Fraunhofer IST | dena Deutsche Energie-Agentur

Analyse

ENERGY HUB
Port of Wilhelmshaven

Standortkonzept

Impressum

Herausgeber:
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin

Tel.: +49 (0)30 66 777-0
Fax: +49 (0)30 66 777-699

E-Mail: info@dena.de
Internet: www.dena.de

Wissenschaftlicher Partner:
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST
Bienroder Weg 54E
38108 Braunschweig

Tel.: +49 531 2155-0
Fax: +49 531 2155-900

E-Mail: info@ist.fraunhofer.de
Internet: www.ist.fraunhofer.de

Autorinnen und Autoren:
Kilian Crone, dena
Dorothea Horneber, dena
Marius Hörnschemeyer, dena
Dr. Andreas Ernst Koch, dena
Simona Rens, dena
Christoph Imdahl, Fraunhofer IST
Florian Scheffler, Fraunhofer IST
Dr. Sabrina Zellmer, Fraunhofer IST

Veröffentlichung:
6/2022
Das Datum der Veröffentlichung entspricht nicht zwangsläufig dem Stand dieser Publikation, da es zwischen Erstellung und Veröffentlichung einer Studie bereits Änderungen der inhaltlichen Rahmenbedingungen gegeben haben kann.

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Bitte zitieren als:
Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2022) „Analyse ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven – Standortkonzept“

Inhalt

1 Executive Summary 5

1.1 ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven: Transformation von fossil zu erneuerbar 5

1.2 Was zeichnet den ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven aus? Klimaneutrale Energieversorgung für Deutschland 6

1.3 Voraussetzungen für den Erfolg als klimaneutraler ENERGY HUB: Was jetzt getan werden muss 7

2 Beste Aussichten für Wasserstoff 9

2.1 Klimaschutz und Wertschöpfung durch Wasserstoff 9

2.2 Nationale und europäische Wasserstoffstrategie und Ziele 11

2.3 Rolle der maritimen Zentren in der Wasserstoffwirtschaft 11

2.4 Alleinstellungsmerkmale der Region Wilhelmshaven 13

3 ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven: Zentraler Baustein der Wasserstoffwirtschaft 16

3.1 Was ist der ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven? 16

3.2 Energieimport über den Seeweg und Wasserstoffproduktion vor Ort 18

3.3 Unterirdische Wasserstoffspeicherung in Salzkavernen 20

3.4 Systemdienliche Elektrolyse an der norddeutschen Küste 21

3.5 Wasserstoff für die Stahl- und Chemieindustrie in Wilhelmshaven 22

3.6 Klimaneutrale Mobilität für die Region Wilhelmshaven 23

3.7 Den ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven und Europa verbinden 23

3.8 Energie- und Stoffströme im ENERGY HUB 24

3.9 Synergien heben: gemeinsame Schlüsselprojekte 25

4 Kurs auf H_2 – Voraussetzungen für den Erfolg 29

4.1 Governance für den ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven 29

4.2 Fördermöglichkeiten und -lücken im Kontext der maritimen Wasserstoffwirtschaft 29

4.3 Politische und rechtliche Rahmenbedingungen 31

4.4 Chancen und Risiken für die Wasserstoffwirtschaft im ENERGY HUB 32

4.5 Kooperation und Vernetzung des Standorts 34

5 Anhang 36

5.1 Projektübersicht – Stand Oktober 2021 36

5.2 Projektübersicht – Stand Mai 2022 40

Abbildungsverzeichnis 42

Tabellenverzeichnis 43

Abkürzungen 47

1 Executive Summary

1.1 ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven: Transformation von fossil zu erneuerbar

Als Energiedrehscheibe sind der Tiefwasserhafen und die Region Wilhelmshaven bereits seit über 60 Jahren ein unverzichtbarer Standort der deutschen Energiewirtschaft. Für Steinkohle, Strom, Erdgas und Öl bildet er einen wichtigen Knotenpunkt. Auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 haben die Unternehmen vor Ort ambitionierte Projektvorhaben entwickelt, um die Stärken des Standorts nutzbar zu machen. Bestehende Infrastruktur wird genutzt, freie Flächen eingesetzt und erneuerbarer Strom in Wasserstoff umgewandelt.

Ziel des Projektes war es, ein gemeinschaftliches Konzept für die Region Wilhelmshaven zu entwickeln, welches die Energiewende in Deutschland voranbringt und Perspektiven für die Wertschöpfung vor Ort aufzeigt. Das Standortkonzept betrachtet die Integration der Region Wilhelmshaven in überregionale Infrastrukturen und ihre Bedeutung für die nationale Energieversorgung in einer klimaneutralen Zukunft. Die Analyse der Energie- und Stoffströme der Wasserstoffprojekte deckt die enormen Synergiepotenziale zwischen den Industrieprojekten in der Region Wilhelmshaven auf und schafft die Voraussetzungen für ein gemeinsames Auftreten des Standorts.

Mit 15 Partnerunternehmen und Unterstützung der Wirtschaftsförderung Wilhelmshaven hat die Deutsche Energie-Agentur GmbH gemeinsam mit dem Fraunhofer IST über 6 Monate eigene Analysen durchgeführt und intensiv mit den Stakeholdern validiert. Das Ergebnis ist das vorliegende Standortkonzept. Das Konzept beschreibt einen beschleunigten Transformationspfad für die Region Wilhelmshaven als integrierte, klimaneutrale Drehscheibe für erneuerbare Energien und klimafreundlichen Wasserstoff – den „ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven“. Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Elemente des entstehenden ENERGY HUBs.

Abbildung 1: Der ENERGY HUB und die Region Wilhelmshaven in Europa (Eigendarstellung)

1.2 Was zeichnet den ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven aus? Klimaneutrale Energieversorgung für Deutschland

Die Hälfte des Wasserstoffbedarfs könnte durch den ENERGY HUB gedeckt werden

Das Zentrum des Hubs bilden zahlreiche Wasserstoffprojekte der beteiligten Unternehmen. Sie nutzen die Vorteile des Hafens mit den bereits erschlossenen Industrieflächen und sehr guter nautischer Erreichbarkeit. Über den Hafen kann schon in wenigen Jahren Wasserstoff in Form von Ammoniak und synthetischem Methan in großen Mengen per Seeweg importiert werden. Mit der bestehenden Infrastruktur und Logistikkapazität können auch weitere Power-to-Liquid-Produkte z. B. für die Chemieindustrie und den Flugverkehr importiert werden. Der ENERGY HUB wird damit ein Schlüsselstandort für den Import von Wasserstoffderivaten und beschleunigt den Hochlauf einer internationalen Wasserstoffwirtschaft in Europa. Neben dem Import wird auch lokal produziert: Es sind bis 2030 Elektrolyseure mit einer Gesamtleistung von 1,1 GW geplant. So könnten durch Eigenerzeugung und Import über 50 % des deutschen Wasserstoffbedarfs im Jahr 2030 durch den ENERGY HUB gedeckt werden.[1]

Kavernenspeicher gewährleisten die Versorgungssicherheit – auch für Wasserstoff

Der Transport und die Speicherung des Wasserstoffs erfolgen über den Anschluss von Wilhelmshaven an das Wasserstoff-Fernleitungsnetz. Somit kann der produzierte Wasserstoff in ganz Deutschland und Europa eingesetzt werden. Die bestehenden Kavernenspeicher für Öl und Gas in der Region mit weit mehr als 100 Salzkavernen können zunehmend auf Wasserstoffspeicherung umgestellt werden und decken dann mit mehr als 22,5 TWh Speicherkapazität über die Hälfte des deutschen identifizierten Salzkavernenpotenzials zur Wasserstoffspeicherung ab.[2]

Systemdienliche Elektrolyse in Küstennähe entlastet das Stromnetz

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien durch Wind an Land und auf See, Photovoltaik sowie Biomasse nimmt ebenfalls eine wichtige Rolle ein. Über Unterseekabel landet in Wilhelmshaven Offshore-Strom an und mit der Stromleitung „NeuConnect“ wird eine Verbindung zwischen dem britischen und deutschen Stromnetz hergestellt.[3] [4] Landeinwärts ermöglichen die Elektrolyseure der Region eine systemdienliche Integration der erneuerbaren Energie und entlasten so das Stromnetz.

Energieverfügbarkeit ermöglicht Dekarbonisierung und Industrieansiedlung

Ausgehend von der großen Verfügbarkeit klimafreundlicher Energieträger und von Elektrizität in der Region wird der ENERGY HUB auch ein attraktiver Standort für die energieintensive Industrie. Die geplante Eisendirektreduktionsanlage kann ein Großverbraucher von Wasserstoff werden und neben dem bestehenden PVC-Werk sowie der Wasserstofftankstelle den vorhandenen Wasserstoff nutzen.

[1] Annahme von 66 TWh Jahresbedarf Wasserstoff laut Energiewirtschaftlichem Institut an der Universität zu Köln (EWI) (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).
[2] Gas Infrastructure Europe (Hrsg.) (2021): Picturing the value of underground gas storage to the European hydrogen system.
[3] Bundesnetzagentur (2022): Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für das Zieljahr 2035. Bedarfsermittlung 2021–2035. Bonn.
[4] NeuConnect Interconnector: Projektübersicht. Online unter: www.neuconnect-interconnector.com/de/, Zugriff am: 05.05.2022.

Region Wilhelmshaven ist Teil des europäischen Wasserstoffclusters an der Nordsee

Die Region Wilhelmshaven ist Teil eines sich entwickelnden Wasserstoffclusters Europas aus Belgien, den Niederlanden und Nordwestdeutschland. In diesem Cluster ist eine hohe räumliche Konzentration von Wasserstoffproduktion, -verbrauch und infrastruktur bereits vorhanden. Es bestehen hervorragende Bedingungen zur Produktion von grünem Wasserstoff aus (Offshore-)Windenergie an der Küste und auch die Produktion von blauem Wasserstoff profitiert von der Nähe zu ausgedienten Erdgasfeldern in der Nordsee für die CO_2-Speicherung. Das dichte Erdgasnetz in Belgien, den Niederlanden und Nordwestdeutschland bietet die Chance, Leitungen für den Wasserstofftransport umzuwidmen und so den Transport von Wasserstoff im industriellen Maßstab zu ermöglichen.[5]

ENERGY HUB ermöglicht Standortentwicklung und hebt Synergien

Aus der Integration der Einzelprojekte ergeben sich verschiedene Synergien. Dies gilt vor allem für den Anschluss an relevante Infrastruktur, insbesondere das Wasserstoff-Fernleitungsnetz. Darüber hinaus sollte im Hafen eine Open-Access-Wasserstoffleitung entstehen, die allen Industrieunternehmen zur Nutzung offensteht. In ähnlicher Weise kann ein CO_2-Transportnetz entstehen und der ENERGY HUB durch Transport sowie Konversion von CO_2 einen wichtigen Aspekt der Energiewende umsetzen. Weitere Synergien ergeben sich durch die Senkung der Anschlusskosten von Elektrolyseuren durch den gemeinsamen Betrieb in einem Elektrolysepark. Die Nebenprodukte Wärme und Sauerstoff können durch die Konzentration im Elektrolysepark dann prozesstechnisch gut genutzt werden. Insgesamt entsteht in den verschiedenen Anlagen ausreichend Wärme, um diese in einem Wärmenetz zur Gebäudeheizung einzusetzen. Die integrierte Abstimmung im ENERGY HUB ermöglicht den beteiligten Unternehmen, ihre Projekte und deren zeitlichen Abläufe aneinander anzupassen.

1.3 Voraussetzungen für den Erfolg als klimaneutraler ENERGY HUB: Was jetzt getan werden muss

Für die Entwicklung des ENERGY HUBs über die Strategiephase hinaus muss nun eine eigenständig handlungsfähige Organisation mit starkem Mandat der beteiligten Unternehmen sowie der Politik entstehen. Eine fachlich kompetente Entwicklungsgesellschaft sollte die Einzelinteressen der Unternehmen koordinieren, als Ansprechpartner für Landes- und Bundespolitik dienen und somit die Transformation der Region zum ENERGY HUB für klimafreundliche Energieträger und erneuerbare Energien beschleunigen.

Folgende Rahmenbedingungen sind essenziell für die Entwicklung des ENERGY HUBs und können auch als Vorlage für andere Küstenstandorte in Deutschland dienen:

1. Klarheit bei den Rahmenbedingungen: Verbindliche Vorgaben für die Zertifizierung, Produktion und den Import von klimafreundlichem Wasserstoff sind notwendige Grundlage, um die Vision des ENERGY HUBs in der geplanten Zeit zu realisieren.

2. Anschluss an das Wasserstoff-Fernleitungsnetz: Für die Wasserstoffprojekte im ENERGY HUB ist ein leistungsfähiger Anschluss an das Wasserstoff-Fernleitungsnetz bis 2026 wichtige Voraussetzung, um Großverbraucher in den industriellen Zentren Deutschlands mit Wasserstoff zu versorgen.

[5] Institute of Energy Economics at the University of Cologne gGmbH (Hrsg.) (EWI, 2021): Hydrogen cluster Belgium, the Netherlands, and North-Western Germany. A projection and analysis of demand and production until 2030. Köln.

3. Beschleunigung der Genehmigungsprozesse: Für den schnellen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft in der Region Wilhelmshaven ist eine Beschleunigung der Genehmigungsprozesse für Infrastruktur- und Industrieprojekte notwendig. Sowohl die personelle Ausstattung der entsprechenden Behörden als auch die Anpassung der Genehmigungsprozesse sind dafür essenziell.

4. Marktmechanismen zur Herstellung der Wettbewerbsfähigkeit: Der Import, die Produktion und der Einsatz von klimafreundlichem Wasserstoff im industriellen Maßstab sind auf effektive Mechanismen zur Herstellung ihrer Wettbewerbsfähigkeit gegenüber konventionell erzeugtem Wasserstoff angewiesen. Eine frühzeitige Einführung bzw. Erweiterung bestehender Wasserstoffmarktmechanismen ist Voraussetzung für die zügige Umsetzung der geplanten Projekte der Unternehmen im ENERGY HUB.

5. Massiver Ausbau der erneuerbaren Energien: Die Elektrolyseprojekte des ENERGY HUBs sind im Gigawatt-Maßstab geplant und abhängig von einem massiven Ausbau der erneuerbaren Energien in der Region. Die Erschließung des Potenzials der Region mit großen PV-Anlagen, On- und Offshore-Windparks muss gleichermaßen beschleunigt werden. Dazu braucht es sowohl den richtigen energiepolitischen Rahmen wie einen fairen Umgang mit Nutzungskonflikten vor Ort.

6. Systementwicklungsplan zur Koordination: Damit Offshore-Windenergie, Elektrolyse, Wasserstoff-Fernleitungen und Stromnetz den Zielen der Bundesregierung gerecht werden können, sind der beschleunigte Ausbau der Übertragungsnetze und die Koordination aller Akteure in einem (regionalen) Systementwicklungsplan zielführend.

7. Anreize und Zielvorgaben für den Betrieb von Wasserstoffgroßspeichern: Industrielle Wasserstoffverbraucher sind auf eine sichere und konstante Versorgung angewiesen, daher stellen die Wasserstoffspeicher in der Region Wilhelmshaven einen essenziellen Bestandteil der zukünftigen Wasserstoffwirtschaft dar. Es gilt, für diesen essenziellen Aspekt der zukünftigen Versorgungssicherheit nationale Zielvorgaben zu formulieren und geeignete Rahmenbedingungen für eine bedarfsgerechte Versorgung der Verbraucher mit Wasserstoff zu schaffen.

8. Rahmenbedingungen für Abscheidung, Transport, Speicherung und Weiterverarbeitung von CO_2: Die Verwendung und Speicherung von unvermeidbaren CO_2-Prozessemissionen sind wichtige Werkzeuge für das Erreichen der Klimaneutralität 2045. Hier müssen konkrete gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, um Abscheidung, Transport und Weiterverarbeitung von CO_2 in einem transparenten und belastbaren Bilanzrahmen möglich und wirtschaftlich attraktiv zu machen.

2 Beste Aussichten für Wasserstoff

2.1 Klimaschutz und Wertschöpfung durch Wasserstoff

Die wachsende Bedrohung durch den Klimawandel macht eine schnelle und deutliche Reduktion der weltweiten Treibhausgasemissionen zu einer Voraussetzung, um die immer stärker spürbar werdenden Folgen der Klimaveränderung vermindern zu können.[6] Die Bundesregierung hat sich hierfür das Ziel Treibhausgasneutralität in 2045 gesetzt. Wichtige Säulen für die Erreichung dieses Ziels sind Energie- und Ressourceneffizienz, der Ausbau erneuerbarer Energien und der Elektrifizierung, der Einsatz von klimafreundlichem Wasserstoff und seinen Derivaten sowie die Nutzung natürlicher und technischer CO_2-Senken. Neben dem Klimaschutz gilt es, durch diese Maßnahmen – jetzt mehr denn je – auch unabhängig von fossilen Energieträgern und Rohstoffen zu werden.

Folgen des Klimawandels auch in Niedersachsen spürbar
Seit 1881 ist die Jahresmitteltemperatur in Niedersachsen um ca. 1,6 °C gestiegen, das zeigen langjährige Messreihen. Dieser Trend hat sich seit den 1980er-Jahren deutlich verstärkt. Acht der zehn wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnung traten im 21. Jahrhundert auf.[6]

Der Einsatz von klimafreundlichem Wasserstoff[7] und seinen Derivaten als Energieträger, Treibstoff und Rohstoff bietet insbesondere der Industrie sowie der Luft- und Schifffahrt die einzige Möglichkeit zur notwendigen vollständigen Dekarbonisierung.[8]

Was ist klimafreundlicher Wasserstoff?

Wasserstoff wird als klimafreundlich bezeichnet, wenn im Rahmen seiner Herstellung kein oder kaum Treibhausgase freigesetzt werden. Je nach Herstellung unterscheidet man u. a. zwischen „grünem“, „blauem“, „türkisem“ und „grauem“ Wasserstoff.

Als klimafreundlicher grüner Wasserstoff wird mittels Elektrolyse – also der Spaltung von Wasser (H_2O) in Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) – mit Strom aus erneuerbaren Energien hergestellter Wasserstoff bezeichnet. Die Herstellung von grünem Wasserstoff bietet die Möglichkeit, bei Überschuss von Wind- oder Sonnenenergie Strom zu speichern.

In Abgrenzung dazu werden blauer und grauer Wasserstoff durch die Reformierung von Erdgas zu Wasserstoff (H_2) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) gewonnen. Bei der Herstellung von klimafreundlichem blauem Wasserstoff wird das frei werdende CO_2 größtenteils aufgefangen und genutzt oder gespeichert (Carbon Capture, Utilization/Storage – CCU/S).

Türkiser Wasserstoff wird durch die thermische Spaltung (Pyrolyse) von Erdgas bzw. Methan (CH4) hergestellt. Im Gegensatz zur Herstellung von grauem und blauem Wasserstoff entsteht dabei kein CO_2, sondern es entsteht fester Kohlenstoff als Nebenprodukt. Wird die benötigte Wärme aus erneuerbaren Energien bereitgestellt, wird auch türkiser Wasserstoff als klimafreundlich bezeichnet.[7]

[6] Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2019): Klimawirkungsstudie Niedersachsen. Wissenschaftlicher Hintergrundbericht. Hannover.
[7] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (BMWi, 2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Berlin.
[8] Agora Energiewende and EFRY Management Consulting (Hrsg.) (2021): No-regret hydrogen: Charting early steps for H2 infrastructure in Europe.

Chemieindustrie: Chemische Grundstoffe basieren zum Großteil auf der Verarbeitung fossiler Rohstoffe. Aus Erdöl und Erdgas werden u. a. grauer Wasserstoff, Methanol, Ammoniak oder Rohbenzin (Naphtha) zur Weiterverarbeitung hergestellt. Um den Einsatz fossiler Rohstoffe zu vermindern, können diese durch klimafreundlichen Wasserstoff und seine Derivate ersetzt werden. Darüber hinaus ist es für die Dekarbonisierung der Chemieindustrie essenziell, den in den Produkten enthaltenen Kohlenstoff im Kreislauf zu führen und die energiebedingten Emissionen zu senken. Für den Einsatz in der Chemieindustrie werden im Jahr 2045 voraussichtlich 83 TWh Wasserstoff benötigt[9]. Eine Einordnung der Energiemengen und Leistungsgrößen befindet sich im Abkürzungsverzeichnis am Ende des Dokuments.

Stahlindustrie: Durch eine Umstellung der Eisen- und Stahlproduktion von der klassischen Hochofenroute mit Koks auf eine wasserstoffbasierte Direktreduktion des Eisenerzes (DRI) können beim Einsatz von grünem Wasserstoff die CO_2-Emissionen fast vollständig vermieden werden. Für die Umstellung der deutschen Eisen- und Stahlproduktion auf den DRI-Prozess werden im Jahr 2045 voraussichtlich 75 TWh Wasserstoff benötigt[9].

Hochtemperaturanwendungen: Die Substitution von Erdgas durch Wasserstoff bei der Verbrennung in speziellen Hochtemperaturprozessen z. B. in der Kalk-, Glas- und Keramikindustrie ermöglicht die Dekarbonisierung grundlegender Produktionsprozesse dieser Industriezweige[9].

Luft- und Schifffahrt: Auch in den schwer zu elektrifizierenden Branchen Luft- und Schifffahrt spielen Wasserstoff und seine Derivate eine wichtige Rolle beim Ausstieg aus fossilen Treibstoffen und bei der Senkung der Treibhausgasemissionen. Hier gibt es verschiedene Einsatzmöglichkeiten: Grünes Methanol, Ammoniak oder E-Kerosin können z. B. direkt als Treibstoff in Verbrennungsmotoren oder Turbinen genutzt werden. Diese Wasserstoffderivate können aber auch in deutlich effizienteren Brennstoffzellen zum Einsatz kommen. Im Jahr 2045 ist der Einsatz von 59 TWh Wasserstoff für den Verkehrssektor denkbar. Zusätzlich ist mit Energiemengen von 159 TWh als Wasserstoffderivaten für insbesondere die Luft- und Schifffahrt zu rechnen.[9]

Es ist davon auszugehen, dass die Nachfrage nach klimafreundlichem Wasserstoff und seinen Derivaten zeitnah stark steigen wird. In Szenario KN100 der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität wird ein Bedarf an klimafreundlichem Wasserstoff (inkl. seiner Derivate) in Deutschland von 657 TWh für das Jahr 2045 angenommen[10]. Dadurch entsteht eine neue Wertschöpfungskette entlang der Herstellung, des Transports, der Speicherung und des Einsatzes von klimafreundlichem Wasserstoff. Investitionen in die Forschung, Entwicklung und Infrastruktur rund um diese neu entstehenden Wertschöpfungsketten bieten die Chance, Treibhausgasemissionen zu senken, unabhängig von fossilen Energieträgern und Rohstoffen zu werden, industrielle Wertschöpfung zu erhalten und neue Wertschöpfungsmöglichkeiten mit dem Export innovativer Wasserstofftechnologien zu erschließen.

[9] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 – Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).

Was ist mit Derivaten von Wasserstoff gemeint?

Wasserstoffderivate bezeichnet auf Wasserstoff basierende Energieträger und Rohstoffe, wie beispielsweise Ammoniak, Methan, Methanol und E-Kersosin. Diese Derivate können das Endprodukt von sogenannten Power-to-Liquid-(PtL-) oder Power-to-Gas-(PtG-)Prozessen sein, in denen auf Basis von grünem Wasserstoff Flüssigkeiten oder Gase hergestellt werden. Durch die chemische Reaktion von Wasserstoff und CO_2 wird beispielsweise Methan oder Methanol synthetisiert. Auch die Synthese von Ammoniak aus grünem Wasserstoff und Stickstoff zählt zu diesen Prozessen. Wasserstoffderivate stellen derzeit die einzig technisch etablierte Möglichkeit dar, Wasserstoff in großen Mengen in verfügbaren Tankschiffen zu transportieren. Anschließend kann eine Rückumwandlung der Derivate in reinen Wasserstoff erfolgen.

2.2 Nationale und europäische Wasserstoffstrategie und Ziele

Sowohl die Europäische Union als auch Deutschland haben sich in ihren Wasserstoffstrategien den zügigen Markthochlauf von klimafreundlichem Wasserstoff als Ziel gesetzt.[11] [12] In der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) hat sich die Bundesregierung im Jahr 2020 ein Ausbauziel für Elektrolysekapazitäten von 5 GW bis 2030 gesetzt. In seiner Eröffnungsbilanz hat Wirtschafts- und Klimaschutzminister Robert Habeck Anfang 2022 dieses Ausbauziel für Elektrolyseure auf 10 GW im Jahr 2030 verdoppelt. Die NWS soll überarbeitet und neue Förderprogramme auf den Weg gebracht werden, um die neuen ambitionierten Wasserstoffziele zu erreichen. Es werden Großprojekte im Rahmen der Wasserstofferzeugung, -infrastruktur und -nutzung gefördert. Eine zentrale Rolle spielt dabei auch der Import von Wasserstoff und seinen Derivaten. Hierfür sollen u. a. Importpartnerschaften aufgebaut werden. Zum einen für Importe aus dem europäischen Ausland, zum anderen aber auch für internationale Importe aus Regionen mit günstigen Bedingungen für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Über die H2Global-Stiftung fördert die Bundesregierung mit rund 900 Mio. Euro Investitionen in den zügigen Aufbau von Produktionsanlagen für Wasserstoff und den zugehörigen Lieferketten in Nicht-EU-Ländern.[13] Eine weitere Aufstockung der Mittel für H2Global durch die Bundesregierung wird derzeit diskutiert. Die ersten Lieferungen von grünem Wasserstoff bzw. Wasserstoffderivaten nach Deutschland und Europa sind für das Jahr 2024 geplant.

2.3 Rolle der maritimen Zentren in der Wasserstoffwirtschaft

Bereits jetzt spielen die deutschen und europäischen Seehäfen bei der Energieversorgung eine wichtige Rolle. Über die großen europäischen Seehäfen wurden im Jahr 2020 über 80 Mio. Tonnen Flüssigerdgas (Liquefied Natural Gas – LNG) bzw. ca. 104 Mrd. Kubikmeter („billion cubic metres" – bcm) Erdgas importiert.[14] Die deutschen Seehäfen haben im Jahr 2020 insgesamt 22,1 Mio. Tonnen Erdöl, 7,4 Mio. Tonnen Kohle und 55.022 Tonnen Erdgas umgeschlagen.[15] Dieser Umschlag entspricht ungefähr einer Energiemenge

[11] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (BMWi, 2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Berlin.
[12] Europäische Kommission (2020): A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Brüssel.
[13] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021): 900 Millionen Euro für Wasserstoffprojekt H2Global – Habeck „Starten mit dem Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft". Pressemitteilung. Online unter: www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/12/20211223-900-millionen-euro-fuer-wasserstoffprojekt-h2global.html, Zugriff am: 05.05.2022.
[14] International Gas Union (Hrsg.) (IGU, 2021): IGU 2021 WORLD LNG REPORT – 2021 Edition. Umrechnung: 1 Mio. t LNG = 1,3 bcm Erdgas.
[15] Zentralverband der deutschen Seehafenbetriebe e. V. (Hrsg.) (2022): Seehäfen in der Energiewende: Wasserstoff. Arbeitspapier.

von 318 TWh.[16] Mit dem Ausstieg aus fossilen Rohstoffen und der Nutzung klimafreundlicher Energieträger stehen die Seehäfen vor großen Veränderungen, spielen aber mit ihrem vorhandenen Know-how und den bestehenden Infrastrukturen weiterhin eine zentrale Rolle beim Import von Energieträgern wie beispielsweise klimafreundlichem Wasserstoff. Denn der Bedarf an klimafreundlichem Wasserstoff in Deutschland wird nicht vollständig über die inländische Produktion gedeckt werden können. Ungefähr 600 TWh Wasserstoff und seiner Derivate werden im Jahr 2045 aus Regionen mit günstigen Bedingungen für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien nach Deutschland importiert, was einer Importquote von etwa 90 % entspricht.[17]

Der Wasserstoffimport im industriellen Maßstab wird über Pipelines und Schiffe erfolgen.[18] [19] [20] [21] [22] Insbesondere bei großen Mengen und Entfernungen ist der Transport von Wasserstoffderivaten mit geeigneten Schiffen eine gute Möglichkeit zur Diversifizierung der Energieversorgung.[23] Mögliche Erzeugungsorte für den Import von Wasserstoffderivaten per Schiff können z. B. Australien, Neuseeland, Chile, Brasilien, Island, Kanada, die USA, Saudi-Arabien und der Oman sein.

Wasserstofftransport

Aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften ist der Transport von Wasserstoff im industriellen Maßstab eine Herausforderung. Für den Transport von reinem Wasserstoff in Speichertanks wird dieser auf hohe Drücke (bis zu 700 bar) verdichtet oder bei sehr tiefen Temperaturen (bei ca. –253 °C) verflüssigt. Im Anschluss kann er in einer Größenordnung von 0,5 bis 4 Tonnen per LKW transportiert werden.[18]

In der zukünftigen Wasserstoffwirtschaft ist die Verteilung über Wasserstoff-Fernleitungsnetze per Pipeline notwendig, um industrielle Bedarfe im TWh-Maßstab decken zu können. Eine große Wasserstoffpipeline kann etwa 65 TWh[19] Wasserstoff pro Jahr transportieren. Die aktualisierte Vision des europäischen Wasserstoffnetzes in der Initiative des „European Hydrogen Backbone“ von Fernleitungsnetzbetreibern aus 28 europäischen Ländern sieht eine Gesamtlänge von etwa 28.000 km bis 2030 vor.[20] Diese Vision spiegelt sich auf nationaler Ebene in den Planungen zum Netzentwicklungsplan Gas 2020–2030 wider.[21] Nach aktuellen Studien stellt der Transport per Pipeline in umgewidmeten Erdgasleitungen bis ungefähr 6.000 km die kostengünstigste Option dar.[22]

Für den internationalen Wasserstoffimport per Seeweg wird der Transport als Wasserstoffderivat bevorzugt. Die hohe Energiedichte der Derivate und die bereits vorhandenen Infrastrukturen und Speichertanks ermöglichen einen kostengünstigen Transport. Der Transport von flüssigem Wasserstoff wird erforscht und es gibt bereits einen ersten Schiffsprototypen.[23]

---

[16] Annahmen zum Energiegehalt: Steinkohle: 8,141 MWh/t, Erdöl: 11,630 MWh/t, Erdgas: 14,000 MWh/t.
[17] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 – Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).
[18] Shell Deutschland Oil GmbH (Hrsg.) (2017): Shell Hydrogen Study, Energy of the future? Hamburg.
[19] 65 TWh pro Jahr (Bezug auf den Heizwert (Lower heating value – LHV) von Wasserstoff) bei einer 13-GW-Pipeline mit 5.000 Volllaststunden basierend auf Angaben der European Hydrogen Backbone initiative [20]
[20] European Hydrogen Backbone initiative (Hrsg.) (2022): European Hydrogen Backbone. A European Hydrogen Infrastructure Vision Covering 28 Countries.
[21] Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e. V. (FNB Gas, 2020): Netzentwicklungsplan Gas 2020–2030. Entwurf.
[22] Öko-Institut e. V. – Institute für angewandte Ökologie (Hrsg.) (2021): Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland.
[23] CO_2-free Hydrogen Energy Supply-chain Technology Research Association (HySTRA): Hydrogen Energy Supply Chain Pilot Project between Australia and Japan. Online unter: www.hystra.or.jp/en/project/, Zugriff am: 05.05.2022.

Neben dem reinen Umschlag von erneuerbaren Energieträgern an Seehäfen ist auch deren Anbindung an Offshore-Windparks hervorzuheben. Diese bietet die Möglichkeit, grünen Wasserstoff mit erneuerbarem Strom direkt im Hafengebiet zu erzeugen. Bei systemdienlicher Betriebsweise der Elektrolyseure wird so das Stromnetz im Hinterland entlastet und Einsparungen im Netzausbau realisiert. Der grüne Wasserstoff kann entweder direkt vor Ort für die ansässige Industrie und zur Betankung der Schiffe mit grünem Treibstoff genutzt werden. Alternativ wird der Wasserstoff in ein Wasserstoff-Fernleitungsnetz eingespeist und zu Verbrauchern landeinwärts geleitet. Somit stellen die Seehäfen durch Produktion und Import wichtige Knotenpunkte bei der Versorgung mit klimafreundlichem Wasserstoff dar.

2.4 Alleinstellungsmerkmale der Region Wilhelmshaven

Mit über 60 Jahren Erfahrung und gewachsener Infrastruktur für Energieimport, -speicherung und -erzeugung stellt die Region Wilhelmshaven einen wichtigen Baustein zur Umsetzung der Energiewende in Deutschland und Europa dar. Die Region Wilhelmshaven verfügt über eine Reihe von Merkmalen, die sie in einzigartiger Weise befähigen, den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa voranzutreiben.

Der Hafen im Kern der regionalen Wertschöpfung

Ausgangspunkt der Entwicklung des Standorts ist der Seehafen in Wilhelmshaven. Als einziger Tiefwasserhafen Deutschlands mit einer Tiefe von 18 Metern[24] und ausgezeichneter nautischer Erreichbarkeit erlaubt er Schiffen mit großem Tiefgang die unkomplizierte Einfahrt. Er ist damit der attraktivste Hafen an der deutschen Küste für den Import von Energieträgern im industriellen Maßstab und stellt das deutsche Tor zum globalen Energiehandel dar. Dies gilt seit Jahrzehnten für den Import von Kohle sowie Erdöl und zukünftig auch für den Import von Erdgas, Wasserstoff und seinen Derivaten. Die bisherige energiewirtschaftliche Nutzung für Umschlag, Konversion, Transport und Speicherung von Energie bietet reichlich Platz für die nachhaltige Nutzung der bereits erschlossenen Industrieflächen in unmittelbarer Nähe zum Hafen. Daher ist Wilhelmshaven schon jetzt einer der ersten deutschen Seehäfen mit konkreten Projekten für den internationalen Wasserstoffimport per Seeweg und die Erzeugung von blauem Wasserstoff.

[24] Container Terminal Wilhelmshaven JadeWeserPort-Marketing GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2019): BASIS-INFO. Wer macht was im JadeWeserPort Wilhelmshaven. Wilhelmshaven.

Abbildung 2: Alleinstellungsmerkmale der Region Wilhelmshaven und des ENERGY HUBs Port of Wilhelmshaven (Eigendarstellung)

Energiespeicher gewährleisten die Versorgungssicherheit in Deutschland und Europa

Die Region Wilhelmshaven ist jedoch viel mehr als ein Hafen, denn keine Hafenregion in Europa verfügt über ein ähnliches Potenzial an unterirdischen Kavernen zur Speicherung von Erdgas, Öl und zukünftig auch Wasserstoff. Auch in der weiteren Region bis in das Emsland befindet sich ein Großteil der deutschen Gas- und Ölspeicher, die sukzessive auf klimaneutrale Energieträger umgerüstet werden.

Ausgehend von Import und Speicherung hat sich eine sehr leistungsfähige Gasinfrastruktur nach Osten (Hamburg), Westen (Niederlande) und nach Süden über das Ruhrgebiet bis Tschechien und die DACH-REGION[25] entwickelt. Diese Anbindung an die Zentren der industriellen Produktion wird auch mit der neuen deutschen Wasserstoffinfrastruktur fortgeführt: Wilhelmshaven liegt in unmittelbarer Entfernung zu den ersten geplanten deutschen Fernleitungen für den Wasserstofftransport. Mit dem Anschluss an dieses Netz kann die Region Wilhelmshaven von ihrer Nähe zu den Niederlanden und Nordrhein-Westfalen profitieren. Über die Anbindung der industriellen Zentren im Westen (Ruhrgebiet, Chemieindustrie an der Rheinschiene) und Süden Deutschlands an die Wasserstoffproduktions- und -importzentren der europäischen Küsten wird deren klimaneutrale Versorgung in Zukunft gewährleistet. Gleichzeitig erhält die aufstrebende europäische Wasserstoffwirtschaft Zugang zum enormen Speicherpotenzial in der Region Wilhelmshaven.

Wasserstoffproduktion und industrielle Wertschöpfung vor Ort

Im Zeitalter erneuerbarer Energien profitiert die Region Wilhelmshaven von der Nähe zum Meer. Denn Off- und Onshore-Windenergie ist in großem Maße vorhanden. Elektrolyseure in der Region Wilhelmshaven werden nicht nur große Mengen von grünem Wasserstoff bereitstellen, sondern auch eine Entlastung des Stromnetzes herbeiführen. Die geplanten Elektrolyseure in der Region tragen mit einer Gesamtleistung von 1,1 GW einen substanziellen Teil zum Ausbauziel der Bundesregierung von 10 GW im Jahr 2030 bei.

[25] DACH steht für Deutschland (D), Österreich (A) und die Schweiz (CH).

Gemeinsam mit den ambitionierten Vorhaben zum Wasserstoffimport und zur Wasserstoffproduktion im Hafen decken die Projekte in der Region Wilhelmshaven über 50 % des deutschen Wasserstoffbedarfes von 66 TWh im Jahr 2030 ab.[26]

Auf Basis der großen Verfügbarkeit von Wasserstoff und erneuerbarer Energie entstehen auch Chancen für die Ansiedelung neuer, energieintensiver Industrie in Wilhelmshaven. Wasserstoff kann direkt in der Chemie- und Stahlindustrie vor Ort genutzt werden und ermöglicht lokale Wertschöpfung in der Region. Die Nutzung industrieller Abwärme durch den Aufbau von Wärmenetzen sorgt für eine kostengünstige und klimafreundliche Wärmeversorgung im Gebäude- und Industriesektor. In Kombination mit der Wasserstoffmobilität wird sie vor Ort einen Beitrag leisten, um die Region und ihre Bewohner schnell auf den Weg zur Klimaneutralität zu bringen.

Abbildung 3: Alleinstellungsmerkmale der Region Wilhelmshaven und des ENERGY HUBs Port of Wilhelmshaven (Eigendarstellung)

[26] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 – Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).

3 ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven: Zentraler Baustein der Wasserstoffwirtschaft

3.1 Was ist der ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven?

Bereits heute ist die Region Wilhelmshaven ein wichtiger Standort für den Import von Energieträgern und Rohstoffen nach Deutschland. Mit fortschreitender Dekarbonisierung des Energiesystems entsteht für den Standort Wilhelmshaven die einmalige Chance, den Strukturwandel hin zu einer Drehschreibe für erneuerbare Energien (siehe Abbildung 4) zu vollziehen. Aktuell realisiert der Hafen u. a. ein Viertel der deutschen Ölimporte und speichert große Mengen an Erdgas und -öl in Salzkavernen unter Tage. Mit seinem internationalen Kohleimport über den Hafen und zwei Kohlekraftwerken ist die Region Wilhelmshaven weiterhin ein wichtiger Standort der fossilen Energieerzeugung in Deutschland.

Abbildung 4: Der ENERGY HUB – Port of Wilhelmshaven als Drehscheibe für erneuerbare Energien und klimafreundlichen Wasserstoff in Europa (Eigendarstellung)

Der **ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven** steht für die beschleunigte Transformation des Standorts hin zu einer Drehscheibe für erneuerbare Energien und klimafreundlichen Wasserstoff. Das Zentrum der Initiative bilden zahlreiche Wasserstoffprojekte der beteiligten Unternehmen. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und der Transport von CO_2 nehmen ebenfalls eine wichtige Rolle ein. Aktuell engagieren sich die folgenden 15 Industriepartner im ENERGY HUB. Während der Projektlaufzeit haben zudem weitere Unternehmen ihr Interesse an einer Teilnahme geäußert.

- ArcelorMittal GmbH
- EWE GASSPEICHER GmbH (EWE)
- Friesen Elektra Beteiligungsgesellschaft mbH
- Gasunie Deutschland Transport Services GmbH & Co. KG (Gasunie)
- Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG
- Nord-West Oelleitung GmbH (NWO)
- Nowega GmbH (Nowega)
- Onyx Germany GmbH (Onyx)
- Open Grid Europe GmbH (OGE)
- Rhenus Midgard Wilhelmshaven GmbH & Co. KG (Rhenus)
- Salzgitter AG
- STORAG ETZEL GmbH (STORAG)
- Tree Energy Solutions GmbH (TES)
- Uniper Hydrogen GmbH (Uniper)
- Vynova Wilhelmshaven GmbH (Vynova)

Initiiert durch die Politik tauschen sich die Industrieunternehmen im Rahmen der Initiative ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven (im weiteren ENERGY HUB) aus und entwickeln eine gemeinsame Vision für die Wasserstoffwirtschaft in der Region. Der Austausch bietet die Möglichkeit, Synergien zwischen den Industrieprojekten aufzudecken und Infrastruktur mit Nutzen für verschiedene Industriepartner gemeinsam zu entwickeln. Es werden insbesondere lokale Hürden für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft frühzeitig identifiziert und Lösungsansätze erarbeitet. So entstehen attraktive Bedingungen für Investoren aus der Wasserstoffwirtschaft in der Region Wilhelmshaven. Auch regulatorische und verwaltungstechnische Hemmnisse werden über den ENERGY HUB an politische Entscheidungsträger kommuniziert. Die Stärken des Standorts werden der breiten Öffentlichkeit vermittelt und fördern die Ansiedlung von weiteren Wasserstoffprojekten. Während der Bemühungen um die Diversifizierung der deutschen fossilen Gasimporte werden einige Stärken des Standorts bereits sichtbar: einziger Tiefwasserhafen Deutschlands, große Erdgasspeicher in Hafennähe und ein schneller Anschluss an leistungsfähige Gasleitungen. Der geplante LNG-Import über Wilhelmshaven sorgt für den Bau von Importinfrastrukturen und die Verlegung von wasserstofffähigen Gasleitungen zum Hafen sowie zu den Speicheranlagen, wodurch eine leistungsstarke Verbindung zwischen dem ENERGY HUB und dem Gasfernleitungsnetz entsteht. Zusätzlich wird in der Region das Stromnetz mit dem Bau von weiteren Leitungen und Umspannwerken gestärkt. Dies unterstreicht gemeinsam mit der zukünftigen Anlandung von Offshore-Windstrom in der Region die exzellente Eignung als Elektrolysestandort. Die Elektrifizierung der Bahnstrecke nach Wilhelmshaven sowie die geplante Elektrifizierung der Hafenbahn tragen zur Leistungsfähigkeit als Importstandort für klimafreundliche Rohstoffe und Energieträger bei. All diese Maßnahmen im Bereich Infrastruktur unterstützen und beschleunigen die Entwicklung der Region Wilhelmshaven als ENERGY HUB in einem klimaneutralen Energiesystem. Diese Entwicklung zeigt sich in zahlreichen Industrieprojekten und weiteren

Infrastrukturmaßnahmen, welche in Abbildung 1 und Abbildung 5 skizziert sind und im Folgenden vertieft werden. Sie unterstreichen die Bedeutung der Region Wilhelmshaven als zentraler Baustein der europäischen Wasserstoffwirtschaft. Im Anhang ist eine aktuelle Zusammenstellung aller Projekte im ENERGY HUB zu finden.

Abbildung 5: Karte mit Schlüsselprojekten des ENERGY HUBs im Hafenareal (Eigendarstellung)

3.2 Energieimport über den Seeweg und Wasserstoffproduktion vor Ort

Zentraler Bestandteil des ENERGY HUBs ist der starke Fokus auf den Energieimport über seinen Tiefwasserhafen. Schon heute wird über Importe von Öl, Kohle und zukünftig auch Erdgas die Versorgungssicherheit in Deutschland gewährleistet. Die Unternehmen Uniper und TES erweitern dieses Portfolio jeweils um den Import von klimafreundlichem Ammoniak (Uniper – Projekt „Green Wilhelmshaven“) und von synthetischem Methan (TES). Diese Wasserstoffderivate werden bedarfsgerecht vor Ort in Wasserstoff umgewandelt oder in ihrer ursprünglichen Form genutzt. Der Transport zu den bestehenden industriellen Zentren erfolgt je nach Form per Lkw, Bahn, Schiff, Wasserstoff- oder Erdgasleitung. Abbildung 6 verdeutlicht, wie klimafreundliche Energieimporte schrittweise den fossilen Import nach Wilhelmshaven verdrängen. Im Jahr 2030 werden bereits über 28 TWh an klimafreundlicher Energie jährlich importiert. Die in Wilhelmshaven umgeschlagenen Energiemengen sind 2045 vergleichbar mit dem heutigen Ölimport. Gleichwohl wird die Relevanz dieser Importe eher steigen, denn es handelt sich

um hochwertige, klimafreundliche Energieträger, bei einem voraussichtlich durch Effizienzmaßnahmen verringerten Energiebedarf in Deutschland. [27]

Zusätzlich zum Import von Wasserstoffderivaten wird Wasserstoff in diversen Elektrolyseprojekten und im Projekt „NWH2“ der NWO mittels Erdgasreformierung und Carbon Capture and Storage (CCS) vor Ort erzeugt. Mit insgesamt 9,5 TWh Jahresproduktion an Wasserstoff im Jahr 2030 wird damit ein wichtiger Beitrag zur nationalen Versorgungssicherheit und Erreichung der Klimaziele in Deutschland geleistet. In Summe können aus dem ENERGY HUB über Produktion und Import 38,4 TWh Wasserstoff bis 2030 bereitgestellt werden, womit über 50 % des Jahresverbrauchs von 66 TWh an klimafreundlichem Wasserstoff in Deutschland 2030 gedeckt werden. [25]

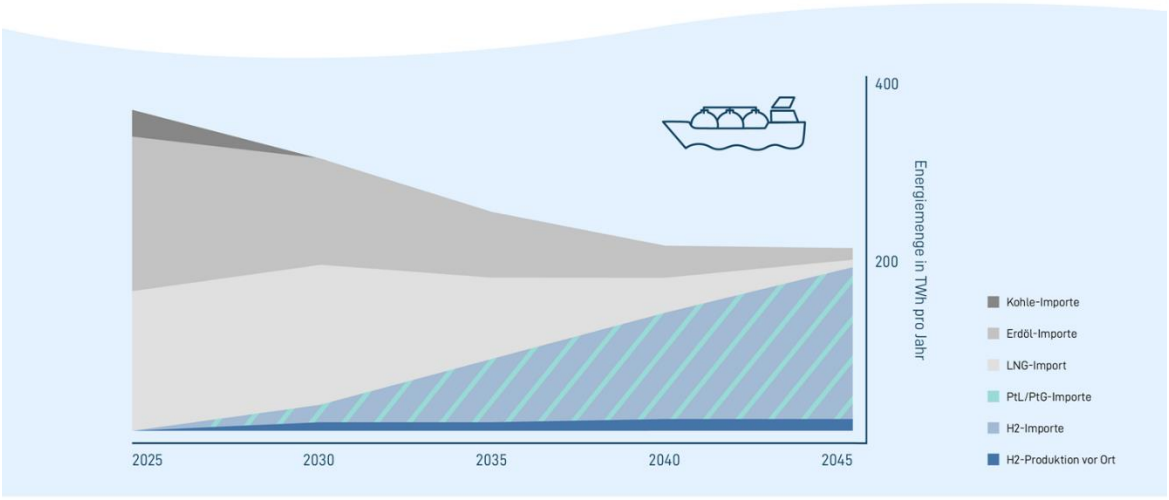

Abbildung 6: Szenario für die Entwicklung der Energieimporte im Hafen und Wasserstoffproduktion vor Ort (Eigendarstellung)

Der Import von klimaneutralen Energieträgern nach Deutschland wird in Zukunft über verschiedene Routen realisiert. Für den Transport von reinem Wasserstoff über kurze bis mittlere Distanzen stellen Wasserstoffpipelines in einem europäischen Wasserstoff-Fernleitungsnetz die kostengünstigste Route dar. Über große Distanzen ist der Transport per Schiff aus Übersee eine attraktive Option und erlaubt eine breite Diversifizierung der Energieversorgung. Insbesondere für den Transport von Wasserstoffderivaten, wie Ammoniak und synthetischem Methan, ist die Importroute per Schiff prädestiniert. Bei diesen Energieträgern können verfügbare Importinfrastruktur, Transportschiffe sowie das Know-how aus dem Ammoniakhandel und der fossilen Öl- und Gasindustrie genutzt werden. Genau diese Vorteile nutzt der ENERGY HUB mit seiner langjährigen Erfahrung im Import von fossilen Energieträgern und leistet damit schnell und volkswirtschaftlich einen effizienten Beitrag zur Versorgungssicherheit mit klimafreundlichen Energieträgern und Rohstoffen.

[27] Siehe Primärenergieverbrauch in Deutschland 2045 aus Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 – Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).

Die Häfen Antwerpen, Rotterdam und Amsterdam, häufig ARA-Häfen genannt, sowie Hamburg und Brunsbüttel richten ebenfalls ihre Wirtschaftsweise auf eine klimaneutrale Zukunft aus und unterstützen so den schnellen Hochlauf der internationalen Wasserstoffwirtschaft. Als größter Seehafen Europas versorgt der Hafen Rotterdam aktuell gemeinsam mit Wilhelmshaven die chemische Industrie und Raffinerien im Ruhrgebiet. Mit der Umstellung der Versorgung auf klimaneutrale Energieträger und Rohstoffe können die industriellen Zentren im Westen Deutschlands so auch zukünftig auf eine diversifizierte Versorgung über die ARA-Häfen und Wilhelmshaven zurückgreifen. Während Häfen wie Rotterdam zunächst insbesondere die ortsansässige Chemieindustrie klimafreundlich versorgen, kann der ENERGY HUB frühzeitig klimafreundliche Lösungen für den gesamten Nordwesten Deutschlands anbieten.

3.3 Unterirdische Wasserstoffspeicherung in Salzkavernen

Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal des ENERGY HUBs ist das große Speicherpotenzial für Wasserstoff in untertägigen Salzkavernen in der Region. Als bedeutender Kavernenstandort für Erdgas und -öl in Europa werden die Speicher in Etzel und der Region Wilhelmshaven durch den Betrieb von Wasserstoffspeichern ein zukünftiges Schlüsselelement für die Energiewende sein. Die Speicherung von Wasserstoff in Kavernen ist ein essenzieller Bestandteil eines resilienten und klimaneutralen Energiesystems. Sie dient zum Ausgleich von saisonalen Schwankungen der wetterabhängigen Stromerzeugung durch Rückverstromung des Wasserstoffs sowie zur Absicherung der konstanten Wasserstoffversorgung bei wetterabhängiger Wasserstoffproduktion und hohen Wasserstoffimportbedarfen.[28]

Mit dem Forschungsprojekt „H2CAST Etzel“ unter der Führung von STORAG wird bereits heute die Entwicklung von untertägigen Wasserstoffspeichern in Salzkavernen im ENERGY HUB vorangetrieben. Ziel ist es, den Markthochlauf der deutschen Wasserstoffwirtschaft durch umgewidmete Erdgaskavernen zu beschleunigen. Der Wasserstoffspeicherbedarf in einem klimaneutralen Energiesystem 2045 in Deutschland wird je nach Auslegung über die historischen Wetterjahre auf 35 bis 61 TWh geschätzt.[29] Bereits 2030 sollen 2,3 TWh Wasserstoff in den Salzkavernen in Etzel speicherbar sein. Langfristig können die derzeit vorhandenen 75 Kavernen in den Wasserstoffbetrieb übergehen. Bei einem Ausbaupotenzial auf insgesamt 99 Kavernen sind dann etwa 22,5 TWh Wasserstoff speicherbar. Der Standort Etzel deckt hiermit mehr als 50 % des gesamten identifizierten Speicherpotenzials Deutschlands in Salzkavernen ab.[30] Unter Berücksichtigung des gesamten Salzkavernenspeicherpotenzials in Europa, welches insbesondere eine hohe Konzentration in der Nordsee und Norddeutschland aufweist, ist der ENERGY HUB ein Leuchtturm für die Wasserstoffspeicherung in Europa und profitiert durch die Anbindung an Wasserstoffimportterminals und Großelektrolyseure.[31] In der Umgebung des ENERGY HUBs können weitere Speicherstandorte die Speicherfunktion des Wasserstoffclusters stärken. Mit direkter Anbindung an das norddeutsche Wasserstoff-Fernleitungsnetz wird die Kavernenspeicherung von Wasserstoff im ENERGY HUB somit ein Schlüsselelement für ein klimaneutrales Energiesystem in Deutschland (siehe Abbildung 7).

[28] Kopernikus-Projekte Ariadne Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) (Hrsg.) (2021): Wasserstoffimportsicherheit für Deutschland: Zeitliche Entwicklung, Risiken und Strategien auf dem Weg zur Klimaneutralität.
[29] Institut für Energie- und Klimaforschung: Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3). Forschungszentrum Jülich GmbH (2021): Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045. Kurzfassung.
[30] Gas Infrastructure Europe (Hrsg.) (2021): Picturing the value of underground gas storage to the European hydrogen system.
[31] Caglayan, D. G.; Weber, N.; Heinrichs, H. U.; Linßen, J.; Robinius, M.; Kuklaet, P. A.; Stolten, Detlef (2020): Technical potential of salt caverns for hydrogen storage in Europe. In: International Journal of Hydrogen Energy, Jg. 45, H. 11, 6793–6805.

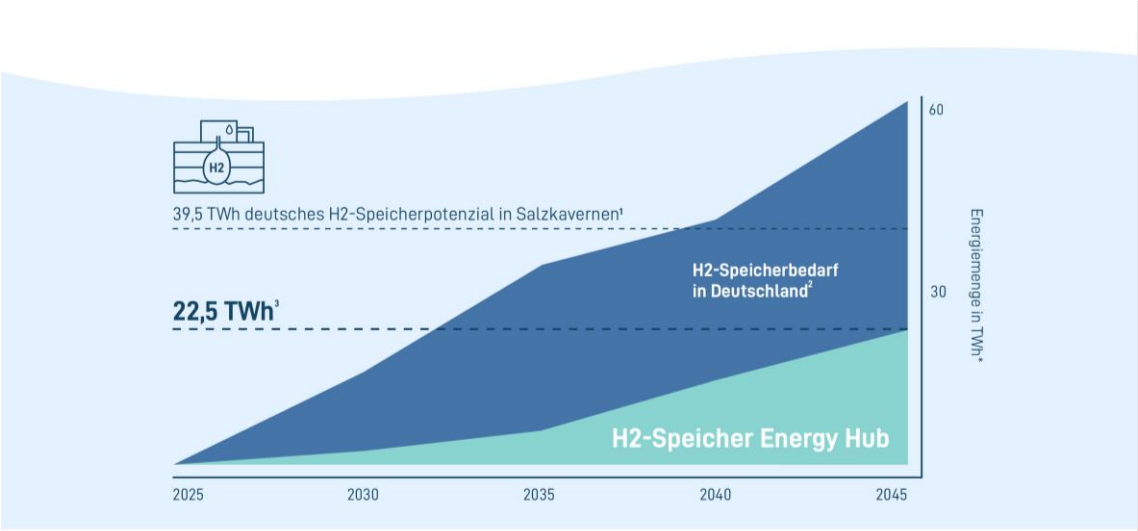

Abbildung 7: Szenario für die Entwicklung des deutschen Bedarfs an Speichern für Wasserstoff und für die Entwicklung der Speicherkapazitäten für Wasserstoff im ENERGY HUB (Eigendarstellung)

3.4 Systemdienliche Elektrolyse an der norddeutschen Küste

Die Region Wilhelmshaven verfügt über ein großes Potenzial für die Erzeugung von erneuerbarem Strom, insbesondere aus Windenergie. Dieses Potenzial hebt Wilhelmshaven an Land u. a. mit dem geplanten „Hybriden Energiepark Sande“ der Friesen Elektra, der eine installierte Leistung von 23 MW Wind, 95 MW Photovoltaik und eine Elektrolyseanlage umfasst. Zudem wird Offshore-Strom einzelner Windparks direkt nach der geplanten Inbetriebnahme 2030 in Wilhelmshaven anlanden. Mit der Anhebung der Ausbauziele für Offshore-Windparks im Rahmen der aktuellen Novelle des Windenergie-auf-See-Gesetzes (WindseeG, 30 GW bis 2030 und 70 GW bis 2045) wird Wilhelmshaven zukünftig verstärkt in die Planung der Anbindungssysteme von Offshore-Windstrom einbezogen.[32] Im aktuellen Netzentwicklungsplan[33] ist bereits der Bau des Umspannwerks „Wilhelmshaven 2“ für die Anlandung von Offshore-Windstrom bestätigt (Maßnahme 385). Die geplante Umwidmung des Kohlekraftwerks von Onyx zum Biomassekraftwerk ergänzt die Energieerzeugung mit Photovoltaik und Windkraftanlagen um eine steuerbare, regenerative Option zur Energieerzeugung. Voraussichtlich bis Ende der 2020er-Jahre wird der Interkonnektor „NeuConnect“ die Stromnetze von Deutschland und Großbritannien verbinden. Über das Umspannwerk „Fedderwarden“ im Landkreis Wilhelmshaven ist damit auch der Austausch von erneuerbarer Energie mit Großbritannien möglich.[34]

Wetterbedingt kommt es bei der Stromerzeugung aus Wind und Sonne zu Schwankungen der Produktionsmenge. In Situationen, in denen die Kapazität des Stromnetzes nicht ausreicht, führt dies zu Engpässen im Stromnetz. Mit zunehmendem Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion bedarf es neuer Möglichkeiten, Strom in Zeiten mit hoher Erzeugung zu nutzen. Die Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse bietet hier die Möglichkeit, erneuerbare Energien systemdienlich zu integrieren und eine Sektorenkopplung

[32] Gesetzentwurf der Bundesregierung (2022): Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Windenergie-auf-See-Gesetzes und anderer Vorschriften. Online unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/0406_ueberblickspapier_osterpaket.html, Zugriff am: 05.05.2022.
[33] Bundesnetzagentur (2022): Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für das Zieljahr 2035. Bedarfsermittlung 2021–2035. Bonn.
[34] NeuConnect Interconnector: Projektübersicht. Online unter: www.neuconnect-interconnector.com/de/, Zugriff am: 05.05.2022.

zwischen Gas- und Stromnetz zu erzielen. Die Elektrolyse in der Region Wilhelmshaven vermeidet in Zeiten hoher Stromerzeugung das Abschalten von Windkraftanlagen, entlastet das Stromnetz in Nord-Süd-Richtung und unterstützt einen optimalen Betrieb des Stromnetzes und der Erzeugungsanlagen.[35]

Die geplante Elektrolyseleistung der Unternehmen Uniper, Onyx und EWE wird stufenweise bis 2040/2045 aufgebaut. Bis 2027 werden Uniper und Onyx in eigenen Anlagen eine Kapazität von insgesamt 200 MW installieren. 2030 wird eine Elektrolyseleistung von 1.100 MW im ENERGY HUB erreicht, die durch den Ausbau der Elektrolyse von Uniper auf 1.000 MW erzielt wird. Bis zum Jahr 2040 bzw. 2045 wird eine Gesamtleistung von 2.100 MW mit einer Jahresproduktion von 8,3 TWh durch weitere Elektrolysekapazitäten von EWE und durch den Ausbau der Uniper-Anlage angestrebt.

3.5 Wasserstoff für die Stahl- und Chemieindustrie in Wilhelmshaven

Der Standort Wilhelmshaven bietet mit der Entwicklung des ENERGY HUBs für die energieintensive Industrie attraktive Bedingungen, denn große Mengen erneuerbarer Energie und klimafreundlichen Wasserstoffs werden sowohl aus lokaler Produktion als auch durch Importe zur Verfügung stehen. Vor Ort sind industriell nutzbare und bereits erschlossene Flächen vorhanden, die eine schnelle Ansiedlung von Unternehmen ermöglichen. Durch die direkte Anbindung an den Hafen werden lange inländische Transportwege beim Im- und Export von Energie(trägern), Rohstoffen und Produkten vermieden. Auch die Option, abgeschiedenes CO_2 aus der Industrieproduktion über den Hafen für eine Nutzung oder Speicherung zu exportieren, ist ein positiver Standortfaktor für Industriezweige mit hohen unvermeidbaren Prozessemissionen.

Insbesondere für energieintensive Prozesse im Stahl- und Chemiesektor, deren Dekarbonisierung eng an den Einsatz von klimafreundlichem Wasserstoff geknüpft ist, stellt die Verfügbarkeit von Wasserstoff und erneuerbaren Energien aus lokalen Quellen einen attraktiven Standortfaktor dar. So deckt das ansässige Chemieunternehmen Vynova aktuell seinen Wasserstoffbedarf über die Anlieferung von grauem Wasserstoff per Lkw. Darüber hinaus wurde die technische Machbarkeit einer Anlage zur Direktreduktion von Eisenerz in Wilhelmshaven bereits bestätigt. Der Betrieb einer solchen Eisendirektreduktionsanlage (DRI-Anlage) ist der erste Schritt zu einer klimaneutralen Stahlherstellung. Die geplante DRI-Anlage im Projekt „DRI@Coast“ der Partner Rhenus und Uniper im Verbund mit Stahlproduzenten wird ab dem Jahr 2026 zunächst Erdgas und 0,3 TWh Wasserstoff nutzen. Mit zunehmender Verfügbarkeit von Wasserstoff wird das Erdgas durch Wasserstoff ersetzt und so große Mengen an klimafreundlichem Wasserstoff zur lokalen Wertschöpfung in der Stahlindustrie beitragen. Abbildung 8 zeigt, wie vornehmlich die Nutzung von Wasserstoff in der Chemie- und Stahlindustrie zu einem starken Verbrauch von Wasserstoff in der Region Wilhelmshaven führt.

[35] Gasunie Deutschland Transport Services GmbH, Thyssengas GmbH, TenneT TSO GmbH (Hrsg.) (2021): Quo vadis, Elektrolyse? Identifikation gesamtenergiesystemdienlicher Power-to-Gas-Standorte in der Potenzialregion nordwestliches Niedersachsen und Schleswig-Holstein.

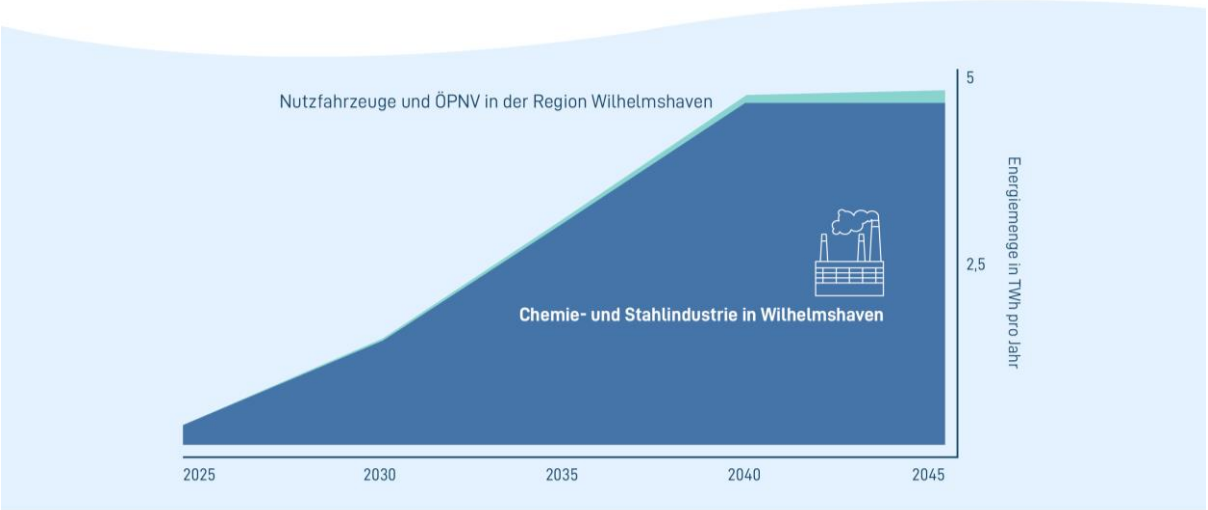

Abbildung 8: Szenario für die Entwicklung der Wasserstoffnutzung in den Sektoren Industrie und Verkehr in der Region Wilhelmshaven (Eigendarstellung)

3.6 Klimaneutrale Mobilität für die Region Wilhelmshaven

Wilhelmshaven ist mit seinem Containerterminal im JadeWeserPort und dem Umschlag von Massengut, Kühlladungen, Lebensmitteln, Stückgut und Projektladungen ein Logistik-Hub im internationalen Warenverkehr.[36] Daraus ergibt sich ein hoher Transportbedarf in der Hafenlogistik, aber auch für den Weitertransport von Gütern. Die zukünftige Verfügbarkeit von Wasserstoff in Wilhelmshaven bietet die Chance, diesen Transportbedarf mithilfe von Brennstoffzellenfahrzeugen zu dekarbonisieren.

Im Rahmen des „HyPerformer"-Vorhabens „HyWays For Future" errichten die Partner Weser-Ems Busverkehr GmbH, EWE AG und die Unternehmensgruppe Gödens mit dem Projekt „HyFri" eine neue Wasserstofftankstelle.[37] Die Wasserstoffbusse der Weser-Ems Busverkehr GmbH sorgen als regelmäßige Kunden der Wasserstofftankstelle für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) im Landkreis Friesland. Somit wird ein Grundstein für die klimaneutrale Mobilität in der Region Wilhelmshaven gelegt.

3.7 Den ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven und Europa verbinden

Die Region Wilhelmshaven ist Teil eines sich entwickelnden Wasserstoffclusters aus Belgien, den Niederlanden und Nordwestdeutschland. In diesem Cluster ist eine hohe räumliche Konzentration von Wasserstoffproduktion, -verbrauch und -infrastruktur bereits vorhanden. Das Cluster verbraucht mit seinen Zentren der Chemie- und Rohstoffindustrie ungefähr 20 % des in Europa produzierten grauen Wasserstoffs. Es bestehen hervorragende Bedingungen zur Produktion von grünem Wasserstoff aus (Offshore-)Windenergie an der Küste und auch die Produktion von blauem Wasserstoff profitiert von der Nähe zu

[36] Container Terminal Wilhelmshaven JadeWeserPort-Marketing GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2019): BASIS-INFO. Wer macht was im JadeWeserPort Wilhelmshaven. Wilhelmshaven.
[37] Niedersächsisches Wasserstoff-Netzwerk (2022): Wasserstoffbusse für den Landkreis Friesland: HyFri. Online unter: www.wasserstoff-niedersachsen.de/wasserstoffbusse-fuer-den-landkreis-friesland/, Zugriff am: 05.05.2022.

ausgedienten Erdgasfeldern in der Nordsee. Das dichte Erdgasnetz in Belgien, den Niederlanden und Nordwestdeutschland bietet die Chance, Leitungen für den Wasserstofftransport umzuwidmen und so den Transport von Wasserstoff im industriellen Maßstab zu ermöglichen.[38]

Hier knüpfen die Projekte der Gasnetzbetreiber Gasunie, Nowega und OGE an. Sie ermöglichen die frühzeitige Anbindung des ENERGY HUBs an das sich entwickelnde Wasserstoff-Fernleitungsnetz in Europa.[39] Die Region Wilhelmshaven liegt in unmittelbarer Nähe des geplanten Netzes, welches die großen Wasserstoffverbraucher zuerst in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und später Süddeutschland mit Projekten zur klimafreundlichen Wasserstofferzeugung und zu dessen Import in Norddeutschland verbindet. Zusätzlich sorgt das Netz für eine internationale Verbindung von den Niederlanden über Hamburg bis nach Dänemark.[40]
In den Projekten „GET H2 IPCEI", „WH2Connect", „H_2ercules" von OGE und Nowega wird insbesondere die Nord-Süd-Verbindung aufgebaut, während im IPCEI-Projekt „HyPerLink" der Gasunie vor allem die West-Ost-Richtung realisiert wird und im Rahmen des Projektes „Dutch Backbone/Hynetwork Services" der Ausbau in den Niederlanden voranschreitet. Somit kann der ENERGY HUB von seiner geografischen Nähe zu den Niederlanden und den dortigen Wasserstoffprojekten profitieren.
Eine umfassende Netzplanung findet aktuell im Rahmen des Netzentwicklungsplans statt. Dabei werden sowohl die Bedarfsmeldungen für Erdgas als auch für Wasserstoff berücksichtigt. So können frei werdende ehemalige Erdgasleitungen miteinbezogen werden. Auch Leitungen, welche nicht dem Zugriff der Fernnetzbetreiber (FNB) unterliegen, werden in diesem Planungsprozess berücksichtigt.

3.8 Energie- und Stoffströme im ENERGY HUB

Der ENERGY HUB vereint die gesamte Wertschöpfungskette von Erzeugung, Import, Transport, Speicherung und Nutzung einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft. Mit seinen zentralen Funktionen Import und Speicherung wird der ENERGY HUB ein grundlegender Baustein der nationalen Versorgung mit Wasserstoff und klimafreundlichen Energieträgern. Er schafft im Zuge dessen auch beste Voraussetzungen für eine Wasserstoffnutzung auf großer Skala in der regionalen Industrie und Mobilität. Auf Basis der einzelnen Projektvorhaben im ENERGY HUB zeigt Abbildung 9 ein Szenario für die wesentlichen Energie- und Stoffströme im Jahr 2030.

Durch den beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und die verstärkte Anlandung von Strom aus Offshore-Windparks wird der ENERGY HUB bis 2030 zu einem bedeutenden Elektrolysestandort mit einer Gesamtleistung von ca. 1,1 GW. Neben der Erzeugung von grünem Wasserstoff realisiert der ENERGY HUB den zeitnahen Aufbau von internationalen Wasserstofflieferketten und trägt somit maßgeblich zur Zielerreichung der Nationalen Wasserstoffstrategie bei. Mit dem Schiffsimport von synthetischem Methan und Ammoniak können Wasserstoffmengen von ca. 29 TWh im ENERGY HUB 2030 durch eine Rückumwandlung der Derivate in reinen Wasserstoff bedarfsgerecht erzeugt werden. Zusätzlich ist die Erzeugung von blauem Wasserstoff aus Erdgasimporten (LNG) vorgesehen, sodass der ENERGY HUB insgesamt etwa 36 TWh Wasserstoff im Jahr 2030 bereitstellt. Um diese Menge bedarfsgerecht bereitzustellen, wird der ENERGY HUB seine Kavernenspeicher für Wasserstoff nutzen und auf den Aufbau des Wasserstoff-Fernleitungsnetzes

[38] Institute of Energy Economics at the University of Cologne gGmbH (Hrsg.) (EWI, 2021): Hydrogen cluster Belgium, the Netherlands, and North-Western Germany. A projection and analysis of demand and production until 2030. Köln.
[39] European Hydrogen Backbone initiative (Hrsg.) (2022): A European Hydrogen Infrastructure Vision Covering 28 Countries.
[40] Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e. V. (FNB Gas, 2020): Netzentwicklungsplan Gas 2020–2030. Entwurf.

angewiesen sein. Gleichzeitig fördert der ENERGY HUB entscheidend den Ausbau dieses Netzes, indem er einen enormen Transportbedarf für Wasserstoff verursacht.

Dazu ermöglicht der ENERGY HUB den zukünftigen Betrieb eines CO_2-Transportnetzes mit CO_2-Export und bildet mit der Importkette von synthetischem Methan ein internationales CO_2-Kreislaufsystem. Zusammen mit der entstehenden CO_2-Infrastruktur schafft das biogene CO_2 aus dem geplanten Biomassekraftwerk die Chance, grünes Methanol aus grünem Wasserstoff und CO_2 zu synthetisieren und/oder negative CO_2-Emmissionen mit der dauerhaften Speicherung des biogenen CO_2 zu erzielen (bioenergy with carbon capture and storage – BECCS).

Die günstigen Bedingungen in Wilhelmshaven für den Import von Holzpellets und Eisenerz unterstützen die Inbetriebnahme des Biomassekraftwerks sowie einer DRI-Anlage bis 2030 im ENERGY HUB. Die Prozesswärme der Elektrolyseure und des Biomassekraftwerks sowie potenzieller DRI-Anlagen kann zusammen mit den Wärmebedarfen der Umwandlungsanlagen von Ammoniak und Methan Prozess-Synergien heben und das Entstehen eines regionalen Wärmenetzes fördern. Weitere stoffliche Synergien bestehen in der Nutzung des Sauerstoffs aus den Elektrolyseuren (ca. 1,1 Mio. t/a), welche beispielsweise in der DRI-Anlage, im Biomassekraftwerk und in der ansässigen Chemieindustrie genutzt werden können.

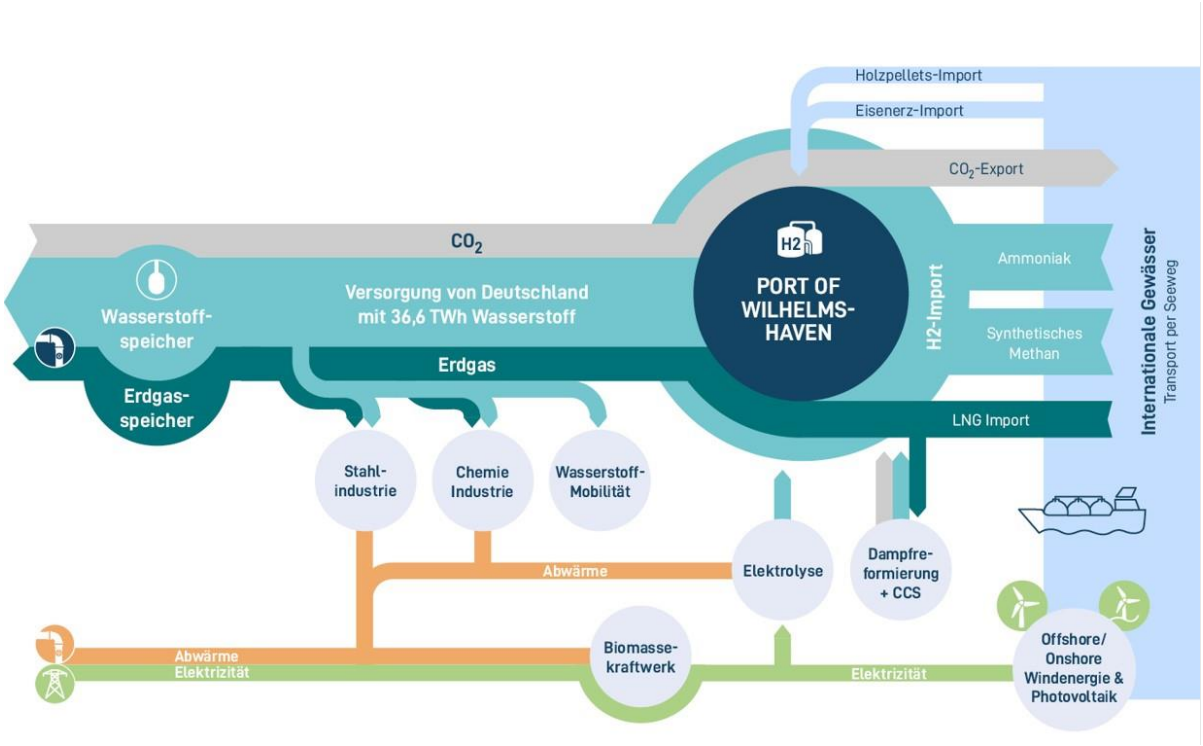

Abbildung 9: Szenario für die Energie- und Stoffströme zwischen den einzelnen Projektvorhaben, den Gasleitungsnetzen (Wasserstoff, Erdgas und Kohlenstoffdioxid) und dem Stromnetz im ENERGY HUB im Jahr 2030 (Eigendarstellung

3.9 Synergien heben: gemeinsame Schlüsselprojekte

Die gemeinsame, koordinierte Entwicklung von Infrastruktur für die Energie- und Stoffströme im ENERGY HUB bietet die Chance, volkswirtschaftlich effizient und zeitnah attraktive Voraussetzungen für die Wasserstoffwirtschaft in der Region Wilhelmshaven zu schaffen. Gleichzeitig bedeutet es, dass das volle

Potenzial des Hubs am besten gehoben wird, wenn die einzelnen Industrieprojekte sowohl im zeitlichen Verlauf als auch in den Produktionsmengen aufeinander abgestimmt sind.

Fernleitungsanbindung an internationales Wasserstoff-Fernleitungsnetz

Ein Schlüsselprojekt zur Realisierung des ENERGY HUBs ist die rechtzeitige Anbindung an das zukünftige Wasserstoff-Fernleitungsnetz. Dies ist insbesondere für die Realisierung der Projekte vor Ort von entscheidender Bedeutung, welche sich auf den Import von Wasserstoffderivaten und Wasserstoffproduktion im großen Maßstab konzentrieren. Durch die Entwicklung der im Anhang gelisteten Projekte wird ein Teil des vor Ort verfügbaren Wasserstoffs verbraucht und trägt so zur Entwicklung eines klimaneutralen Industriestandorts in der Region Wilhelmshaven bei. Der weitaus größere Anteil des klimafreundlichen Wasserstoffs wird dem deutschen und europäischen Markt zugeführt werden. Abbildung 10 zeigt, dass dazu die Anbindung an eine leistungsfähige Transportinfrastruktur notwendig ist. Für die Leitungsanbindung an das Wasserstoff-Fernleitungsnetz können zum einen bestehende Erdöl- und Erdgasleitungen umgewidmet, aber auch Neubauten auf bereits bestehenden Trassenkorridoren der Industriepartner realisiert werden. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass Planungs- und Umsetzungszeiträume verkürzt werden. Dem ENERGY HUB stehen über seine Industriepartner OGE, Gasunie, NWO, STORAG und EWE eine Vielzahl an Leitungsoptionen zum Anschluss an das Wasserstoff-Fernleitungsnetz zur Verfügung.

Aufgrund des kurzfristig geplanten LNG-Imports steht zunächst die Frage nach einer starken Anbindung an das Erdgasfernleitungsnetz im Zentrum der Aufmerksamkeit. Diese zunächst für Erdgas genutzte Infrastruktur realisiert eine leistungsfähige Leitungsanbindung bis zum Jahresende 2022. Nach Beendigung der LNG-Importe ist eine Umwidmung auf den Transport von Wasserstoff beabsichtigt. Als klare Auflage des Fördermittelgebers wird die Umwidmung bereits während des Leitungsbaus eingeplant.

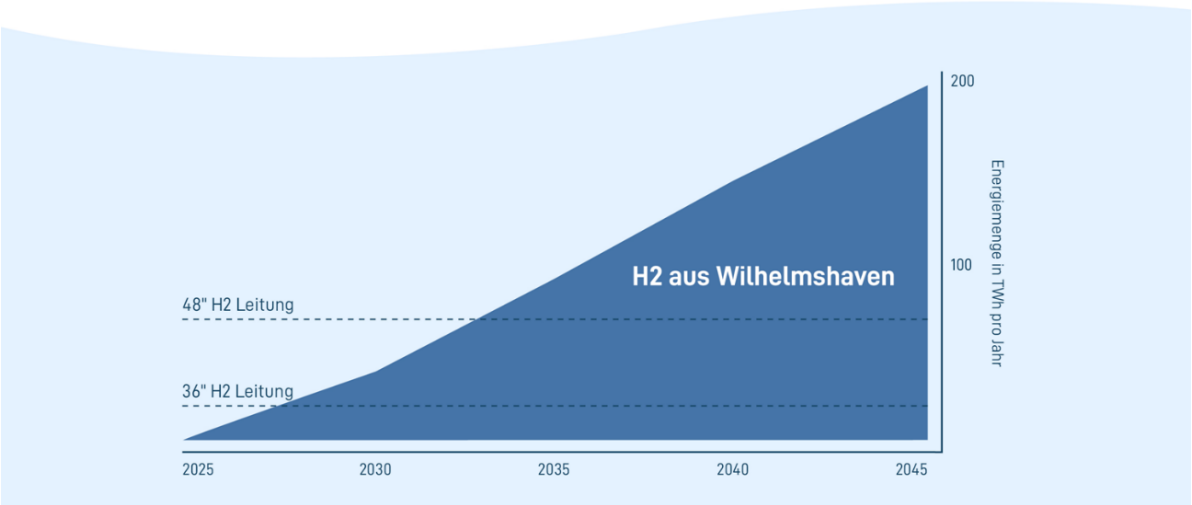

Abbildung 10: Szenario für die Mengen an klimafreundlichem Wasserstoff, welche über den ENERGY HUB an ganz Europa geliefert werden können, und die Leistungsfähigkeit einer 36“- und einer 48“-Wasserstoff-Fernleitung (36“ = 900 mm, 48“ = 1.200 mm)[41] im Vergleich (Eigendarstellung)

[41] Unter der Annahme von 5.000 Volllaststunden basierend auf European Hydrogen Backbone initiative (Hrsg.) (2021): Extending the European Hydrogen Backbone. A European Hydrogen Infrastructure Vision Covering 28 Countries

Open-Access-Wasserstoffleitung im Hafenareal

Eine Open-Access-Wasserstoffleitung im Hafenareal bietet die Chance, kosteneffizient die Basis für Wasserstoffprojekte im industriellen Maßstab in Wilhelmshaven zu schaffen. Mit der Wasserstoffleitung wird ein Anschluss der Industrieprojekte an ein internationales Wasserstoff-Fernleitungsnetz begünstigt. Zudem ermöglicht die Open-Access-Wasserstoffleitung einen internen Austausch zwischen Verbrauchern und Erzeugern von Wasserstoff im ENERGY HUB.

Die grundsätzlichen Voraussetzungen zur Leitungsverlegung über die Grundstücke verschiedener Eigentümer im Hafenareal sind gegeben, denn eine vorhandene Leitungstrasse im Hafenareal entlang des Voslapper Grodens, die weiterhin in Bebauungs- und Flächennutzungsplänen vorgesehen ist, kann genutzt werden. Bei der Planung und Umsetzung sind Anforderungen an Reinheitsgrade, Naturschutzgebiete und Wegerechte zu beachten und ist die Betreiberform (Partnerschaft, Vermietung oder Verpachtung) zu klären.

Elektrolysepark im Gigawattbereich

Der Aufbau eines Elektrolyseparks im ENERGY HUB bietet die Möglichkeit, gemeinsam mit dem Übertragungsnetzbetreiber TenneT einen systemdienlichen und zeitnahen Anschluss der Elektrolyseprojekte zu forcieren. Die Koordination schafft einen beschleunigten und wirtschaftlich attraktiven Anschluss an das Stromnetz, indem notwendige Anpassungen an den Umspannwerken gezielt organisiert werden. Die systemdienliche Betriebsweise im Rahmen der regulatorischen und netzspezifischen Anforderungen wird in einem Elektrolysepark vereinfacht. Darüber hinaus entstehen Synergien in Bezug auf die Infrastruktur zur Nutzung der Abwärme und produzierten Sauerstoffmengen der Elektrolyseure. Der Fokus der ambitionierten Elektrolyseprojekte sollte darauf liegen, die Netzengpässe frühzeitig zu identifizieren sowie weitere Stromgroßverbraucher im Hafen in die Netzplanung einzubeziehen.

Integration von Prozesswärme im Industriecluster

Hohe Energiepreise und Anforderungen an den Klimaschutz erfordern eine effiziente Integration von Wärmemengen zwischen unterschiedlichen Industrieprozessen. Die Integration von Prozesswärme eines Industrieprozesses auf hohem Temperaturniveau in einen Prozess auf niedriger Temperatur wird damit zu einer attraktiven Form der Wärmebereitstellung. Die Projektvorhaben im ENERGY HUB bieten die Chance, eine derartige Integration zu realisieren, da Industrieprozesse mit großen Wärmemengen auf unterschiedlichen Temperaturniveaus geplant sind. Wird das Gesamtsystem ENERGY HUB betrachtet, können damit erhebliche Energiemengen zur Wärmeerzeugung eingespart werden. Eine entsprechende Infrastruktur zum Transport von Wärme (Wasserdampf) schafft attraktive Bedingungen für weitere Industrieansiedlungen, denn die Unternehmen können über die Infrastruktur vergleichsweise günstig Wärme beziehen oder ihre Prozesswärme verkaufen.

Abwärmenutzung im Gebäudebereich

Mit der Entwicklung des ENERGY HUBs entstehen Potenziale zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in der Stadt Wilhelmshaven. Abwärme aus klimafreundlichen Industrieprozessen bietet eine Chance, die Wärmeversorgung von großen Gebäudekomplexen, aber auch einzelnen Wohngebäuden klimafreundlich zu gestalten. In der Vergangenheit wurden bereits Konzepte für die Wärmeauskopplung aus den Kohlekraftwerken zur Wärmeversorgung von Wilhelmshaven erstellt. Die Abwärme der geplanten Elektrolyseure, der DRI-Anlage im Projekt DRI@Coast, des Biomassekraftwerks von Onyx sowie weiterer industrieller Prozesse ist mit Blick auf das Potenzial einer klimafreundlichen Wärmeversorgung für die Stadt Wilhelmshaven und gestiegener Energiepreise jedoch neu zu bewerten. Dies gilt insbesondere für die an das

Hafenareal angrenzenden Gebiete mit ihren Gebäudekomplexen und Wohngebieten. Eine weitere Erörterung, wie die industrielle Abwärme zur lokalen Wärmeversorgung genutzt werden kann, sollte gemeinsam mit der GEW Wilhelmshaven GmbH stattfinden. Die derzeit in Prüfung befindliche Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW)[42] wird voraussichtlich Machbarkeitsstudien zur Entwicklung von Wärmenetzen fördern und könnte damit ein passendes Förderprogramm darstellen.

CO_2-Infrastruktur im Hafenareal

Im Kontext des Imports von klimafreundlichem Wasserstoff auf der Basis von synthetischem Methan ist von TES der Bau eines Exportterminals für CO_2 in Wilhelmshaven geplant, um das notwendige CO_2 als Wasserstoffträger per Schiff im Kreislauf führen zu können. Darüber hinaus bietet das Exportterminal die Möglichkeit, CO_2 zu verschiffen und im Sinne von Carbon Capture & Storage (CCS) dauerhaft zu speichern. OGE plant in strategischer Partnerschaft mit TES ein überregionales CO_2-Transportnetz zwischen Produzenten von unvermeidbaren CO_2-Emissionen, wie der Zement- und Kalkindustrie, und zukünftigen Verbrauchern, wie der Chemieindustrie, zur Anwendung von Carbon Capture & Utilization (CCU) als auch CCS.[43]

Diese Vernetzung von CO_2-Produzenten, -verbrauchern und CCS kann in kleinem Maßstab in Wilhelmshaven mit vergleichsweise geringen Investitionen realisiert werden. Die geplante Produktion von blauem Wasserstoff ist auf den Export und CCS angewiesen und profitiert stark von einer CO_2-Infrastruktur im Hafengelände. Eine ausgebaute CO_2-Infrastruktur wertet aber auch die vorhandenen Industrieflächen auf und erlaubt die schnelle Umsetzung weiterer Industrieprojekte.

[42] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2019): Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0. Modul I: Antragstellung und Verwendungsnachweis (Merkblatt Modul I Machbarkeitsstudie).
[43] Open Grid Europe GmbH (OGE, 2022): CO_2-Transportnetz. Online unter: www.co2-netz.de/de#co2-netz, Zugriff am: 05.05.2022.

4 Kurs auf H_2 – Voraussetzungen für den Erfolg

4.1 Governance für den ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven

Zur Umsetzung und Weiterentwicklung des ENERGY HUBs bedarf es einer Entwicklungsgesellschaft, welche die Interessen der Einzelakteure weiterhin in geeigneter Form bündelt. Sie muss als eigenständig handlungsfähiger Akteur mit Fachkompetenz die Einzelinteressen der Unternehmen koordinieren, als Ansprechpartner für Bundes- und Landespolitik agieren und als internationaler Netzwerker auftreten können. Weitere Aufgabenfelder werden die Erschließung von Fördermöglichkeiten für Infrastruktur- und Industrieprojekte sowie die allgemeine Vermarktung des Standorts sein. Die Erschließung von Synergien zwischen einzelnen Industrieprojekten mittels zentraler Infrastruktur stellt ebenfalls eine wichtige Aufgabe dar. Insbesondere hier sollte die zukünftige Entwicklungsgesellschaft des ENERGY HUBs wirtschaftlich handeln und Investitionen in Infrastruktur ermöglichen. Vorbilder für eine solche Art der Organisation bestehen z. B. in Form von öffentlichen Häfen, die sich in der Regel in vornehmlich kommunaler Eigentümerstruktur befinden (z. B. Rotterdam, Hamburg). Aber auch private Betreiber von großer Infrastruktur, wie Industrie- oder Gewerbeparks, können als Vorbild dienen.

Für die Struktur der Entwicklungsgesellschaft sind unterschiedliche Konstellationen denkbar. Die Ausgestaltung als landeseigene Organisation, städtischer Betrieb oder Verband bzw. Joint Venture der Unternehmen bietet verschiedene Optionen. Mit der Kernfunktion Koordination von Wirtschaft und Politik ist auch eine öffentlich-private Partnerschaft (ÖPP) für die Organisation des ENERGY HUBs möglich. Sie kann mit einem starken Mandat von Politik und Unternehmen die Einbeziehung öffentlicher und wirtschaftlicher Interessen gewährleisten. In jedem Fall sollte eine deutliche Verankerung der Entwicklungsgesellschaft in der Region Wilhelmshaven angestrebt werden, um ein klares Engagement nur für den ENERGY HUB zu garantieren.

Um weiterhin eine hohe Geschwindigkeit bei der Entwicklung des ENERGY HUBs beizubehalten, wird in einem ersten Schritt geprüft, ob eine Organisation der Industriepartner in einem eingetragenen Verein möglich ist. Diese Art der Organisation soll der Initiative ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven möglichst schnell eine verbindliche Rechtsform geben. Somit wird kurzfristig eine starke gemeinsame Handlungsfähigkeit der beteiligten Industriepartner gewährleistet und der Zeitraum bis zur Etablierung komplexer Organisationsformen überbrückt. In einem zweiten Schritt wird die Vereinsstruktur um eine Entwicklungsgesellschaft ergänzt oder ersetzt. Die maßgeschneiderte Konstruktion dieser Gesellschaft erfolgt unter der Führung des Landes Niedersachsen. Damit die oben genannten Anforderungen an die Entwicklungsgesellschaft erfüllt werden können, bedarf es der Berücksichtigung verschiedenster Stakeholder und eines entsprechend langen Zeitraums. Die Gesellschaft wird daher voraussichtlich zu Beginn des Jahres 2023 ihre Arbeit aufnehmen.

4.2 Fördermöglichkeiten und -lücken im Kontext der maritimen Wasserstoffwirtschaft

In der nachfolgenden Auflistung der Förderinstrumente für Wasserstoffprojekte von der landespolitischen bis zur europäischen Ebene werden die Förderbedarfe und -lücken im Kontext maritimer Wasserstoffhubs aufgezeigt.

Auf **niedersächsischer Ebene** werden Investitionen in Höhe von 8 Mio. Euro für Pilot- und Demonstrationsvorhaben der Wasserstoffwirtschaft im Rahmen der Wasserstoffrichtlinie des niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz bereitgestellt.

Auf **Bundesebene** sind Wasserstoffprojekte im 7. Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende“ des BMWK mit einem jährlichen Budget von rund 1,3 Mrd. Euro förderfähig. Die relevanten Themenfelder für den ENERGY HUB sind die Förderschwerpunkte Sektorenkopplung und Wasserstofftechnologien sowie Technologien für die CO_2-Kreislaufwirtschaft. Zusätzlich gibt es die Förderung von Reallaboren der Energiewende mit einem jährlichen Budget von 100 Mio. Euro und einem begrenzten Gesamtfördervolumen von 25 Mio. Euro pro Verbundprojekt (u. a. Investitionen und Personalkosten). Eine Betriebskostenförderung ist bis auf die Förderung eines Forschungsbetriebs (F&E-Kosten) nicht möglich. Eine Förderrichtlinie mit einer zehnjährigen Betriebskostenförderung befindet sich derzeit in Abstimmungen mit der EU-Kommission. Der Aufbau von Handelsbeziehungen mit Exporteuren von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten wird mit der Förderrichtlinie „Internationale Wasserstoffprojekte“ des BMWK adressiert, indem Projekte außerhalb des Gebiets der EU und der EFTA-Staaten mit einem Volumen von 15 Mio. Euro gefördert werden. Der Aufbau einer deutsch-australischen Lieferkette für grünen Wasserstoff wird mit dem Förderaufruf „HyGATE“ adressiert. Hier sollen Pilot-, Demonstrations- und Forschungsprojekte mit einem Gesamtfördervolumen von jeweils 50 Mio. Euro (BMBF) und 50 Mio. AUD (ARENA) in Australien realisiert werden.

Auf **europäischer Ebene** werden in der Ausschreibung für 2022 der „Clean Hydrogen Partnership“ (Clean Hydrogen Joint Undertaking) 300,5 Mio. Euro aus dem Förderprogramm Horizon Europe für insgesamt 41 Themenfelder zur Verfügung gestellt. Maritime Zentren der Wasserstoffwirtschaft werden insbesondere im Themenfeld der „Hydrogen Valleys“ mit bis zu 25 Mio. Euro gefördert. Zusätzlich fördert der „EU Innovation Fund“ der EU-Kommission Wasserstoffprojekte zur Unterstützung der europäischen Wasserstoffstrategie. Der 2020 gestartete Innovation Fund investiert 25 Mrd. Euro aus dem europäischen Emissionshandel in die Erreichung einer klimaneutralen Wirtschaft. Die jährlichen Ausschreibungen gliedern sich nach „small-scale“- und „large-scale“-Vorhaben mit dem Fokus auf innovative Technologien zur effektiven CO_2-Vermeidung in energieintensiven Industrien mit CCS/U sowie auf die Förderung von erneuerbaren Energien und Energiespeichern. Wasserstofftechnologien sind zudem Bestandteil der ausgewählten Förderprojekte aus der ersten Förderrunde im Bereich der Stahl- und Chemieindustrie.

Zusammenfassend spiegeln die vorhandenen Förderinstrumente die inhaltlichen Schwerpunkte des ENERGY HUBs von der grünen Wasserstofferzeugung in Deutschland und insbesondere im Ausland bis zur effektiven CO_2-Vermeidung in der Stahl- und Chemieindustrie nur in Teilen wider. Auf der europäischen Ebene werden CCS/U-Technologien bereits stark gefördert. Dagegen werden Wasserstoffimportketten sowie die notwendigen Infrastrukturen für Import, Speicherung und Transport im Kontext maritimer Wasserstoffhubs inhaltlich durch Bundesförderungen nicht ausreichend abgedeckt. In Zukunft sollte eine Umwidmung bestehender Speicher- und Transportinfrastrukturen für klimafreundlichen Wasserstoff gefördert werden. Die Auswertung der finanziellen Unterstützung industrieller Wasserstoffprojekte zeigt deutliche Förderlücken im Kontext des ENERGY HUBs auf. Aktuelle Fördermittel setzen hier am Anfang der Importkette im Ausland an und beschränken sich technologiebedingt nur auf erste Demonstrationsvorhaben (ab TRL 4). Grundsätzlich besteht die Problematik darin, dass die Projekte im ENERGY HUB auf eine industrielle Umsetzung ab 2025 bis 2030 abzielen, während die verfügbaren Markttechnologien und Bundesfördermittel (z. B. für Reallabore) die Größenordnung der Projekte aktuell nicht widerspiegeln. Ein schneller Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft wird durch die aktuellen Bundesfördermittel nicht abgedeckt. Die notwendigen

Investitionen in die vielseitigen Infrastrukturen von Häfen als Eckpfeilern der Nationalen Wasserstoffstrategie werden derzeit in Teilen nur auf europäischer Ebene durch den EU Innovation Fund abgebildet. Zur Erreichung der EU-Ziele im Rahmen von REPowerEU mit einer Erzeugung und einem Import von jeweils 10 Mio. Tonnen klimafreundlichen Wasserstoffs bis 2030[44] sind neue Förderinstrumente und Marktanreizsysteme erforderlich. Dazu ist eine Betriebskostenförderung von Wasserstoffprojekten derzeit nicht möglich. Diese könnte die aktuell fehlende Wirtschaftlichkeit industrieller Wasserstoffprojekte im Vergleich zu emissionsintensiven Herstellungsprozessen ausgleichen.

Die notwendigen Anreizsysteme für den zeitnahen Hochlauf der internationalen Wasserstoffwirtschaft werden auf der Seite der Erzeugung und des Imports mit den bereitgestellten Mitteln für H2Global und auf der Abnehmerseite mit der Interessenbekundung zur geplanten Förderung von projektbezogenen Klimaschutzverträgen durch das BMWK derzeit implementiert. Die Klimaschutzverträge dienen nach dem Ansatz von Carbon Contracts for Differences (CCfD) zum Ausgleich der Betriebsmehrkosten und sollen die zeitnahe Umstellung von Unternehmen auf innovative klimafreundliche Technologien und Produktionsweisen ermöglichen, die kompatibel mit dem Ziel Klimaneutralität 2045 sind. Das Förderprogramm der Klimaschutzverträge soll somit insbesondere den Einsatz von klimafreundlichem Wasserstoff und CCU/S-Technologien ermöglichen und kann damit potenziell einen Beitrag zur Deckung des Förderbedarfs der Projektvorhaben im ENERGY HUB leisten.

4.3 Politische und rechtliche Rahmenbedingungen

Für den erfolgreichen Wasserstoffmarkthochlauf in der Region Wilhelmshaven sind hohe Investitionen in den Aufbau der Infrastruktur entlang der gesamten Wertschöpfungskette notwendig. Es bedarf eines verlässlichen politischen und rechtlichen Rahmens auf europäischer und nationaler Ebene, der Anreize für den effizienten Einsatz von Wasserstoff setzt und den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft gezielt fördert. Einzelne bestehende Regulierungen wurden bereits novelliert. Insgesamt besteht jedoch weiterhin auf europäischer und nationaler Ebene Reformbedarf.

Im ersten Schritt sind klare Vorgaben für die Zertifizierung, Produktion und den Import von klimafreundlichem Wasserstoff eine notwendige Grundlage. Nur so können Unternehmen gezielt Projekte im industriellen Maßstab entwickeln und bedeutende Investitionsentscheidungen mit großen Volumina treffen.

Als zweiten Schritt bedarf es eines verlässlichen Rahmens für Investitionen in den Auf- und Ausbau der Transport- und Speicherinfrastruktur für Wasserstoff. Dies gilt insbesondere für die volkswirtschaftlich effiziente Umwidmung und Anpassung von bereits bestehender, fossil genutzter Infrastruktur wie Erdgasfernleitungen, Kavernenspeichern, Hafenanlagen und Kraftwerksgeländen. So behindert die Unsicherheit über den künftigen Regulierungsrahmen Investitionen in das Wasserstoff-Fernleitungsnetz. Hier ist zeitnah ein neuer und klarer Regulierungsrahmen notwendig.
Eine Beschleunigung der Genehmigungsverfahren für Infrastruktur-, Elektrolyse- und Anwendungsprojekte sowie ein vereinfachtes Beantragungsverfahren für Fördermittel begünstigen zudem eine zeitnahe Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur für die Wasserstoffwirtschaft.

[44] Publications Office of the European Union (2022): Factsheet Clean Energy. REPowerEU with Clean Energy. Luxemburg. doi:10.2775/528866.

Drittens müssen hohe betriebliche Produktionskosten für klimafreundlichen Wasserstoff kompensiert und Rahmenbedingungen für den Absatz von Wasserstoff im industriellen Maßstab geschaffen werden. Deutliche Anreize oder Verpflichtungen zum Einsatz von klimafreundlichem Wasserstoff bzw. Derivaten auf Kundenseite sind Voraussetzung, um einen ausreichend großen Absatzmarkt zu schaffen. Es müssen Marktmechanismen etabliert werden, welche die zusätzlichen CO_2-Vermeidungskosten durch den Einsatz von klimafreundlichem Wasserstoff ausgleichen und somit dessen Einsatz bevorzugen. Die frühzeitige Einführung und Aufweitung solch effektiver Marktmechanismen ist Voraussetzung für die zügige Umsetzung der geplanten Projekte der Unternehmen im ENERGY HUB. Ihre Anwendung sollte administrative Komplexität vermeiden und so eine zeitnahe Umsetzung sicherstellen. Vor allem industrielle Anwender mit großem Potenzial zur Abnahme von klimafreundlichem Wasserstoff sollten hier fokussiert werden.

In einem vierten Schritt bedarf es klarer Rahmenbedingungen für Abscheidung, Transport, Speicherung und Weiterverarbeitung von CO_2, um den Hochlauf der CCU/S-Industrie zu gewährleisten. Vermeidbare Treibhausgasemissionen sollten bis 2045 vollständig vermieden, jedoch gleichzeitig der Hochlauf von Technologien zum Umgang mit unvermeidbaren Prozessemissionen, die Realisierung von negativen CO_2-Emissionen und die Produktion von synthetischen Energieträgern mit Kohlenstoffanteil gefördert werden. Hierfür ist ein transparenter und belastbarer Bilanzrahmen nötig, um eine Emissionsreduktion zu garantieren und wirtschaftlich attraktive Bedingungen zu schaffen. Weitere rechtliche Hürden einer CCU-Wertschöpfungskette bestehen u. a. in Bezug auf ein CO_2-Leitungsnetz im Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (KSpG) sowie in Art. 6 des Londoner Protokolls für den Export von CO_2 über den internationalen Seeweg.

4.4 Chancen und Risiken für die Wasserstoffwirtschaft im ENERGY HUB

Mit den geplanten Vorhaben des ENERGY HUBs können klima-, industrie- und wirtschaftspolitische Ziele von nationaler Bedeutung erreicht werden. Für die Erschließung des vollen Potenzials ist es notwendig, die aktuellen Chancen zu ergreifen und rechtzeitig die richtigen Rahmenbedingungen vor Ort und auf europäischer Ebene zu schaffen.

Chancen

Das Engagement der Industriepartner und der Wille zur Kooperation im ENERGY HUB bieten die Chance, Synergien bezüglich Infrastruktur und Genehmigungsverfahren zu heben. Die Projekte profitieren im Sinne von Erzeuger und Abnehmer oder infrastruktureller Voraussetzungen voneinander. Auch die gemeinsame Kommunikation verleiht jedem einzelnen Projekt mehr Gewicht in der öffentlichen Wahrnehmung.

Die bestehende, fossil genutzte Infrastruktur in der Region Wilhelmshaven bietet enormes Potenzial zur Umwidmung und Nutzung im Zuge der Energiewende und Erreichung der Klimaschutzziele bis 2045. Ein nahtloser Übergang von der fossilen hin zu einer klimaneutralen Nutzung der vorhandenen Infrastruktur ist nicht nur volkswirtschaftlich aufgrund der Kostenvorteile sinnvoll, sondern auch ein starker Mehrwert für die Region. Erfahrene Fachkräfte können ihre Kenntnisse für die Transformation des Energiesystems einsetzen, bestehende Wertschöpfungsketten angepasst und neue Arbeitsplätze in innovativen, aufstrebenden Branchen geschaffen werden.

Eine unmittelbare Chance für den Standort ist die Ankündigung von Bundeskanzler Scholz im Februar 2022, ein Importterminal für LNG in Wilhelmshaven kurzfristig aufzubauen. Zwischenzeitlich hat die Arbeit zur Ertüchtigung der Hafenanlagen begonnen und schwimmende Flüssigerdgasterminals (Floating Storage and Regasification Unit – FSRU) wurden gechartert. Die Vorbereitungen zum Neubau einer Erdgasleitung von der NETRA-Pipeline zum Hafengebiet und zum Kavernenfeld in Etzel haben ebenfalls begonnen.[45] Damit werden voraussichtlich in einer ersten Stufe die Hafenanlagen am nördlichen Ende des Voslapper Grodens bis zum Jahresende 2022 direkt an das Erdgas-Fernleitungsnetz angeschlossen. In einer zweiten Stufe erfolgt dieser Schritt für alle relevanten Hafenstandorte am Jadefahrwasser bis zum dritten Quartal des Jahres 2023. Auch landeinwärts sind weitere Leitungen geplant, um das LNG-Importterminal in Wilhelmshaven an die Kavernenspeicher in Nüttermoor/Jemgum und Huntorf anzuschließen.[46] Langfristig können die neu gebauten Erdgasleitungen nach Beendigung der LNG-Importe auf eine Wasserstoffnutzung umgerüstet werden und so in Zukunft eine leistungsfähige Infrastruktur für die späten Ausbaustufen des ENERGY HUBs mit hohen Import- und Produktionsmengen darstellen.
Über den kurzfristigen Beitrag zur Erdgasversorgungssicherheit erreicht der ENERGY HUB unmittelbare Sichtbarkeit und erwirbt Know-how sowie Infrastrukturen für den zukünftigen Import klimafreundlicher Gase. Gleichzeitig entstehen durch die Nutzung schwimmender Flüssigerdgasterminals für den LNG-Import keine irreversiblen Kosten oder Infrastrukturen, die der kontinuierlichen Transformation des Standorts entgegenstehen.

Risiken

Die erfolgreiche Transformation der Region Wilhelmshaven hin zu einem Hub für klimafreundliche Energieträger und erneuerbare Energien erfordert kurz- und langfristig Handlungsbedarf auf politischer und wirtschaftlicher Ebene. Die notwendigen regulatorischen und politischen Rahmenbedingungen für Investitionsentscheidungen und die Adressierung unternehmerischer Risiken sind bereits kurzfristig erforderlich, um die Voraussetzungen für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und damit auch in der Region Wilhelmshaven zu schaffen.

Neben diesen notwendigen Anpassungen auf nationaler und europäischer Ebene stellt die Anbindung des ENERGY HUBs an das Wasserstoff-Fernleitungsnetz einen der wichtigsten Bausteine für den Erfolg der Wasserstoffwirtschaft in Wilhelmshaven dar. Eine späte Anbindung und zu geringe Transportkapazitäten stellen erhebliche Risiken dar, denn viele der Industrieprojekte sind auf die Wasserstoff-Fernleitung angewiesen, um den importierten oder erzeugten Wasserstoff zu ihren Kunden zu liefern. Dies stellt exemplarisch die Risiken dar, welche durch die Verzögerungen einzelner Projekte für die Gesamtentwicklung des ENERGY HUBs entstehen. Daher sind eine intensive Absprache und Koordination zwischen den Projekten essenziell.

Ein stockender Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere der Offshore-Windparks, gefährdet ebenfalls die Elektrolyseprojekte im Gigawatt-Maßstab, da die Projekte im ENERGY HUB größtenteils auf Offshore-Windenergie angewiesen sind. Bis 2030 wird der Anschluss an ausreichend große, erneuerbare Energieerzeuger für viele Elektrolyseprojekte eine Herausforderung sein. Der bis dato unsichere

[45] Wilhelmshavener Anbindungsleitung (WAL), Open Grid Europe GmbH (2022): Pressemitteilung. LNG-Terminal Wilhelmshaven: OGE plant Anbindung an Fernleitungsnetz bis Ende 2022. Essen.

[46] Zukunftsleitung, EWE Aktiengesellschaft (2022): Zukunftsleitung für den Norden. Anbindung des LNG-Terminals in Wilhelmshaven. Online unter: https://www.ewe.com/de/ueber-uns/konzern/aktuelles/stuermische-zeiten-in-der-energiewelt/zukunftsleitung-fuer-den-norden, Zugriff am: 05.05.2022.

Rechtsrahmen zum Grünstrombezug für Elektrolyseure im Kontext der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) stellt eine zusätzliche Unsicherheit für die Unternehmen dar und behindert die Projektentwicklung.

Als Standort mit starkem Importfokus ist der ENERGY HUB unmittelbar abhängig von den Entwicklungen in zukünftigen Exportländern von klimafreundlichen Energieträgern und kann in die übermäßige Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten gelangen. Mit Diversifizierung und dem Abschluss internationaler, langfristiger Lieferverträge können die damit einhergehenden Risiken jedoch gemindert werden. Ein weiteres Risiko existiert in der Form von Akzeptanz der zu errichtenden Infrastruktur durch die Bevölkerung vor Ort, welches jedoch durch frühzeitige Kommunikation und gezielte Dialogformate erheblich gemindert werden kann.

Als einer der ersten Standorte, welche die deutsche Wasserstoffwirtschaft auf ein industrielles Niveau heben, macht der ENERGY HUB die allgemeinen Risiken und Hemmnisse für den Markthochlauf von Wasserstoff deutlich. Viele seiner Herausforderungen sind auf andere Projekte im industriellen Maßstab übertragbar. Dies gilt insbesondere für Hafenstandorte von Antwerpen über Rotterdam bis Hamburg.

4.5 Kooperation und Vernetzung des Standorts

Die Wasserstoffprojekte im ENERGY HUB zeichnen sich durch vielseitige Vorhaben entlang der gesamten Wertschöpfungskette aus, die alle notwendigen Upstream-, Midstream- und Downstreamfunktionen der Wasserstoffwirtschaft einschließen. Bereits frühzeitig wurde die Ansiedlung von zukünftigen Wasserstoffverbrauchern, wie z. B. im Projekt DRI@Coast, forciert. Gleichzeitig bestehen zwischen einzelnen Unternehmen im ENERGY HUB bereits strategische Partnerschaften mit zukünftigen Abnehmern der Wasserstoffimporte und Elektrolyseproduktion. Als Beispiel gilt hier die Kooperationsvereinbarung zwischen Uniper und der Salzgitter AG zur Lieferung von grünem Wasserstoff über ein zukünftiges Fernleitungsnetz[47] oder die Partnerschaft zwischen OGE und TES[48]. Weitere Partnerschaften bestehen auch zu Unternehmen, die nicht am ENERGY HUB beteiligt sind. Als Beispiel dient hier die strategische Kooperation zwischen TES und E.ON.[49] Es gilt, diese Art von Vernetzung voranzutreiben und im ENERGY HUB strategisch zu bündeln.

Die Region Wilhelmshaven liegt in unmittelbarer Nähe zum IPCEI-Projekt „Clean Hydrogen Coastline“[50], welches einen wichtigen Beitrag für den Auf- und Ausbau der Wasserstoffwirtschaft im Nordwesten Deutschlands leistet. Hier bestehen konkrete Kooperationspotenziale mit dem Partner EWE AG zum Aufbau einer überregionalen Wasserstoffmobilität mit Wasserstofftankstellen und bis zu 12.000 wasserstoffbetriebenen Nutzfahrzeugen. Hinzu kommen die notwendige Entwicklung des Wasserstoff-Fernleitungsnetzes in der Region und die Neuansiedlung von DRI-Anlagen an der norddeutschen Küste. Beide Themen behandeln die Partner Gasunie und ArcelorMittal Bremen, welche sowohl im ENERGY HUB als auch im Projekt „Clean Hydrogen Coastline“ aktiv sind.

[47] Salzgitter AG (2022): Uniper und Salzgitter vereinbaren enge Zusammenarbeit bei der Versorgung des Transformationsprojekts SALCOS® mit grünem Wasserstoff aus Unipers Wasserstoff Großprojekt Green Wilhelmshaven. Pressemeldung. Online unter: www.salzgitter-ag.com/de/newsroom/pressemeldungen/details/default-2a0b2cbb1d-2-19249.html, Zugriff am: 05.05.2022.
[48] Open Grid Europe GmbH (OGE, 2022): CO_2-Transportnetz. Online unter: www.co2-netz.de/de#co2-netz, Zugriff am: 05.05.2022.
[49] Tree Energy Solutions GmbH (2022): TES und E.ON kündigen strategische Partnerschaft zum Import von grünem Wasserstoff an. Pressemitteilung.
[50] Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen GmbH (2022): Clean Hydrogen Coastline. Niedersächsisches Wasserstoff-Netzwerk. Online unter: www.wasserstoff-niedersachsen.de/clean-hydrogen-coastline/, Zugriff am: 05.05.2022.

Als natürliche Schnittstelle zwischen einzelnen Wasserstoffprojekten sorgen die Leitungsnetzbetreiber EWE, Gasunie, Nowega und OGE mit ihren Infrastrukturprojekten WH2Connect[51], H_2ercules[52], HyPerLink[53], GET H2 Nukleus[54] und Dutch Backbone/Hynetwork Services[55] für eine Vernetzung des ENERGY HUBs über die Region Wilhelmshaven hinaus. Die Mitgliedschaft einzelner Projekte im Niedersächsischen Wasserstoff-Netzwerk bietet zudem die Chance, Kooperationen mit anderen Wasserstoffstandorten aufzubauen und den ENERGY HUB selbst in dieses Netzwerk zu integrieren.

Mit dem Engagement im World Ports Sustainability Program bietet sich für Wilhelmshaven die Möglichkeit, die Kooperation mit führenden internationalen Häfen auszubauen und Themen wie klimafreundliche Schiffskraftstoffe weiterzuentwickeln.[56] Auch der Austausch mit der Jade Hochschule vor Ort und der Universität Bremen[57] ist denkbar, um den Wissenstransfer zwischen akademischer Forschung und industrieller Praxis zu forcieren. Für die Zukunft kann der ENERGY HUB auf die bereits bestehenden Kooperationen aufbauen, weitere strategische Partnerschaften schließen und neue energieintensive Industriebetriebe in den ENERGY HUB integrieren.

[51] Open Grid Europe GmbH (2021): Pressemitteilung. Wilhelmshaven can become a hub for the German and European hydrogen economy.
[52] Open Grid Europe GmbH (OGE, 2022): Schnellweg für Wasserstoff: OGE und RWE stellen nationales Infrastrukturkonzept „H_2ercules“ vor. Pressemitteilung. Online unter: www.oge.net/de/pressemitteilungen/2022/schnellweg-fuer-wasserstoff-oge-und-rwe-stellen-nationales-infrastrukturkonzept-h2ercules-vor, Zugriff am: 05.05.2022.
[53] Gasunie Deutschland Transport Services GmbH (2022): Projekt HyPerLink. Online unter: www.gasunie.de/unternehmen/gasunie-deutschland/projekt-hyperlink, Zugriff am: 05.05.2022.
[54] Nowega GmbH: GET H2. FAQ zum Projekt GET H2 Nukleus. Online unter: https://www.get-h2.de/projekt_nukleus/, Zugriff am: 05.05.2022.
[55] N. V. Nederlandse Gasunie: Hynetwork Services. Hydrogen network North Netherlands. Online unter: https://www.hynetwork.nl/en/projects/hydrogen-network-north-netherlands, Zugriff am: 05.05.2022.
[56] World Port Sustainability Program (WPSP, 2022): Collaborative project – Green and Connected Ports. Online unter: www.sustainableworldports.org/project/collaborative-project-green-and-connected-ports/, Zugriff am: 05.05.2022.
[57] Universität Bremen (2022): H2B. Roadmap für eine graduelle Defossilisierung der Stahlindustrie und urbaner Infrastrukturen mittels Elektrolyse-Wasserstoff in Bremen. Online unter: https://www.uni-bremen.de/res/forschung/h2b/, Zugriff am: 05.05.2022.

5 Anhang

5.1 Projektübersicht – Stand Oktober 2021

Im Folgenden sind Angaben zu den Projekten im ENERGY HUB aus der Projekterfassung im Oktober 2021 gelistet. Die vorgenommenen Berechnungen und Analysen für das Standortkonzept basieren maßgeblich auf diesen Angaben. Während der Projektlaufzeit wurden Ergänzungen und Änderungen an den Projekten vorgenommen; eine aktualisierte Übersicht ist in Abschnitt 5.2 zu finden. Die grundsätzlichen qualitativen Aussagen des Standortkonzepts bleiben trotz der Änderungen bestehen.

Tabelle 1: **Erzeugung – grüne Wasserstoffproduktion (2021)**

	Projekt	Beschreibung	Status
1	**Green Wilhelmshaven** **Uniper Hydrogen GmbH**	**1.000 MW Elektrolyse bis 2030** (1 GW der 10 GW Zielleistung der Nationalen Wasserstoffstrategie) Initial: 400 MW Elektrolyse	Geplante Inbetriebnahme: 2026 Ort: Uniper Kraftwerksgelände
2	**Elektrolyse und Biomassekraft-werk** **Onyx Germany GmbH**	**100 MW Elektrolyse,** Konversion des Onyx-Steinkohlekraftwerks (710 MW_{el}) in ein **Biomassekraftwerk**	Geplante Inbetriebnahme: Elektrolyse 2027, Biomassekonversion 2026–2030, Ort: Onyx-Kraftwerksgelände
3	**EWE AG**	Bis zu **500 MW Elektrolyse**	Geplante Inbetriebnahme: ca. 2030 Ort: Region Wilhelmshaven

Tabelle 2: **Erzeugung – Import von Wasserstoffderivaten und kohlenstoffarme Wasserstoffproduktion (2021)**

	Projekt	Beschreibung	Status und Produktionsmengen
1	**Energiepark Wilhelmshaven** **Tree Energy Solutions GmbH**	- Schiffsimport von synthetischem Methan als H_2-Derivat - Kohlenstoffarme Wasserstoff-produktion durch Reformierung der Importmengen mit CO_2-Abscheidung durch CCS - Export von CO_2 über den Seeweg zur Bildung eines Kreislaufsystems zur erneuten Methanisierung im Ausland - CO_2-Pipeline nach Wilhelmshaven - Energiepark (optional): Gaskraftwerke (Einsatz synthetisches Methan/Wasserstoff), Elektrolyse	Geplante Inbetriebnahme: 2027 Import 2027: **1,6 Mio. t synthetisches Methan** Produktion pro Jahr: **ca. 0,5 Mio. t H_2 bzw. 16,7 TWh_{H2}** Weitere Ausbaustufen bis 2050: **16 Mio. t synthetisches Methan** **ca. 5 Mio. t H_2 bzw. 167 TWh_{H2}** Ort: Voslapper Groden Nord
2	**Green Wilhelmshaven** **Uniper Hydrogen GmbH**	- Schiffsimport von Ammoniak als H_2-Derivat - Grüne bzw. kohlenstoffarme Wasserstoffproduktion durch Aufspaltung des Ammoniaks (Cracking-Anlage am Hafen)	Geplante Inbetriebnahme: 2028 Import 2028: **ca. 3 Mio. t grünes Ammoniak** Produktion pro Jahr ab 2029: **ca. 360.000 t H_2 bzw. 12 TWh_{H2}** Ort: Voslapper Groden Nord
3	**NWH2** **Nord-West Oelleitung GmbH,** **Wintershall Dea AG**	- Kohlenstoffarme Wasserstoffproduktion durch Erdgasreformierung mit CO_2-Abscheidung durch CCS - Export von CO_2 über den Seeweg	Geplante Inbetriebnahme: 2028 Produktion pro Jahr: **ca. 140.000 t H_2 bzw. 4,7 TWh_{H2}** Ort: NWO-Gelände

Tabelle 3: **Großspeicher – Salzkavernenspeicher zur Wasserstoffspeicherung (2021)**

	Projekt	Beschreibung	Status
1	**H2 Cast Etzel** **STORAG Etzel GmbH**	- Demonstrationsanlage zur unterirdischen Großspeicherung von Wasserstoff (H2 Cast Etzel) - Ab 2030 Umwidmung weiterer Kavernen zur industriellen Speicherung mit Potenzial zur Nutzung von 99 Kavernen	Geplante Inbetriebnahme der Forschungskaverne: 2024 **Speicherpotenzial 2030: 2,3 TWh_{H2}** **Speicherpotenzial 2045: 22,5 TWh_{H2}**

Tabelle 4: **Transport – Installation von Wasserstoffpipelines und Netzanbindung (2021)**

	Projekt	Beschreibung	Status
1	**Nowega GmbH, Open Grid Europe GmbH, Gasunie**	Anbindung Wilhelmshaven an das geplante H_2-Netz und Versorgung insbesondere deutscher und europäischer Industriezentren u. a. über die Projekte WH2Connect, H_2ercules, HyPerLink, GET H2 Nukleus, Dutch Backbone/Hynetwork Services. Die aufgeführten Projekte bilden Grundbausteine für eine effektive Anbindung der Region.	Geplante Inbetriebnahme: 2025–2030 Eine vollständige, umfassende Netzplanung findet aktuell im Rahmen des Netzentwicklungsplanprozesses statt. Die angegebenen IPCEI-Projekte haben bereits eine Pränotifizierung der EU erhalten und befinden sich derzeit im EU-Notifizierungsprozess des nationalen Antrages.

Tabelle 5: **Wasserstoffnutzung für Industrie und Mobilität im ENERGY HUB (2021)**

	Projekt	Beschreibung	Status und Zeithorizont
1	**DRI@Coast** **Arcelor Mittal GmbH, Salzgitter AG, Rhenus Midgard Wilhelmshaven GmbH & Co. KG, Uniper Hydrogen GmbH**	Betrieb einer DRI-Anlage zur Eisenerzreduktion im Hafengelände auf Basis von Erdgas und Wasserstoff mit sukzessiver Steigerung des Wasserstoffanteils auf 100 %	Mögliche Inbetriebnahme: 2026
2	**HyFri** **Wasserstofftankstelle** **EWE, Weser-Ems Busverkehr GmbH, Friesen-Elektra (Unternehmensgruppe Gödens)**	Betrieb einer Wasserstofftankstelle mit fünf Wasserstoffbussen im Landkreis Friesland und perspektivische Versorgung mit einem Elektrolyseur im Energiepark Sande der Friesen Elektra und der EWE	Inbetriebnahme: Ende 2023 Ort: Jade-Weser-Park

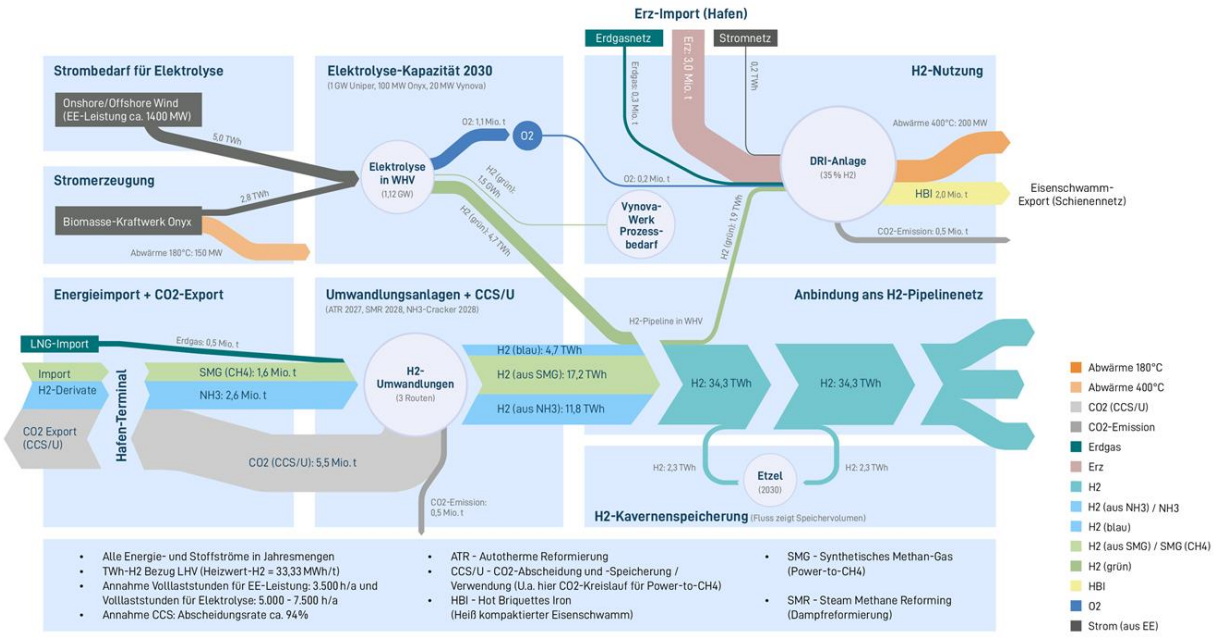

Abbildung 11: Detaillierte Energie- und Stoffströme der Projektvorhaben im ENERGY HUB 2030 basierend auf der Projekterfassung im Oktober 2021 (Eigendarstellung)

5.2 Projektübersicht – Stand Mai 2022

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht zu den aktualisierten Projekten im ENERGY HUB Stand Mai 2022.

Tabelle 6: **Erzeugung – grüne Wasserstoffproduktion (2022)**

	Projekt	Beschreibung	Status
1	**Green Wilhelmshaven** **Uniper Hydrogen GmbH**	**1.000 MW Elektrolyse bis 2030** (1 GW der 10 GW Zielleistung der Nationalen Wasserstoffstrategie) Initial: 400 MW Elektrolyse	Geplante Inbetriebnahme: 2027 Ort: Uniper-Kraftwerksgelände
2	**Elektrolyse und Biomassekraftwerk inkl. BECCS/BECCU zur Erzeugung von grünem Methanol** **Onyx Germany GmbH**	**100 MW Elektrolyse,** Konversion des Onyx-Steinkohlekraftwerks (710 MW_{el}) in ein **Biomassekraftwerk** mit Abscheidung des biogenen CO_2 zur Herstellung von **grünem Methanol**	Geplante Inbetriebnahme: Elektrolyse 2027, Biomassekonversion 2026–2030, Herstellung grünes Methanol ab 2030 Ort: Onyx-Kraftwerksgelände
4	**EWE GASSPEICHER GmbH,** **EWE NETZ GmbH**	Bis zu **500 MW Elektrolyse** (Erweiterung der norddeutschen Elektrolysekapazität im IPCEI-Vorhaben Clean Hydrogen Coastline)	Geplante Inbetriebnahme: nach 2030 Ort: Region Wilhelmshaven
5	**Energiepark Wilhelmshaven** **Tree Energy Solutions GmbH**	Potenzial für **2 GW Elektrolyse im** Energiepark Wilhelmshaven	Ort: Voslapper Groden-Nord
6	**Hybriden Energiepark Sande** **Friesen Elektra**	Strom aus erneuerbaren Energien mit **23 MW Wind** und **95 MW Photovoltaik** und Wasserstoff aus **Elektrolyse**	Ort: Gemeinde Sande

Tabelle 7: **Erzeugung – Import von Wasserstoffderivaten und kohlenstoffarme Wasserstoffproduktion (2022)**

	Projekt	Beschreibung	Status und Produktionsmengen
1	**Energiepark Wilhelmshaven** **Tree Energy Solutions GmbH**	- Kurzfristiger und übergangsweiser Import von LNG - Schiffsimport von synthetischem Methan als H_2-Derivat - Kohlenstoffarme Wasserstoff-produktion durch Reformierung der Importmengen mit CO_2-Abscheidung durch CCS - Export von CO_2 über den Seeweg zur Bildung eines Kreislaufsystems zur erneuten Methanisierung im Ausland - CO_2-Pipeline nach Wilhelmshaven - Energiepark (optional): Gaskraftwerke (Einsatz synthetisches Methan/Wasserstoff), Elektrolyse	Geplante Inbetriebnahme: 2025 Import 2025: **ca. 17 Mio. t LNG (24 bcm)** Import 2027: **1,6 Mio. t synthetisches Methan** Produktion pro Jahr: **ca. 0,5 Mio. t H_2 bzw. 16,7 TWh_{H2}** Weitere Ausbaustufen bis 2050: **16 Mio. t synthetisches Methan** **ca. 5 Mio. t H_2 bzw. 167 TWh_{H2}** Ort: Voslapper Groden Nord
2	**Green Wilhelmshaven** **Uniper Hydrogen GmbH**	- Schiffsimport von Ammoniak als H_2-Derivat - Grüne bzw. kohlenstoffarme Wasserstoffproduktion durch Aufspaltung des Ammoniaks (Cracking-Anlage am Hafen)	Geplante Inbetriebnahme: 2028 Import 2028: **ca. 3 Mio. t grünes Ammoniak** Produktion pro Jahr ab 2029: **ca. 360.000 t H_2 bzw. 12 TWh_{H2}** Ort: Voslapper Groden Nord
3	**NWH2** **Nord-West Oelleitung GmbH,** **Wintershall Dea AG**	- Kohlenstoffarme Wasserstoffproduktion durch Erdgasreformierung mit CO_2-Abscheidung durch CCS - Export von CO_2 über den Seeweg	Geplante Inbetriebnahme: 2028 Produktion pro Jahr: **ca. 140.000 t H_2 bzw. 4,7 TWh_{H2}** Ort: NWO-Gelände

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Der ENERGY HUB und die Region Wilhelmshaven in Europa (Eigendarstellung). 5

Abbildung 2 Alleinstellungsmerkmale der Region Wilhelmshaven und des ENERGY HUBs Port of Wilhelmshaven (Eigendarstellung). 14

Abbildung 3 Alleinstellungsmerkmale der Region Wilhelmshaven und des ENERGY HUBs Port of Wilhelmshaven (Eigendarstellung). 15

Abbildung 4 Der ENERGY HUB –Port of Wilhelmshaven als Drehscheibe für erneuerbare Energien und klimafreundlichen Wasserstoff in Europa (Eigendarstellung). 16

Abbildung 5 Karte mit Schlüsselprojekten des ENERGY HUBs im Hafenareal (Eigendarstellung). 18

Abbildung 6 Szenario für die Entwicklung der Energie-Importe im Hafen und Wasserstoffproduktion vor Ort (Eigendarstellung)..... 19

Abbildung 7 Szenario für die Entwicklung des deutschen Bedarfs an Speichern für Wasserstoff und für die Entwicklung der Speicherkapazitäten für Wasserstoff im ENERGY HUB (Eigendarstellung). 21

Abbildung 8 Szenario für die Entwicklung der Wasserstoff-Nutzung in den Sektoren Industrie und Verkehr in der Region Wilhelmshaven (Eigendarstellung). 23

Abbildung 9 Szenario für die Energie- und Stoffströme zwischen den einzelnen Projektvorhaben, den Gasleitungsnetzen (Wasserstoff, Erdgas und Kohlenstoffdioxid) und dem Stromnetz im ENERGY HUB im Jahr 2030 (Eigendarstellung). 25

Abbildung 10 Szenario für die Mengen an klimafreundlichen Wasserstoff, welche über den ENERGY HUB an ganz Europa geliefert werden können, und die Leistungsfähigkeit einer 36“- und einer 48“-Wasserstoff-Fernleitung (36“ = 900 mm, 48“ = 1200 mm) im Vergleich (Eigendarstellung). 26

Abbildung 11 Detaillierte Energie- und Stoffströme der Projektvorhaben im ENERGY HUB 2030 basierend auf der Projekterfassung im Oktober 2021 (Eigendarstellung). 39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 **Erzeugung - Grüne Wasserstoffproduktion (2021)** 36

Tabelle 2 **Erzeugung - Import von Wasserstoffderivaten und kohlenstoffarme Wasserstoffproduktion (2021)** 37

Tabelle 3 **Großspeicher – Salzkavernenspeicher zur Wasserstoffspeicherung (2021)** 38

Tabelle 4 **Transport - Installation von Wasserstoffpipelines und Netzanbindung (2021)** 38

Tabelle 5 **Wasserstoffnutzung für Industrie und Mobilität im ENERGY HUB (2021)** ... 39

Tabelle 6 **Erzeugung - Grüne Wasserstoffproduktion (2022)** 40

Tabelle 7 **Erzeugung - Import von Wasserstoffderivaten und kohlenstoffarme Wasserstoffproduktion (2022)** 41

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende and EFRY Management Consulting (Hrsg.) (2021): No-regret hydrogen: Charting early steps for H2 infrastructure in Europe.

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2019): Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0. Modul I: Antragstellung und Verwendungsnachweis (Merkblatt Modul I Machbarkeitsstudie).

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021): 900 Millionen Euro für Wasserstoffprojekt H2Global – Habeck „Starten mit dem Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft“. Pressemitteilung. Online unter: www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/12/20211223-900-millionen-euro-fuer-wasserstoffprojekt-h2global.html, Zugriff am: 05.05.2022.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (BMWi, 2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Berlin.

Bundesnetzagentur (2022): Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für das Zieljahr 2035. Bedarfsermittelung 2021–2035. Bonn.

Caglayan, D. G.; Weber, N.; Heinrichs, H. U.; Linßen, J.; Robinius, M.; Kuklaet, P. A.; Stolten, Detlef (2020): Technical potential of salt caverns for hydrogen storage in Europe. In: International Journal of Hydrogen Energy, Jg. 45, H. 11, 6793–6805

CO_2-free Hydrogen Energy Supply-chain Technology Research Association (HySTRA): Hydrogen Energy Supply Chain Pilot Project between Australia and Japan. Online unter: www.hystra.or.jp/en/project/, Zugriff am: 05.05.2022.

Container Terminal Wilhelmshaven JadeWeserPort-Marketing GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2019): BASIS-INFO. Wer macht was im JadeWeserPort Wilhelmshaven. Wilhelmshaven.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (dena, 2021): „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität“. Berlin.

Deutsche WindGuard GmbH: Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland – Jahr 2020. Online unter: https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html, Zugriff am: 05.05.2022.

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 – Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).

Europäische Kommission (2020): A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Brüssel.

European Hydrogen Backbone initiative (Hrsg.) (2021): Extending the European Hydrogen Backbone. A European Hydrogen Infrastructure Vision Covering 28 Countries.

European Hydrogen Backbone initiative (Hrsg.) (2022): European Hydrogen Backbone. A European Hydrogen Infrastructure Vision Covering 28 Countries.

EWE Aktiengesellschaft (2022): Zukunftsleitung für den Norden. Anbindung des LNG-Terminals in Wilhelmshaven. Online unter: https://www.ewe.com/de/ueber-uns/konzern/aktuelles/stuermische-zeiten-in-der-energiewelt/zukunftsleitung-fuer-den-norden, Zugriff am: 05.05.2022.

Gas Infrastructure Europe (Hrsg.) (2021): Picturing the value of underground gas storage to the European hydrogen system.

Gasunie Deutschland Transport Services GmbH (2022): Projekt HyPerLink. Online unter: www.gasunie.de/unternehmen/gasunie-deutschland/projekt-hyperlink, Zugriff am: 05.05.2022.

Gasunie Deutschland Transport Services GmbH, Thyssengas GmbH, TenneT TSO GmbH (Hrsg.) (2021): Quo vadis, Elektrolyse? Identifikation gesamtenergiesystemdienlicher Power-to-Gas-Standorte in der Potentialregion nordwestliches Niedersachsen und Schleswig-Holstein.

Gesetzentwurf der Bundesregierung (2022): Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Windenergie-auf-See-Gesetzes und anderer Vorschriften. Online unter: www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/0406_ueberblickspapier_osterpaket.html, Zugriff am: 05.05.2022.

Institut für Energie- und Klimaforschung: Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3). Forschungszentrum Jülich GmbH (2021): Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045. Kurzfassung.

Institute of Energy Economics at the University of Cologne gGmbH (Hrsg.) (EWI, 2021): Hydrogen cluster Belgium, the Netherlands, and North-Western Germany. A projection and analysis of demand and production until 2030. Köln.

International Gas Union (Hrsg.) (IGU, 2021): IGU 2021 WORLD LNG REPORT – 2021 Edition. Online unter: https://www.igu.org/resources/world-lng-report-2021/, Zugriff am: 05.05.2022.

Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen GmbH (2022): Clean Hydrogen Coastline. Niedersächsisches Wasserstoff-Netzwerk. Online unter: www.wasserstoff-niedersachsen.de/clean-hydrogen-coastline/, Zugriff am: 05.05.2022.

Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen GmbH (2022): Wasserstoffbusse für den Landkreis Friesland: HyFri. Niedersächsisches Wasserstoff-Netzwerk. Online unter: www.wasserstoff-niedersachsen.de/wasserstoffbusse-fuer-den-landkreis-friesland/, Zugriff am: 05.05.2022.

Kopernikus-Projekte Ariadne Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) (Hrsg.) (2021): Wasserstoffimportsicherheit für Deutschland: Zeitliche Entwicklung, Risiken und Strategien auf dem Weg zur Klimaneutralität.

N. V. Nederlandse Gasunie: Hynetwork Services. Hydrogen network North Netherlands. Online unter: https://www.hynetwork.nl/en/projects/hydrogen-network-north-netherlands, Zugriff am: 05.05.2022.

NeuConnect Interconnector: Projektüberischt. Online unter: www.neuconnect-interconnector.com/de/, Zugriff am: 05.05.2022.

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2019): Klimawirkungsstudie Niedersachsen. Wissenschaftlicher Hintergrundbericht. Hannover.

Nowega GmbH: GET H2. FAQ zum Projekt GET H2 Nukleus. Online unter: https://www.get-h2.de/projekt_nukleus/, Zugriff am: 05.05.2022.

Öko-Institut e. V. – Institute für angewandte Ökologie (Hrsg.) (2021): Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland. Online unter: https://www.stiftung-klima.de/de/themen/wasserstoff/wasserstoffstrategie-2-0/, Zugriff am: 05.05.2022.

Open Grid Europe GmbH (2021): Pressemitteilung. Wilhelmshaven can become a hub for the German and European hydrogen economy.

Open Grid Europe GmbH (2022): Pressemitteilung. LNG-Terminal Wilhelmshaven: OGE plant Anbindung an Fernleitungsnetz bis Ende 2022. Essen.

Open Grid Europe GmbH (OGE, 2022): CO_2-Transportnetz. Online unter: www.co2-netz.de/de#co2-netz, Zugriff am: 05.05.2022.

Open Grid Europe GmbH (OGE, 2022): Schnellweg für Wasserstoff: OGE und RWE stellen nationales Infrastrukturkonzept „H_2ercules“ vor. Pressemitteilung. Online unter: www.oge.net/de/pressemitteilungen/2022/schnellweg-fuer-wasserstoff-oge-und-rwe-stellen-nationales-infrastrukturkonzept-h2ercules-vor, Zugriff am: 05.05.2022.

Publications Office of the European Union (2022): Factsheet Clean Energy. REPowerEU with Clean Energy. Luxemburg. doi:10.2775/528866.

Salzgitter AG (2022): Uniper und Salzgitter vereinbaren enge Zusammenarbeit bei der Versorgung des Transformationsprojekts SALCOS® mit grünem Wasserstoff aus Unipers Wasserstoff Großprojekt Green Wilhelmshaven. Pressemeldung. Online unter: www.salzgitter-ag.com/de/newsroom/pressemeldungen/details/default-2a0b2cbb1d-2-19249.html, Zugriff am: 05.05.2022.

Shell Deutschland Oil GmbH (Hrsg.) (2017): Shell Hydrogen Study, Energy of the future? Hamburg.

Statistisches Bundesamt (2021): Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Haushaltsgrößenklassen. Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Online unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html, Zugriff am: 05.05.2022.

Tree Energy Solutions GmbH (2022): TES und E.ON kündigen strategische Partnerschaft zum Import von grünem Wasserstoff an. Pressemitteilung.

Universität Bremen (2022): H2B. Roadmap für eine graduelle Defossilisierung der Stahlindustrie und urbaner Infrastrukturen mittels Elektrolyse-Wasserstoff in Bremen. Online unter: www.uni-bremen.de/res/forschung/h2b/, Zugriff am: 05.05.2022.

Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e. V. (FNB Gas, 2020): Netzentwicklungsplan Gas 2020–2030. Entwurf.

World Port Sustainability Program (WPSP, 2022): Collaborative project – Green and Connected Ports. Online unter: www.sustainableworldports.org/project/collaborative-project-green-and-connected-ports/, Zugriff am: 05.05.2022.

Zentralverband der deutschen Seehafenbetriebe e. V. (Hrsg.) (2022): Seehäfen in der Energiewende: Wasserstoff. Arbeitspapier. Online unter: https://zds-seehaefen.de/2022/02/02/wasserstoff-2-0/, Zugriff am: 05.05.2022.

Abkürzungen

“	Zoll (Längeneinheit, Durchmesser), 1 Zoll = 0,0254 Meter
bcm	billion cubic metres (Milliarden Kubikmeter)
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CCfD	Carbon Contracts for Differences (Differenzverträge zum Ausgleich von CO_2-Vermeidungskosten und Marktpreis von CO_2-Emissionszertifikaten)
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU/S	Carbon Capture, Utilization/Storage
CH_4	Methan
CO_2	Kohlenenstoffdioxid
DRI	Direct Reduced Iron
ENERGY HUB	Kurzform für ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven
FNB	Fernleitungsnetzbetreiber
FSRU	Floating Storage and Regasification Unit (stationär schwimmendes LNG-Terminal)
H_2	Wasserstoff
IPCEI	Important Projects of Common European Interest
KSpG	Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid (Kohlendioxid-Speicherungsgesetz)
kWh	Kilowattstunde (Energiemenge), Beispiel: Ein durchschnittlicher 2-Personenhaushalt hat 3.196 kWh Jahresstromverbrauch (2019).[58]
LHV	Heizwert (Lower Heating Value)
LNG	Liquified Natural Gas
mm	Millimeter (Längeneinheit)

[58] Statistisches Bundesamt (2021): Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Haushaltsgrößenklassen. Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Online unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html, Zugriff am: 05.05.2022.

MW	Megawatt (Leistung), Beispiel: Eine durchschnittliche Offshore-Windkraftanlage hat eine Leistung von 5,2 MW (2020).[59]
NEP	Netzentwicklungsplan
NH_3	Ammoniak
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PtG	Power to Gas
PtL	Power to Liquid
REDII	Renewable Energy Directive II (Erneuerbare-Energien-Richtlinie II)
TWh	Terawattstunde (Energiemenge), Beispiel: Ein Kohlekraftwerk kann 5,25 TWh an elektrischer Energie im Jahr produzieren.[60]

[59] Deutsche WindGuard GmbH: Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland – Jahr 2020. Online unter: https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html, Zugriff am: 05.05.2022.
[60] Annahmen: 7.500 Volllaststunden pro Jahr und 700 MW elektrische Leistung des Kohlekraftwerks.

www.dena.de

dena
Deutsche Energie-Agentur