauerstoff für die Abwasserreinigung nutzten. Darüber hinaus wurde der Wasserstoff für den stabilen Betrieb des Elektrizitätsnetzes rückverstromt. Perspektivisch ist die Beheizung von Gebäuden mit Wasserstoff möglich. Die gesamte Anlage wurde als Demonstrator in der Kläranlage Sonneberg-Heubisch in Südthüringen zusammengeführt, installiert, betrieben und evaluiert.

4 3 – Verwertung und Vertrieb

ImplaN

Ausbau von Wasserstoff-Tankstellen in ganz Deutschland

Um einen Brennstoffzellen-PKW mit Wasserstoff zu betanken, müssen deren Fahrer:innen aktuell noch große Umwege in Kauf nehmen. Es wird eine Infrastruktur benötigt, die die Auslastung und Wirtschaftlichkeit für Tankstellen erhöht und so den Umstieg auf Wasserstoff im Mobilitätsbereich vorantreibt – genau darauf liegt der Fokus im HYPOS-Projekt ImplaN.

Zukunftsfähige Tankstelleninfrastruktur für Wasserstoffmobilität

Laufzeit:

10/2016 - 03/2019 (30 Monate)

Fördervolumen: ca. 340.000 EUR

Projektbeteiligte:

· Reiner Lemoine Institut

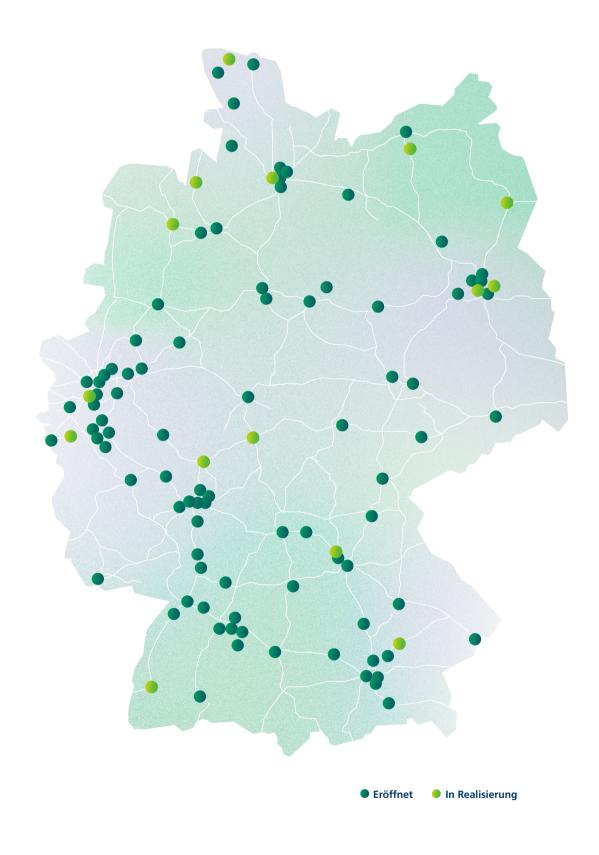
Während das Projekt mit 15 $\rm{H_2}$ -Tankstellen in ganz Deutschland startete, sind mittlerweile über 160 eröffnet sowie über 50 Tankstellen in Realisierung. Die Grundlagen für eine Wasserstoffmobilität sind so geschaffen – die ebenso die Wege der nutzenden Fahrer:innen verkürzen.

Zukunftsfähige Infrastruktur für Wasserstoffmobilität

Ziel des Vorhabens ImplaN – kurz für Initialinfrastruktur für Wasserstoffmobilität auf Basis planbarer Nachfrager – war es, planbare Abnehmende zu identifizieren, die bereits die Grundauslastung eines initialen Tankstellennetzes für Wasserstoff und damit dessen wirtschaftlichen Betrieb gewährleisten können. Denn Tankstellen haben keinen Anreiz, Wasserstoff anzubieten, solange keine Nachfrage besteht. Potentieller Kundschaft fehlt der Anreiz ein Wasserstofffahrzeug zu kaufen, solange keine Tankinfrastruktur existiert. Die von ImplaN identifizierten Abnehmende sind in erster Linie Flottenbetreibende, deren Fahrzeuge Strecken und Nutzungsdauer aufweisen, die stets ähnlich und somit gut planbar sind. Dazu gehören etwa Busse, Taxis und Carsharing-Flotten. Fahren diese mit Wasserstoff, ergeben sich für Tankstellen verlässliche Kund:innen. Außerdem benötigen Flotten im Gegensatz zum privaten PKW nur eine lokal begrenzte Infrastruktur, die sich somit vergleichsweise einfach Schritt für Schritt aufbauen lässt.

Erhöhte Auslastung und Wirtschaftlichkeit für Tankstellen

Am Ende dieses Aufbauprozesses steht idealerweise ein Tankstellennetz, das auch privaten PKW-Nutzer:innen zugutekommt. Im Projekt ImplaN wurden daher konkrete Umsetzungsmöglichkeiten für Kombinationen aus Fahrzeugflotten und Tankstellen ausgemacht – denn der Einsatz von Flotten kann die Wirtschaftlichekit von Wasserstofftankstellen verbessern. Das wünschenswerte Ergebnis ist eine erhöhte Auslastung der Tankstellen und eine entsprechend gute Wirtschaftlichkeit für die Betreibenden.



Deutschlandkarte mit Darstellung aller PKW-Wasserstofftankstellen (Stand: 2022)

3 – Verwertung und Vertrieb

COOMet

Methanol als nachhaltiger Chemierohstoff und Energielieferant

Methanol ist eine der am häufigsten in der Industrie verwendeten Chemikalien und wird für zahllose Produktionsanwendungen gebraucht. Außerdem ist es ein Brennstoff, der oft als Zusatz oder kompletter Ersatz für konventionelle fossile Brennstoffe dient. Bei der regulären Erzeugung kommen jedoch fossile Rohstoffe zum Einsatz, sodass erhebliche Mengen an Treibhausgasen freigesetzt werden.

Entwicklung eines neuen Niedertemperaturverfahrens zur Methanol-Synthese aus CO₂

Laufzeit:

03/2017 - 10/2020 (44 Monate)

Fördervolumen: ca. 950.000 EUR

Projektheteiligte:

- DBI GUT
- Griesemann Engineering GmbH & Co. KG
- · amtech GmbH
- TU Bergakademie Freiberg

Eine nachhaltige Produktion dieses Rohstoffs scheint unabdingbar, denn mit Methanol lassen sich über verschiedene Zwischenprodukte sehr viele Anwendungsbereiche erschließen. Dazu zählen u.a. Kunststoffe, Reinigungsmittel oder Baustoffe. Außerdem lässt sich Methanol direkt – z.B. als Zumischung oder in Brennstoffzellen – oder über Derivate im Treibstoffmarkt verankern.

Eine umweltfreundliche, grüne Variante des Chemierohstoffs

Auch im Mitteldeutschen Chemiedreieck werden große Mengen an Methanol hergestellt. Die Herausforderung liegt also darin, einen Ersatz für das Synthesegas aus fossilen Quellen zu finden. Mit einem innovativen Verfahren, welches im HYPOS-Projekt COOMet entwickelt wurde, lässt sich kostengünstig eine dezentrale Methanol-Produktion an Bio- oder Klärgasanlagen integrieren. Die Ausgangsstoffe, Elektrolyse-H₂ und biogenes CO₂, sind beide nachhaltig, womit das Produkt Methanol komplett aus regenerativen Rohstoffen und erneuerbarer Energie gewonnen wird. Das regenerativ erzeugte Methanol ist damit als Basischemikalie ein wichtiger Schlüssel für eine Defossilisierung der Chemieindustrie.

Gekoppeltes Verfahren zur Nutzung von ${\rm CO_2}$ für eine optimierte Methanol-Herstellung

Im Rahmen von COOMet wurde ein kontinuierlicher Niedertemperaturprozess zur Methanol-Herstellung entwickelt, der die normalerweise getrennten Prozessschritte CO₂-Abtrennung und CO₂-Hydrierung in einem Prozessschritt bündelt. Hierbei wurde der thermische Abtrennungsschritt zur Gewinnung des reinen CO₂ aus der Aminwaschlösung ausgespart und stattdessen das noch im Amin gebundene CO₂ katalytisch direkt zum Produkt umgesetzt. Die Entwicklung eines neuen Niedertemperaturverfahrens zur Methanol-Synthese aus CO₂ hat das Potenzial für eine großskalige Produktion von Methanol. Gelingt der kontinuierliche Betrieb in der Technikumsanlage, sind Voraussetzungen für eine Hochskalierung zu einer Demonstrationsanlage geschaffen. Die Betriebserfahrungen der Technikumsanlage lieferten dabei wichtige Aussagen zur Raum-Zeit-Ausbeute, Stabilität der Katalysatoren und Absorbentien, die folgend auf eine Demonstrationsanlage mit einem geringen technischem Risiko übertragen werden konnten.

Hythanol eCO2

Attraktivität von Wasserstoff in der Wirtschaft steigern

Im HYPOS-Projekt Hythanol eCO2 wird das Verfahren zur Erzeugung von nachhaltigem Methanol signifikant verbessert. Das Projekt ermöglicht eine variablere und intensivere Wasserstoffnutzung. Außerdem wird die Speicherung von Wasserstoff in Form von flüssigem Methanol ermöglicht. Durch dieses Forschungsprojekt wird die Methanolsynthese aus regenerativen Quellen und CO₂ ökonomisch attraktiver.

Entwicklung von Membran-Katalysator-Kombinationen

Laufzeit:

09/2018 - 12/2021 (40 Monate)

Fördervolumen:

ca. 1,7 Mio. €

Projektbeteiligte:

- DBI GUT
- · Fraunhofer IKTS
- LIKAT Rostock
- MUW Screentec GmbH

Methanol als Speicher von Wasserstoff

Im Rahmen des Projektes Hythanol eCO2 wurde ein Reaktor- und Prozesskonzept zur Erzeugung von Methanol aus regenerativem Wasserstoff und dem »Abfallstoff« Kohlenstoffdioxid entwickelt. Dabei wurde die Kopplung der katalytischen Reaktoren mit zwei stoffselektiven Membranen angestrebt. Die Grundlage stellt die Beeinflussung der Reaktion hinsichtlich Temperaturprofil und chemischer Gleichgewichtslage dar. Die Membranen sollen das thermodynamische Gleichgewicht der Reaktion von CO₂ mit H₂ zu Methanol und Wasserdampf verschieben. Dies kann durch Entnahme eines Reaktionsproduktes aus dem Reaktionsraum – hier dem Wasser – und der gesteuerten Zufuhr der Ausgangsprodukte erfolgen. Der Kerngedanke ist also, mehr Methanol mit geringerem Wasseranteil zu erzeugen, als es im konventionellen Fall möglich ist.

47

Grüner Wasserstoff als Ausgangsprodukt wird ökonomisch attraktiv

Durch die produktivere Erzeugung von Methanol und geringerem Wasseranteil soll die Reaktion auch mit teureren Ausgangsprodukten wie Grünem Wasserstoff - im Vergleich zum fossilen grauen Wasserstoff - wirtschaftlich durchgeführt werden können. Dafür wurden Membranen und Membran-Katalysator-Kombinationen entwickelt und verfahrenstechnisch gekoppelt. Dies wurden anschließend unter Realbedingungen getestet und auf Praxistauglichkeit geprüft. Das Gesamtverfahrenskonzept soll die Einbindung einer breiten Palette von CO₃-Quellen erlauben. Durch ein Screening wurde ein neuartiger Katalysator identifiziert, der unter optimierten Reaktionsbedingungen eine höhere Methanol-Ausbeute im Vergleich zum Stand der Technik aufweist. Dieser Katalysator wurde starken dynamischen Veränderungen spezifischer technischer Parameter wie der Gasgeschwindigkeit, der Temperatur und des Drucks unterworfen. Somit konnte ein realer Einsatz simuliert werden. Bei wiederholten Messungen mit konstanten Reaktionsparametern wurde nach 80 Tagen ein nur geringer Rückgang des Umsatzes festgestellt. Unter diesen variierenden Bedingungen konnte also nach einer Anlaufphase ein nahezu konstantes Langzeitverhalten des Katalysators gehalten werden.

Entwicklung neuer Katalysatoren und Membranen

Vor allem die Entwicklung mehrere Generationen von Membranreaktoren im Rahmen von des HYPOS-Projekts Hythanol eCO2 hat dem Stand der Technik neues Innovationspotenzial verliehen. Die Erfahrungen aus dem HYPOS-Projekt werden in konkreten Folgeprojekten zur Methanol-Synthese unter Einbezug von Membranreaktoren genutzt.

3 - Verwertung und Vertrieb

eKeroSyn

Kerosin für die Luftfahrt klimafreundlich herstellen

Auf dem Weg in die CO₂-neutrale Gesellschaft unterstützen Power-to-X-Prozesse (PtX 7) bei der Verzahnung unterschiedlicher Sektoren. Aus Wind- oder Sonnenenergie lassen sich synthetische Kraftstoffe herstellen, die klimafreundliche Mobilität und Gütertransporte ohne zusätzliche Treibhausgasemissionen ermöglichen. Dabei hat die Kerosinherstellung großes Potenzial.

Neue Kerosinsynthesetechnologie auf Basis von Kohlenstoffdioxid und Grünem Wasserstoff

Laufzeit:

01/2018 - 12/2018

Fördervolumen: ca. 360.000 EUR

Projektbeteiligte:

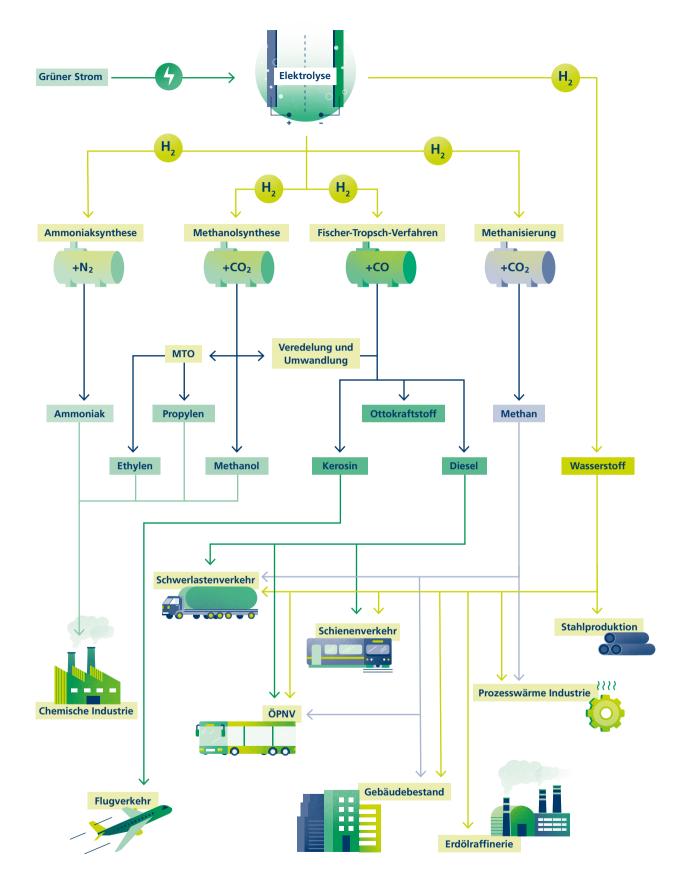
· TU Bergakademie Freiberg

→ Power-to-X-Prozesse (PtX) sind Verfahren zur Umwandlung von erneuerbarer Energie in chemische Energieträger.

Kerosin kommt hauptsächlich als Kraftstoff für die Gasturbinentriebwerke von Düsen- und Propellerturbinenflugzeugen sowie Hubschraubern zum Einsatz.

Neue Kerosinsynthesetechnologie auf Basis von CO, und e-H,

Das HYPOS-Projekt eKeroSyn bewertete die technischen und wirtschaftlichen Vorteile eines spezifischen innovativen Verfahrens in dem Bereich der Kerosinherstellung. Hierzu wurde unter anderem die Fischer-Tropsch-Synthese (FTS) betrachtet. Sie stellt ein etabliertes Verfahren der chemischen Industrie dar, bei dem im Reaktor der Syntheseanlage aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff verschiedenste langkettige Kohlenwasserstoffe für die Produktion von Kraftstoffen gewonnen werden. Im Fokus des HYPOS-Projekts eKeroSyn stand eine neue Variante der Fischer-Tropsch-Synthese, bei der synthetisches Kerosin aus Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff an maßgeschneiderten eisenbasierten Katalysatoren erzeugt wird. Auf Grundlage von Prozesskettenmodellierungen analysierten die Forscher:innen verschiedene Ausführungskonzepte unter Berücksichtigung von stofflichen, energetischen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten. Grüner Wasserstoff soll durch eine alkalische Mitteltemperatur-Elektrolyse bereitgestellt werden. Als Kohlenstoffquelle wurden biogenes und atmosphärisches CO₂ in Betracht gezogen. Die ermittelten Vorzugsvarianten wurden abschließend mit den besten, aktuell verfügbaren technischen Lösungen zur CO₂/H₂-basierten Herstellung von synthetischen Luftfahrtkraftstoffen verglichen.



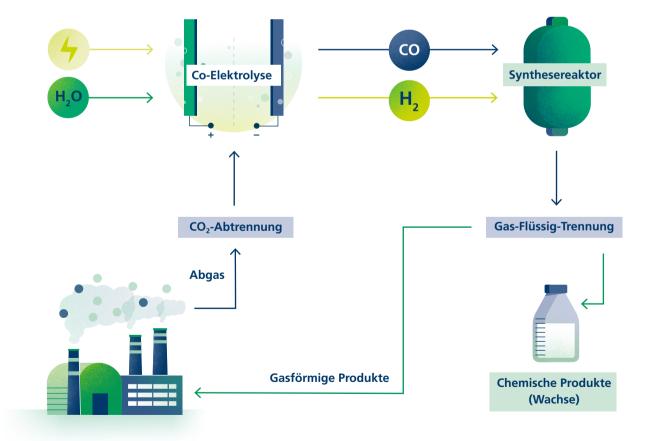
Auswahl von Power-To-X-Prozessen mit den erzeugten Power Fuels und deren beispielhafte Einsatzgebiete

50

COLYSSY

Vom Abfall zum Rohstoff – Das Potenzial von CO₂

Die rasche Reduzierung von CO₂-Emissionen ist weltweit eine der dringendsten und herausforderndsten Aufgaben unserer Zeit. Neben der Strategie, CO₂-Emissionen zu vermeiden, gibt es Technologien, unvermeidbares CO₂ in wertvolle Produkte umzuwandeln. So können z. B. Abgase aus der Kalkindustrie in Schmierstoffe oder in Ausgangsstoffe für die Kosmetik umgewandelt werden. Ein Treibhausgas wird so zum Rohstoff, dessen Systemintegration beim Emissionsverursachenden das folgende HYPOS-Forschungsprojekt untersuchte.



Das Gesamtkonzeptvorhaben von COLYSSY

3 – Verwertung und Vertrieb

51

Entwicklung eines Prozesses zur Umwandlung von Emissionen in Ausgangs- und Schmierstoffe

Laufzeit:

12/2018 - 06/2022 (43 Monate)

Fördervolumen:

ca. 1 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- DBI GUT
- · Fraunhofer IKTS

Wertschöpfung durch die Nutzung industrieller Abgase

Das HYPOS-Projekt COLYSSY zeigt einen Weg auf, wie sich die Abgase in der Zement- und Kalkindustrie gewinnbringend nutzen lassen. Mithilfe eines integrierten Verfahrens können industrielle Abgasströme und Wasser zur Herstellung von chemischen Wertstoffen genutzt werden. Diese Herstellung wird durch die folgenden drei Komponenten ermöglicht: einer Hochtemperatur-Co-Elektrolyse mit 10 kW-Leistung, einer CO₂-Abtrennung mittels hierfür entwickelter keramischer Membranen sowie einem neu entwickeltem skalierbarem Reaktorkonzept für die Fischer-Tropsch-Synthese. Das Ergebnis stellen synthetische Wachse dar, die als Rohstoffe weiterverwendet werden können. Da die genannten, einzelnen Komponenten zur Herstellung bereits umfassend erforscht sind, legte das HYPOS-Projekt den Schwerpunkt auf die tatsächliche Systemintegration beim CO₃-Emittenten.

Entwicklung eines Prozesses zur CO2-Abtrennung und -Nutzung

Im Fokus der Forscher:innen stand dabei zunächst die spezifische Prozessentwicklung. Die CO₂-Emissionen müssen am Kalkwerk effizient und dauerhaft aufgefangen und anschließend über mehrere Verfahrensschritte in das Wertprodukt umgewandelt werden. Der gesamte Prozess muss dabei energieeffizient, dauerhaft und sicher ablaufen. Die anschließende Kopplung der Prozessschritte direkt am Kalkwerk bietet außerdem die Möglichkeit, Nebenproduktströme der Fischer-Tropsch-Synthese im Brennprozess des Kalks einzusetzen, wodurch sich zusätzliche Flexibilisierungsoptionen eröffnen.

Anwendungspotentiale in der Kalkindustrie

Als alternativer Synthesepfad für Kohlenwasserstoffe ist die Technologie zukünftig insbesondere im dezentralen Format eine attraktive Option. In Deutschland existieren weit über 100 Kalkherstellende, sodass sich zahlreiche Anwendungspotenziale finden lassen. Darüber hinaus ist die Kalkindustrie nur ein Markt unter vielen, die aufgrund sogenannter unvermeidbarer CO₂-Emissionen nach Alternativpfaden suchen. In Bezug auf Produkte lässt sich hingegen feststellen, dass die Wirtschaftlichkeit zunächst nur bei hochwertigen chemischen Erzeugnissen gegeben ist. In diesen Nischenmärkten können allerdings auch höhere Preise erzielt werden, wodurch der Aufwand gerechtfertigt und die Wirtschaftlichkeit über die gesamte Prozesskette potenziell möglich wird. Aufgrund der steigenden Nachfrage stellen ebenso grüne Flugkraftstoffe ein interessantes Produkt für die technische Umsetzung dar. Diese können durch eine entsprechende Aufbereitung aus den Rohprodukten der Fischer-Tropsch-Synthese hergestellt werden.

52 3 - Verwertung und Vertrieb

FRAGRANCES

Nachhaltige Synthesegas-Erzeugung zugänglich machen

Für die Herstellung einer Vielzahl von Riechstoffen in der Parfümproduktion ist Synthesegas erforderlich, welches eine Mischung aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid darstellt. Um die Synthesegas-Herstellung nachhaltig zu gestalten, stellt die Kombination von Grünem Wasserstoff und Kohlendioxid eine vielversprechende Möglichkeit dar.

Machbarkeitsstudie zur Nutzbarkeit von verunreinigtem Synthesegas

Laufzeit: 01/2016 – 12/2016 (12 Monate)

Fördervolumen: ca. 320.000 EUR

Projektbeteiligte:

- DBI GTI
- · Miltitz Aromatics GmbH
- · LIKAT Rostock

Die Herstellung des Synthesegases erfolgt meist aus fossilen Rohstoffen an zentralen Chemiestandorten. Zudem ist ein aufwendiger Transport für diese Anwendungen außerhalb dieser Standorte erforderlich.

Synthesegas nachhaltig erzeugt

Das HYPOS-Projekt FRAGRANCES kombinierte zwei Ansätze. Es wurde Grüner Wasserstoff, erzeugt aus regenerativer Energie, sowie biogenes Kohlendioxid, gewonnen aus dem Abgasstrom der naheliegenden Kläranlage, eingesetzt. Um die entscheidenden Investitionskosten für die Wirtschaftlichkeit dezentraler Anlagen gering zu halten, wurde das Optimum notwendiger Gasreinigung anhand orientierender Synthesen der finalen Riechstoffe durchgeführt.

Innovation fernab der Idealbedingungen

Die Hydroformylierung – auch Oxosynthese – beschreibt die chemische Reaktion von Alkenen (Olefinen) mit Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid unter der Bildung von Alkanalen (Aldehyden). Jedoch wird die Hydroformylierung bisher mit hochreinem Synthesegas unter Idealbedingungen durchgeführt und vorwiegend in Lösungsmittel gearbeitet. Informationen über lösungsmittelfreie Verfahren hingegen existieren nicht. Im Rahmen des HYPOS-Projektes wurde die Hydroformylierung von 1-Decen, Alpha-Pinen und Safrol untersucht, deren Produkte für die Riechstoffindustrie relevant sind. Die Untersuchungen gingen dabei über den wissenschaftlichen Stand hinaus – sie wichen von den Idealbedingungen ab und erlaubten die Nutzbarkeit des verunreinigten Synthesegases. Mit einem verringerten Aufwand der Gasreinigung konnten die Investitionskosten signifikant reduziert werden, um Synthesegas-Erzeugungsanlagen wirtschaftlich für einen Verbrauch im feinchemischen Nutzungsumfeld herstellen zu können.

Pilotanlage zur Synthesegaserzeugung

Die gewonnenen Ergebnisse der HYPOS-Machbarkeitsstudie sind so vielversprechend, dass Anlagenbauende für die Pilotierung einer Synthesegas-Erzeugungsanlage unter Berücksichtigung geringerer Gasreinigung gewonnen werden konnten. Dieser sieht weltweites Anwendungspotenzial für eine derart optimierte Anlage. Vom Blickwinkel des Synthesegasverbrauchenden überzeugen die Erkenntnisse ebenfalls – bedürfen aber in zweierlei Hinsicht der Validierung vor einem großtechnischen Investment. Einerseits ist das Verunreinigungsprofil einer tatsächliche Herstellungsanlage zu evaluieren und andererseits sind Langzeittest bezüglich des Toleranzverhaltens des Katalysatorsystems mit dem erzeugten Synthesegas durchzuführen.

H2-Index I & II

Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von H₂-Wertschöpfungsketten

Die Produktion von Grünem Wasserstoff muss durch effiziente Forschung und Entwicklung wettbewerbsfähig gestaltet werden. Zentral ist dabei, die wirtschaftlichen Einflüsse innerhalb der Wertschöpfungsketten der Grünen Wasserstoffproduktion zu überprüfen und zu vergleichen sowie die unterschiedlichsten Erzeugungs- und Verwertungspfade zu untersuchen.

Entwicklung und Optimierung eines Bewertungstool für Projekte in der Wasserstoffwirtschaft

Laufzeit (H2-Index I): 12/2014 – 11/2015 (12 Monate)

Laufzeit (H2-Index II): 06/2017 - 05/2021 (48 Monate)

Fördervolumen: ca 740 000 €

Projektbeteiligte:

• DBI GTI

Identifikation wichtiger Wertschöpfungsketten

Das H2-Index-Projekt setzt sich aus zwei Teilprojekten zusammen, die sich der Konzeptionierung und der Optimierung eines Bewertungstools der Wirtschaftlichkeit von Projekten entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette widmeten. In einem ersten Projektschritt wurden die wichtigsten Wertschöpfungsketten identifiziert und politische Entwicklungspfade definiert. Daraufhin folgte eine Betreibende- und Geschäftsmodellanalyse inklusive Shareholder-Untersuchung. Zur öffentlichen Evaluierung der Geschäftsmodellanalyse wurde anschließend eine Stakeholder-Umfrage durchgeführt, wodurch die potenziellen Anwendenden von Beginn an in die Entwicklung eingebunden wurden.

Bewertungstools für die Wirtschaftlichkeit von Geschäftsmodellen

Als Antwort auf die identifizierten Anforderungen konzipierten die Forscher:innen das H2-Index-Modell als Hilfsinstrument für das HYPOS-Konsortium. Das Tool entstand im Rahmen des Projekts H2-Index I und stellt eine unabhängige, objektive Möglichkeit dar, um die Wirtschaftlichkeit von Geschäftsmodellen und Szenarien entlang der Wertschöpfungskette des Grünen Wasserstoffs zu bewerten. Das HYPOS-Konsoritum setzt das Tool nun bei der Bewertung von Projektskizzen ein. Mithilfe des Tools werden die tatsächlichen Potentiale zur Kostenreduktion innerhalb von Wasserstoffwertschöpfungsketten ermittelt.

Optimierung des Bewertungstools

Das folgende Projekt H2-Index II wurde genutzt, um das Tool zu optimieren, die Datengrundlage zu erweitern sowie eine intuitive Benutzer:innenoberfläche zu entwickeln. So können komplette Wertschöpfungsketten erstellt, bewertet und auf externe Einflussgrößen hin untersucht werden. Die entstandene Software kann somit Wirtschaftlichkeit verschiedener Szenarien abbilden und eine Vorschau bieten, durch welche Parameter eine Optimierung am effektivsten zu erreichen ist. Zudem können mit dem erweiterten Tool spezifische Erzeugungsund Verwertungspotenziale sowie sich ändernde regulatorische Rahmenbedingungen überprüft werden. Das öffentlich zugängliche Berechnungsprogramm ermöglicht durch eine benutzerfreundliche Bedienungsoberfläche einen niedrigschwelligen Zugang für alle Interessierten der Wasserstoffwirtschaft.

54 4 — Sicherheit und Gesellschaft

4 Gesellschaftliche Akzeptanz und sicherer Umgang

Der Umgang mit neuen Energieträgern stellt alle Beteiligten und Prozesse vor neue Herausforderungen. Umso wichtiger ist es, von Beginn an Aspekte des sicheren Umgangs mitzudenken. Darüber hinaus gilt es, die Gesellschaft frühzeitig über die Wasserstofftechnologien aufzuklären, sodass diese als ein innovativer Ansatz in der Energiewende akzeptiert werden.



Neue Technologien erfordern neue Maßgaben

In allen HYPOS-Projekten sind sicherheitsrelevante Fragestellungen in der Forschungsarbeit integriert, wobei in dem Teilbereich des Themenfelds zur Sicherheit zusätzliche integrative Sicherheitsbetrachtungen vorgenommen und Technologien zur verlässlichen, redundanten Überwachung von Betriebsund Prozessgrößen entwickelt wurden. Die Entwicklung eines Leitfadens, der die Sicherheitsmaßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Grünem Wasserstoff abbildet, stellte damit einen wichtigen Meilenstein entlang der vielzähligen Forschungsprojekte dar. Im Rahmen des Projekts INES flossen in den Leitfaden für Wasserstoffsicherheit Erkenntnisse aus den anderen HYPOS-Forschungsprojekten ein. Dieser dient nun zur Orientierung und zeigt konkrete Hilfestellungen für die Wasserstoffwirtschaft auf. Darüber hinaus wurden in den Projekten HyProS und H2-MEMS eine innovative Sensortechnologie entwickelt, die die Qualität des Wasserstoffs sicherstellt.

Zivilgesellschaft einbeziehen

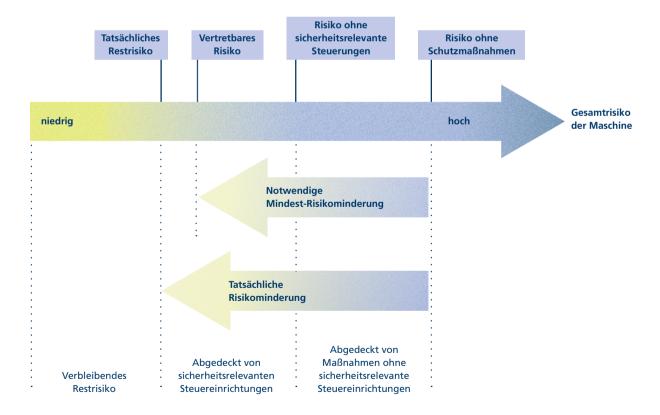
Neben der technischen Entwicklung und der Wirtschaftlichkeit spielt die gesellschaftliche Akzeptanz eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung der politischen Wasserstoff-Offensive. Potenziale eines neuen Energieträgers können nicht ohne die breite Unterstützung aus der Gesellschaft erfolgreich und langfristig entfaltet werden. Die öffentlichen Diskussionen über die Umsetzung der Energiewende mit Windenergieanlagen zeigen, dass neue Technologien nur mit einer breiten gesellschaftlichen Akzeptanz nachhaltig eingeführt werden können. Daher ist der frühe Einbezug der Gesellschaft ein wesentlicher Baustein in der Entwicklung von Grünem Wasserstoff zu einer Schlüsseltechnologie der Energiewende. Im HYPOS-Konsortium wurde dabei unter anderem untersucht, wie Wasserstoff in der Gesellschaft wahrgenommen wird und welche Faktoren die Akzeptanz von Wasserstofftechnologien bestimmen. Hierfür wurde im Rahmen des Projekts H2-Chancendialog eine repräsentative Befragung durchgeführt, aus der ein Leitfaden zum vorausschauenden Akzeptanzmanagement entwickelt wurde. Basierend auf diesen Fakten entwickelte sich ebenso das Projekt HYPOS macht Schule, das durch Wissensaufbau Misstrauen abbaut und unter anderem über die beruflichen Möglichkeiten in der Wasserstoffwirtschaft aufklärt.

56 4 – Sicherheit und Gesellschaft

INES

Integrative Erhöhung der Sicherheit entlang der Wertschöpfung

Der Aufbau einer großflächigen, komplex vernetzten Wasserstoffinfrastruktur – wie sie im HYPOS-Netzwerk skizziert wird – kann nur in Verbindung mit einem umfassenden Sicherheitsmanagement realisiert werden. Denn durch die breiten Anwendungen neuer Technologien im Umgang mit Wasserstoff im großen Maßstab können neue Risiken entstehen, die identifiziert und bewertet werden müssen.



Das dreistufige Sicherheitskonzept zur Risikominderung: konstruktive Schutzmaßnahmen, funktionale Sicherheit und organisatorische Schutzmaßnahmen Erarbeitung eines Leitfaden über Wasserstoffsicherheit in Bereich der Anwendung, Herstellung und Projektentwicklung

Laufzeit:

01/2018 - 06/2021 (42 Monate)

Fördervolumen: ca. 840.000 EUR

Projektbeteiligte:

- · Fraunhofer IWES
- · OVGU Magdeburg
- TU Dresden
- TÜV SÜD
- · Veenker GmbH

Nur so können die Forschungsprojekte sicher und nachhaltig umgesetzt werden. Zur Anpassung und Optimierung der bereits bestehenden und einer neuen Wasserstoffinfrastruktur braucht es das Sicherheitsmanagement als kontinuierliche Komponente im Wertschöpfungsprozess.

57

Gemeinsame Risikobewertung im HYPOS-Konsortium

Während der Vorbetrachtungen der HYPOS-Initiative und seiner Forschungsziele traten insbesondere Fragen zum bestehenden Sicherheitsregelwerk – wie z.B., welche der bestehenden Regelwerke in welchem Umfang anwendbar sind oder ob neue Regeln aus den neuen Anwendungen bzw. Technologien abgeleitet werden müssen – auf. Außerdem wurde in dem Kontext zu hinterfragt, ob neue sicherheitstechnische Ansätze notwendig sind oder eine Änderung des bestehenden Regelwerkes genügt. Damit war die Grundlage für ein projektübergreifendes Forschungsprojekt zum Thema Sicherheit gelegt, das im Rahmen des HYPOS-Projekts INES umgesetzt wurde – wobei INES für eine »Integrative Erhöhung des Sicherheitsniveaus in der Wertschöpfungskette für Wasserstoff« steht. Der Schwerpunkt lag darauf, anderen HYPOS-Projekten sicherheitsrelevante Hilfestellungen zu geben, die wiederrum als Ausgangspunkt für INES galten. Das gesamte HYPOS-Konsortium wurde projektübergreifend für diese Thematik sensibilisiert. Auf Basis gemeinsamer Risikobewertungen und daraus abgeleiteter sicherheitstechnischer Maßnahmen floss das gesammelte Wissen kontinuierlich in die Entwicklung der weiteren HYPOS-Forschungsprojekte ein und steht schlussendlich der Öffentlichkeit zur Verfügung.

Wasserstoffsicherheit als Leitfaden umgesetzt

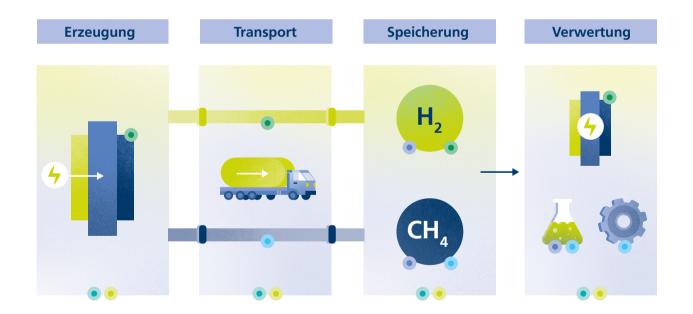
Das Ergebnis dieses Forschungsprojekts stellt der Leitfaden Wasserstoffsicherheit, der die Sicherheitsmaßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Grünem Wasserstoff abbildet. Er definiert grundlegende sicherheitstechnische und organisatorische Maßnahmen, die den Betrieb aller Anlagen entlang der Wertschöpfungskette mit hinreichend geringem Risiko ermöglichen. Der erarbeitete Leitfaden gibt Projektentwickler:innen, Hersteller:innen und Betreiber:innen von Anlagen nicht nur eine erste Orientierung, sondern auch konkrete Hinweise zum Einstieg in das Thema Wasserstoffsicherheit auf allen betrachteten Wertschöpfungsstufen. Er liefert zum einen die Grundlage für die Betrachtung sicherheitsrelevanter Aspekte und kann zum anderen der Ausgangspunkt für die weitere fachliche Diskussion zum Umgang mit relevanten Risiken einer Wasserstoffwirtschaft sein.

58 4 - Sicherheit und Gesellschaft

HyProS & H2-MEMS

Qualität sichern für eine moderne Wasserstoffwirtschaft

Die Identifizierung der Qualität von Wasserstoff ist für die Aktivitäten einer modernen Wasserstoffwirtschaft von grundlegender Bedeutung. Neben der umfassenden chemischen und physikalischen Charakterisierung des Gases in der gesamten Wertschöpfungskette müssen gleichzeitig konstant hohe Kontroll- und Sicherheitskriterien erfüllt werden.



- Metalloxid-, Wärmeleitfähigkeitsund Druck-Multisensor (MWD)
- Palladiumbasierter Sensor (PBS)
- Festelektrolytsensor (FES)
- Faseroptischer RAMAN-Sensor (FRS)
- Impedimetrischer Sensor (IMS)

Schematische Darstellung der Applikation von Sensoren und Messsystemen, die im Verbundvorhaben HyProS entwickelt wurden

HyProS: Prozess- und Sicherheitssensorik für das Wasserstoff-Qualitätsmanagement

Laufzeit:

05/2017 - 04/2020 (36 Monate)

Fördervolumen:

ca. 3 Mio. EUR

Projektbeteiligte:

- ACI GmbH
- CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH
- · Fraunhofer IMWS
- HTWK Leipzig
- KSI Meinsberg
- Leibniz-Institut f
 ür Photonische Technologien
- LIKAT Bostock
- · Materion GmbH
- Sciospec Scientific Instruments GmbH
- TU Bergakadamie Freiberg
- · Union Instruments GmbH
- UST Umweltsensortechnik GmbH

H2-MEMS: Technische Weiterentwicklung der Sensorik

Laufzeit:

01/2021 - 01/2022 (12 Monate)

Fördervolumen: ca. 300.000 €

Projektbeteiligte:

- CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH
- · Materion GmbH
- Union Instruments GmbH

Für diesen wichtigen Prozess der Qualitätssicherung benötigt es Wasserstoffsensoren, mit denen die notwendigen Voraussetzungen einer sich schnell entwickelnden Technologie in den Bereichen Erzeugung, Transport, Speicherung und Verwertung überprüft werden können.

59

Prozess- und Sicherheitssensorik für das Wasserstoff-Qualitätsmanagement

Das Gesamtziel des HYPOS-Projektes HyProS bestand in der Entwicklung einer leistungsfähigen innovativen Wasserstoffsensorik, die auf verschiedenen, den jeweiligen Anforderungen angepassten Messprinzipien beruht und damit weitaus flexibler und kostengünstiger als herkömmliche Systeme ist. Mit der weiteren Entwicklung und dem Einsatz der Wasserstofftechnologie – und den damit notwendigen Sicherheitseinrichtungen – steigen jedoch nicht nur die Anforderungen an die Messung. Auch der Markt für Wasserstoffsensoren wird in den nächsten Jahren überproportional wachsen. Im Projekt konnten insgesamt zwölf Projektbeteiligte basierend auf fünf unterschiedlichen Messprinzipien eine anwendungs- und umgebungsspezifische Prozess- und Sicherheitssensorik für Wasserstoff entwickeln. Diese Prinzipien betreffen

- die impedimetrische Messung von Spillover-Wasserstoff,
- · die Nutzung der Ramanstreuung in optischen Fasern,
- ein Multisensor-Messsystem aus Metalloxid-Halbleiter-Gas-,
- · Wärmeleitfähigkeits- und Drucksensor,
- sowie die Wasserstoffmessung mit Festelektrolyt- bzw. palladiumgestützen Sensoren für die Leckageüberwachung in einem breiten Konzentrationsbereich.

Weiterentwicklung der Sensortechnolgie

Im Anschlussvorhaben H2-MEMS wurde eine vielversprechende Sensortechnologie weiter vertieft. Die entwickelten Sensoren eignen sich insbesondere für Anwendungen, in denen Gasgemische mit mehr als zwei Gasen und wechselnden Wasserstoffkonzentrationen nahe und innerhalb der Explosionsgrenzen gegeben sind. Die technische Entwicklung der MEMS-Sensoren sollte dabei auf TRL 5 gehoben werden. Eine Weiterentwicklung auf TRL 8 wird angestrebt. MEMS-Sensoren können mittels der Methoden der Mikrosystemtechnik gefertigt werden. Sie bieten dadurch ein hohes Potenzial hinsichtlich der Miniaturisierung und der kostengünstigen Produktion sowie des Eigenverbrauches an Energie. Die Projektergebnisse können in naher Zukunft insbesondere bei der stufenweisen Umwidmung der Erdgasnetze auf höhere Wasserstoffkonzentrationen eine tragende Rolle einnehmen.

60 4 – Sicherheit und Gesellschaft

H2-Chancendialog

Akzeptanz als Voraussetzung für die Einführung neuer Technologien

Für die breite Nutzung und erfolgreiche Entwicklung von Wasserstoff-Lösungen ist der frühe Einbezug der Gesellschaft zentral. Nur wenn Technologien gesellschaftliche Akzeptanz finden, sind langfristig erfolgreiche und nachhaltige Innovationen möglich. Es gilt breite Informationsund Partizpationsmöglichkeiten zu schaffen.

Repräsentative Umfrage zur Akzeptanz und Wissen in der Bevölkerung

Laufzeit:

09/2018 - 08/2020 (24 Monate)

Fördervolumen: ca. 420.000 EUR

Projektbeteiligte:

• CeRRI, Fraunhofer IAO

Erforschung der Akzeptanzbedingungen von Wasserstofftechnologien

Für eine breite Markteinführung der Wasserstoffwirtschaft stellt die gesellschaftliche Akzeptanz von Wasserstofftechnologien eine Voraussetzung dar. Im HYPOS-Projekt H2-Chancendialog wurden Akzeptanzbedingungen für Grünen Wasserstoff in einer frühen Umsetzungsphase untersucht. Eine repräsentative Bevölkerungsumfrage stellte die Grundlage dar, um Handlungsempfehlungen für den Aufbau von Akzeptanz zu formulieren. In der Umfrage wurde der aktuelle Kenntnisstand zu Grünem Wasserstoff in Deutschland, die allgemeine Akzeptanz sowie die Bewertung der lokalen Nutzung erfasst. Außerdem wurde die Partizipationsbereitschaft erhoben und Aspekte wie Umweltbewusstsein, Vertrauen und die wahrgenommene Kompetenz zentraler Akteure abgefragt. Ein erarbeiteter Leitfaden für prospektives Akzeptanzmanagement unterstützt Praktiker:innen nun ganz konkret in der Umsetzung von wasserstoffbezogenen Chancendialogen vor Ort.

Steigende Akzeptanz, fehlendes Wissen

An der repräsentativen Befragung im Mai 2020 nahmen über 2.000 Personen teil. Dabei zeigte sich, dass der Mehrheit (85 %) der befragten Personen Wasserstoff bekannt ist, wobei nur 21 Prozent schon einmal von Grünem Wasserstoff gehört haben. Dabei sind Wasserstoff-Anwendungen in der Mobilität bekannter (70 %) als die Nutzung in der Energieversorgung (56 %) oder in der Industrie (48 %). Die überwiegende Mehrheit (86 %) steht zudem einer stärkeren Nutzung von Grünem Wasserstoff am eigenen Wohnort sehr oder eher positiv gegenüber – nur 14 Prozent lehnen dies ab.

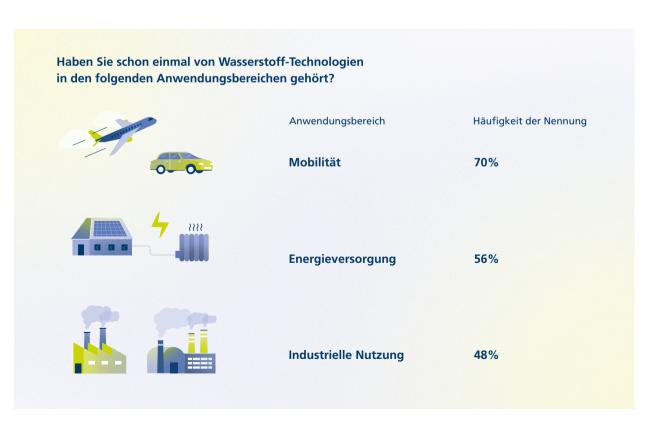
Während zwei Drittel der Befragten in der Lage sind, sich eine Meinung über Solar- oder Windenenergie zu bilden, trifft das nur bei 37 Prozent der Befragten im Fall von Wasserstoff zu. Dies deutet auf eine eindeutige Informationslücke hinsichtlich Wasserstoffs hin. Um Menschen mehr Informationen in Bezug auf Wasserstoff und dessen Wirtschaft zu vermitteln, stellen Forschungseinrich-

tungen eine wichtige Quelle dar. Denn nur diese werden von der Mehrheit der Befragten (61%) als vertrauenswürdige Informationsquelle von Energietechnologien eingeschätzt. Außerdem ist den befragten Personen die Partizipation bei der stärkeren Nutzung von Grünem Wasserstoff sehr oder eher wichtig. Dabei sehen sie am ehesten politische Akteur:innen, Forschungsorganisationen und auch Großunternehmen in der Verantwortung geeignete Informationsund Partizipationsprozesse anzubieten.

61

Vorausschauendes Akzeptanzmanagement zur Konfliktvermeidung

Der zusätzlich entwickelte Leitfaden für prospektives Akzeptanzmanagement basiert auf den zentralen Akzeptanzfaktoren für Grünen Wasserstoff. Er gibt Akteur:innen aus dem Bereich Wasserstoff und der Energieinfrastruktur eine praktische und konkrete Hilfestellung – zur Umsetzung von eigenen Chancendialogen und ebenso zur Integration von gesellschaftlichen Perspektiven in eigenen H₂-Projekten. Die Akzeptanzfaktoren und das darauf aufbauende Prozessmodell sind dabei als Wegweiser für den Umgang mit Fragen der Akzeptanz zu verstehen. Prospektives Akzeptanzmanagement kann Akzeptanz allerdings nicht garantieren. Durch die Einbeziehung und Berücksichtigung unterschiedlicher Perspektiven und die direkte Beteiligung in Planungs- und Umsetzungsvorhaben können potentielle Konfliktfelder jedoch frühzeitig identifiziert und Akzeptanzfaktoren priorisiert werden. Außerdem können Beziehungen zwischen allen Beteiligten langfristig verbessert, Vertrauen nachhaltig gefördert und Konflikte durch geeignete Maßnahmen vermieden werden.



Bekanntheit der Wasserstoffanwendungen nach Sektoren gemäß der Befragung im Rahmen von H2-Chancendialog 62 4 – Sicherheit und Gesellschaft

HYPOS macht Schule

Zukunftsthema »Grüner Wasserstoff« in den Schulunterricht bringen

Wasserstoff ist aus der gesellschaftlichen und medialen Debatte nicht mehr wegzudenken. Die mitunter komplexen technologischen Zusammenhänge müssen jedoch verstanden werden, um die Teilnahme am öffentlichen Diskurs und damit die Akzeptanz des Grünen Wasserstoffs zu fördern. Dies gelingt bereits in der Schule – mit Blick auf die gesellschaftliche, aber auch ganz persönliche Zukunft.

Lehrkonzept zur Wissenserweiterung über Wasserstoff und der damit verbundenen Wirtschaft

Laufzeit: 05/2020 - 12/2021 (19 Monate)

Fördervolumen: ca. 200.000 EUR Das neu entwickelte Bildungskonzept HYPOS macht Schule soll es Schüler:innen ermöglichen, sich eine fundierte Wissensgrundlage zum Thema zu erarbeiten. Neben der Sensibilisierung für Wasserstofftechnologien ist ein weiteres Ziel für nachhaltige Entwicklung (BNE) und MINT-Interessen zu stärken.

Kompetenzen zur Gestaltung einer nachhaltigen Gesellschaftsentwicklung

Die Schüler:innen erhalten die Möglichkeit, Prozesse der Energiewende zu verstehen und damit eigenes nachhaltiges, zukunftsfähiges Denken und Handeln zu entwickeln. Mit HYPOS macht Schule steht ein umfangreiches Tool zur Organisation und Durchführung von Schulprojekten zur Verfügung, welches die Bedeutung Grünen Wasserstoffs mit dem Thema Nachhaltigkeit verknüpft. In acht Einheiten werden dabei verschiedene Aspekte der Wasserstoffwirtschaft beleuchtet, wobei die Umsetzung frei gestaltet werden kann. HYPOS unterstützt die Umsetzung des Lehrkonzepts mit seinem Knowhow und seinen Kooperationen im Bereich Grüner Wasserstoff. So werden Unterrichtsmaterialien bereitgestellt, die Beschaffung von Lernspielen und Anwendungsmodellen sowie die Planung von Exkursionen unterstützt.

Begeisterung für naturwissenschaftlich-technische Ausbildungsberufe

Das im Rahmen der Projektzeit entstandene Lehrkonzept richtet sich an Schüler:innen der 8. bis 10. Klasse. Sie lernen die Thematik damit zielgruppengerecht kennen und werden mit den Möglichkeiten und Grenzen der erneuerbaren Energien sowie den Potenzialen des Grünen Wasserstoffs vertraut gemacht. Ziel ist es auch, die Schüler:innen für entsprechende MINT-Berufsbilder zu begeistern. Damit wird auch ein Beitrag für Ausbildungsinteressen potenzieller Fachkräfte geleistet. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem Leipziger Gustav-Hertz-Gymnasium wurde das neue Bildungskonzept in einem naturwissenschaftlichen Modul erfolgreich erprobt und evaluiert. Perspektivisch soll das Konzept für jüngere und ältere Klassenstufen angepasst und erweitert werden. Zugleich bietet das Bildungskonzept für Agierende des HYPOS-Netzwerks und der Wasserstoffwirtschaft die Möglichkeit, ihr Unternehmen und die jeweiligen Tätigkeiten einer neuen Zielgruppe anschaulich und praxisnah zu vermitteln. Damit wird auch eine Brücke zwischen Wirtschaft und Gesellschaft gebaut.

Initialer Versuchsraum und wachsende Vision

Wie der Vereinsname bereits verrät, ist das HYPOS-Projekt in Ostdeutschland angesiedelt und konzentriert vor allem operativ auf die Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Das Vorhaben nimmt von Beginn an expliziten Bezug auf das Mitteldeutsche Chemiedreieck – dem industriellen Ballungsgebiet für die Chemie- und ölverarbeitenden Industrie. Dabei werden die dazugehörigen Infrastrukturen des Chemiedreiecks als Untersuchungs- und Versuchsraum für die geplanten Forschungs- und Umsetzungsaktivitäten genutzt. Diese wasserstoffrelevante Infrastrukturen werden für die zukünftige Umsetzung industrieller Produktions-, Verbrauchs- und Transportkapazitäten benötigt. Dazu gehören vier wichtige Komponenten:

Die Wasserstoff-Pipelinenetz mit einer Länge von etwa 150 km zwischen Zeitz (Sachsen-Anhalt), Böhlen (Sachsen), Leuna, Schkopau, Bitterfeld-Wolfen, Dessau und Rodleben (Sachsen-Anhalt) dient als technische Infrastruktur zur Verteilung von Wasserstoff. Als geologisch geeignete Formationen zur Untergrundgasspeicherung dienen die Gasspeicherstandorte in Bad Lauchstädt/ Teutschenthal und Bernburg (Sachsen-Anhalt). Derzeit wird darin Erdgas gespeichert, wobei grundsätzliches Potenzial für die Wasserstoff-Speicherung besteht. Darüber hinaus stellen die elektrischen Netzknotenpunkte und das Umspannwerk in Bad Lauchstädt, Pulgar, Marke/Raguhn vorteilhafte Verbindungen für den Transport von erneuerbarem Strom aus dem Norden in den Süden dar. Die multimodale verkehrsgünstige Anbindung durch die Autobahnen am Schkeuditzer Kreuz, den Flughafen Leipzig/Halle sowie die zentralen Bahnverbindungen in Leipzig und Halle (Saale) lassen das Chemiedreieck zudem zu einem Logistikdrehkreuz werden.

Der Beginn von Zwanzig20 - Partnerschaft für Innovation

Das Programm »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) hatte zum Ziel, mithilfe von Technologie und Innovation eine umfassende Strukturentwicklung in den neuen Bundesländern anzustoßen. Mit der erhaltenen Förderung über 45 Mio. Euro stand der Verein vor der ersten wichtigen Aufgabenstellung – der Organisation der zu fördernden Forschungsprojekte, für den Zeitraum bis zunächst 2019 bzw. nach der Verlängerung des Förderprogramms bis Ende 2021. Mit der Gründung eines Beirats – bestehend aus Expert:innen der Wasserstoffbranche – durch den BMBF wurde die Fördermittelverteilung sichergestellt sowie die eingegangenen Projektskizzen begutachtet. Das HYPOS-Konsortium fasste dabei den Entschluss die Forschungsprojekte entlang der Wertschöpfungskette von Grünem Wasserstoff anzusiedeln, womit einher die Betrachtung aus den Blickwinkeln Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Akzeptanz ging – was die 34 Projekte in dieser Forschungspublikation widerspiegeln.

Zukünftiger Netzausbau mit der Steuerungsgruppe Pipeline

Im Sommer 2021 beauftragten Beteiligte der HYPOS-Initiative eine Machbarkeitsstudie, die den Ausbau eines länderübergreifenden Wasserstoffnetzes Mitteldeutschland bewerten sollte. Das im April 2022 veröffentlichte Ergebnis schlägt den Ausbau für ein 339 Kilometer langes Netz in der Region Leipzig-Halle-Bitterfeld-Leuna-Zeitz-und Chemnitz vor. Dieses Netz umfasst die Umnutzung bestehender Infrastrukturen sowie den teilweisen Neubau. Die Erfahrun-

64

gen aus den vorausgegangenen Zwanzig20-Forschungsprojekten ermöglichte es, wissenschaftlich fundiert zu entscheiden, welche bestehenden Erdgasleitungen für einen zukünftigen Wasserstofftransport geeignet sind und welche Trassen neugebaut werden müssen. Gemeinsam mit der Europäischen Metropolregion Mitteldeutschland initiierte HYPOS Ende 2021 – mit dem Auslaufen der Förderung – die Steuerungsgruppe Pipeline, welche zum Ziel hat, die bestehende Wasserstoffinfrastruktur im mitteldeutschen Chemiedreieck mit der wachsenden Wasserstoffnachfrage zusammen zu bringen. Dafür schlossen sich Industrieunternehmen, Energieversorgende, Netzbetreibende und weitere kommunalen Player aus Mitteldeutschland zusammen.

Verstärkte Vernetzung an der Küste

Küstenstandorten kommt eine stärkere Bedeutung als potenzielle Standorte für internationale Wasserstoffimporte zu. Die weiterhin bestehenden HYPOS-Strukturen haben sich daher zum Ziel gesetzt, eine verstärkte Vernetzung zu den $\rm H_2$ -Playern der Ostseeküste herzustellen – auch mit Blick auf den Status von Ostdeutschland als Zielregion der Zwanzig20-Förderung. Im Rahmen des europäischen Förderrahmens International Projects of Common European Interest (IPCEI) zeigte sich, wie die Verbundbildung regionalspezifischer westdeutscher Vorhaben z. B. im Raum Hamburg oder Lingen schneller und effizienter möglich war. Mutmaßlich sind politische und ökonomische Strukturen bereits längerfristig auch außerhalb des Themenkomplexes Wasserstoff miteinander vernetzt und in Kooperation geübt. Im Aufbau eines schlagfertigen Gesamtverbundes besteht in Ostdeutschland weiterer Entwicklungsbedarf, der politisches Interesse beim Bund weckt. Die HYPOS-Initiative sieht daher ihre neue Herausforderung, auf eine bessere Vernetzung hinzuwirken.

Das Netzwerk und die Vision wächst

Das Konsortium HYPOS versteht sich aber nicht nur als Förderer von Verbundprojekten, sondern ebenso als Plattform für Wissensaustausch und -transfer von Grünem Wasserstoff – dessen Netzwerk viel Interesse generiert. Die Mitgliederstruktur von HYPOS e.V. setzte sich insbesondere zu Beginn mehrheitlich aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus Mitteldeutschland und dem Chemiedreieck zusammen. Mit der Etablierung des Netzwerks kamen zahlreiche Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus anderen Teilen Deutschlands und teilweise dem Ausland dazu. So wächst die Zahl der HYPOS-Mitglieder kontinuierlich seit der Gründung Ende 2013 – von anfangs sieben Mitgliedern verzeichnet die Initiative momentan über 160.

Der Weg des Grünen Wasserstoffs in Deutschland Meilensteine einer erneuerbaren Energiezukunft Oktober 2013 Das Innovationsnetzwerk Mai 1994 5. Mai 1999 HYPOS e.V. wird gegründet durch die Hauptinitiierenden Die Deutsche Forschungsanstalt für Die weltweit erste öffentliche Europäische Metropolregion Wasserstofftankstelle am Münchner Luft- und Raumfahrt (DLR e.V.) Mitteldeutschland, Fraunhofer erprobt die Produktion von Grünem Flughafen wird eröffnet. IMWS und Cluster Chemie/ Wasserstoff mit solarer Energie. Kunststoffe Mitteldeutschland. November 2014 Der japanische Automobilhersteller Toyota stellt das Wasserstoffauto 10. November 2015 »Mirai« – was japanische Zukunft Am Chemiestandort Bitterfeld-Wolfen bedeutet – auf der Los Angeles findet das erste HYPOS-Forum zum Auto Show vor. Thema Grüner Wasserstoff mit 125 Teilnehmer:innen statt. 17. September 2018 Der Coradia iLint von Alstom – der weltweit erste wasserstoffbetriebenen Personentriebwagen in Serienfertigung 11. Dezember 2018 in Deutschland - wird in Betrieb genommen. Die EU-Kommission verabschiedet die neue EU-Richtlinie zur Förderung der 18. September 2018 Nutzung erneuerbarer Energien – die 18. Juli 2019 Renewable Energy Directive RED II. H2 Mobility und die HYPOS-Mitglieder Die HYPOS-Reallabore Energiepark Air Liquide und TOTAL eröffnen die Bad Lauchstädt und »GreenHvdroChem« erste Wasserstofftankstelle Sachsens gewinnen den BMWi-Ideenwettbewerb in Dresden. »Reallabore der Energiewende«. 10. Juni 2020 Die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) wird durch die Bundesregierung verabschiedet. Oktober 2019 Eine Wasserstoffeinspeisung von 20 Prozent in ein Gasnetzabschnitt in Sachsen-Anhalt wird geplant. November 2020 Das Land Sachsen-Anhalt veröffentlicht ein Weißbuch zur Entwicklung der Landeswasserstoffstrategie. 13. Januar 2021 Das Bundesforschungsministerium (BMBF) heute fördert Wasserstoff-Leitprojekte mit rund 700 Millionen Euro. Das HYPOS-Netzwerk umfasst mehr als 160 Mitglieder aus Forschung, Das HYPOS-Mitglied Linde AG baut eine Industrie und Wirtschaft entlang der

gesamten Wertschöpfungskette von

Grünem Wasserstoff.

PEM-Elektrolyse-Anlage mit 24 Megawatt

für Grünen Wasserstoff in Leuna.

Projektbeteiligte



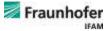
Advanced Machinery & Technology Chemnitz GmbH COOMet



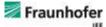
AIR LIQUIDE Deutschland GmbH rSOC



Analytical Control Instruments GmbH HyProS



Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik & Angewandte Materialforschung IFAM H2PROGRESS. REVAL



Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF MMH2P



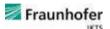
Anleg Gmbh MMH2P



AVX/KUMATEC Hydrogen GmbH & Co. KG ELKE



Bauhaus-Universität Weimar LocalHy



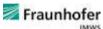
Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-

Biotechnologische Prozesse CBP

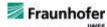
Fraunhofer

MegaLyseurPlus

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS COLYSSY, H2-MEM, Hythanol eCO2



Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS H2-Forschungskaverne, H2-HD, H2-Home, HyProS, LocalHy, MegaLyseurPlus



Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES ELKE, INES ,MegaLyseurPlus, REVAL



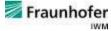
Borsig ZM Compression GmbH MegaLyseurPlus



Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg H2-Flex



CiS – Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH ElyKon, H2-MEMS, HyProS



Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM H2-HD, H2-PIMS, H2-UGS



Fraunhofer Center for Responsible Research and Innovation (CeRRi) am Fraunhofer IAO H2-Chancendialog



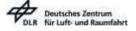
Griesemann Engineering GmbH & Co. KG COOMet



DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH (GTI) Freiberg FRAGRANCES, H2-Forschungskaverne, H2-Index



DBI Gas- und Umwelttechnik (GUT) GmbH COLYSSY, COOMet, H2-Home, H2-Home Opti, H2-MEM, H2-Netz, H2-PIMS, H2-UGS, Hythanol eCO2



DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. ElyKon, rSOC



Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ) H2-UGS. RWTrockner



Hexagon Purus GmbH H2-HD



hf sensor GmbH RWTrockner



Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH H2-PIMS, INES



ENASYS GmbH H2-Home



Envia Mitteldeutsche Energie AG (enviaM) H2-Flex



Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) Leipzig H2-Netz, HyProS



H-TEC Systems GmbH REVAL



IfG – Institut für Gebirgsmechanik GmbH H2-Forschungskaverne, H2-UGS



ESK GmbH H2-UGS



Forschungszentrum Jülich GmbH ELKE



Fumatech BWT GmbH MegaLyseurPlus, REVAL



Infineon Technologies AG MegaLyseurPlus



Infineon Technologies Bipolar GmbH & Co. KG MegaLyseurPlus



Ingenieurbüro Hannweber GmbH MegaLyseurPlus



inhouse engineering GmbH H2-Home, H2-Home Opti



Isodetect GmbH H2-UGS



Kyros Hydrogen Solutions GmbH (vormals Kumatec GmbH) LocalHy



Materion GmbH H2-MEMS, HyProS



Mitteldeutsche Netzgesellschaft Gas mbH (MITNETZ GAS) H2-Netz



ONTRAS Gastransport GmbH H2-Forschungskaverne, H2-PIMS



ISLE Steuerungstechnik und Leistungselektronik GmbH ElyKon, LocalHy



Institut für die Zukunft der Industriegesellschaft e.V. (INZIN) Speicherstudie



Johann Bergmann GmbH & Co. COLYSSY

Leibniz-Institut für Katalyse e.V.



Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e.V. (KSI Meinsberg) HyProS



Leibniz-Institut für Photonische Technologien (IPHT) e.V. HyProS



FRAGRANCES, HyProS,

(LIKAT Rostock)

Hythanol eCO2

MicroPro GmbH H2-UGS



Miltitz Aromatics GmbH FRAGRANCES



MUW Screentec GmbH Hythanol eCO2



Nobian GmbH H2-Flex



Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg INES



RayScan Technologies GmbH H2-HD



REHAU Industries SE & Co. KG H2-Netz



Reiner Lemoine Institut gGmbH ImplaN



Salzgitter Mannesmann Forschung (SZMF) GmbH H2-PIMS



Schulz & Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH RWTrockner



Sciospec Scientific Instruments GmbH HyProS



Sera ComPress GmbH LocalHy



Siemens AG H2PROGRESS, MegaLyseurPlus



sunfire GmbH rSOC



Technische Universität Bergakademie Freiberg COOMet, ElyKon, eKeroSyn, H2-UGS, H2-Home, HyProS



Technische Universität Dresden INES



TÜV SÜD Industrie Service GmbH H2-Netz, H2-PIMS, INES



Union Instruments GmbH H2-MEMS, HyProS



Universität Leipzig H2-Flex, Speicherstudie



Untergrundspeicher- und Geotechnologie-Systeme GmbH H2-UGS



UST Umweltsensortechnik GmbH HyProS



VNG Gasspeicher GmbH (VGS) H2-Forschungskaverne





Wasserversorgungs- und Abwasserzweckverband Sonneberg LocalHy



WTZ Roßlau gGmbH LocalHy

Abbildungsverzeichnis

- **S. 12:** Lerch, Scheller, Bruckner 2022. Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement, Universität Leipzig
- **S. 17:** https://www.sciencemediacenter.de/en/alle-angebote/fact-sheet/details/news/technology-readiness-level/nach Jülich (o.J.): Definition des Technologischen Reifegrades
- **S. 22:** DBI Gruppe 2018
- **S. 24:** Andreas Junghans GmbH, n.a. https://www.scinexx.de/news/energie/wasserstoff-aus-dem-erdgasnetz/
- S. 26: Projektkonsortium H2-Netz 2019
- S. 28: Fraunhofer IFF 2020
- S. 30: VNG Gasspeicher GmbH
- S. 34: Projektkonsortium RWTrockner 2021
- S. 39: EnergieRegion.NRW 2009
- S. 40: inhouse engineering GmbH 2021
- S. 42: Projektkonsortium LocalHy 2018
- **S. 44:** H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG 2022. https://h2.live/
- **S. 48**: dena 2018
- S. 50: Fraunhofer IKTS 2020
- **S. 56:** IFA Report 2/2017, Abb. 5.3
- S. 58: Projektkonsortium HyProS 2019
- S. 60: Fraunhofer IAO 2020

Impressum

Herausgeber HYPOS e.V.

Heinrich-Damerow-Straße 3 06120 Halle (Saale)

info@hypos-eastgermany.de

Vertreten durch den Vorstand

Dr. Joachim Wicke (Vorstandsvorsitzender), Dr. Sylvia Schattauer (1. stellv. Vorsitzende), Axel Klug (2. stellv. Vorsitzender), Stefan Kauerauf, Dr. Christoph Mühlhaus, Cornelia Müller-Pagel, Jörn-Heinrich Tobaben, Thomas von der Heide

Konzept, Gestaltung und Infografiken NORDSONNE IDENTITY, Berlin

Text und Redaktion NORDSONNE IDENTITY, Berlin Mareike Wald, HYPOS e.V.

Lektorat
NORDSONNE IDENTITY, Berlin

Druck Umweltdruck Berlin GmbH

Stand August 2022

GEFÖRDERT VOM









