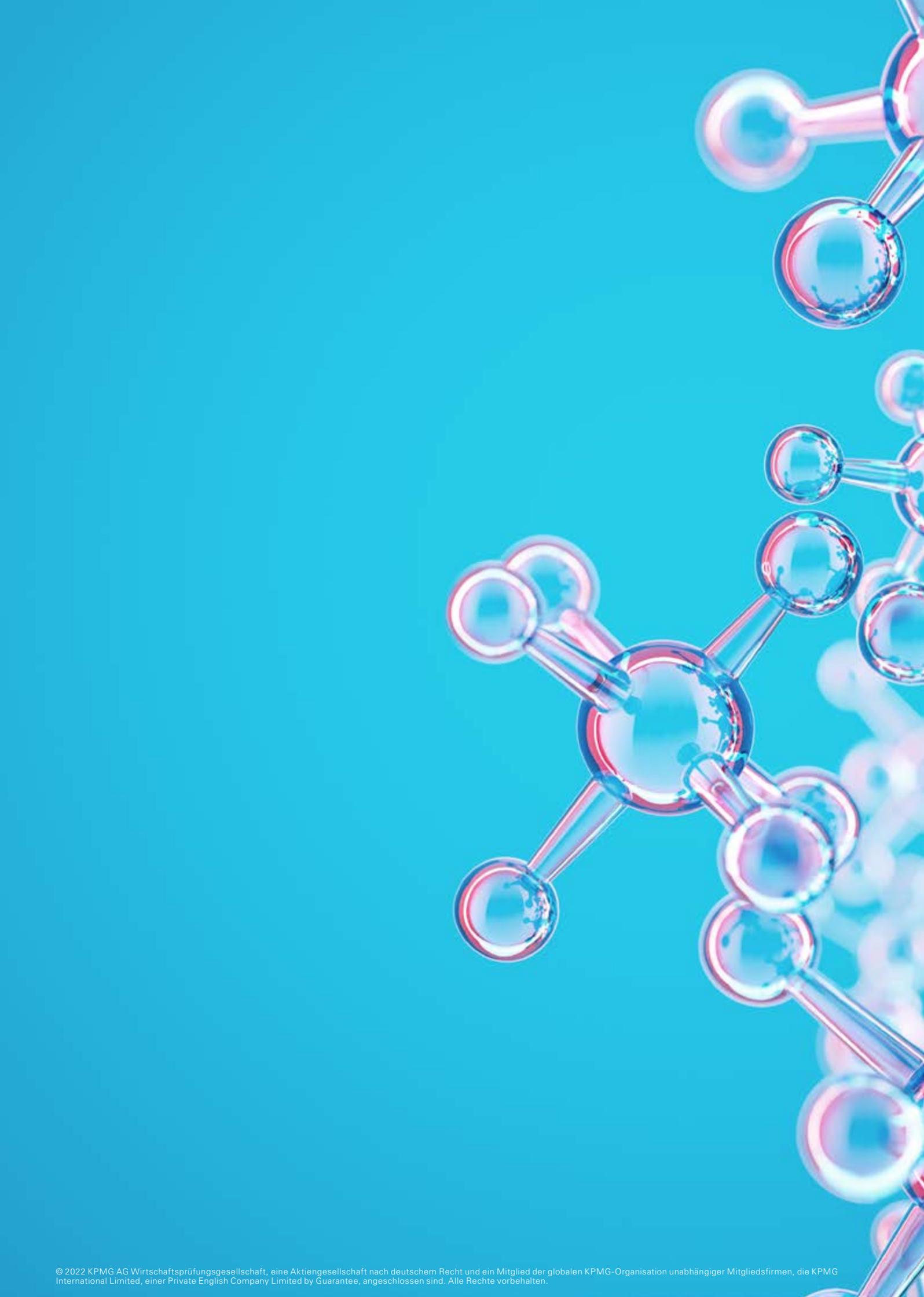


# Grüner Wasserstoff

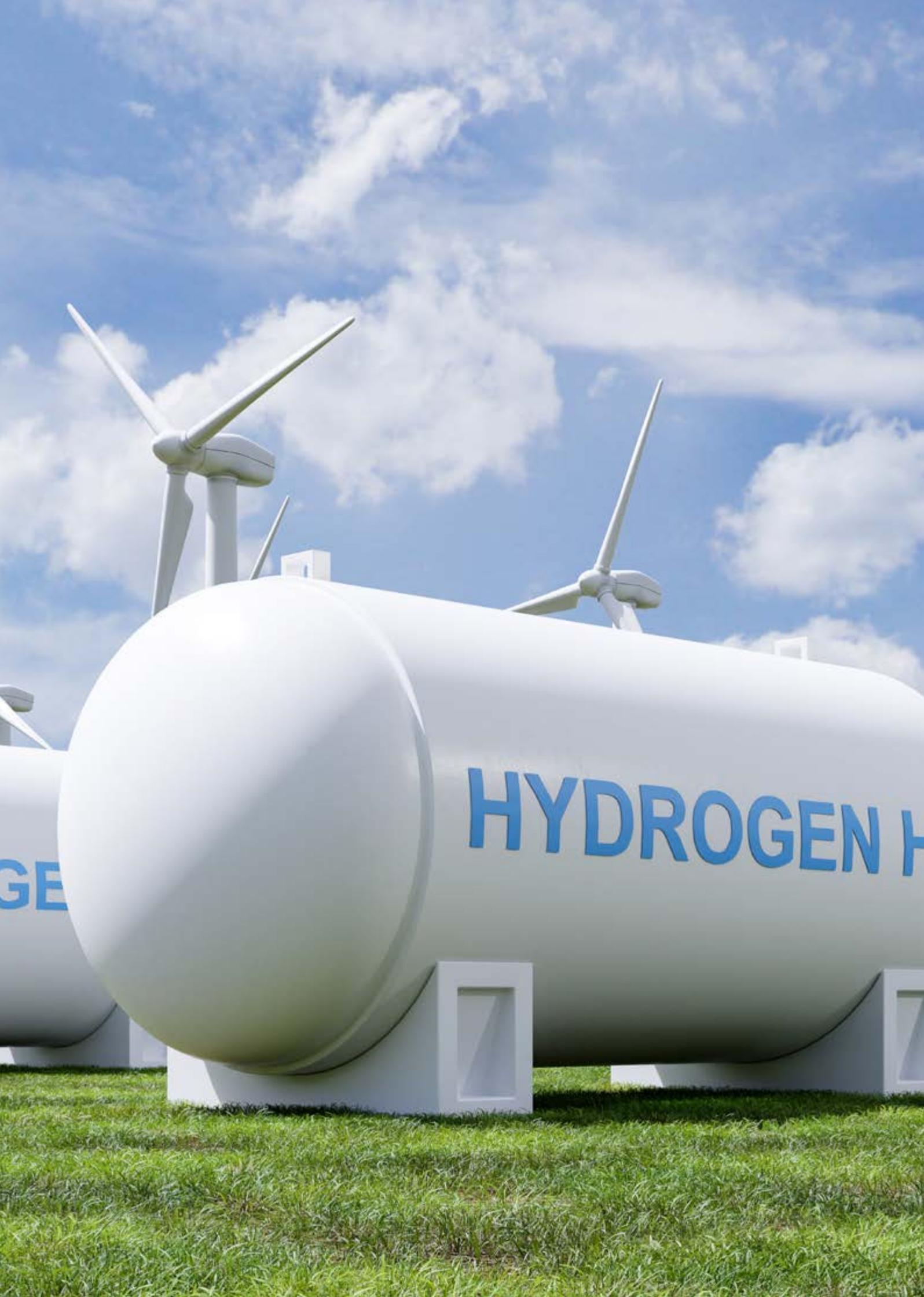
Entscheidende Schlüsseltechnologie für  
eine erfolgreiche Energiewende





# Inhalt

Vorwort	5
<hr/>	
<b>Aufbau einer End-to-End-Supply-Chain für grünen Wasserstoff von Schottland nach Deutschland</b>	<b>6</b>
Hydrogenious: Stand der Entwicklung und Anwendungsgebiete von LOHC	9
<hr/>	
<b>Vom Inkubator in die Realisierung</b>	<b>10</b>
Technologisches Equipment für die Bereitstellung und den Transport des Wasserstoffs	12
Siemens Energy: Wasserstofftransport – der Endverbraucher bestimmt das Konzept	12
Oerlikon Barmag: Pumpentechnologie zur Förderung von flüssigem H <sub>2</sub>	14
Transport	15
Der Weg Wilhelmshavens von einer fossilen Energiedrehscheibe zu einer Drehscheibe für erneuerbare Energien	16
Regasifizierung des flüssigen Wasserstoffs	18
Messer: Optimierung der Wertschöpfungskette für Wasserstoff	18
<hr/>	
<b>Netzwerk mit starken Industriepartnern zur Projektrealisierung</b>	<b>22</b>
Kostenentwicklung im Rahmen der Projektrealisierung	24
Nutzung der H <sub>2</sub> -Regasifizierungskälte zur Stickstoffabscheidung und Verflüssigung	25
Vision zur Erweiterung der Marktpotenziale zwischen Schottland und Deutschland	26
<hr/>	
<b>Ausbau einer Pipeline-Infrastruktur</b>	<b>27</b>
Open Grid Europe GmbH: Weitertransport des Wasserstoffs in Deutschland ab Ende der 2020er-Jahre	28
<hr/>	
<b>Ein Blick in die Zukunft</b>	<b>32</b>
<hr/>	
<b>Im Profil</b>	<b>34</b>



**HYDROGEN H**

**GE**



# Vorwort

Bei der Erreichung der Klimaziele spielt grüner Wasserstoff eine wesentliche Rolle. Durch die Verschärfungen der CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele und die zunehmenden politischen Bemühungen, fossile Brennstoffe zu ersetzen, ist zu erwarten, dass die Nachfrage nach Wasserstoff in Zukunft deutlich steigen wird. Denn auf Grundlage des Pariser Klimaabkommens werden in den kommenden Jahren voraussichtlich zusätzliche Gesetzesvorhaben zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen angestrebt. Ein wichtiger Bestandteil der nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung ist der im Koalitionsvertrag festgeschriebene Aufbau europäischer und internationaler Energiepartnerschaften. Da Deutschland seinen wachsenden Bedarf an Wasserstoff nicht durch eigene Produktion decken kann, sind Partnerschaften mit Wasserstoffexporteuren wie Schottland unerlässlich, die sowohl über die fachliche Kompetenz als auch das Potenzial für die Wasserstoffausfuhr verfügen. Schottland bezieht bereits fast 100 Prozent seiner elektrischen Energie aus erneuerbaren Quellen. Durch die Vergabe zusätzlicher Windkapazitäten im Rahmen der Scotwind-Auktion werden fast 30 GW an Offshore-Kapazität hinzukommen. Dies ist ein klares Bekenntnis, die Produktion von grünem Wasserstoff voranzutreiben. Mit den in der Wasserstoffstrategie beschlossenen Maßnahmen möchte Schottland in Zukunft ein internationales Exzellenzzentrum auch für den Export von grünem Wasserstoff werden. Bis 2026 wird eigens dafür ein Exportplan entwickelt, um sich als nachhaltiger Schlüssellieferant von wettbewerbsfähigem Wasserstoff für die Europäische Union bis 2040 zu etablieren. Mehrere deutsche Bundesländer haben bereits Absichtserklärungen mit Schottland unterzeichnet, um den Weg in eine gemeinsame grüne Zukunft zu ebnen.



**Dr.-Ing. Sylvia Trage**  
Director, Consulting,  
Value Chain Transformation  
KPMG AG  
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft

# Aufbau einer End-to-End-Supply-Chain für grünen Wasserstoff von Schottland nach Deutschland

Abbildung 1:  
Prinzipskizze einer Supply Chain für grünen Wasserstoff von Schottland nach Deutschland



In den vergangenen zwei Jahren hat KPMG in Deutschland mit interessierten Partnern aus Industrie und Wissenschaft einen Think Tank für eine End-to-End-Supply-Chain für grünen Wasserstoff aufgebaut. Der Wasserstoff soll dabei in Schottland mithilfe von Windenergie produziert und nach Deutschland transportiert werden. Dr.-Ing. Sylvia Trage war Mitgründerin der Projektinitiative Scot2Ger, die am 10. November 2021 auf der UN-Klimakonferenz COP26 in Glasgow auf dem „Hydrogen Day“ von den Gründern gemeinsam vorgestellt wurde. Im Rahmen dieser Initiative wurde eine Machbarkeitsanalyse für die nationale Agentur

für wirtschaftliche Entwicklung der schottischen Regierung, Scottish Enterprise, durchgeführt. KPMG hat in diesem Zusammenhang die Abnehmerseite in Deutschland sowie den Transport ab einem schottischen Hafen analysiert. Dabei wurden wesentliche Erkenntnisse zum Aufbau einer europäischen Lieferkette für grünen Wasserstoff gewonnen. So konnten unter anderem erste Anwendungsfälle in Deutschland identifiziert und geeignete Speicher- und Transportmöglichkeiten analysiert werden. In Abbildung 1 ist eine mögliche Supply Chain für grünen Wasserstoff von Schottland nach Deutschland skizziert.

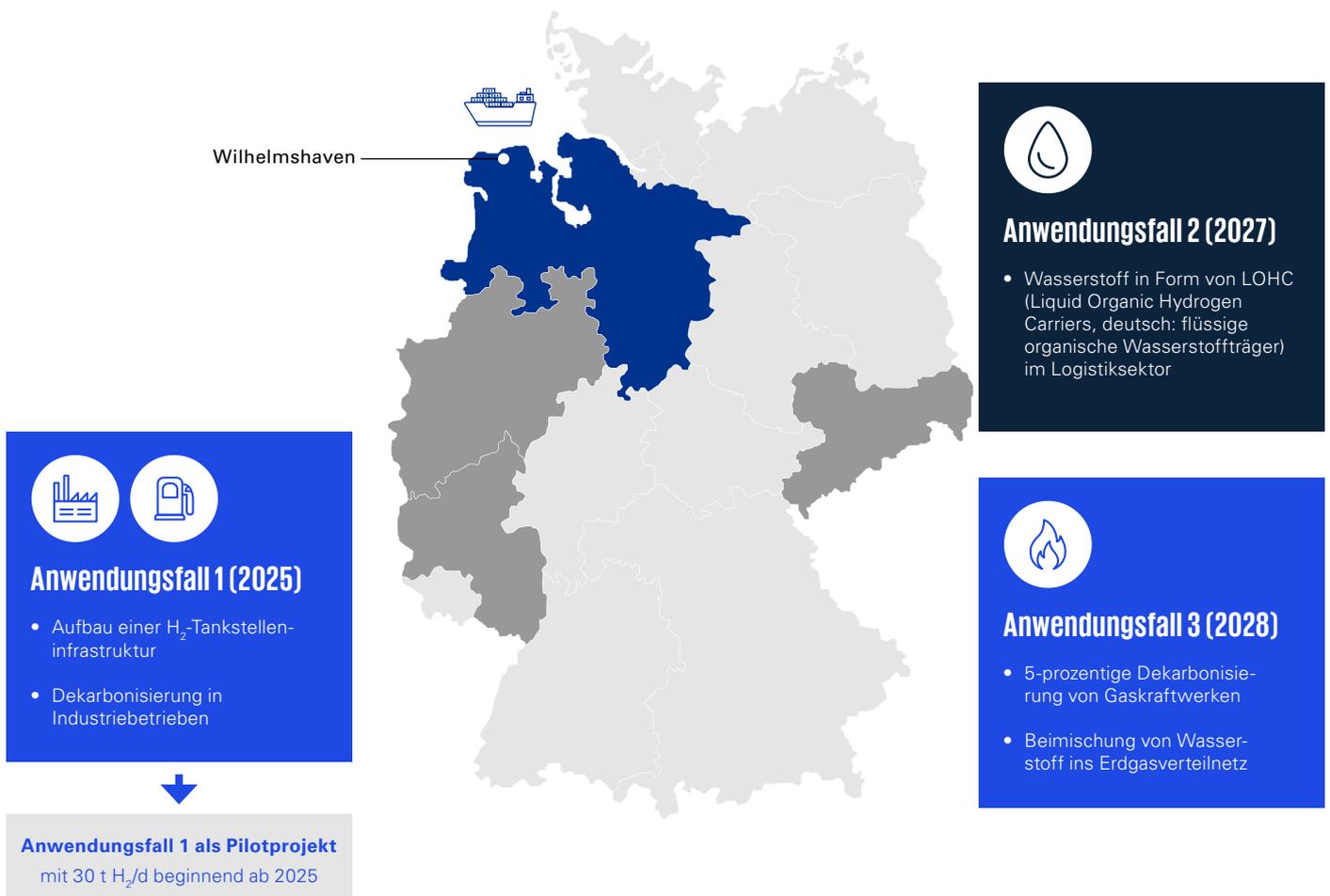


## Anwendungsfälle in Deutschland

Die Erwartungen, die in Bezug auf die Dekarbonisierung und die Energiewende auf Wasserstoff als alternativen Energieträger ruhen, sind schon jetzt sehr hoch. Bedingt durch Verschärfungen der CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele und die Anstrengungen, fossile Brennstoffe zu ersetzen, wird Wasserstoff in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen – vorausgesetzt es gelingt, mithilfe von Pilotprojekten die Basis für eine erfolgreiche Skalierbarkeit zu schaffen. Wichtige Voraussetzung hierbei ist die Bereitstellung von geeignetem technologischen Equipment sowie der Transport des Wasserstoffs. Erste

Anwendungsfälle finden sich insbesondere im Mobilitätssektor wie zum Beispiel der H<sub>2</sub>-Tankstelleninfrastruktur, in intralogistischen Anwendungen in Industriebetrieben sowie bei der anfänglichen Dekarbonisierung von Gaskraftwerken. Darüber hinaus kann Wasserstoff in Form von LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers) im Logistiksektor zum Einsatz kommen. Die Vereinfachung der entsprechenden Regulatorik oder aber eine höhere CO<sub>2</sub>-Bepreisung würden den Trend zur Dekarbonisierung mit grünem Wasserstoff vorantreiben.

Abbildung 2:  
Beispielhafte Anwendungsfälle in Deutschland



Quelle: KPMG in Deutschland, 2022



# Hydrogenious: Stand der Entwicklung und Anwendungsgebiete von LOHC



## Gastbeitrag von Stefan Reif

*Team Lead Business Development  
Hydrogenious LOHC Technologies  
GmbH*

Das Erlanger Unternehmen Hydrogenious gibt als Experte einen Einblick in die Entwicklung und Anwendung von LOHC.

Die Technologie der Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC) besteht in der zirkulären Bindung und Auslösung von molekularem Wasserstoff an eine Trägerflüssigkeit. Ziel ist es dabei, den flüchtigen

und explosiven Wasserstoff bei einer hohen volumetrischen Energiedichte handhabbar zu machen.

Dabei wird der Trägerstoff, das LOHC, in einem exothermen Prozess innerhalb einer Speicheranlage mit Wasserstoff hydriert. Dadurch geht der Wasserstoff eine stabile Verbindung mit dem LOHC ein. Nach dem Transport zu seinem Verbrauchsort wird der Wasserstoff in einer Freisetzungsanlage aus dem LOHC gelöst (Dehydrierung). Das LOHC wird, ähnlich einer Pfandflasche, zurücktransportiert und erneut zur Beladung mit Wasserstoff genutzt.

Beide Prozesse, Hydrierung und Dehydrierung, werden bereits seit einigen Jahren in in kleinskaligen Anwendungsbereichen genutzt. Erste Anlagen in industrieller Größenordnung befinden sich derzeit im Bau.

Aufgrund der positiven Eigenschaften des von Hydrogenious als LOHC eingesetzten Benzyltoluols, wie der niedrigen Gefahrenstoffklassifizie-

rung sowie der Möglichkeit, gebundenen Wasserstoff verlustfrei zu lagern und zu transportieren, ist ein weites Anwendungsfeld gegeben. Bereits realisierte Anwendungsbereiche sind neben Transport und Lagerung von Wasserstoff auch Segmente mit hohen Sicherheitsanforderungen, wie die Belieferung von Wasserstofftankstellen und die Nutzung im maritimen Umfeld.

Die Marktentwicklung und Ankündigungen in Projektkonsortien lassen darauf schließen, dass sich die Anwendung der LOHC-Technologie in den nächsten Jahren auf den (inter-)kontinentalen Handel mit Wasserstoff in großem Maßstab konzentrieren wird. Aber auch verbrauchernahe Anwendungsszenarien sind Objekte der Forschung. Hierbei sind beispielsweise die direkte Nutzung von LOHC in speziellen Brennstoffzellen oder die gekoppelte Nutzung von Dehydrieranlagen mit Solid Oxide Fuel Cells für die Quartiersversorgung mit Strom und Wärme zu nennen.



# Vom Inkubator in die Realisierung

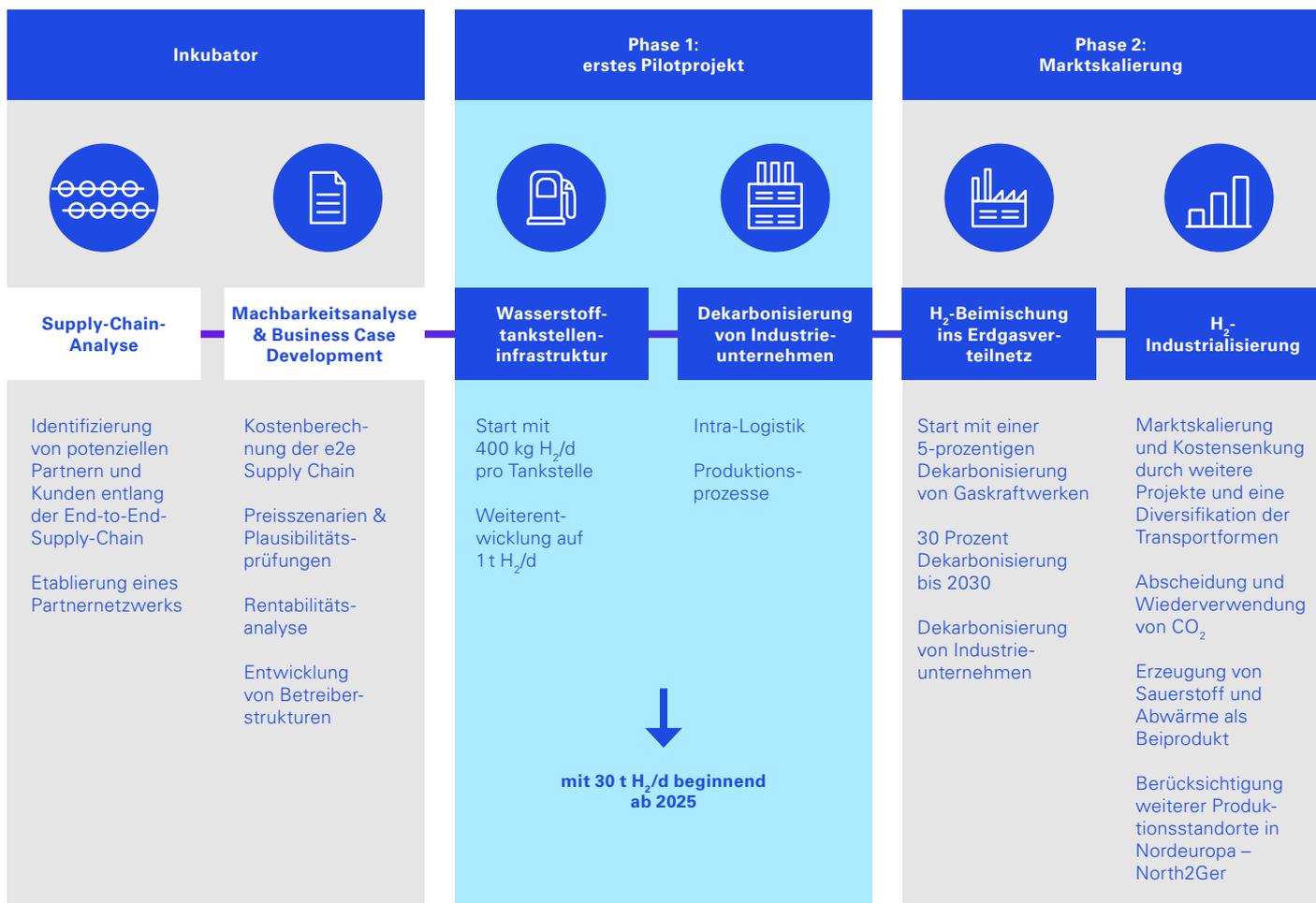
Basierend auf der bereits durchgeführten Machbarkeitsanalyse plant KPMG als Projektentwickler und -koordinator zusammen mit seinem Partnernetzwerk die Realisierung eines Pilotprojekts mit flüssigem Wasserstoff für den in Abbildung 2 dargestellten ersten Anwendungsfall. In der ersten Phase sieht das Pilotprojekt vorerst die Versorgung von Tankstellen und Industrieunternehmen mit 30 Tonnen grünem Wasserstoff pro Tag vor. In einer zweiten Phase könnte das Projekt auf einen wachsenden Bedarf angepasst und dementsprechend hochskaliert werden. Das Pilotprojekt soll im zeitlichen Ablauf durch weitere Demonstrationsprojekte ergänzt werden. Eine Darstellung der Entwicklung von dem Inkubator über die Realisierung des ersten Pilotprojekts bis zu einer Marktskalierung geht aus Abbildung 3 hervor.

Im ersten Pilotprojekt zur Versorgung der Tankstelleninfrastruktur sowie der geplanten Versorgung von

Industrieunternehmen wird der Wasserstoff zunächst in flüssiger Form von Schottland nach Deutschland transportiert. Grund hierfür ist, dass das Fassungsvermögen eines Containers für Flüssigwasserstoff (LH<sub>2</sub>) dreimal so hoch ist wie das eines vergleichbar großen Containers (300 bar) für gasförmigen Wasserstoff. Für die Anlandung des Wasserstoffs ist der Standort Wilhelmshaven prädestiniert. Der dortige Hafen eignet sich besonders für Container-Importe, da dieser für den Weitertransport an das Schienennetz angebunden ist. So werden Verzögerungsrisiken durch gegebenenfalls niedrige Wasserstände bei einem Weitertransport mit Binnenschiffen vermieden. Bei zukünftig steigenden Transportmengen des flüssigen Wasserstoffs ist ebenso der Einsatz eines Wasserstoff-Tankers denkbar.

Im Bereich des Mobilitätssektors könnte sukzessive ein immer größerer Teil des Bedarfs mit grünem Wasserstoff gedeckt werden, um langfristig Klimaneutralität

Abbildung 3:  
Vom Inkubator in die Realisierung



Quelle: KPMG in Deutschland, 2022

zu erreichen. Die Dekarbonisierung des Sektors zielt insbesondere auf den Schwerlasttransport ab. Zu Beginn könnten diverse Tankstellen in größeren Städten wie beispielsweise in NRW mit flüssigem grünem Wasserstoff beliefert werden. Dabei kann auf eine begrenzte Infrastruktur zurückgegriffen werden. Aktuell betanken 94 Tankstellen in Deutschland Kraftfahrzeuge mit Wasserstoff, davon setzt jedoch bisher nur eine grünen Wasserstoff ein.

Ein weiterer Anwendungsfall für gasförmigen Wasserstoff könnte im Energiesektor liegen, speziell bei der Dekarbonisierung von Gaskraftwerken und der Beimischung von Wasserstoff ins Erdgasverteilnetz. Das derzeitige Marktvolumen umfasst rund 87 Gaskraftwerke, die zukünftig grünen Wasserstoff nutzen könnten. Die Kapazitäten des Pilotprojekts könnten die 5-prozentige Dekarbonisierung und bis 2030 die 30-prozentige Dekarbonisierung ermöglichen. In

diesem Fall würde der Transport des Wasserstoffs in gasförmigen Zustand per Pipeline erfolgen.

„Eine Beimischung von Wasserstoff im heutigen Erdgasverteilnetz ist aktuell mit bis zu 20 Prozent möglich. Da den technischen Prozessen aller Kundengruppen und Anwendern Rechnung getragen werden muss, sind die Anforderungen und Möglichkeiten einer H<sub>2</sub>-Beimischung jeweils im Einzelfall mit dem aufnehmenden Netzbetreiber zu prüfen. Einen stärker planerischen und vorausschauenden Ansatz zu Wasserstoffaktivitäten im Verteilnetz verfolgt die Initiative „H2vorOrt“ im Rahmen des DVGW, zu der sich viele der deutschen Verteilnetzbetreiber zusammengeschlossen haben“ erläutert Nicolai Raß, Open Grid Europe GmbH.

# Technologisches Equipment für die Bereitstellung und den Transport des Wasserstoffs

Bei einem Projektvolumen von 30 Tonnen Wasserstoff pro Tag im Jahr 2025 ergibt sich bei einer Verladung pro Woche ein Transportvolumen von jeweils 210 Tonnen. Für eine erfolgreiche Umsetzung von Bereitstellung und Transport dieses Volumens müssen diverse technologische Voraussetzungen erfüllt sein.

Für den Energiebedarf zur Herstellung des grünen Wasserstoffs mittels Elektrolyse werden voraussichtlich eine Windenergiekapazität von 140 MW und ein Elektrolyseur mit einer Kapazität von 85 MW benötigt (KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2022). Dabei beträgt die erforderliche Fläche für den Elektrolyseur mindestens 4 ha (Siemens Energy, 2022). Zudem muss ein Verflüssiger mit einer Kapazität von 30 Tonnen Wasserstoff pro Tag bereitgestellt und betrieben werden. Während dies bereits heute technologisch umsetzbar ist, zielen aktuelle Entwicklungen auf Verflüssigungsanlagen mit einer Leistung von 70 Tonnen pro Tag ab.

Für den Transport der Menge an Wasserstoff werden 75 Container pro Woche benötigt. Daher bedarf es bedingt durch einen dreiwöchigen Hin- und Rücktransport insgesamt 225 Container. Je nachdem, wie die Container am Hafen gestapelt werden, sind zwischen 557 m<sup>2</sup> und 2.229 m<sup>2</sup> Verladefläche erforderlich. Einen genaueren Einblick in das erforderliche Equipment und die Konzepte zu Transport und Be- und Entladung des Wasserstoffs geben im Folgenden die Beiträge von Siemens Energy und Oerlikon.

## Siemens Energy: Wasserstofftransport – der Endverbraucher bestimmt das Konzept

**Gastbeitrag von**  
Jörg Keil

*Gas and Power, Industrial Applications and Distributed Generation Service, Compression, Marketing & Sales, Turbo Compressors, Advanced Business Siemens Energy*

Wasserstoff kann in verschiedenen Aggregatzuständen, zum Beispiel gasförmig, flüssig oder als Ammoniak, transportiert werden, wobei jede Form spezifische Vor- und Nachteile mit sich bringt. Die Wahl des Transportkonzepts wird dabei maßgeblich durch den Endverbraucher bestimmt. Ein Zielmarkt für Flüssigwasserstoff ist die Betankungsinfrastruktur für Brennstoffzellen-Anwendungen mit hohem Verbrauch in größeren Stückzahlen im Verkehrssegment. Hier wird hochreiner Wasserstoff benötigt und die Bereitstellung in flüssiger Form stellt eine ideale Lösung dar. Grüner Wasserstoff kommt naturgemäß aus Regionen mit einer hohen Verfügbarkeit an erneuerbaren Energien, wie beispielsweise Windkraft, Photovoltaik, Wasserkraft und Geothermie, und muss daher häufig über lange Distanzen transportiert werden. Ein Transport in flüssiger Form steigert dabei die Transportkapazität und minimiert Verluste.

Um den Wasserstoff zu verflüssigen, wird er auf moderate Drücke komprimiert und anschließend auf  $-253\text{ °C}$  abgekühlt. Heutige Verflüssiger mit einer Kapazität von bis zu 30 Tonnen pro Tag werden mit Kolbenkompressoren betrieben. Ab Kapazitäten von 70 Tonnen pro Tag, die in Zukunft durch verstärkte Wasserstoffherzeugung zur Verfügung stehen, können auch Turbokompressoren mit deutlich längeren Wartungszyklen, höherer Verfügbarkeit und deutlich geringerem Platzbedarf eingesetzt werden.

Für Brennstoffzellen wird Wasserstoff mit einer Reinheit von 99,97 Prozent benötigt. Die Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse oder Steam Methan Reforming, Transportkonzepte wie komprimiertes Gas in Tanks oder Pipelines, gebunden in LOHC oder Ammoniak, und schließlich die Komprimierung an der Tankstelle auf über 350 und 700 bar, führen zu erheblichen Verunreinigungen aus dem Erdgas oder durch die Kompressionssysteme. Der Wasserstoff muss daher meist zunächst gereinigt werden, bevor er für Brennstoffzellen verwendet werden kann. Eine reine Flüssigwasserstoff-Supply-Chain kann den Anfall von Verunreinigungen minimieren und somit die Notwendigkeit einer späteren Aufbereitung des Kraftstoffs deutlich reduzieren.

An den Tankstellen muss der Wasserstoff heute üblicherweise innerhalb von 5 bis 10 Minuten bei 700 bar beziehungsweise 350 bar abgegeben werden können. Hochdruckspeicher in Kombination mit Kompressionssystemen an den Tankstellen müssen den Wasserstoff in ausreichenden Mengen für die Überströmvorgänge bereitstellen. Busse nehmen bis zu 40 kg, Lkw bis zu 100 kg und Züge bis zu 180 kg Wasserstoff auf. Es müssen mehrere Betankungen hintereinander in kurzer Zeit möglich sein. Fahrzeughersteller wie Iveco, Nikola, Daimler und BMW entwickeln  $\text{LH}_2$ - und  $\text{CCH}_2$ -Tanksysteme, für die ebenfalls

ein Wasserstoffbedarf entsteht. Eine Flüssigwasserstoffbevorratung an der Tankstelle ermöglicht die Bereitstellung von tiefkalten Abgabeformen. Für vorgekühlte Abgabeformen kann man durch Pumpen und Regasifizierung im Vergleich zum Komprimieren höhere Abgabekapazitäten erzielen.

Bei einem Wasserstoff-Betankungsvorgang steigt die Temperatur im Fahrzeugtank stetig an und darf die maximal zulässige Temperatur von  $85\text{ °C}$  nicht überschreiten. Betankungsprotokolle sollen das sicherstellen. Kurze Tankzeiten lassen sich nur mit entsprechender Vorkühlung des Wasserstoffs erreichen. Aktuell wird der Wasserstoff für 700-bar-Betankungen auf  $-40\text{ °C}$  und für 350 bar auf  $-15\text{ °C}$  heruntergekühlt. Dieses Vorkühlen führt an Wasserstofftankstellen zu einem hohen Eigenenergieverbrauch.

Bei Flüssigwasserstoffanlieferung und -speicherung kann man die  $-253\text{ °C}$  kalte Flüssigkeit auf die gewünschte Temperatur regasifizieren und auf Kühlanlagen verzichten. Die  $\text{LH}_2$ -Anlieferung und -Speicherung an der Tankstelle erfordern deutlich weniger Transportvorgänge und weniger Aufstellungsfläche für Tanks. Umwandlungs- und Crackverluste wie bei  $\text{NH}_3$ , Extraktionsverluste wie bei LOHC oder hohe Kompressions- und Precooling-Verluste fallen nicht an.

Eine Kombination von verschiedenen Wasserstofftransportlösungen, zum Beispiel Ammoniak für den ersten Transportweg und – nach der Separierung – der Weitertransport in verflüssigter Form vom Cracker zur Tankstelle, würde zu unverhältnismäßig hohen Umwandlungsverlusten führen. Somit ist Flüssigwasserstoff für den Transport und den Betankungsvorgang die ideale Lösung mit den geringsten Transportverlusten und der höchsten Effizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette.



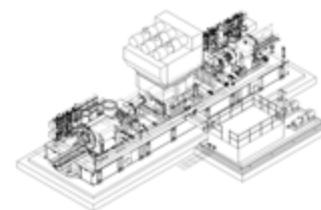
**Siemens Gamesa**  
Offshore-Windturbinen bis 15 MW

**Siemens Energy**  
Silyzer 300 – PEM Module Array



**Siemens Energy**  
Kolbenkompressor (moderate Volumenströme und hohe Drücke)

**Siemens Energy**  
Turbo-Kompressor-Strang mit Mittelmotor (hohe Volumenströme und moderate Drücke)



# Oerlikon Barmag: Pumpentechnologie zur Förderung von flüssigem H<sub>2</sub>

Abbildung 4:  
Schematische Darstellung der zentralen Förderaufgaben der Oerlikon-Spezialpumpen

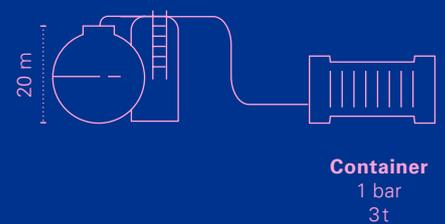
## Förderaufgabe 1 – Lagertank an Schiff



## Förderaufgabe 2 – Schiff an Lagertank



## Förderaufgabe 3 – Lagertank an Container



Quelle: Oerlikon Barmag, 2022

**Gastbeitrag von**  
Klaus Lorenz  
Head of Pump Division  
Oerlikon Barmag

Oerlikon Barmag Pumpenbau ist seit über 100 Jahren Hersteller von Spezialpräzisionspumpen. Mit Blick auf die Zukunft legt Oerlikon heute einen Schwerpunkt auf die Entwicklung von Pumpen zur Förderung und Dosierung von Flüssigwasserstoff. Bei den Spezialpumpen, die zukünftig im Wasserstofftransport zum Einsatz kommen könnten, verfügt die Oerlikon-Gruppe insbesondere über Expertise bei den Themen Verschleiß, Material und resistente Oberflächen. Die Spezialpumpen sollen durch ihre Oberflächenbeschaffenheit und eine spezielle Dichtungstechnik einen hohen Wirkungsgrad erreichen. Dafür wurden spezielle Materialien und Oberflächenbeschichtungen entwickelt, die resistent gegen Wasserstoffversprödung sind.

Abnehmer der Pumpen können dann sowohl Energieerzeuger als auch Hafen- und Tankstellenbetreiber sein. Die Förderleistung für Flüssigwasserstoff bei diesem Pumpentyp soll bei einer Förderleistung von 5 Tonnen pro Stunde starten und bis auf 500 Tonnen pro Stunde skalierbar sein. Der Betrieb der Pumpen soll mit geringem Wärmeeintrag und einem hohen Wirkungsgrad erfolgen, um einen Boil-Off des Wasserstoffs minimal zu halten und so bares Geld zu sparen. Mit der neuen Pumpentechnologie könnten Lade- und Löschvorgänge von Tankschiffen bzw. Tanks und Containern energieeffizient durchgeführt werden. Auch könnten zukünftige Pipelines damit betankt werden. Der Einsatz wäre sowohl zentral als auch dezentral möglich.

Oerlikon könnte somit ein wichtiger Partner zur erfolgreichen Umsetzung der Initiative Scot2Ger werden. Die Pumpentechnologie des Unternehmens könnte in Schottland zum Einsatz kommen, um die zu transportierenden Container mit Wasserstoff zu befüllen. Nach der Ankunft in Deutschland könnten die Container dann zum Weitertransport an die Abnehmer mit diesen Pumpen abgepumpt werden.



## Transport

Die erste Anlandung des grünen Wasserstoffs in Deutschland ist in Wilhelmshaven geplant. Der dortige Hafen soll als eine Drehscheibe für Wasserstoff operieren. Der Wasserstoff kann am Hafen direkt für lokale Anwendungsfälle genutzt oder weitertransportiert werden. Bereits heute bietet der Hafen durch den Anschluss an einen zweigleisigen Bahnhof optimale Bedingungen für den Weitertransport auf der Schiene. Langfristig ist ein zusätzlicher Weitertransport von gasförmigem Wasserstoff per Pipeline vorgesehen. Im Folgenden gibt der Hafen der Stadt Wilhelmshaven einen Überblick über die vielfältigen Möglichkeiten zu Anlandung und Weitertransport.

# Der Weg Wilhelmshavens von einer fossilen Energiedrehscheibe zu einer Drehscheibe für erneuerbare Energien

Abbildung 5:  
Alleinstellungsmerkmale ENERGY HUB – Port of Wilhelmshaven



Quelle: Fraunhofer IST, dena 2022: Präsentation des Standortkonzepts

## Gastbeitrag von Dr. Anna Ernst

Projektleitung Regionalmanagement  
Strukturwandel Kohleausstieg,  
Wirtschaftsförderungsgesellschaft  
Wilhelmshaven mbH

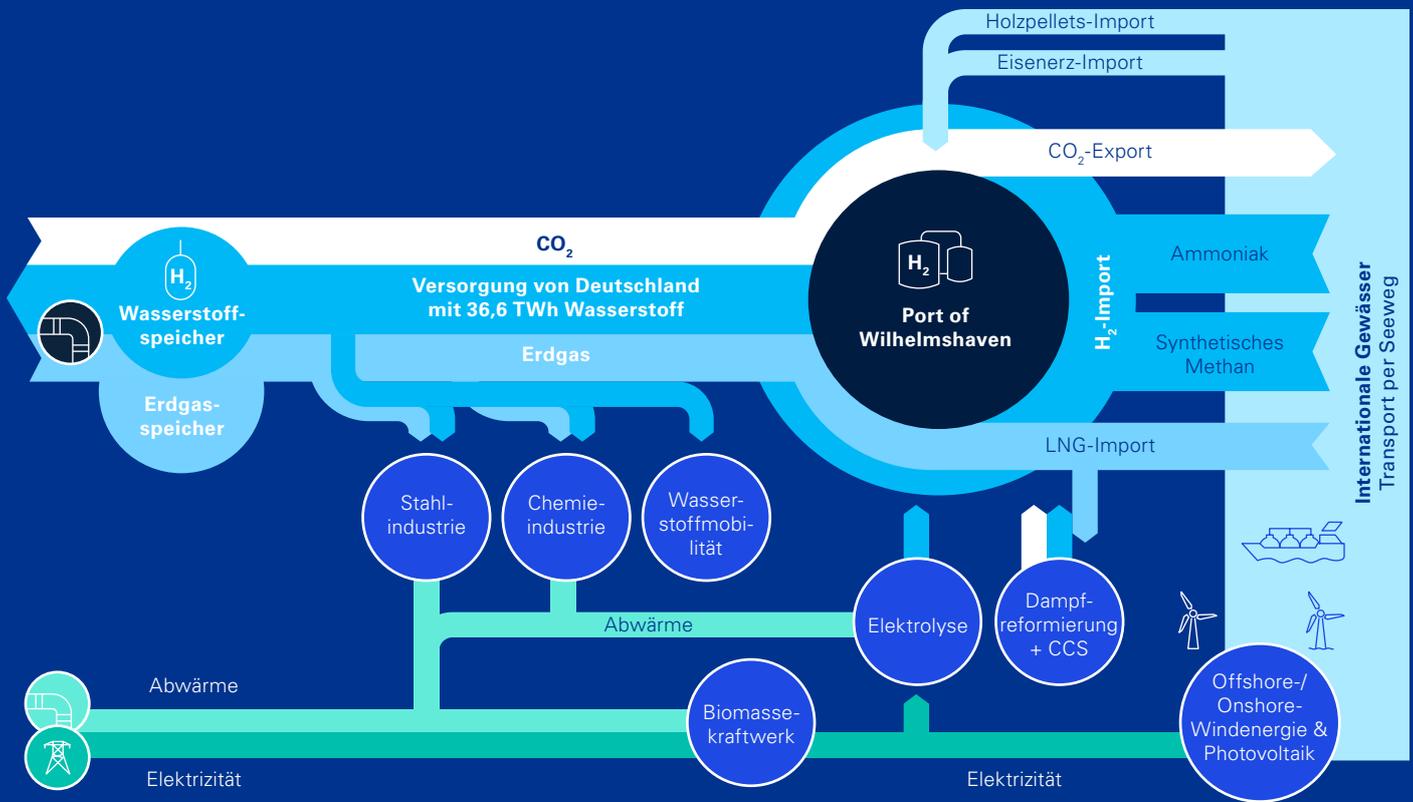
Das Motto „Eine Welt im Wandel – eine Stadt in Bewegung“ bringt auf den Punkt, was gerade in Wilhelmshaven passiert: Wilhelmshaven ist bereits heute einer der wichtigsten Importhäfen Deutschlands für Energieträger, das heißt der ENERGY HUB für fossile Brennstoffe (Kohle, Öl, Gas), und steht vor der Herausforderung, sich bis 2045 zu einem ENERGY HUB für erneuerbare Energien zu wandeln. Wilhelmshaven verfügt über den einzigen Tiefwasserhafen Deutschlands. Durch eine natürliche und tideunabhängige Fahrrinne von 18 Metern Tiefe sowie eine ausge-

zeichnete nautische Erreichbarkeit können Schiffe mit großem Tiefgang unkompliziert anlanden. Es stehen vielfältige Hafenanlagen zur Verfügung, die sowohl flüssige, feste als auch gasförmige Massengüter und Chemikalien umschlagen können. Zudem umfasst der Hafen das Containerterminal Wilhelmshaven (JadeWeserPort), an dem selbst die größten Containerschiffe festmachen können. Damit bietet Wilhelmshaven den attraktivsten Umschlagplatz an der deutschen Küste für den Import von Energieträgern im industriellen Maßstab. Bisher hat der Import von Kohle und Erdöl die regional ansässige Energiewirtschaft geprägt, zukünftig soll diese Rolle durch Importe von Erdgas sowie Wasserstoff und seinen Derivaten übernommen werden. Die bestehende Infrastruktur zu Umschlag, Konversion, Transport und Speiche-

rung von Energie und die vergleichsweise großen erschlossenen Industrie- und Gewerbeflächen in unmittelbarer Nähe zum Hafen ermöglichen eine schnelle Realisierung von Wasserstoffprojekten.

Die bestehende Energie- und Wirtschaftsinfrastruktur und vor allem der Tiefwasserhafen bieten einzigartige Potenziale für eine integrierte Nutzung von Wasserstoff, die nicht nur für die Region, sondern für ganz Deutschland ein wichtiger Baustein der zukünftigen Wasserstoffwirtschaft sein werden. Abbildung 5 fasst die wesentlichen Alleinstellungsmerkmale der Region zusammen, die sowohl regionale als auch nationale und internationale Wasserstoffwertschöpfungsketten befördern. Wirtschafts- und Industriepartner haben erkannt, dass die individuellen Stärken gebündelt

Abbildung 6:  
Wertschöpfungskette der zukünftigen H<sub>2</sub>-Wirtschaft des ENERGY HUB – Port of Wilhelmshaven



Quelle: Fraunhofer IST, dena 2022: Präsentation des Standortkonzepts

werden müssen, um diese Potenziale zu heben und die Chancen zu nutzen. Daher ist die Initiative „ENERGY HUB – Port of Wilhelmshaven“ entstanden. Gemeinschaftlich sollen Strategien entwickelt und vor allem Synergien zwischen einzelnen Projekten genutzt werden, sodass ein Stoffkreislauf entstehen kann.

In der Region planen diverse Akteure Projekte, die die gesamte Wasserstoffwertschöpfungskette abbilden. Abbildung 6 fasst die geplanten Projekte grafisch zusammen. Hierbei wird deutlich, dass die Region nicht nur Wasserstoff- und Energieproduzentin sein wird; es ergeben sich auch diverse Anwendungsfälle für Wasserstoff, zum Beispiel in der regionalen Chemieindustrie, die zurzeit noch ihren Bedarf mit per Lkw angeliefertem grauen Wasserstoff deckt, der durch grünen Wasserstoff ersetzt

werden soll. Im Bereich der Stahlherstellung wurde durch eine umfassende Studie bereits die technische Machbarkeit einer Anlage zur Direktreduktion von Eisenerz in Wilhelmshaven festgestellt.

Im Segment Mobilität und Logistik, in dem die Region einen Knotenpunkt darstellt, existieren bereits erprobte Anwendungen für Wasserstoff. Dieser Nukleus verfügt über das Potenzial, unterschiedliche Bereiche miteinander zu verbinden und die gesamte regionale (Wasserstoff-)Wirtschaft zu befördern.

In diesem Zusammenhang ist in der Region in den kommenden zwei Jahren auch der Bau von zwei Wasserstofftankstellen geplant. Diese werden den regionalen Markthochlauf im Bereich Logistik und Mobilität wesentlich unterstützen.

Im Zuge der Scot2Ger-Initiative können im Containerterminal Wilhelmshaven problemlos Wasserstoff-Container anlanden und über Schiene oder Straße weitertransportiert werden – entweder zur Anwendung direkt in der Region oder deutschlandweit. Der Import kann über Wilhelmshaven erfolgen, ohne dass neue Infrastrukturen geschaffen werden müssen. Dies unterstützt den Pioniercharakter des Projektes, da ein schneller Import gewährleistet werden kann. Des Weiteren kann das Projekt durch die kurzfristige Bereitstellung von grünem Wasserstoff die Umstellung von Prozessen und Umsetzung von einschlägigen Projekten in der Region befördern.

# Regasifizierung des flüssigen Wasserstoffs

Nachdem der Transport erfolgt ist, gilt es, den Wasserstoff in den für die jeweilige Verwendung notwendigen Aggregatzustand zu transformieren. Da Wasserstoff hauptsächlich in gasförmigem Zustand benötigt wird, spielt die Regasifizierung eine wichtige Rolle.

Die Regasifizierung von Wasserstoff kann in Deutschland an unterschiedlichen Orten erfolgen. Je nach Anwendungsfall kann der flüssige Wasserstoff zentral im Hafen oder dezentral beim Endabnehmer regasifiziert werden. Eine dezentrale Lösung ist vor allem im Bereich der Tankstellen von Vorteil, da der Wasserstoff direkt durch das Verdampfen und Komprimieren regasifiziert in den Fahrzeugtank (Druckbehälter) gepumpt wird. Gleiches gilt für den Einsatz in Gaskraftwerken. Der Wasserstoff wird direkt verdampft und komprimiert, ehe dieser in das Pipeline-Netz gepumpt wird, wo er dann auf dem gewünschten Druckniveau transportiert werden kann. Die Transportcontainer für den flüssigen Wasserstoff können somit unmittelbar als Speichermedium vor Ort genutzt werden. Erfolgt die Regasifizierung am Hafen, wird der gasförmige Wasserstoff in 40-Fuß-Containern mit Druckbehältern gespeichert und zum Endverbraucher transportiert.

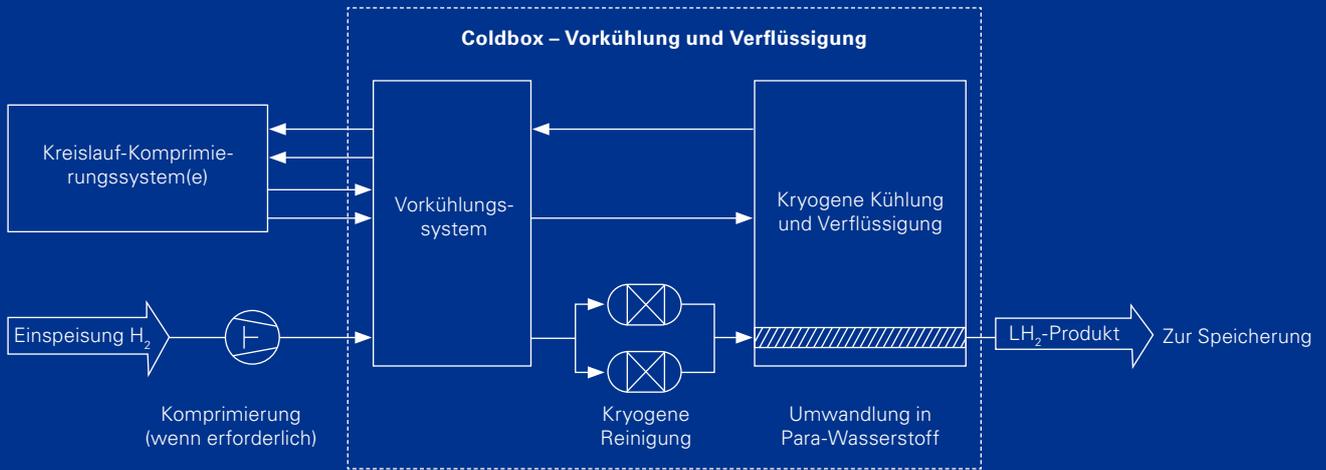
## Messer: Optimierung der Wertschöpfungskette für Wasserstoff

**Gastbeitrag von**  
Tim Evison  
*Senior Vice President*  
*Clean Hydrogen*  
Messer

In den letzten Jahrzehnten hat sich Flüssigwasserstoff als bevorzugte Methode für den Transport großer Wassermengen in Amerika durchgesetzt. Die NASA und der Raumfahrtsektor lösten die Nachfrage nach flüssigem Wasserstoff aus, in der Folge gewann die Wirtschaftlichkeit der Logistik mit flüssigem anstelle von gasförmigem Wasserstoff die Oberhand. Heute liefert Messer täglich flüssigen Wasserstoff für diverse Anwendungen – von der Chip-Fertigung über die Wärmebehandlung bis hin zur emissionsfreien Betankung.

Die Wasserstoffverflüssigung ist eine gut etablierte, wenn auch hoch spezialisierte Technologie. Sie erfordert keine komplexe Stoffumwandlung und liefert hochreinen Wasserstoff für den Endverbrauch. Die weltweit installierte Wasserstoffverflüssigungskapazität liegt bei etwa 400 Tonnen pro Tag. Die größte derzeit in Betrieb befindliche Anlage hat eine Kapazität von 34 Tonnen pro Tag.

Abbildung 7:  
Vereinfachtes Blockflussdiagramm für den Wasserstoffverflüssigungsprozess



Quelle: Messer, 2022

Die logistischen Vorteile von Flüssigwasserstoff ergeben sich aus seiner höheren Energiedichte im Vergleich zu komprimiertem gasförmigem Wasserstoff: Flüssigwasserstoff hat bei einer Temperatur von  $-253\text{ °C}$  und einem Druck von 1 bar eine Dichte von  $70\text{ kg/m}^3$ . Komprimierter gasförmiger Wasserstoff weist bei  $20\text{ °C}$  und 300 bar Druck eine Dichte von  $20\text{ kg/m}^3$  auf. Die Verflüssigung bietet den Vorteil, dass bereits bei Atmosphärendruck sehr hohe volumetrische Speicherdichten von Wasserstoff erreicht werden können. Dies hat auch Einfluss auf die Kosten.

### Wasserstoff-Verflüssigung

Flüssiger Wasserstoff wird in einem Wasserstoffverflüssigungsverfahren durch Abkühlung und Verflüssigung eines gasförmigen Wasserstoffstroms von Umgebungstemperatur bei etwa  $27\text{ °C}$  auf die Temperatur des flüssigen Wasserstoffs von  $-253\text{ °C}$  bei Normaldruck erzeugt.

Der in einer Wasserstoffproduktionsanlage erzeugte Wasserstoff wird gereinigt und dann unter einem Druck zwischen 15 und 30 bar in die „Coldbox“ der Wasserstoffverflüssigungsanlage geleitet.

Der Wasserstoffverflüssigungsprozess kann in verschiedene Prozessschritte unterteilt werden. Die Kühlung und die Verflüssigung des Wasserstoffs erfolgen typischerweise mithilfe von zwei oder mehreren Kältemittelsystemen auf unterschiedlichen Temperaturniveaus. In einem ersten Schritt vor der Wasserstoffverflüssigung wird der Wasserstoffzufuhrstrom durch einen Vorkühlungs-Kältemittelstrom oder einen Vorkühlungskreislauf auf eine mittlere Vorkühlungstemperatur abgekühlt.

Nach der Vorkühlung wird der Wasserstoff zur weiteren Reinigungseinheit in eine kryogene Adsorptionseinheit geleitet. Das Wasserstoffgas wird anschließend weiter abgekühlt und katalytisch von Normalwasserstoff mit einem Para-Wasserstoff-

Massenanteil von 25 Prozent in Wasserstoff mit einem Para-Wasserstoff-Massenanteil von mehr als 98 Prozent umgewandelt.

Die Kühlleistung unterhalb der Vorkühltemperatur wird durch einen kryogenen Kältemittelkreislauf bereitgestellt. Der Wasserstoff-Einspeisestrom wird dann vom Einspeisungsdruck auf den endgültigen LH<sub>2</sub>-Produktspeicherdruck entspannt und anschließend verflüssigt. Der LH<sub>2</sub>-Speicherdruck beträgt 1,2 bis 2,5 bar. Die endgültige LH<sub>2</sub>-Reinheit ist üblicherweise höher als 99,99999 Massenprozent Wasserstoff.

Nach dem Wasserstoffverflüssigungsprozess wird der Flüssigwasserstoff in zylindrischen oder kugelförmigen LH<sub>2</sub>-Speicherbehältern gelagert. Aus den Lagerbehältern wird das LH<sub>2</sub>-Produkt in der Verladeanlage in Tankcontainer, Tankauflieger oder Tankschiffe zur Auslieferung an die Kunden abgefüllt.



Beispiel für einen liegenden LH<sub>2</sub>-Lagertank (USA)

### Flüssigwasserstoff-Transport

Der weltweite Seetransport von kryogenen Gasen, insbesondere Helium, erfolgt heute in isolierten 40-Fuß-Containern. Diese kombinieren eine Vakuumisolierung mit einer Schutzschicht, die mit flüssigem Stickstoff gefüllt ist.

Solche Behälter sind auch für den Transport von Flüssigwasserstoff erhältlich, beispielsweise von Gardner Cryogenics: UN Portable Tanks mit einem Volumen von bis zu 41.640 Litern in 40 Fuß großen ISO-Rahmen.

Während solche Behälter auf der Straße transportiert werden können, typischerweise vom Hafen

zu einer Umladestation, lassen sich für den nationalen Straßentransport von Flüssigwasserstoff auch größere Tankauflieger verwenden. Diese dürfen, je nach lokaler Gesetzgebung, bis zu 4.000 kg Flüssigwasserstoff fassen.

Insbesondere bei der Lieferung größerer Wasserstoffmengen über längere Distanzen oder wenn anwendungsseitig sehr hohe Reinheitsanforderungen gestellt werden, bietet flüssiger Wasserstoff – auch bei höheren Drücken – aus logistischer Sicht Vorteile gegenüber gasförmigem Wasserstoff.

Der Einsatz von Wasserstoff in Betankungsanwendungen verbindet

die Aussicht auf eine steigende Mengennachfrage bei Flottenbetreibern mit wachsenden Fahrzeugflotten und hohen Reinheitsanforderungen für Brennstoffzellenanwendungen.

### Betankung mit Wasserstoff

Die Tankstelleninfrastruktur für die Versorgung von Lkw und Bussen mit LH<sub>2</sub> bietet im Vergleich zur hochdruckbasierten Versorgung niedrigere Investitions- und Betriebskosten sowie einen geringeren Platzbedarf. Das Pumpen von flüssigem Wasserstoff benötigt weniger Energie als das Komprimieren von gasförmigem Wasserstoff.



Beispiel für einen 4.000 kg schweren LH<sub>2</sub>-Anhänger (USA)

Messer zeigte bei einem Leistungstest in den USA, dass eine auf LH<sub>2</sub> basierende Betankung in der Lage ist, 30 Busse mit einer durchschnittlichen Masse von 24,5 kg H<sub>2</sub> pro Bus in einer durchschnittlichen Betankungszeit von 6,5 Minuten zu betanken. Bei dieser im Vergleich zu gasförmigem Wasserstoff schnellen Betankung bei hohem Druck wirkt sich die niedrige Temperatur von LH<sub>2</sub> vorteilhaft aus: Durch die Entspannung während der Betankung erwärmt sich der Wasserstoff und somit auch die zu betankenden Hochdruck-Tanks. Der Betankungsvorgang muss innerhalb eines bestimmten Temperaturfensters stattfinden.



Beispiel einer LH<sub>2</sub>-basierten Betankungsanlage, einschließlich LH<sub>2</sub>-Speicher, Pumpe und Verdampfer (Dispenser nicht abgebildet)



## Netzwerk mit starken Industriepartnern zur Projektrealisierung

Nach dem erfolgreichen Aufbau eines Netzwerks an starken Industriepartnern entlang der Supply Chain wird im nächsten Schritt die Gründung einer Projektgesellschaft angestrebt. Es konnten bereits einige Partnerschaften im Bereich der Stromerzeugung, Elektrolyse, Verflüssigung und Speicherung sowie für den Transport von Wasserstoff mit potenziellen Häfen und Abnehmern geschlossen werden. Der ausführliche Business Case von KPMG dient dabei als Grundlage für die Entwicklung einer detaillierten Wasserstoffstrategie und der späteren Projektrealisierung. Dabei bewertet der Business Case die End-to-End-Supply-Chain von Schottland nach Deutschland

hinsichtlich Kosten, Wirkungsgrad und technischer Parameter. Zur stetigen Aktualisierung und weiteren Validierung des Business Case holt das Partnernetzwerk derzeit unter anderem Angebote für technisches Equipment ein und initiiert Absichtserklärungen sowie Abnahme- und Lieferverträge. Die Bestellung und Inbetriebnahme des technischen Equipments erfolgt im späteren Verlauf durch die angestrebte Projektgesellschaft. Zur Deckung der Investitionskosten entlang der Supply Chain für die Produktion von 30 Tonnen Wasserstoff pro Tag stehen zukünftig das Fundraising von Fördermitteln und die Akquise und Einbindung von Investoren im Vordergrund. Ziele liegen unter



**„Wir haben bei Bilfinger bereits umfangreiche Erfahrungen mit der Wasserstofftechnologie gesammelt – und dies sowohl in der Produktion, in der Speicherung und im Transport. Hilfreich waren dabei unsere herausragenden Kompetenzen im Bereich Erdgas. Darüber hinaus haben wir bereits viele Unternehmen dabei unterstützt, Wasserstoffprojekte aufzusetzen, die wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen zu analysieren und Genehmigungen einzuholen.“**

**Steve Hill**

Global Development Director – Energy & Utilities & Key Account Management,  
Bilfinger UK

anderem in der Schließung weiterer Partnerschaften, der Entwicklung einer Eigentümerstruktur, der Gründung einer Projektgesellschaft sowie der Ausgestaltung des Geschäftsmodells.

Geografisch stehen aktuell Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen als starke Wirtschaftsregionen und aufgrund ihrer Attraktivität im Hinblick auf die identifizierten Anwendungsfälle im Fokus. Zur Nutzung der vielfältigen Potenziale und der Skalierung des Projektes werden zudem auch in anderen Bundesländern erste Gespräche mit potenziellen Abnehmern geführt.

Neben Partnern und Abnehmern aus der Industrie spielt auch die politische Unterstützung eine wichtige Rolle. Ein aktuelles Beispiel einer solchen politischen Unterstützung ist die Genehmigung der Europäischen Kommission eines Vorhabens von 15 Mitgliedsstaaten zur Förderung einer europäischen Wasserstoffinfrastruktur unter dem Namen „IPCEI Hy2Tech“ in Höhe von 5,4 Milliarden Euro im Rahmen des Programms „Important Project of Common European Interest“ („IPCEI“, Europäische Kommission, 2022).

# Kostenentwicklung im Rahmen der Projektrealisierung

Je nach Anwendung – und ob entsprechend eine Regasifizierung nötig ist – variieren die Gesamtkosten pro Kilogramm Wasserstoff zwischen 6,30 und 7,02 Euro (KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Stand Mai 2022). Deshalb wird der Break-even-Point ohne erforderliche Regasifizierung schneller erreicht. In den Kosten sind zudem die Wasserstoffproduktion, die Verflüssigung, der Transport und die Projektsteuerung eingepreist. Verschiedene Kostensenkungspotenziale lassen optimistisch in die Zukunft blicken.

Im Bereich der technologischen Entwicklung stellen insbesondere die Erhöhung des Wirkungsgrades des Elektrolyseurs, die Steigerung der Kapazität des Verflüssigers, steigende Energieeffizienz und die Umstellung von Containerschiffen auf H<sub>2</sub>-Tanker Potenziale zur Kostensenkung dar. Zudem soll die direkte Regasifizierung durch Umpumpen des Flüssigwasserstoffs in Pipelines umsetzbar sein. Ein weiteres Potenzial zur Kostensenkung liegt in der Erhöhung des Massenstroms der Wasserstoffpumpen. Während die operativen Kosten der Wasserstoffgenerierung durch sinkende Energiekosten in Schottland und Deutschland reduziert werden könnten, sind durch eine Preissenkung bei Elektrolyse und Stack-Austausch wesentliche Einsparungspotenziale bei den Investitionskosten gegeben.

Weitere Kostensenkungspotenziale bestehen durch die hohe Skalierbarkeit des Projektes und die steigenden Kapazitäten der Windkraftanlagen. Letzteres führte dazu, dass Konzepte wie die Integration von Elektrolyse auf hoher See und der Transport des gewonnenen Wasserstoffs per Pipeline ans Festland attraktiver werden. Daher lohnt es sich langfristig, in ein Pipelinenetzwerk zu investieren, um die Transportkosten zu senken. Ab 2023 ist unter dem Namen „NeuConnect“ der Bau eines Unterseekabels von Großbritannien nach Deutschland geplant, das bereits 2028 in Betrieb genommen werden soll (NeuConnect, 2022). Mittelfristig betrachtet können beim Transport von Flüssigwasserstoff weitere Preissenkungen durch die Nutzung von Tankschiffen erzielt werden. Diese weisen aufgrund des durch die Verflüssigung komprimierten Wasser-

stoffs und die Kapazität der Schiffe ein hohes Transportvolumen auf. Auch Leasingmodelle für Container bieten für die Anfangszeit mögliche Einsparungspotenziale. Die benötigten Container können je nach Bedarf geleast werden und so unnötigen Leerlaufzeiten entgegenwirken.

Weiterhin bieten Inward Investments ein großes Potenzial zur Kostensenkung. Zum einen können technologische Investitionen durch Netzwerkpartner zur Realisierung der End-to-End-Supply-Chain beitragen und gleichzeitig einen Wettbewerbsvorteil für die Unternehmen bedeuten. Zum anderen bieten Inward Investments ein erweitertes Potenzial für regionale Anwendungsfälle für grünen Wasserstoff, die neue Arbeitsplätze schaffen und die Verpflichtung und Verantwortung der Unternehmen erhöhen.

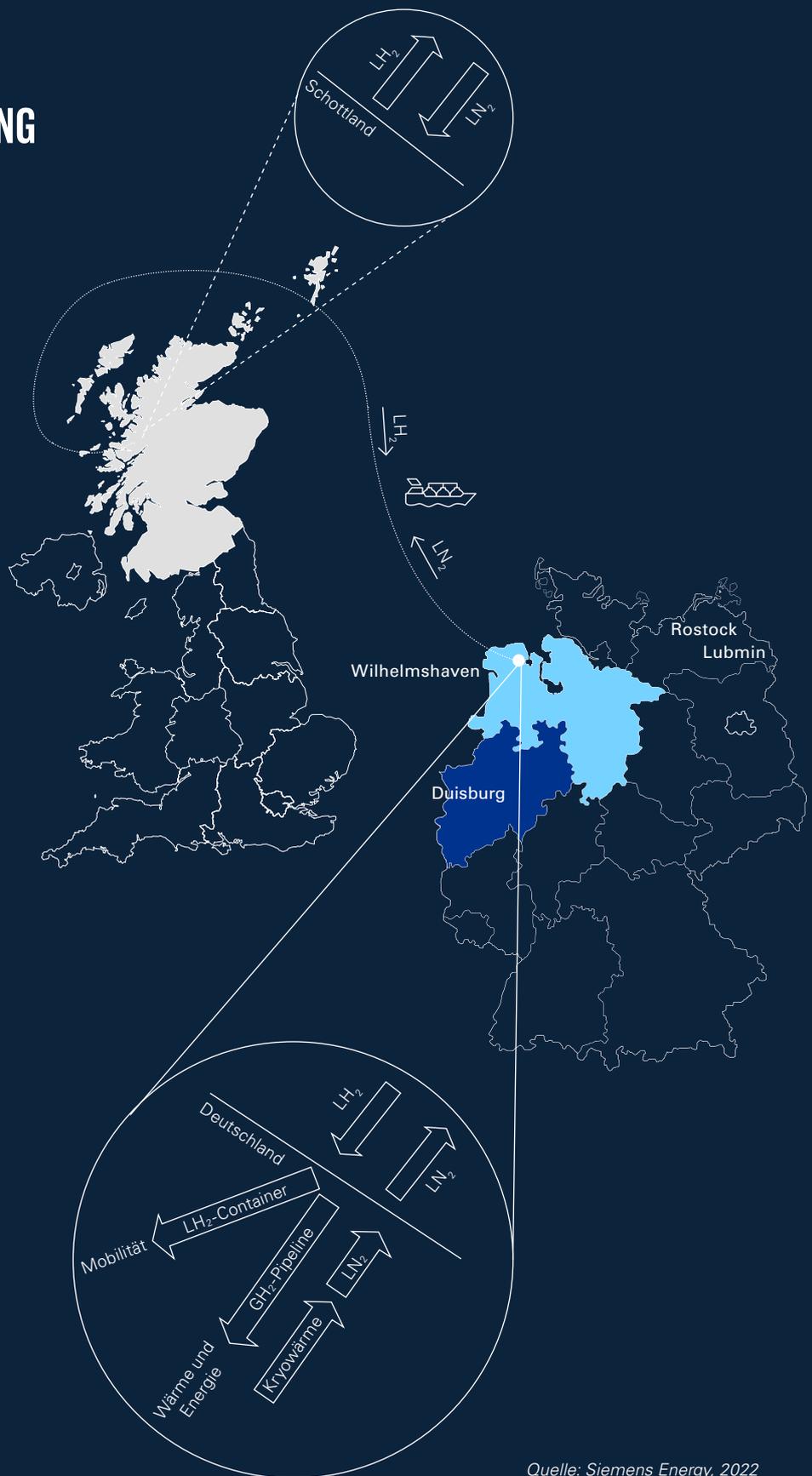
# NUTZUNG DER H<sub>2</sub>-REGASIFIZIERUNGSKÄLTE ZUR STICKSTOFFABSCHIEDUNG UND VERFLÜSSIGUNG

## Gastbeitrag von

Jörg Keil

*Gas and Power, Industrial Applications and Distributed Generation Service, Compression, Marketing & Sales, Turbo Compressors, Advanced Business Siemens Energy*

Die Kälte aus der Regasifizierung des Wasserstoffs kann für die Abscheidung des Stickstoffs aus der Umgebungsluft und Verflüssigung verwendet werden. Die Kryo-Tanks werden für den Rückweg mit dem verflüssigten Stickstoff befüllt und zurück nach Schottland transportiert. Dort wird der flüssige Stickstoff für die Vorkühlung im Wasserstoffverflüssigungsprozess genutzt und den angrenzenden Synthesanlagen anschließend zur Ammoniak-Urea-Herstellung zugeführt. Eine kleine Teilmenge verbleibt in den Containern für den Transport als Schildkühlung zur Minimierung der Boil-off-Verluste nach erneuter Befüllung mit Wasserstoff für den Export. Die Container bleiben auf tiefem Temperaturniveau und müssen vor einer erneuten Befüllung in Schottland nicht mehr heruntergekühlt werden. Die zurückgewonnene Kryokälte bei der Regasifizierung und Pipelineinspeisung und aufrechterhaltene Transporttemperaturen reduzieren den Energieaufwand und die damit verbundenen Kosten.



Quelle: Siemens Energy, 2022

# Vision zur Erweiterung der Marktpotenziale zwischen Schottland und Deutschland

Der Fokus des Projektvorhabens liegt auf dem Export von grünem Wasserstoff von Schottland nach Deutschland, aber auch die Ausschöpfung vielfältiger weiterer Potenziale hinsichtlich der Erreichung von Klimaneutralität und einer kosteneffizienten Marktskalierung spielt eine wichtige Rolle. Die möglichen Ansatzpunkte zur Senkung der Projektkosten und damit des Wasserstoffpreises bis 2030 liegen insbesondere in einer breiteren Aufstellung, der technologischen Entwicklung und einer hohen Skalierung. So tragen zum Beispiel die unterirdische Speicherung von CO<sub>2</sub> und der Verkauf von Sauerstoff als Beiprodukt zu einer breiteren Aufstellung des Projektes bei, die gleichzeitig die Kosten reduziert und CO<sub>2</sub>-Emissionen senken kann.

## Abscheidung und Wiederverwendung von CO<sub>2</sub>

Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) entsteht unter anderem als Abscheideprodukt aus Industrieprozessen und kann als solches aufgefangen und gespeichert werden. In der Industrie entstandene CO<sub>2</sub>-Emissionen werden abgeschieden, anschließend via Schiff oder Pipeline überführt und temporär in tiefen geologischen Formationen gespeichert. Das CO<sub>2</sub> kann so lange eingelagert werden, bis es zur Produktion von Kohlenwasserstoffverbindungen und anderen chemischen Stoffen verwendet wird. Wenn CO<sub>2</sub> als Reaktionsprodukt mit Wasserstoff in Verbindung gebracht wird, können damit zum Beispiel Methan und Methanol erzeugt werden. Durch die Weiterverarbeitung entstehen keine zusätzlichen Treibhausgasemissionen. Dieses „grüne“ CO<sub>2</sub> kann zur Wiederverwendung an weitere Abnehmer verkauft werden und trägt somit zur Reduktion der Treibhaus-effekte bei. CO<sub>2</sub> kann zum Beispiel in Ölfeldern gespeichert, in einem Organic Rankine Cycle zur Generierung elektrischer Energie eingesetzt oder für die Produktion von synthetischen Kraftstoffen für den Mobilitätssektor verwendet werden.

Schottland verfügt über großes Potenzial für die geologische Speicherung von Kohlenstoffdioxid. Ungefähr 40 Prozent der europaweiten CO<sub>2</sub>-Speichermöglichkei-

ten liegen vor den britischen Küsten, die Hälfte davon in Schottland. Daher liegt hier ein wesentliches Ausbaupotenzial des Projektes.

## Erzeugung von Sauerstoff als Beiprodukt

Bei der Wasserelektrolyse entstehen pro Kilogramm Wasserstoff zusätzlich acht Kilogramm Sauerstoff (O<sub>2</sub>) als Beiprodukt. Damit der entstehende Sauerstoff die für einen Verkauf erforderliche Reinheit erzielt, muss ein Reinigungs- und Speichersystem für Sauerstoff in das Gesamtanlagenkonzept integriert werden. Der entstandene Sauerstoff kann ebenfalls in diversen Sektoren erneut verwendet werden. Mögliche Abnehmer können unter anderem Krankenhäuser sowie der Medizinsektor allgemein, Stahlwerke und Ö raffinerien sein.

## Erzeugung von Abwärme als Nebenprodukt

Ein weiteres nutzbares Nebenprodukt der Wasserelektrolyse ist die Abwärme. Pro Kilogramm Wasserstoff entstehen circa 0,2 kWh Abwärme. Die Abwärme weist eine Temperatur von 80 °C auf und kann anschließend über Pipeline-Systeme zum Abnehmer transportiert werden. Die Abwärme sollte in unmittelbarer Nähe des Endabnehmers produziert und genutzt werden. Das Kostensenkungspotenzial für die Wasserstoffherzeugung ist jedoch durch den Verkauf von Sauerstoff deutlich größer als durch den Verkauf von Abwärme.

## Vom Pilotprojekt zu North2Ger

Im Pilotprojekt werden vielfältige Erfahrungen hinsichtlich einer Supply Chain für grünen Wasserstoff gewonnen. Daher bietet es sich an, diese Expertise für den Export aus weiteren europäischen Ländern zu nutzen. Länder wie Irland, Norwegen, Dänemark und Island stellen interessante potenzielle Erweiterungen dar, die Deutschland bei der Sicherstellung einer ausreichenden Wasserstoffversorgung unterstützen und im Austausch von Inward Investments, deutscher Technologie und Know-how profitieren können.



# Ausbau einer Pipeline-Infrastruktur

Die Entwicklung einer Supply Chain für grünen Wasserstoff im industriellen Maßstab im Rahmen des Projektes geht mit vielen Zukunftspotenzialen einher. So wird zum Beispiel der Ausbau einer Infrastruktur zur Verteilung von Wasserstoff per Pipeline vorangetrieben. Im Folgenden wird OGE als Spezialist auf diesem Themengebiet die zukünftigen Möglichkeiten des Weitertransports per Pipeline darlegen.

# Open Grid Europe GmbH: Weitertransport des Wasserstoffs in Deutschland ab Ende der 2020er-Jahre

## Gastbeitrag von

Nicolai Raß

*Business Development*

*Leiter Produkt- und Marktentwicklung*

*Open Grid Europe GmbH*

Deutschland steht vor der enormen Herausforderung, seinen Energiebedarf über dekarbonisierte und diversifizierte Quellen zu decken. Dazu müssen zeitnah Lösungen gefunden werden, die den Pfad zur Klimaneutralität ebnen und zeitgleich die Versorgungssicherheit gewährleisten. Um diese Klimawende zu ermöglichen, ist der schnellstmögliche Ausbau der Wasserstoffwirtschaft erforderlich, basierend auf inländischer Produktion und auf Importen, wie zum Beispiel aus Schottland.

## Infrastrukturaufbau in Deutschland

Um einen schnellen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft zu ermöglichen, ist eine umgehende Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur essenziell. Dazu haben die deutschen Fernleitungsnetzbetreiber (FNB Gas) im Rahmen des öffentlich konsultierten Netzentwicklungsplanes eine Marktabfrage zu Wasserstoffherzeugung und -bedarf durchgeführt. In dieser zeigen sich hohe Bedarfe in den heutigen Industrie-

clustern, wie zum Beispiel im Ruhrgebiet, dem Kölner Raum und entlang der Rheinschiene Richtung Süden. In Abbildung 8 wird der Bedarf anhand einer Analyse des FNB Gas dargestellt.

Um die erforderliche nachhaltige Produktion mit den regionalen Bedarfwünschen zu verbinden, wurden in der Vergangenheit mehrere Projekte gestartet, die zum Ziel haben, eine entsprechende Infrastruktur zum Verbraucher zu realisieren. Eines davon ist GET H2 Nukleus, in dem sich neben OGE die Netzbetreiber Thyssengas und nowega engagieren. Hier ist das Ziel, durch Umwidmung einer nahezu komplett vorhandenen Erdgasinfrastruktur auf Wasserstoff eine Importroute aus den Niederlanden und die regionale Erzeugung in Lingen (Niedersachsen) mit dem nördlichen Ruhrgebiet und dem Raum Hannover zu verbinden. Die Transportmengen in diesem Vorhaben sind jedoch begrenzt und es handelt sich dabei zunächst um eine regionale Initiative.

## Deutschlandweites Projekt „H<sub>2</sub>ercules“ von OGE und RWE

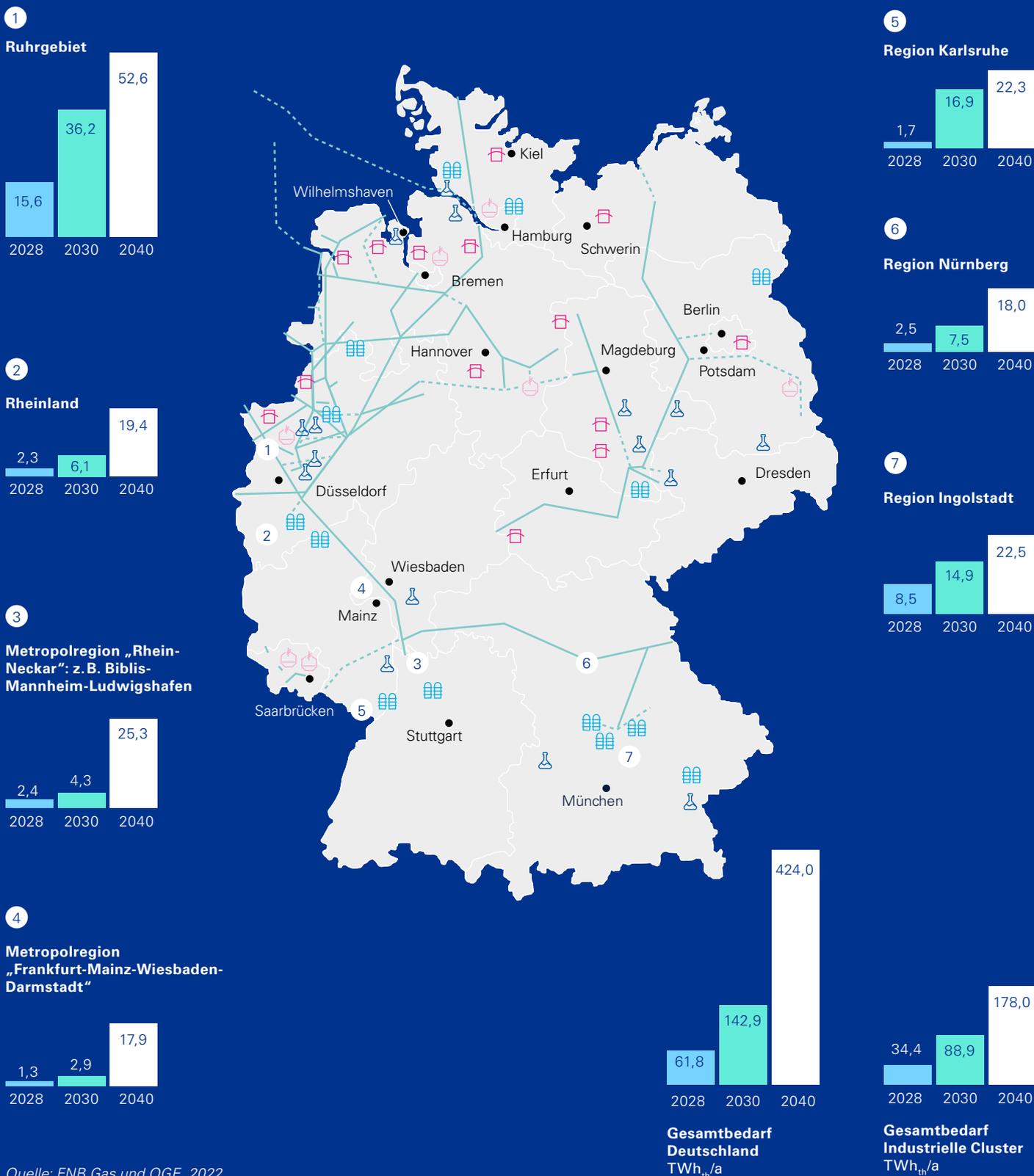
Um den Aufbau der deutschlandweiten Wasserstoffindustrie und -infrastruktur zu beschleunigen, haben sich OGE und RWE zusammengetan und das nationale Infrastrukturkonzept „H<sub>2</sub>ercules“ entwickelt. Die geplante Infrastruktur wird Elektrolyseure, Speicher und

Importpunkte in Norddeutschland mit Industriekunden in West- und Süddeutschland verbinden. Anschlüsse an weitere Importrouten aus Süd- und Osteuropa kommen im Jahr 2030 hinzu. H<sub>2</sub>ercules ist somit optimal aufgestellt, das Rückgrat der Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland zu werden, das von der Nordseeküste bis nach Süddeutschland reicht (siehe Abbildung 9).

Produktion, Verbrauch und Transport werden gesamtheitlich betrachtet, sodass das Henne-Ei-Problem implizit gelöst wird. Zudem erfolgt die Dimensionierung der Infrastruktur von vornherein für große Mengen – dies ermöglicht ein höheres Mengengerüst und folglich wettbewerbsfähige Transportentgelte. Das Netz steht allen Interessenten offen und diskriminierungsfrei zur Verfügung.

Zwei Drittel der angedachten Infrastruktur werden per Umwidmung und ein Drittel durch Neubau realisiert. Das Vorhaben als Ganzes wird mit dem Netzentwicklungsplan Gas synchronisiert, um die Investitionen möglichst effizient zu gestalten und die Kosten für die Netznutzer möglichst gering zu halten.

Abbildung 8:  
Überblick über Bedarfe der industriellen Cluster in TWh/a



Quelle: FNB Gas und OGE, 2022

Aufgrund der Bedeutung von Importen über Wilhelmshaven und des vorhandenen Bedarfs im Ruhrgebiet wird ein besonderer Schwerpunkt auf die Verbindung von Wilhelmshaven zum Ruhrgebiet gelegt: Diese ist bereits für 2028 vorgesehen und basiert zum Teil auf dem zuvor erwähnten Netz des Projektes GET H2 Nukleus. Im Jahr 2030 wird diese Route kapazitativ deutlich erweitert und zudem wird das Ruhrgebiet durch neue Leitungen stärker erschlossen. Ebenfalls im Jahr 2030 wird das Transportnetz über Köln und Frankfurt hinaus rheinaufwärts bis in die Metropolregion Rhein-Neckar ausgebaut und in den bayrischen Raum bis Nürnberg und Ingolstadt erweitert.

### Anknüpfung Scot2Ger an H<sub>2</sub>ercules

H<sub>2</sub>ercules steht unterschiedlichen Importwegen und -techniken offen gegenüber, sodass auch eine Einspeisung in Wilhelmshaven aus Containern möglich wäre. In diesem Falle könnte Wasserstoff aus Schottland per Container in Wilhelmshaven anlanden und direkt ins Netz eingespeist werden. Daraufhin kann der Wasserstoff von Wilhelmshaven in weite Teile Deutschlands transportiert werden, wobei sich die in dieser Ausarbeitung betrachteten Anwendungsfälle in direkter oder zumindest mittelbarer Nähe zum H<sub>2</sub>ercules-Netz befinden.

Es wäre also durchaus denkbar, potenzielle Wasserstoffverwender, wie auch die in diesem Paper betrachteten Anwendungsfälle, bereits ab 2028 leitungsnetzgebunden über eine Einspeisung in Wilhelmshaven zu versorgen. Dies wird vermutlich zunächst eher für größere Industriebetriebe infrage kommen und weniger für kleinere Anwender wie zum Beispiel Tankstellen, die – dezentral gelegen – prädestiniert für eine Containerversorgung sind. Diese kleineren Abnehmer könnten zu späteren Zeitpunkten sukzessive mit Ausbau des H<sub>2</sub>-Netzes angeschlossen werden, sofern dies wirtschaftlich darstellbar ist.

Im weiteren Zeitverlauf und bei unterstellt weiter steigenden Importmengen aus Schottland kann perspektivisch der großskalige Transport per Offshore-Pipeline wirtschaftlicher sein als per Schiff. Auch in diesem Falle können die dafür zu errichtenden Pipelines in Wilhelmshaven oder Emden/Dornum an H<sub>2</sub>ercules angebunden werden, sodass die großen deutschen Verbrauchscluster direkt mit Schottland per Pipeline verbunden wären.

OGE steht gern für weitere, sich im Rahmen dieser Untersuchung anschließenden Aktivitäten zur Verfügung, um den Import schottischen Wasserstoffs nach Deutschland voranzutreiben und diese nachhaltige Quelle für die deutsche Energieversorgung Schritt für Schritt nutzbar zu machen. Dabei liegt der Fokus der OGE auf der Einspeisung in das H<sub>2</sub>ercules-System und der Verwirklichung eines leitungsgebundenen Weitertransportes.

Abbildung 9:  
Entwicklung der H<sub>2</sub>ercules-Infrastruktur von 2026 bis 2030

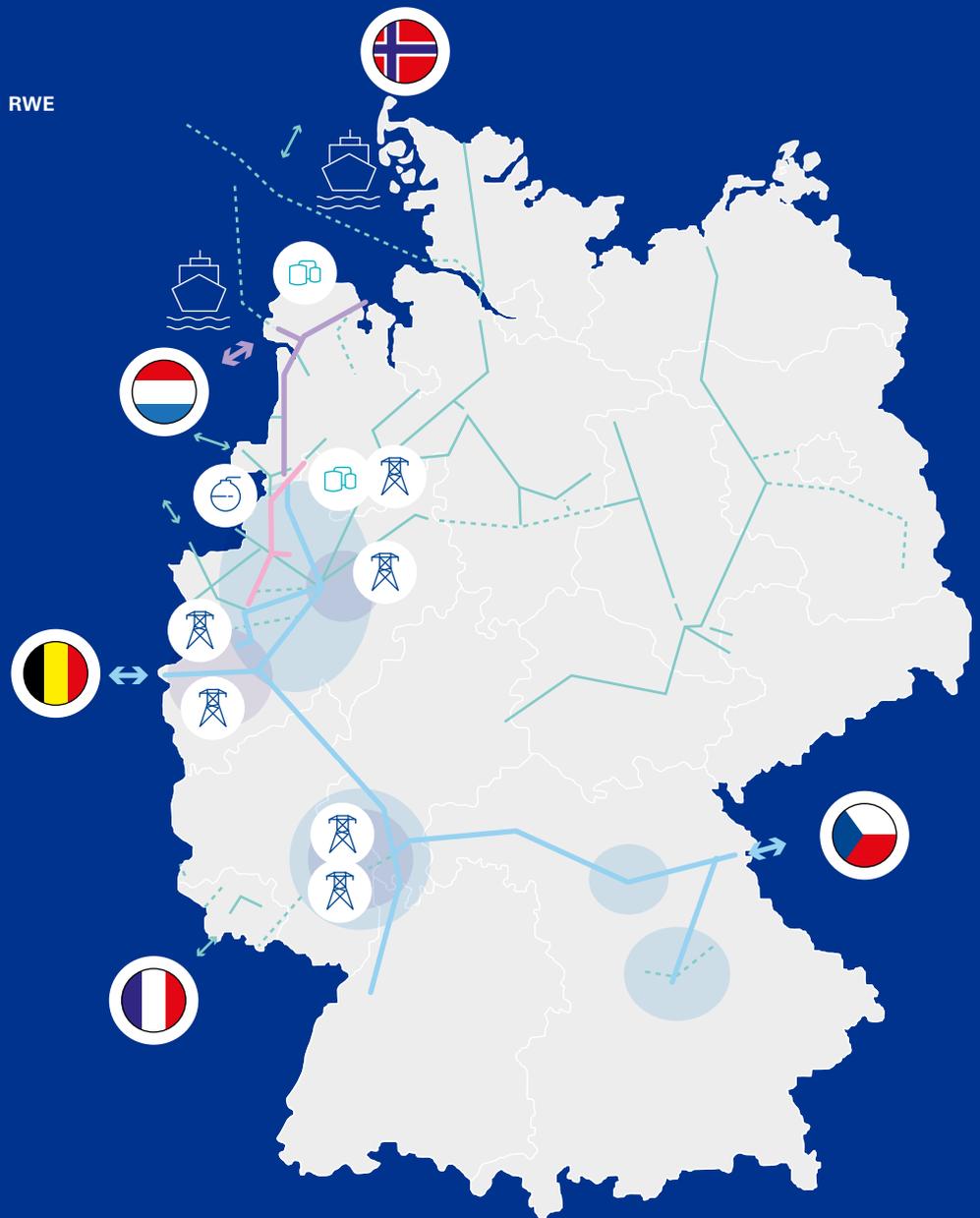
**Planung H<sub>2</sub>ercules**

- Inbetriebnahme 2026 (GetH<sub>2</sub>)
  - Inbetriebnahme 2028
  - Inbetriebnahme 2030
  - ↔ Int. Anschlusspunkt (2028)
  - ↔ Int. Anschlusspunkt (2030)
- OGE**

-  H<sub>2</sub>-Erzeugung
  -  Gaskraftwerk
  -  Speicher
  -  Potenzielle Region für H<sub>2</sub>-fähige Gaskraftwerke
  -  Verbrauchscluster entlang H<sub>2</sub>ercules
  -  H<sub>2</sub>-Importoptionen
- RWE**

**Ferngasnetzbetreiber-Planung (FNB)**

- FNB-Netzumstellung (2030)
- - - FNB-Netzneubau (2030)
- ↔ Int. Anschlusspunkte



Quelle: Open Grid Europe GmbH, 2022

# Ein Blick in die Zukunft

Für die Umsetzung und Skalierung des Pilotprojektes und möglicher weiterer Wasserstoff-Demonstrationsprojekte fungiert das bereits existierende Partnernetzwerk entlang der Supply Chain für grünen Wasserstoff von Schottland nach Deutschland als Inkubator und trägt damit zur zukünftigen Wasserstoff-Industrialisierung bei. Mit einem Netzwerk an erfahrenen Akteuren können Kompetenzen nachhaltig gebündelt und koordiniert werden, um gemeinsam ein erfolgreiches Pilotprojekt zu realisieren. Das langfristige Ziel des ersten Wasserstoff-Pilotprojektes besteht darin, das Marktpotenzial unter dem Aspekt einer Reproduzierbarkeit der Supply Chain auf weitere Projekte und Märkte auszuweiten. Dabei gilt es, die verbundenen künftigen Kostensenkungspotenziale auszuschöpfen und gleichermaßen die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken. Die Kalkulation des Business Case wird kontinuierlich aktualisiert und an die sich ändernden Szenarien in der Supply Chain angepasst.

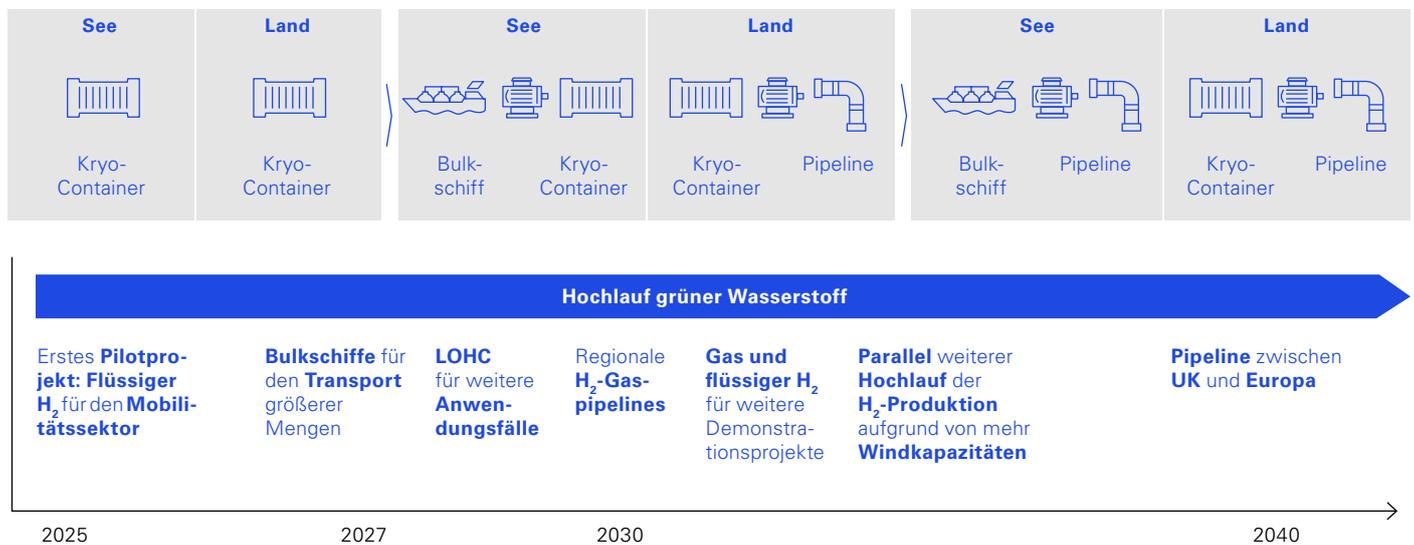
Das Pilotprojekt soll eine Basis für eine spätere Skalierbarkeit der Supply Chain bieten. Bereits innerhalb des Projektes ist ein erster Markthochlauf geplant. Dieser ist nur durch den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur und den Einsatz neuer Technologien realisierbar. Zukünftig wird es, wie in Abbildung 10 dargestellt, eine kombinierte Lösung für den Transport von Wasserstoff geben. So wird der produzierte grüne Wasserstoff zu Beginn auf dem Land- und Seeweg per Kryo-Container transportiert. Sobald die Produktion einen Hochlauf erfährt, ist auch ein Transport von Flüssigwasserstoff mit einem Tankschiff geplant. Langfristig soll der Wasserstoff im gasförmigen Zustand per Pipeline transportiert werden.

Mit zunehmenden Abnahmemengen und der Diversifizierung der Anwendungsfälle kommen verschiedene Wasserstoffformen in Betracht. In Zukunft wird Wasserstoff in Demonstrationsprojekten sowohl flüssig als auch gasförmig sowie in Form von LOHC und Ammoniak in Kombination mit einem Trägermedium eingesetzt.

Die geplanten Skalierungen werden zu einer Reduktion der Transportkosten führen. Hierbei gilt es, die Form des Wasserstoffs je nach Anwendungsfall zu betrachten. Für den Transport des gasförmigen Wasserstoffs per Pipeline müssen etwa alle 150 Kilometer Kompressoren angeschlossen werden, damit das Druckniveau in der Pipeline nicht abnimmt und der Wasserstoff weitergefördert werden kann (Siemens Energy, 2022). Um die Kosten für Kompressoren zu reduzieren, kann der Wasserstoff mittels Kryo-Container ins Hinterland transportiert und im Anschluss dezentral in ein regionales Pipeline-Netz gespeist werden. Die CAPEX und OPEX für die zusätzlichen Kompressoren entfallen somit, was zu einer Reduktion der Gesamtkosten des Wasserstoffs führt.

Um die Entwicklung einer Wasserstoffinfrastruktur für verschiedene Anwendungsfälle weiter voranzutreiben, ein Wasserstoffzielbild zu definieren, Erfahrungswerte zu potenziellen Pilotprojekten auszutauschen und eine Skalierung zu forcieren, sollen Innovation Circle mit verschiedenen Stakeholdern und Netzwerkpartnern aus der Wasserstoffwirtschaft durchgeführt werden. Dabei kann ein Technologie-Radar als Instrument genutzt werden, um mögliche zukünftige Trends zu diskutieren. Hierbei können sowohl technologische als auch soziale Trends betrachtet werden. Für den wirtschaftlichen Transport des Wasserstoffs ist beispielsweise das Pipeline-Netzwerk von besonderem Interesse. Mit einem stetigen Ausbau kann der Wasserstoff kosteneffizienter und schneller transportiert werden. Auch der Ausbau der Tankstelleninfrastruktur ist – mit Tankstellen als mögliche Abnehmer von grünem Wasserstoff – von zentraler Bedeutung für die Dekarbonisierung der Wirtschaft. Aus sozialer Sicht ist wiederum die Regulatorik bestimmend für den Erfolg der innovativen Technologie. Eine Vereinfachung dieser oder aber eine höhere CO<sub>2</sub>-Bepreisung treiben den Trend zur Dekarbonisierung mit grünem Wasserstoff voran.

Abbildung 10:  
Phasen des H<sub>2</sub>-Transports



Quelle: KPMG in Deutschland, 2022



„Als Stromspeicher wird Wasserstoff den Wandel hin zu einer emissionsfreien Straßenmobilität mitgestalten und insbesondere die Dekarbonisierung der Schwerlast- und Langstrecken Anwendungen ermöglichen.“

**Ricardo Juppe**  
Hydrogen Mobility Solutions,  
TotalEnergies Marketing  
Deutschland GmbH

Damit die nachgefragten Mengen bedient werden können, ist es wichtig, rechtzeitig ausreichende Produktionskapazitäten zu sichern. Schottland hat die klare Ambition, bis 2030 eine installierte Wasserstoffproduktionskapazität von 5 GW und bis 2045 von 25 GW zu erreichen (Scottish Government, 2021). Im Jahr 2045 sollen somit bis zu 126 TWh Wasserstoff produziert werden, wovon 94 TWh für den Export in die EU und den Rest von Großbritannien vorgesehen sind (Scottish Government, 2021). Neben Schottland richtet sich der Blick auch auf weitere europäische Länder, die einen vielversprechenden Zugang zu Windenergie haben. So eignet sich Irland beispielsweise durch den Ausbau der Windkapazitäten auf 5 GW bis 2030 auch für die Produktion von grünem Wasserstoff (Irish Government, 2022).

Mit der Etablierung einer nachhaltig wirtschaftlichen Supply Chain kann das Marktpotenzial von grünem Wasserstoff weiter erschlossen und ein Beitrag zur Dekarbonisierung der Industrie geleistet werden. Eine reproduzierbare Versorgungskette und die Nutzung bestehender Infrastrukturen ermöglichen es, den grünen Wasserstoff in Zukunft auch von anderen Standorten zu importieren.

# Im Profil

## Über Siemens Energy

Siemens Energy gehört zu den weltweit führenden Unternehmen der Energietechnologie. Das Unternehmen arbeitet gemeinsam mit seinen Kunden und Partnern an den Energiesystemen der Zukunft und unterstützt so den Übergang zu einer nachhaltigeren Welt. Mit seinem Portfolio an Produkten, Lösungen und Services deckt Siemens Energy nahezu die gesamte Energiewertschöpfungskette ab – von der Energieerzeugung über die Energieübertragung bis hin zur Speicherung. Zum Portfolio zählen konventionelle und erneuerbare Energietechnik, zum Beispiel Gas- und Dampfturbinen, mit Wasserstoff betriebene Hybridkraftwerke, Generatoren und Transformatoren. Mehr als 50 Prozent des Portfolios sind bereits dekarbonisiert. Durch die Mehrheitsbeteiligung an der börsennotierten Siemens Gamesa Renewable Energy (SGRE) gehört Siemens Energy zu den Weltmarktführern bei erneuerbaren Energien. Geschätzt ein Sechstel der weltweiten Stromerzeugung basiert auf Technologien von Siemens Energy. Siemens Energy beschäftigt weltweit rund 91.000 Mitarbeitende in mehr als 90 Ländern und erzielte im Geschäftsjahr 2021 einen Umsatz von 28,5 Milliarden Euro.

## Über Oerlikon Barmag

Oerlikon ist Marktführer in den Bereichen moderne Werkstoffe, Oberflächentechnologien und Kunststoffverarbeitung.

1922 gegründet, ist der Oerlikon Barmag Pumpenbau heute in den Oerlikon Verbund eingebettet, und Spezialist für Spezialpräzisionspumpen (Fördern und Dosieren) bei Anwendungen in der Textilindustrie, der Automobilindustrie, der Medizintechnik, der Elektronikindustrie und der Windenergie.

Die Mutterfirma Oerlikon Polymer Processing Solutions Division ist eine der führenden Anbieter von Anlagen für die Herstellung von Chemiefasern und Dienstleister bei Engineering-Lösungen für die gesamte textile Wertschöpfungskette und mit 4.500 Mitarbeitern in 120 Ländern mit Produktions-, Vertriebs- und Serviceorganisationen präsent. Sie ist ein Teil der Oerlikon AG als Dachgesellschaft.

Die Vision von Oerlikon Barmag ist es, innovative Industrielösungen für ein besseres Leben zu erschaffen.

## Über Wirtschaftsförderungsgesellschaft Wilhelmshaven

Die Wirtschaftsförderungsgesellschaft Wilhelmshaven mbH (WFG) wurde Anfang Januar 2021 von den beiden Gesellschaftern Stadt Wilhelmshaven (52 Prozent) und dem Wirtschaftsförderungsverein Wilhelmshaven e. V. (48 Prozent) gegründet. Schnell nach der Gründung ist das Thema „Wasserstoff“ und dessen Rolle als zukunftsfähiger Energieträger für die Region und Wirtschaft zu einem wichtigen Handlungsfeld der WFG geworden.

Im Herbst 2021 hat sich die Initiative „Energy Hub – Port of Wilhelmshaven“ zunächst aus 16 (Industrie-) Partnern unter Koordinierung der WFG zusammengeschlossen. Die Zusammenarbeit basiert auf dem grundlegenden Verständnis, dass nur gemeinschaftlich die Energiewende und insbesondere die Vorhaben in der Region Wilhelmshaven umgesetzt werden können. Mittlerweile ist das Netzwerk auf rund 25 Partner angewachsen, die die unterschiedlichsten Projekte und Dienstleistungen rund um das Thema Wasserstoff verfolgen.

## Über Messer

Messer ist der weltweit größte familiengeführte Spezialist für Gase zum Einsatz in der Industrie, im Umweltschutz, in der Medizin, der Lebensmittelbranche, der Schweiß- und Schneidtechnik, im 3D-Druck, im Bauwesen sowie in der Forschung und Wissenschaft. Unter der Marke „Messer – Gases for Life“ bietet das Unternehmen Produkte und Serviceleistungen in Europa, Asien und Amerika an. Das Familienunternehmen legt in der Zusammenarbeit seiner rund 11.200 Mitarbeitenden\* den Fokus auf Vielfalt und gegenseitigen Respekt.

Gase sind in den meisten industriellen Prozessen so wichtig wie Wasser und Strom und spielen eine bedeutsame Rolle bei ihrer Dekarbonisierung, beispielsweise durch den Einsatz von grünem Wasserstoff. Messer bietet eines der größten Produktportfolios im Markt und entwickelt und optimiert in modernsten Kompetenzzentren Anwendungstechnologien für Gase.

Messer ist als pharmazeutisches Unternehmen Anbieter von medizinischen sowie pharmazeutischen Gasen und Komplettlösungen und beweist sich etwa in Pandemiesituationen als verlässlicher Anbieter lebensnotwendiger Produkte.

Das Unternehmen wurde 1898 gegründet und hat seinen Hauptsitz in Bad Soden bei Frankfurt.

Im Jahr 2021 erwirtschaftete Messer einen voraussichtlichen konsolidierten Umsatz von 3,5 Milliarden\* Euro.

*\* Summe von Messer Group und Messer Industries, die die At-Equity-Beteiligung Messer Industries zu 100 Prozent beinhaltet*

## Über Hydrogenious

Hydrogenious LOHC stellt das fehlende Bindeglied für kosteneffiziente Wasserstofflieferketten weltweit. Basierend auf seiner erprobten Liquid-Organic-Hydrogen-Carrier(LOHC)-Technologie mit Benzyltoluol als Trägermedium ermöglicht Hydrogenious eine besonders einfache wie flexible Wasserstoffversorgung von Verbrauchern in Industrie und Mobilität, die auf konventionelle Infrastruktur für Flüssigbrennstoffe zurückgreift. Das Portfolio des marktführenden Pioniers und seiner Joint-Venture-Unternehmen Hydrogenious LOHC Emirates und Hydrogenious LOHC Maritime umfasst heute stationäre und mobile (On-Board) LOHC-basierte Anwendungen. Hydrogenious LOHC Technologies mit Sitz in Erlangen bietet schlüsselfertige (De-)Hydrieranlagen, Betrieb und Wartung sowie LOHC-Logistik an, die die Speicherung und den Transport von Wasserstoff auf sichere Weise gewährleisten. Mit den Investoren AP Ventures, Royal Vopak, Winkelmann Group, Mitsubishi Corporation, Covestro, JERA Americas, Temasek, Hyundai Motor Company, Chevron Technology Ventures und Pavilion Capital ist Hydrogenious LOHC ein bedeutender Beschleuniger der Energiewende.

## Über OGE

Energieversorgung in Deutschland gestalten, heute und im Energiemix der Zukunft – das gelingt nur mit OGE. OGE hat die Infrastruktur, mit der heute Erdgas und künftig auch grüne Gase transportiert werden. Mit dem rund 12.000 Kilometer langen Leitungsnetz gehört das Unternehmen zu den führenden europäischen Fernleitungsnetzbetreibern. Seit Jahrzehnten ist OGE mit höchster Zuverlässigkeit für seine Kunden da. Die großen Fragen zur Energiewende kennt OGE. Und OGE hat die Antworten darauf.

## Über Bilfinger

Bilfinger ist ein international tätiger Industriedienstleister. Ziel der Konzerntätigkeit ist es, die Effizienz von Anlagen der Prozessindustrie zu steigern, ihre Verfügbarkeit zu sichern, Emissionen zu reduzieren und die Instandhaltungskosten zu senken. Dabei kommt der Gestaltung nachhaltiger Produktionsprozesse und klimaneutraler Energieversorgung der Kunden wachsende Bedeutung zu. Im Bereich Wasserstoff bietet Bilfinger Leistungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette an: von der Herstellung über die Lagerung und Lieferung bis hin zur Nutzung.

# Kontakt

KPMG AG  
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft



**Dr.-Ing. Sylvia Trage**  
Director, Consulting,  
Value Chain Transformation  
Ganghoferstraße 29  
80339 München  
strage@kpmg.com  
M +49 172 6687401



**Lukas Noczynski**  
Senior Manager, Consulting,  
Value Chain Transformation  
The Sqaire  
60549 Frankfurt am Main  
lnoczynski@kpmg.com  
M +49 151 23122824

[www.kpmg.de](http://www.kpmg.de)

[www.kpmg.de/socialmedia](http://www.kpmg.de/socialmedia)



Die enthaltenen Informationen sind allgemeiner Natur und nicht auf die spezielle Situation einer Einzelperson oder einer juristischen Person ausgerichtet. Obwohl wir uns bemühen, zuverlässige und aktuelle Informationen zu liefern, können wir nicht garantieren, dass diese Informationen so zutreffend sind wie zum Zeitpunkt ihres Eingangs oder dass sie auch in Zukunft so zutreffend sein werden. Niemand sollte aufgrund dieser Informationen handeln ohne geeigneten fachlichen Rat und ohne gründliche Analyse der betreffenden Situation.

© 2022 KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, eine Aktiengesellschaft nach deutschem Recht und ein Mitglied der globalen KPMG-Organisation unabhängiger Mitgliedsfirmen, die KPMG International Limited, einer Private English Company Limited by Guarantee, angeschlossen sind. Alle Rechte vorbehalten. Der Name KPMG und das Logo sind Marken, die die unabhängigen Mitgliedsfirmen der globalen KPMG-Organisation unter Lizenz verwenden.