



TransHyDE-Projekt Umsetzungsprojekt Helgoland

Verbundvorhaben TransHyDE_UP3: Umsetzungsprojekt Helgoland Teilvorhaben der Versorgungsbetriebe Helgoland GmbH: Betriebskonzept und Abwärmeverwendung

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil I: Kurzbericht

Stand:	13.11.2025
Einreichungsdatum (TIB):	17.11.2025
Partnerin/Partner:	Versorgungsbetriebe Helgoland GmbH
Autorin/Autor:	Christoph Tewis
Fördertitel:	Verbundvorhaben TransHyDE_UP3: Umsetzungsprojekt Helgoland Teilvorhaben der Versorgungsbetriebe Helgoland GmbH: Betriebskonzept und Abwärmeverwendung
Förderkennzeichen:	03HY208J
Disclaimer:	<i>Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor/den Autoren.</i>

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
I. Ursprüngliche Aufgabenstellung	4
II. Vormaliger Stand des Wissens	4
III. Ablauf des Vorhabens	4
IV. Wesentliche Ergebnisse	4

Abkürzungsverzeichnis

AQPo	AquaPortus (Teilprojekt der AquaVentus-Initiative)
AP	Arbeitspaket
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMKW	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BT-D	Benzyltoluol-Derivat (LOHC-Trägerstoff)
BT-H	Benzyltoluol-Hydriertes (LOHC-Trägerstoff)
BT-V	Benzyltoluol-Vollhydriertes (LOHC-Trägerstoff)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
CTV	Crew Transfer Vessel
H₂	Wasserstoff
HGH	Hafenprojektgesellschaft Helgoland mbH
LH₂	Verflüssigter Wasserstoff (Liquid Hydrogen)
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier (Flüssige organische Wasserstoffträger)
NH₃	Ammoniak
RoRo	Roll-on/Roll-off (Fahrzeugverladung über Rampen)
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VBH	Versorgungsbetriebe Helgoland
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

I. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung bestand in der Untersuchung der technischen, logistischen und genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen für die Nutzung von Wasserstoff in Form von LOHC auf Helgoland. Ziel war die Umstellung der Wärmeversorgung der Insel von fossilen Heizölkesseln auf die Nutzung der Abwärme aus der LOHC-Anlage mit grünem Wasserstoff. Im Fokus standen die Machbarkeit eines Umschlag- und Betreiberkonzeptes sowie die Entwicklung nachhaltiger Lösungen für die zukünftige Wärmeversorgung der Insel.

II. Vormaliger Stand des Wissens

Vor Projektbeginn lagen für die VBH keine spezifischen technischen oder wissenschaftlichen Kenntnisse zur Nutzung von Abwärme aus der LOHC-Hydrierung auf Helgoland vor. Die Nutzung von Prozessabwärme ist zwar etabliert, jedoch war die Anwendung im Kontext einer LOHC-Anlage auf einer Insel mit besonderen infrastrukturellen Bedingungen Neuland.

III. Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde in acht Arbeitspakete gegliedert, darunter die technische und logistische Machbarkeit des LOHC-Umschlags, die bauliche Konzeption des Süddamm 2, rechtliche Rahmenbedingungen sowie die Entwicklung eines optimierten Betriebs- und Betreiberkonzeptes. Zentrale Themen waren die effiziente Nutzung der Abwärme aus der LOHC-Anlage und deren Integration in das bestehende Fernwärmenetz der Insel. Simulationen und Machbarkeitsstudien bildeten die Grundlage für die Entscheidungsfindung.

Die Arbeiten erfolgten in enger Abstimmung mit den Zielen des TransHyDE-Verbunds und unter Einbindung externer Expertisen.

IV. Wesentliche Ergebnisse

Die Einbindung der Prozesswärme direkt am Kraftwerk ist technisch und wirtschaftlich am sinnvollsten.

Szenario H12 bietet die niedrigsten Wärmegestehungskosten und die höchste Einsparung gegenüber Heizöl.

Die Ergebnisse sind auf andere Hafen- und Küstenstandorte übertragbar und leisten einen Beitrag zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie sowie zur Dekarbonisierung der Insel Helgoland.



TransHyDE-Projekt Umsetzungsprojekt Helgoland

Verbundvorhaben TransHyDE_UP3: Umsetzungsprojekt Helgoland Teilvorhaben der Versorgungsbetriebe Helgoland GmbH: Betriebskonzept und Abwärmeverwendung

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II: Langfassung

Stand:	13.11.2025
Einreichungsdatum (TIB):	17.11.2025
Partnerin/Partner:	Versorgungsbetrieb Helgoland GmbH
Autorin/Autor:	Christoph Tewis
Laufzeit des Vorhabens:	04/2021 – 03/2025
Fördertitel:	Verbundvorhaben TransHyDE_UP3: Umsetzungsprojekt Helgoland Teilvorhaben der Versorgungsbetriebe Helgoland GmbH: Betriebskonzept und Abwärmeverwendung
Förderkennzeichen:	03HY208J
Disclaimer:	<i>Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor/den Autoren.</i>

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	5
I. Ursprüngliche Aufgabenstellung	6
I.1 Arbeitspakete AQPo	7
I.2 Arbeitspakete AQPo	9
I.2.1 Arbeitspaket 2 – Aufstellen eines optimierten Betriebs- und Betreiberkonzeptes für die LOHC-Hydrierung.....	10
I.2.2 Arbeitspaket 4 Erforschung und Konzeption der effizienten Wärmenutzung aus der LOHC-Anlage.....	11
II. Vormaliger Stand des Wissens	12
III. Ausführliche Darstellung der durchgeführten Arbeiten	12
III.1 Arbeitspaket 4: Verwendung der Abwärme aus der Hydrierung.....	12
IV. Wesentliche Ergebnisse	16
V. Verwendung der Zuwendung.....	18
V.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	18
V.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten.....	19
VI. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans .	19
VII. Fortschritt des Projektumfelds während der Laufzeit.....	21
VIII. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	22
IX. Literaturverzeichnis.....	24

Abkürzungsverzeichnis

AQPo	AquaPortus (Teilprojekt der AquaVentus-Initiative)
AP	Arbeitspaket
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMKW	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BT-D	Benzyltoluol-Derivat (LOHC-Trägerstoff)
BT-H	Benzyltoluol-Hydriertes (LOHC-Trägerstoff)
BT-V	Benzyltoluol-Vollhydriertes (LOHC-Trägerstoff)
CAPEX	Capital Expenditure (Investitionskosten)
CTV	Crew Transfer Vessel
DOI	Digital Object Identifier
FuE	Forschung und Entwicklung
GH2	Gaseous Hydrogen (gasförmiger Wasserstoff)
H2	Wasserstoff
HHLA	Hamburger Hafen und Logistik AG
LH2	Liquid Hydrogen (Flüssigwasserstoff)
LNG	Liquefied Natural Gas
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier (flüssiger organischer Wasserstoffträger)
OPEX	Operational Expenditure (Betriebskosten)
RoRo	Roll-on/Roll-off (Schiffsumschlagverfahren über Rampen)
SNG	Synthetic Natural Gas (synthetisches Erdgas)
VBH	Versorgungsbetriebe Helgoland
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

<i>Abbildungsverzeichnis</i>	
<i>Abbildung 1: Arbeitspaketee</i>	9
<i>Abbildung 2: Hydraulische Berechnung für das Fernwärmenetz mit Netzeinspeisung der Abwärme aus der Hydrierung (exemplarisch)</i>	13
<i>Abbildung 3: Simulierter, exemplarischer Wärmebedarf und Wärmeerzeugung (INP).</i>	15

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Szenarien im Überblick.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabelle 2: Entscheidungsmatrix der verschiedenen Szenarien.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 3: Nutzen und Verwertbarkeit der Projektergebnisse.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 4: Relevante Umfeldentwicklungen während der Projektlaufzeit</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 5: Erfolgte Veröffentlichungen</i>	<i>23</i>

I. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Die ursprüngliche Aufgabenstellung des Vorhabens bestand in der Untersuchung der technischen, logistischen und genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen für die Errichtung einer Infrastruktur zur Nutzung von Wasserstoff in Form von Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC) auf Helgoland. Hintergrund dieser Aufgabenstellung war die Einbindung der Insel in das Forschungs- und Demonstrationsvorhaben TransHyDE, das im Rahmen des Wasserstoff-Leitprojekts der Bundesregierung auf eine sektorübergreifende Transport- und Speicherinfrastruktur für Wasserstoff abzielt. Ziel war es, die Machbarkeit der Errichtung eines Umschlag- und Betreiberkonzeptes für LOHC auf Helgoland zu prüfen und gleichzeitig Synergien mit bestehenden sowie künftigen Hafenenwicklungen herzustellen.

Die Versorgungsbetriebe Helgoland GmbH (VBH) verfolgen im Rahmen des TransHyDE-Verbundprojekts das Ziel, die Nutzung der Abwärme aus dem Wasserstoff-Hydrierprozess auf Helgoland zu erforschen und ein nachhaltiges Vertriebskonzept für diese Wärme zu entwickeln. Im Mittelpunkt steht dabei die vollständige Umstellung der Wärmeversorgung der Insel von fossilen Heizölkesseln auf die Nutzung der Abwärme aus der LOHC-Anlage (Liquid Organic Hydrogen Carrier) mit grünem Wasserstoff.

Konkret umfasste das Arbeitspaket 4 (AP4) folgende Fragestellungen:

Wie kann die bisherige jährliche Heizölmenge von mehr als 2 Mio. Litern durch die Nutzung der Prozessabwärme vollständig ersetzt werden?

Welche technischen Anforderungen bestehen an die Wärmeauskopplung, -übertragung und -speicherung, um eine effiziente Einspeisung in das bestehende Fernwärmenetz der Insel zu ermöglichen?

Wie kann die erzeugte Abwärme (ca. 300 °C) möglichst verlustfrei in die für Helgoland typische Vorlauftemperatur (ca. 90 °C) umgewandelt werden?

Welche Möglichkeiten der Kurzzeit- und Langzeitspeicherung bestehen, und wie können diese optimal in das Netz integriert werden?

Welche betriebswirtschaftlichen Auswirkungen hat die Einbindung der aus Hydrierung gewonnenen Wärme auf die VBH und die Endverbraucherpreise der Inselbewohner?

Wie kann überschüssige Wärme aus der zweiten Projektphase (AQPo II) effizient genutzt oder ggf. an weitere Abnehmer (z. B. Forschung, Schifffahrt, Treibhäuser) oder sogar zum Festland transportiert werden?

Die Aufgabenstellung umfasst sowohl die technische Machbarkeitsanalyse als auch die Entwicklung nachhaltiger und wirtschaftlich tragfähiger Lösungen für die zukünftige Wärmeversorgung Helgolands. Die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen sollen eine Entscheidungsgrundlage dafür liefern, ob und wie großskalige LOHC-Anwendungen auf Helgoland sinnvoll betrieben werden können.

Im Rahmen dieser Aufgabenstellung war insbesondere zu klären, inwieweit ein LOHC-Umschlag an einem zweiten Süddamm im Helgoländer Vorhafen technisch, logistisch und wirtschaftlich darstellbar ist. Hierbei wurden verschiedene logistische Optionen (z. B. Lift-on/Lift-off von Tankcontainern, Flüssiggutumschlag mittels Verladearmen oder Rohrleitungen) sowie ergänzende Nutzungsvarianten (Roll-on/Roll-off-Verkehre, Versorgungsgüter, Personen-Transfers) berücksichtigt. Die Machbarkeitsuntersuchungen hatten das Ziel, eine robuste Entscheidungsgrundlage für eine mögliche Errichtung der Infrastruktur zu schaffen, die den besonderen topografischen, nautischen und ökologischen Rahmenbedingungen Helgolands Rechnung trägt.

Die Aufgabenstellung umfasste zudem die Bewertung der Hafeninfrastruktur im Hinblick auf ihre Eignung für den Umschlag und die Speicherung von LOHC sowie die Ermittlung von Anforderungen an Infra- und Suprastruktur. Dazu gehörten unter anderem die Dimensionierung geeigneter Anleger (Fingerpier, RoRo-Anleger, T-Anleger), die Analyse von Wassertiefen, Baugrund- und Umweltbedingungen sowie die Prüfung von Sicherheits- und Genehmigungsaspekten, insbesondere im Kontext des Bundesimmissionsschutzgesetzes und des wasserrechtlichen Planfeststellungsverfahrens.

Ziel war es, ausgehend von einer hafentechnischen Machbarkeitsstudie für den LOHC-Umschlag auf Helgoland (Ramboll, 2022) eine vertiefte Machbarkeitsstudie für den Bau des Süddamm 2 (Ramboll, 2023) zu entwickeln. Damit sollte ein technisch fundiertes und umsetzungsorientiertes Konzept vorgelegt werden, das sowohl den Umschlag von LOHC als auch die Integration weiterer logistisch relevanter Funktionen ermöglicht. Die Aufgabenstellung beinhaltete daher nicht nur die reine Hafenplanung, sondern auch die Einbindung in das Gesamtkonzept des TransHyDE-Projekts, das die Entwicklung innovativer Transportlösungen für Wasserstoff in Deutschland und Europa adressiert.

Durch diese breit angelegte Aufgabenstellung sollte Helgoland in die Lage versetzt werden, als strategischer Standort im Rahmen der Offshore-Wasserstoffwirtschaft zu fungieren. Die ursprüngliche Aufgabenstellung war somit darauf gerichtet, eine wissenschaftlich-technische Basis für die Weiterentwicklung der Inselinfrastruktur im Sinne einer zukunftsorientierten Energie- und Hafenentwicklung zu schaffen.

I.1 Arbeitspakete AQPo

Zur strukturierten Bearbeitung des Projekts wurden im Rahmen von AQPo acht Arbeitspakete eingerichtet, die die komplexen Anforderungen in handhabbare Einheiten gliedern. Jedes Arbeitspaket war darauf ausgerichtet, einen spezifischen Aspekt der technischen und organisatorischen Machbarkeit zu untersuchen und dadurch einen Beitrag zum Gesamtziel der Entwicklung einer LOHC-basierten Hafeninfrastruktur auf Helgoland zu leisten.

Ein Teilbereich konzentrierte sich auf die technisch-logistische Machbarkeit des LOHC-Umschlags. Dabei wurden verschiedene Optionen wie Containerumschlag (LoLo), der Einsatz von Verladearmen oder ein Rohrleitungsanschluss systematisch geprüft. Ziel war es, die jeweils erforderliche Infra- und Suprastruktur zu bestimmen und mögliche Nutzungskonflikte frühzeitig zu identifizieren.

Gefördert durch:



Ein weiteres Arbeitspaket befasste sich mit der baulichen Konzeption des Süddamm 2. Im Fokus standen hier die Entwicklung und der Vergleich verschiedener Layoutvarianten – von einer klassischen Fingerpier über eine Erweiterung mit RoRo-Anleger bis hin zu einem T-Anleger für Crew-Transfer-Schiffe. Diese Varianten wurden unter Berücksichtigung von nautischen Randbedingungen, Baugrundverhältnissen und Genehmigungsanforderungen bewertet, um eine technisch robuste Vorzugsvariante zu bestimmen.

Darüber hinaus wurde ein Arbeitspaket eingerichtet, das die rechtlichen und sicherheitsrelevanten Rahmenbedingungen adressierte. Dazu gehörten Analysen zum hafenrechtlichen Planfeststellungsverfahren, zur Anwendung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sowie zur Störfallverordnung. Ergänzend wurden Aspekte wie Umweltverträglichkeit, Hochwasserschutz und die Handhabung wassergefährdender Stoffe in die Betrachtung einbezogen.

Die Arbeitspakete waren so konzipiert, dass ihre Ergebnisse aufeinander aufbauen und eine integrierte Entscheidungsgrundlage für die weitere Projektentwicklung schaffen. Durch diese Struktur konnte eine klare Arbeitsteilung gewährleistet werden, die es ermöglichte, technische, logistische und rechtliche Fragestellungen parallel, aber dennoch koordiniert zu bearbeiten. Zugleich wurde damit die Anschlussfähigkeit an das TransHyDE-Projekt gesichert, das die Einbindung Helgolands in eine nationale Wasserstofftransport- und Speicherinfrastruktur verfolgt.

I.2 Arbeitspakete AQPo

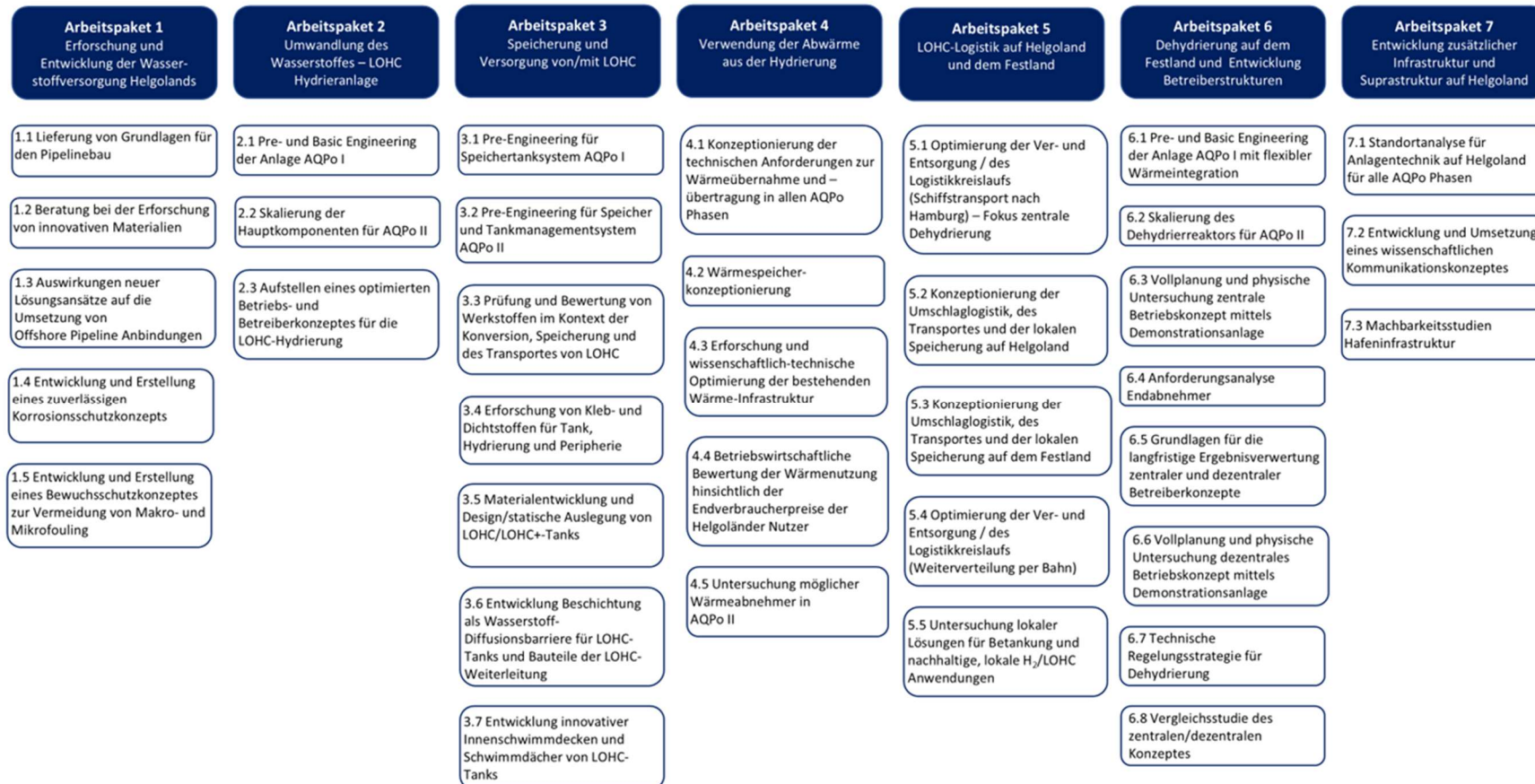


Abbildung 1: Arbeitspaketee

Das Teilvorhaben hat zwei wesentliche Zielsetzungen: Zum einen sollen im Arbeitspaket 2 (AP2) die technischen Randbedingungen für einen effizienten Betrieb und die nachhaltige, (d. h. v. a. effiziente) Nutzung von Betriebsmitteln wissenschaftlich untersucht sowie ein optimiertes Betriebs- und Betreiberkonzept für die LOHC-Hydrierung auf Helgoland entwickelt werden. Dies erfolgt auch auf Basis einer Demonstratoranlage, die den Betrieb auf Helgoland und die damit einhergehende Logistik simulieren soll.

Zum anderen soll im Arbeitspaket 4 (AP4) die optimale und effiziente Abwärmenutzung auf Helgoland aus dem Wasserstoff-Hydrierprozess erforscht werden. Ziel ist es, durch die Abwärmenutzung den bisherigen jährlichen Heizölverbrauch von mehr als 2 Mio. Liter komplett zu ersetzen. Ziel aller Aktivitäten ist es, die bisherige vollständig fossil mittels Heizölkesseln dargestellte Wärmeversorgung der Hochseeinsel auf die Nutzung der Abwärme des Hydrierprozesses von grünem Wasserstoff umzustellen. Die Erkenntnisse aus diesen Arbeitspaketen fließen in die übergeordnete Entscheidungsfindung ein, in deren Prozess beantwortet wird, ob und wie großskalige LOHC-Anwendungen auf Helgoland betriebswirtschaftlich sinnvoll betrieben werden können. Zudem dienen die Untersuchungen dazu, die grundsätzliche technische Machbarkeit der o. g. Ziele nachzuweisen.

1.2.1 Arbeitspaket 2 – Aufstellen eines optimierten Betriebs- und Betreiberkonzeptes für die LOHC-Hydrierung

Im Arbeitspaket 2 wird eine Demonstratoranlage zur LOHC-Hydrierung auf Helgoland errichtet. Mit Hilfe der Demonstratoranlage und auf Basis der Ergebnisse der korrespondierenden Testreihen wird eine modellprädiktive Betriebsstrategie für die später zu errichtenden Anlagen aus AquaPortus I und AquaPortus II erarbeitet. Die Betriebsstrategie hat einerseits das Ziel, technische Randbedingungen für einen effizienten Betrieb zu definieren. Dies erfolgt in der Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Hydrogenious LOHC Technologies GmbH. Untersucht werden z. B. die Schnittstellen zur Pufferkapazität der Pipeline (z. B. Starkwindaufkommen oder Flaute), um den täglichen Wärmelastgang auf Helgoland bis zum bilanziell möglichen Maximum zu verschieben. Ziel dieser Entwicklung ist es, das wirtschaftliche Optimum im Spannungsfeld Anlagen- und Tankgröße (CAPEX), Kompressionsaufwand und Schiffsfrequenz (OPEX), H₂-Nutzung und Wärmeauskopplung (beides Erlöse) in Echtzeit zu finden (bspw. mittels MILP: Mixed Integer Linear Program Optimization). Zweites Ziel der Untersuchungen zur Betriebsstrategie ist die Ausarbeitung von Anforderungskatalogen für die notwendigen Betriebsmittel sowie die Bestimmung der möglichen Optima vor dem Hintergrund der Optimierung der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Entsprechend sind bspw. Anforderungen an Lager- und Betriebsflächen, Logistik und an das betriebliche Personal zu erarbeiten.

Diese Untersuchungen erfolgen auf Basis von Simulationen und der Betreiberfahrungen der Demonstratoranlage. Erarbeitet wird dabei die Strategie für die Betriebsphasen AquaPortus I und AquaPortus II, mit ihren jeweiligen skalierten Größensprüngen. Dies ist insofern relevant, als durch die Skalierung der LOHC-Anlagen mehr als die 10-fache Menge an Wärmeenergie zur Verfügung steht und diese effizient genutzt werden muss.

Parallel dazu erfolgt die Erarbeitung eines Betreiberkonzeptes für alle AquaPortus-Phasen. Die VBH als lokaler Energieversorger haben Interesse daran, durch den Betrieb der LOHC-Anlagen auf Helgoland perspektivisch Ihren Aufgabenbereich zu erweitern. Dies muss für die Endverbraucher jedoch ohne zusätzliche Kosten für die Abnahmepreise an Wärme etc. erfolgen. Daher muss aus betriebswirtschaftlich-wissenschaftlicher Sicht vorab untersucht werden, welche Betriebsformen

(Alleinbetrieb VBH, Neugründung eines Betriebsteiles, Gründung eines JointVentures mit anderen Partnern usw.) sich für alle Projektphasen eignen. Zudem müssen aus technischer Sicht die VBH in die Lage versetzt werden, den Betrieb der Anlagen nachhaltig sicherstellen zu können. Untersucht wird im Rahmen des Betreiberkonzeptes, wie eine effiziente und auch skalierbare Ausbildung und Weiterbildung des Personals der VBH sichergestellt werden kann. Die Erarbeitung der genannten Punkte erfolgt mittels Use Cases, die anhand von noch zu definierenden Kriterien bewertet werden.

I.2.2 Arbeitspaket 4 Erforschung und Konzeption der effizienten Wärmenutzung aus der LOHC-Anlage

Der Kern der Untersuchungen richtet sich auf die (Ab-)Wärmenutzung aus dem Hydrierprozess auf Helgoland. Dabei sind vor allem technische Fragestellungen zu klären, wie die der Wärmeauskopplung, der Wärmespeicherung, des Transports und des Einspeisens in das vorhandene Fernwärmenetz der Insel Helgoland. Diese Fragen lassen sich auch mit dem aktuellen Stand der Technik bzw. nach den verfügbaren Informationen nicht risikofrei lösen, weshalb wesentliche Entwicklungsarbeit geleistet werden muss.

Erforscht werden dabei in diesem Arbeitspaket für alle AQPo Phasen die technischen Randbedingungen der Wärmenutzung, um geeignete technische sowie nachhaltige Lösungen zu entwickeln.

Im Wesentlichen werden dabei die Aspekte der Wärmeübernahme an der Hydrierstation, die Wärmespeicherung, die Wärmeübertragung und Netzeinspeisung betrachtet. Zu untersuchen sind dabei folgende Sachverhalte:

- Wie erfolgt eine möglichst verlustfreie Auskopplung der Wärme an der Hydrieranlage?
- Wie kann die erzeugte Abwärme (vsl. 300 °C) am effizientesten in die für Helgoland spezifische Vorlauftemperatur (ca. 90 °C) umgewandelt werden?
- Welche Möglichkeiten der Wärmespeicherung gibt es, wo ist diese am besten verortet, wie kann diese möglichst einfach an das Bestandsnetz (Fernwärmenetz) der Insel angeschlossen werden?
- Welche Möglichkeiten der Wärmeeinspeisung in das Bestandsnetz gibt es, welche zusätzlichen Anlagenteile sind dafür erforderlich?
- Welche betriebswirtschaftlichen Auswirkungen ergeben sich aus der Einbindung der aus Hydrierung gewonnenen Wärme auf die Versorgungsbetriebe Helgoland und damit den Bewohnern der Insel Helgoland?
- Wie kann die Überschusswärme aus AQPo II effizient genutzt werden?

II. Vormaliger Stand des Wissens

Vor Beginn des Vorhabens lag für die Versorgungsbetriebe Helgoland (VBH) kein spezifisches technisches oder wissenschaftliches Wissen zur Nutzung von Abwärme aus der LOHC-Hydrierung auf Helgoland vor. Es wurden weder eigene Machbarkeitsstudien beauftragt noch wesentliche technische Konzepte zur Wärmenutzung und deren Einbindung in das bestehende Fernwärmenetz der Insel entwickelt oder untersucht.

Allgemein ist bekannt, dass die Nutzung von Prozessabwärme aus chemischen Umwandlungsprozessen ein etabliertes Verfahren in der Energie- und Verfahrenstechnik ist. Die spezifische Anwendung im Kontext einer LOHC-Anlage auf einer Insel wie Helgoland, mit ihren besonderen infrastrukturellen und klimatischen Rahmenbedingungen, wurde jedoch bislang nicht betrachtet.

III. Ausführliche Darstellung der durchgeführten Arbeiten

III.1 Arbeitspaket 4: Verwendung der Abwärme aus der Hydrierung

Durch externe Fachberater wurden bereits erste Analysen zur Verwendung der Abwärme des Hydrierungsprozesses erstellt. Dabei wird untersucht, welche Abwärmemengen bei unterschiedlichen Anlagengrößen und Wasserstoffmengen im Laufe eines Jahres anfallen. Die maximalen Wärmeleistungen aus der Hydrierung von 1875 kW bzw. 4500 kW werden nicht kontinuierlich zur Verfügung stehen. Im Kontext der fluktuierenden Hydrierung und der nicht linearen Wärmebedarfe auf der Insel, wurde auch die Speicherung der Wärme auf der Insel Helgoland als wichtiger Punkt herausgearbeitet.

Zudem wurde technisch bewertet, wie eine lokale Netzeinbindung der Wärme aussehen kann. Mittels hydraulischer Berechnungen wurde geprüft (siehe Abbildung 2), ob eine lokale Einbindung in das Unterlandnetz möglich ist und welche technischen und baulichen Anforderungen bestehen. Als Alternative kann die direkte Einspeisung der Abwärme im Heizkraftwerk der VBH erfolgen.

Aus diesem Grund wird im Arbeitspaket 7 auch untersucht, ob auf dem Kraftwerksgelände ein Standort für die Hydrieranlage und die LOHC-Speichertanks gefunden werden kann.

Gefördert durch:

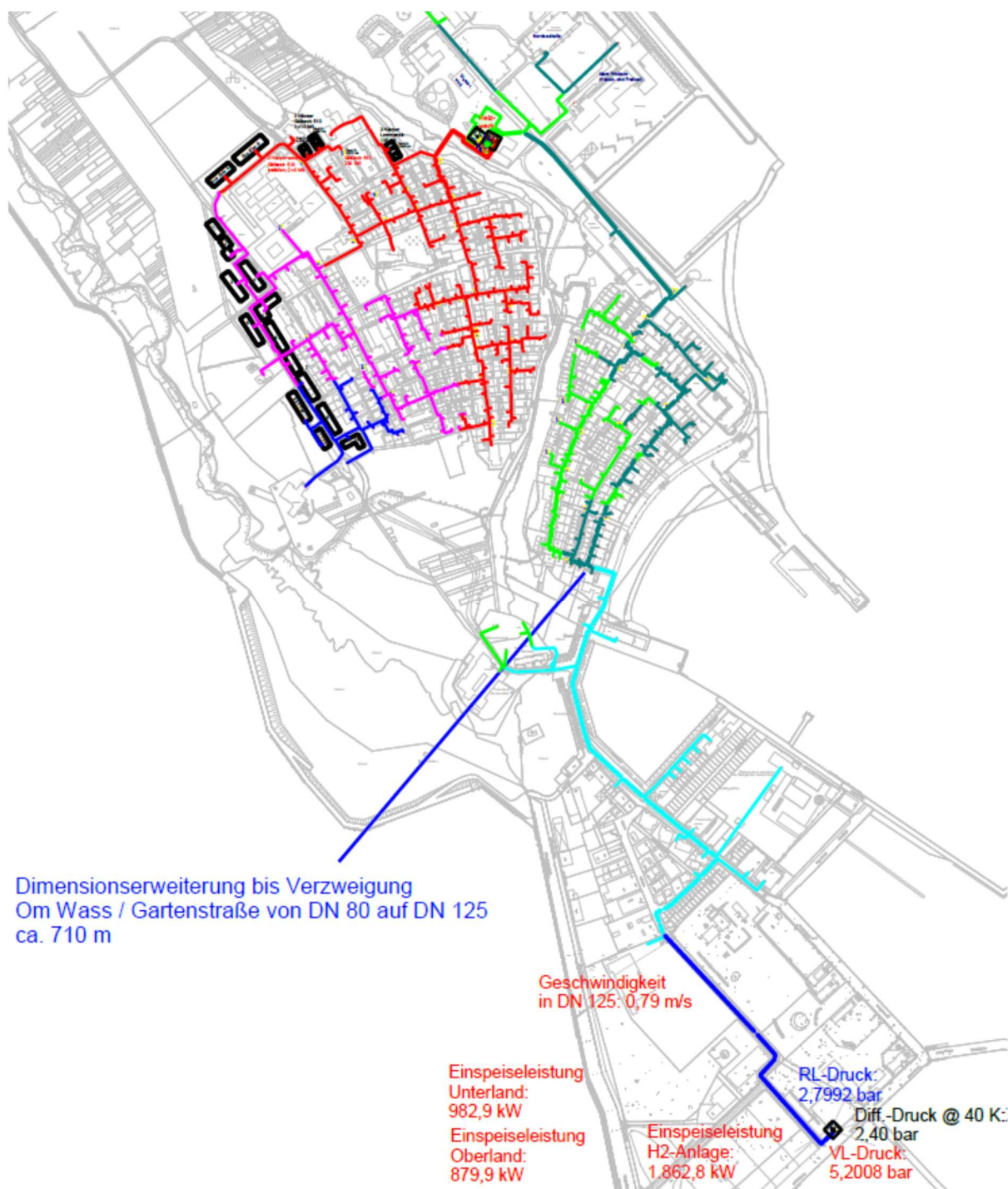


Abbildung 2: Hydraulische Berechnung für das Fernwärmenetz mit Netzeinspeisung der Abwärme aus der Hydrierung (exemplarisch)

Im Zusammenhang mit der Standortwahl und den Abwärmemengen wird für alle Untersuchungsvarianten geprüft, welche Kosten für die Wärmeeinbindung entstehen würden.

Gefördert durch:



Im Ergebnis der Untersuchungen wurde festgestellt, dass eine Netzeinbindung der Prozesswärme der Hydrierung in das Fernwärmenetz sowohl im sogenannten Unterlandnetz, aber auch im Oberlandnetz möglich ist. Dies bedeutet, dass die Wärmeeinbindung nicht zwingend am Kraftwerk selbst erfolgt, sondern z. B. auch über einen Einspeisepunkt auf dem Südhafengelände, sollte dort die Hydrieranlage aufgebaut und umgesetzt werden. Diese Einschätzung gilt sowohl für eine 5 t/d, als auch für eine 12 t/d Hydrieranlage.

Bei einer Einbindung der Wärme auf dem Südhafengelände kommt das Gutachten zum Schluss, dass der technische und finanzielle Aufwand der Einbindung vergleichsweise hoch ist. Eine Einbindung der Prozesswärme direkt am Kraftwerk und damit am bestehenden Einspeisepunkt wird seitens des Gutachtens und folglich auch des Projektteams bevorzugt.

Ergänzend dazu wurde untersucht, welche Wärmedeckung in den verschiedenen Szenarien zur Anwendung angesetzt werden kann. Aus den mittleren Erzeugerprofilen der Hydrieranlage ergibt sich abhängig vom Windprofil (H₂ Produktionsmengen) und dem exemplarischen Wärmebedarf auf der Insel eine Über- bzw. Unterdeckung.

Wie in nachfolgender Abbildung dargestellt, kann im Winter und in den Übergangszeiten der Wärmebedarf der Insel zum größten Teil durch die Nutzung der LOHC-Wärme gedeckt werden.

Trotzdem muss zeitweise auf die heizölbetriebenen Kessel zurückgegriffen werden, um den Wärmebedarf der Insel Helgoland vollständig decken zu können. Im Sommer produziert die LOHC-Anlage deutlich mehr Wärme, als Helgoland benötigt und dennoch ist anhand der Grafik zu sehen, dass der ergänzende Einsatz von Heizöl notwendig ist. Dies liegt daran, dass bei Flaute und windschwachen Zeiten die LOHC-Anlage nicht genügend Wärme produziert, um den Wärmebedarf der Insel decken zu können. Die Kapazität des Wärmespeichers reicht nur bedingt, um Flaute und windschwache Zeiten auszugleichen. Bei windstarken Zeiten wird der Wärmespeicher durch die LOHC-Wärme sehr schnell gefüllt und kann keine weitere Wärme mehr aufnehmen. In dieser Zeit muss die überschüssige Wärme über den elektrischen Kühler der LOHC-Anlage ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden.

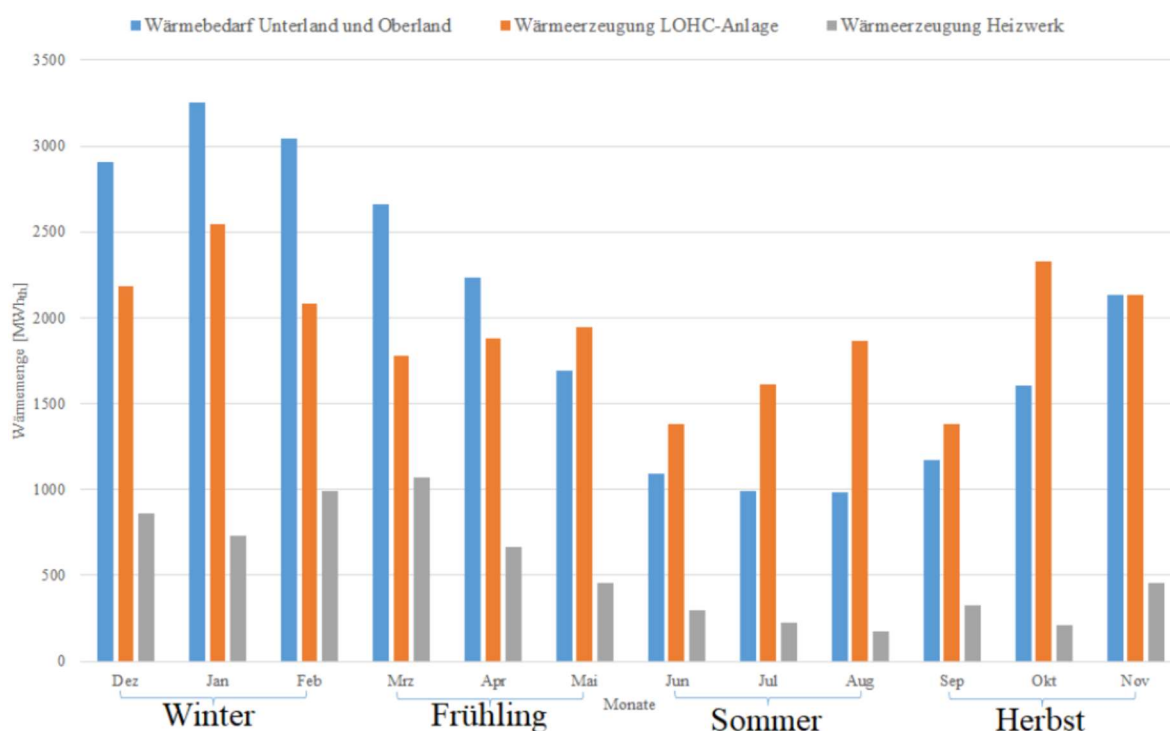


Abbildung 3: Simulierter, exemplarischer Wärmebedarf und Wärmeerzeugung (INP).

Die vorliegenden Ergebnisse aus der Untersuchung zur Verwendung der Abwärme aus der Hydrierung wurden im dritten Quartal 2022 zwischen externem Fachberater und dem Projektpartner Hydrogenious ausgetauscht und diskutiert. Die Vorzugsvariante beinhaltet die Einbindung der Prozesswärme direkt am Kraftwerk und damit am bestehenden Einspeisepunkt. In der Abstimmung der Schnittstellen zum Arbeitspaket 2 ging es insbesondere um die weitere Konzeption von Wärmetauscher, Wärmespeicher und den dazugehörigen Pumpenanlagen.

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde im 4. Quartal 2022 bis zum 3. Quartal 2023 geprüft, welche besonderen Anforderungen entstehen, wenn eine größere Hydrieranlage zum Einsatz kommt als die bisher untersuchten Anlagengrößen mit Tagesleistungen von 5 bzw. 12 t/d Wasserstoffverarbeitung. Bei den Untersuchungen werden standortbezogene Randbedingungen stark abstrahiert bzw. ganz verworfen. Ziel ist es, konzeptionell die besonderen Anforderungen aufzuzeigen, die bei einem höheren Abwärmeeinfall entstehen würden. Damit werden in diesem Arbeitspaket die Grundlagen für die eingangs erwähnte Neuausrichtung des Projekts geschaffen und die Skalierbarkeit in Richtung größerer Hydrieranlagen modellhaft geprüft. Exemplarisch werden eine Anlagengröße von 24 t/d Tagesleistung und als Wärmeträgermedium zur Wärmeauskopplung, ein Wärmeträgeröl anstelle von Wasserdampf betrachtet.

Die Motivation dieser zweiten Studie besteht in der Skalierung der Abwärmeverwendung der Hydrieranlage, auf Basis der vorangegangenen Machbarkeitsstudie. Als Randbedingungen wurden ein hypothetischer Standort, die Wasserstoffeinspeicherleistung der StoragePLANT von 24 t/d, die Wärmeauskopplung mittels Thermalölkreislauf und die Einbindung in ein hypothetisches Fernwärmenetz festgelegt. Die Schwerpunkte sollen auf der Auskopplung der Abwärme der Hydrieranlage, der Einbindung der Wärmeeinspeisung ins Fernwärmenetz, der Auslegung der

notwendigen Hauptkomponenten und der wirtschaftlichen Betrachtung der Abwärmeverwendung liegen.

Für die Wärmestichleitung (Hydrieranlage – Einspeisepunkt Fernwärmenetz) wurden acht Varianten untersucht, von denen drei technisch machbar sind. Außerdem wurden verschiedene Optionen für Druckerhöhungspumpen und Wärmetauscher untersucht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das hypothetische Szenario mit hohem Gesamtwärmebedarf (500 GWhth) und Wärmespeicher eine komfortable Situation für die StoragePLANT ergibt, es kann immer Wärme abgegeben werden. Der unterschiedliche Sommer- und Winterbetrieb erfordert einen größeren Rohrdurchmesser. Die große Entfernung zum Einspeisepunkt (hypothetische Annahme: 2 km) ist sehr ungünstig für CAPEX, dabei entfallen ca. 85 % der Investitionskosten auf die Stichleitung. Das ergibt ein verzerrtes Bild für die Einbindung von LOHC-Abwärme als solche. Gemäß INP ist die Abwärmeverwendung aus der LOHC-Anlage in allen drei Varianten wirtschaftlich darstellbar, der größte Kostenfaktor sind die bedarfsgebundenen Kosten mit 2 ct / kWhth (hypothetische Annahme für Wärmebezugskosten aus der LOHC-Anlage). Wärmebezugskosten aus der LOHC-Anlage sollten 0 ct/kWhth betragen, da ansonsten elektrische Kühlung notwendig bzw. sollten diese deutlich unter anderen, konkurrierenden Wärmequellen liegen.

IV. Wesentliche Ergebnisse

In Tabelle 1 sind für die verschiedenen Szenarien die wichtigsten Ergebnisse im Hinblick auf die Investitionskosten, Wärmegestehungskosten, Wärmeeinspeisung, CO₂-Einsparung, Einsparungen gegenüber Heizöl und Amortisationszeiten mit verschiedenen Förderquoten zusammengefasst (CAPEX). Weitere Details zu den dargestellten Zahlen stammt aus der Machbarkeitsstudie Helgoland Abwärmeverwendung.

Die Daten in Tabelle 1 ergeben sich aus den Annahmen der wirtschaftlichen Betrachtung und der aktuellen Marktsituation mit folgenden Annahmen:

- Wärmebezugskosten aus der LOHC-Anlage: Annahme 4 ct/kWhth
- Heizölkosten: Annahme 7 ct/kWhth
- Wärmegestehungskosten (WGK) ohne Berücksichtigung der Investitionskosten
- CO₂ Ausstoß bei der Verbrennung von Heizöl von 0,266 kg CO₂/kWhth
- Nur die Nutzung der LOHC-Wärme ist Bestandteil dieser Studie

Die Wärmebezugskosten aus der LOHC-Anlage sollten eigentlich bei 0 ct/kWhth liegen, da die Wärme verworfen werden müsste und der elektrische Strombedarf für die Kühlung von VBH bezogen werden müsste. Um eine Rentabilität der LOHC-Anlage berechnen zu können, müssen die LOHC-Wärmekosten deutlich unterhalb der Heizölkosten liegen, weshalb für diese Studie Wärmebezugskosten von 4 ct/kWhth angenommen wurden.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Szenarien im Überblick

Szenario	Heizkraftwerk 12 t/d H ₂		Heizkraftwerk 5 t/d H ₂		Südhafen 5 t/d H ₂
	H12	H12W	H5	H5W	S5
Investitionskosten					
Investitionskosten [Mio. €]	1,415	1,883	1,392	1,860	2,551
Ausgaben pro kWh_{th}					
Bedarfsgebundene Kosten [ct/kWh _{th}] ⁽¹⁾	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Betriebsgebundene Kosten [ct/kWh _{th}] ⁽¹⁾	0,12	0,13	0,18	0,19	0,23
Wärmegestehungskosten (ohne CAPEX)					
WGK [ct/kWh _{th}]	4,12	4,13	4,18	4,19	4,23
Wärmeeinspeisung					
Wärmeeinspeisung LOHC-Anlage [MWh _{th} /a]	17.300	17.700	11.100	11.200	9.700
Wärmeeinspeisung Heizkraftwerk [MWh _{th} /a]	6.600	6.200	12.800	12.700	14.200
CO₂-Einsparung der verschiedenen Szenarien gegenüber Heizöl					
CO ₂ -Einsparung [t/a]	4.600	4.700	2.950	2.970	2.580
Einsparung durch LOHC-Wärme pro kWh_{th}					
Einsparung [ct/kWh _{th}]	2,88	2,87	2,82	2,81	2,77
Amortisationszeit					
Amortisationszeit ohne Förderquote [a]	2,8	3,7	4,5	5,9	9,5
Amortisationszeit mit Förderquote 60% [a] ⁽²⁾	1,1	1,5	1,8	2,4	3,8
Amortisationszeit mit Förderquote 80% [a] ⁽²⁾	0,6	0,7	0,9	1,2	1,9

(1) Berechnungen der **Bedarfsgebundenen Kosten in 4.2**

(2) Förderquote nur Annahme

In Tabelle 2 ist dargestellt, dass Szenario H12 die niedrigsten Wärmegestehungskosten mit 4,12 ct/kWh_{th} und die höchste Einsparung durch die Nutzung der LOHC-Wärme gegenüber Heizöl mit 2,88 ct/kWh_{th} bietet. Dementsprechend liegt die Amortisationszeit bei Szenario H12 bei 2,8 Jahren (ohne Berücksichtigung von Fördergeldern). Die Amortisationszeit begründet sich aus dem Verhältnis zwischen den Einsparungen bei der Wärmebedarfsdeckung der Insel Helgoland u.a. mit der Nutzung der LOHC-Wärme, deren Speicherung und den Investitionskosten.

Das Szenario H12W hat aufgrund der Verdoppelung der Wärmespeicherkapazität, die größte Wärmebedarfsdeckung der Insel Helgoland durch die Nutzung der LOHC-Wärme. Sie liegt mit 17.700 MWh_{th}/a aber nur um 400 MWh_{th}/a über dem von Szenario H12. Die Investitionskosten liegen für den größeren Wärmespeicher bei zusätzlich 468.000 € (siehe Kapitel 4.1). Zwar ist die CO₂-Einsparung bei Szenario H12W mit 4.700 t/a am größten, allerdings liegen diese nur etwa 100 t/a über der CO₂-Einsparung von Szenario H12 bei höheren Investitionskosten. Somit ist eine Verdopplung der Wärmespeicherkapazität nicht sinnvoll.

Tabelle 2: Entscheidungsmatrix der verschiedenen Szenarien

Kriterium	HKW 12 t/d		HKW 5 t/d		Südhafen 5 t/d	
	H12	H12W	H5	H5W	S5	
Investitionskosten	•Investitionskosten niedrig	•Bau erweiterter WS erhöht Investitionskosten	•Investitionskosten niedrig	•Bau erweiterter WS erhöht Investitionskosten	•Umbau des Bestandsnetzes Südhafen •hohe Investition	
Wärmegestehungskosten	•niedrigste WGK aller Varianten	•durch höhere Investitionskosten, höhere WGK	•WGK steigen wegen geringerer Wärmeeinspeisemenge	•durch höhere Investitionskosten, höhere WGK	•höchste WGK aller Varianten •hohe Investitionskosten	
Zusätzliche Baumaßnahmen und Platzbedarf ⁽¹⁾	•kein zusätzlicher Platzbedarf Pumpen und WT •wenig Platzbedarf WS	•kein zusätzlicher Platzbedarf für Pumpen und WT •aber für zusätzlichen WS	•kein zusätzlicher Platzbedarf Pumpen und WT •wenig Platzbedarf WS	•kein zusätzlicher Platzbedarf für Pumpen und WT •aber für zusätzlichen WS	•Bau von Pumpenhaus für Pumpen und WT notwendig	
Potential zum Ausbau der Anlage ab 2025 ⁽²⁾	•Potential der Anlage begrenzt •Fläche am HKW sehr begrenzt	•größeres Potential der Anlage •Fläche am HKW sehr begrenzt	•Potential der Anlage begrenzt •Fläche am HKW sehr begrenzt	•größeres Potential der Anlage •Fläche am HKW sehr begrenzt	•genug Fläche für Ausbau der Anlage vorhanden	
CO ₂ Einsparpotential	•niedrigeres CO ₂ Einsparpotential als H12W	•höchstes CO ₂ Einsparpotential aller Varianten	•niedrigeres CO ₂ Einsparpotential als H12	•niedrigeres CO ₂ Einsparpotential als H12	•niedrigstes CO ₂ Einsparpotential aller Varianten	
Touristischen Attraktivität der Insel	•Bauarbeiten am HKW Gelände	•Bauarbeiten am HKW Gelände	•Bauarbeiten am HKW Gelände	•Bauarbeiten am HKW Gelände	•Bauarbeiten am Südhafen	
Rücksicht auf die Naturschutzgebiete	•kein Naturschutzgebiet betroffen	•kein Naturschutzgebiet betroffen	•kein Naturschutzgebiet betroffen	•kein Naturschutzgebiet betroffen	•Umbau des Fernwärmenetz Unterland	
Legende	Bewertung					
Kriterium gut erfüllt	Grün	Felder grün	Felder grün	Felder grün	Felder grün	Felder grün
	8	4	2	3	1	2
Kriterium mittel erfüllt	gelb	Felder gelb	Felder gelb	Felder gelb	Felder gelb	Felder gelb
	4	3	5	4	6	1
Kriterium schlecht erfüllt	rot	Felder rot	Felder rot	Felder rot	Felder rot	Felder rot
	0	0	0	0	0	4
	Ges. Punktzahl	44	36	40	32	20
	Bewertung	gut	mittel	gut	mittel	schlecht

(1) siehe Machbarkeitsstudie Tabelle, S.42

(2) Erweiterung der LOHC-Kapazität, bspw. AquaPortus II

In Tabelle 1 wurden die verschiedenen Szenarien auf folgende Kriterien: Investitionskosten, Wärmegestehungskosten Baumaßnahmen, Ausbaupotential, CO₂-Einsparung sowie den ökologischen und ökonomischen Einfluss, hin untersucht. Hierbei ist festzustellen, dass das Szenario H12 mit einer Gesamtpunktzahl über alle Kriterien hinweg sehr positiv zu bewerten ist und Szenario S5 aufgrund der untersuchten Kriterien einige Schwierigkeiten und begrenzte Möglichkeiten aufweist.

V. Verwendung der Zuwendung

V.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Fördermittel wurden entsprechend den Zuwendungsbedingungen zielgerichtet eingesetzt. Der Schwerpunkt lag auf der Beauftragung von externen Gutachten und Studien zu der Energie- und

Wärmeversorgung der Insel Helgoland, die unabhängige fachliche Expertise in die Projektarbeit einbrachten und die Ergebnisse inhaltlich absicherten. Dadurch konnten sowohl planerische als auch technische Grundlagen geschaffen werden, die für den späteren Transfer der Ergebnisse in eine großskalige Umsetzung erforderlich sind. Insgesamt entsprach die Mittelverwendung dem genehmigten Finanzierungsplan und leistete einen unmittelbaren Beitrag zum Erreichen der Projektziele des Verbundvorhabens TransHyDE.

Die Ausgaben erfolgten überwiegend in der Ausgabengruppe 0850 „Vergabe von Aufträgen“. Der größte Anteil der finanziellen Mittel floss in die Erstellung von Studien und Gutachten, insbesondere in Standortanalysen und die Entwicklung von Infrastrukturkonzepten für LOHC-Systeme. Besonders hervorzuheben ist die Machbarkeitsstudie zur Wärmeeinbindung einer LOHC-Hydrieranlage in das Fernwärmenetz der Versorgungsbetriebe Helgoland durch die INP Deutschland GmbH (2023).

Folgende Studien wurden beauftragt:

- Planung Wärmenutzung; INP Deutschland GmbH
- Gutachten Wärme; HGC Hamburg Gas Consult GmbH

V.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die im Projekt durchgeführten Arbeiten waren notwendig, um die im Förderantrag definierten wissenschaftlichen und technologischen Ziele zu erreichen. Sie bildeten die Grundlage für die Entwicklung einer nachhaltigen Wasserstoffversorgung auf Basis von LOHC-Technologien.

- Die Machbarkeitsstudie zur Wärmeeinbindung wies die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit einer Einspeisung von Prozessabwärme in das Fernwärmenetz Helgolands nach. Damit konnte ein sektorenübergreifender Beitrag zur Dekarbonisierung der Insel demonstriert werden (INP 2023).

Diese Ergebnisse zeigen, dass die eingesetzten Mittel nicht nur notwendig waren, sondern auch in einem angemessenen Verhältnis zum Erkenntnisgewinn und zu den förderpolitischen Zielsetzungen standen. Die Ausgaben konzentrierten sich auf wissenschaftlich und technisch relevante Fragestellungen, deren Bearbeitung einen unmittelbaren Beitrag zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie leistet.

VI. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans

Die im Projekt erzielten Ergebnisse besitzen eine hohe Relevanz für die zukünftige Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa. Sie liefern wissenschaftlich fundierte und praxisorientierte Grundlagen für den Aufbau von Umschlags- und Transportlösungen für Wasserstoff in Form von Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC) um die Prozessenergie optimal zu nutzen. Helgoland übernimmt dabei die Rolle eines Modellstandorts, an dem technische, logistische und regulatorische Fragestellungen exemplarisch untersucht wurden.

Die Erkenntnisse sind nicht nur auf die Insel selbst beschränkt, sondern weisen eine hohe Übertragbarkeit auf andere Hafen- und Küstenstandorte auf. Insbesondere kleinere Häfen mit begrenzter Flächenverfügbarkeit und bestehender Infrastruktur können von den erarbeiteten Konzepten profitieren. Damit leisten die Ergebnisse einen unmittelbaren Beitrag zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie sowie zur Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im Bereich innovativer Energieträger.

Tabelle 3: Nutzen und Verwertbarkeit der Projektergebnisse

Ergebnisbereich	Nutzen für Forschung und Technik	Nutzen für Praxis / Politik	Übertragbarkeit
Standortanalyse (Vorhafen/VBH)	Systematische Methodik zur Flächenbewertung	Entscheidungsgrundlage für Hafentwicklungen	Anwendbar auf vergleichbare Insel- und Hafenstandorte
LOHC-Umschlagsvarianten	Quantitative Kosten- und Logistikvergleiche	Reduktion von Investitionsrisiken	Übertragbar auf Häfen mit Container- oder Tankschifflogistik
Wärmeeinbindung	Modell zur Integration von Prozessabwärme	Beitrag zur lokalen Dekarbonisierung	Übertragbar auf Insellagen und Küstenstädte mit Fernwärmenetzen
Werkstoff- und Simulationsstudien	Materialdaten für LOHC-Infrastruktur im maritimen Umfeld	Grundlage für Genehmigung und Sicherheitsnachweise	Übertragbar auf Offshore- und Hafeninfrastrukturen
Hafenlayout Süddamm 2	Vergleich modularer Baukonzepte	Optimierung von Hafenplanungen	Blaupause für weitere modulare Hafenlösungen

VII. Fortschritt des Projektumfelds während der Laufzeit

Während der Projektlaufzeit hat sich das Umfeld der Wasserstoffwirtschaft erheblich weiterentwickelt. Politisch wurde die Nationale Wasserstoffstrategie auf Bundes- und EU-Ebene konkretisiert und durch zusätzliche Förderprogramme flankiert, die die industrielle Umsetzung beschleunigen. Parallel dazu erzielte das Verbundprojekt TransHyDE bedeutende Fortschritte, indem unterschiedliche Transport- und Speicheroptionen für Wasserstoff systematisch untersucht wurden (TransHyDE, 2024). Dadurch konnten die Arbeiten auf Helgoland enger mit überregionalen Entwicklungen – insbesondere in den Bereichen Offshore-Elektrolyse, Pipelineinfrastruktur und LOHC-Technologien – verzahnt werden.

Auch auf regulatorischer Ebene erfolgten wichtige Anpassungen. So wurden Verfahren zur Planfeststellung, Umweltverträglichkeitsprüfung und Sicherheitsbewertung wasserstoffbezogener Hafeninfrastrukturen präzisiert. Diese Weiterentwicklungen führten dazu, dass das Projektumfeld während der Laufzeit kontinuierlich an die gestiegenen Anforderungen angepasst werden konnte.

Zusätzlich entstanden neue internationale Kooperationen, die den Stellenwert Helgolands als Pilotstandort für LOHC-basierte Wasserstofflogistik weiter stärkten. Helgoland konnte sich so als innovatives Reallabor im europäischen Wasserstoffhochlauf positionieren.

Kernaussagen zur Umfeldentwicklung:

- Konkretisierung und Ausweitung der Nationalen Wasserstoffstrategie auf Bundes- und EU-Ebene.
- Verstärkte Förderprogramme für industrielle Umsetzung und Hafeninfrastuktur.
- Fortschritte im Verbundprojekt TransHyDE durch parallele Untersuchungen zu Pipeline, LOHC, Ammoniak und Kryotechnologien.
- Präzisierung regulatorischer Rahmenbedingungen (Planfeststellung, UVP, Sicherheitsauflagen).
- Internationale Kooperationen stärken Helgoland als Pilotstandort.

Tabelle 4: Relevante Umfeldentwicklungen während der Projektlaufzeit

Bereich	Entwicklung während der Laufzeit	Bedeutung für das Projekt Helgoland
Politische Ebene	Konkretisierung der Nationalen Wasserstoffstrategie, EU-Programme	Direkte Einbindung in nationale und europäische Roadmaps
Förderlandschaft	Erweiterung von Programmen (z. B. IPCEI Wasserstoff)	Zusätzliche Finanzierungsmöglichkeiten
TransHyDE-Verbund	Systematische Analyse von Transport- und Speicheroptionen	Vergleichbarkeit und Anschlussfähigkeit der Helgoland-Ergebnisse
Regulierung	Präzisierte Verfahren zu Planfeststellung, UVP, Sicherheit	Höhere Planungssicherheit für Hafeninfrastruktur
Internationale Kooperationen	Aufbau neuer Partnerschaften in Europa	Stärkung von Helgoland als Modellstandort

Die in Tabelle 3 dargestellten Entwicklungen verdeutlichen, dass das Projektumfeld während der Laufzeit erheblich dynamischer und strukturierter geworden ist. Besonders die Präzisierung regulatorischer Verfahren und die internationale Vernetzung stärkten die Planungssicherheit und die strategische Position Helgolands. Damit konnten die Projektergebnisse nicht nur lokal verankert, sondern auch in nationale und europäische Wasserstoffstrategien eingebettet werden.

VIII. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Zur Sicherstellung von Transparenz und Nachvollziehbarkeit wurden die Projektergebnisse in mehreren Berichten und Publikationen dokumentiert. Diese Veröffentlichungen decken unterschiedliche Arbeitspakete ab und bilden eine belastbare wissenschaftliche und technische Grundlage für weiterführende Arbeiten.

Bisherige Veröffentlichungen:

Geplante Veröffentlichungen:

- Einreichung des Abschlussberichts im Repositorium RENATE (TIB Hannover) zur dauerhaften Sicherung und Zitierfähigkeit.
- Konferenzbeiträge auf Fachveranstaltungen, u. a. der International Conference on Hydrogen Safety (ICHS) und der European Hydrogen Week.

- Fachartikel in internationalen Journals, z. B. im International Journal of Hydrogen Energy und im Journal of Cleaner Production.

Tabelle 5: Erfolgte Veröffentlichungen

Datum	Art der Veröffentlichung	Titel	Autoren
2022	Studie	Hafentechnische Machbarkeit LOHC- Umschlag	Ramboll
2023	Studie	Machbarkeitsstudie Süddamm 2	Ramboll
2023	Bericht	Süddamm 2, Version 01	Tewis Projektmanagement GmbH
2023	Studie	Wärmeeinbindung LOHC-Hydrieranlage	INP Deutschland GmbH
2023	Gutachten	Analyse Betankungsinfrastruktur Helgoland	Rickmers Bootstankstelle GmbH
2024	Online-Veröffentlichung	Zentrale Projektergebnisse TransHyDE	TransHyDE-Verbund
geplant	Repositoryum (RENATE, TIB)	Abschlussbericht Helgoland LOHC- Umsetzungsprojekt	Konsortium
geplant	Konferenzbeiträge	u. a. ICHS, European Hydrogen Week	Projektpartner
geplant	Fachartikel	Journals zu Wasserstoff- und Energiewirtschaft	Projektpartner (in Vorbereitung)

IX. Literaturverzeichnis

Ramboll (2022): Hafentechnische Machbarkeitsuntersuchung LOHC Helgoland. Hamburg.

Ramboll (2023): Machbarkeitsstudie Süddamm 2 – Variantenuntersuchung zur Errichtung einer neuen Hafenanlage. Hamburg.

HGC Hamburg Gas Consult GmbH (2022): Konzept AquaCore – Energieverwendung zur Versorgung der Insel Helgoland

INP Deutschland GmbH (2023): Machbarkeitsstudie zur Wärmeeinbindung einer LOHC-Hydrieranlage in das Fernwärmenetz Helgoland. Greifswald.

TransHyDE (2025): TransHyDE – Transporttechnologien für Wasserstoff. Projektwebseite. Online verfügbar unter: <https://www.transhyde.de> , zuletzt abgerufen am 30.09.2025.

AquaVentus e. V. (2025): AquaVentus-Initiative – Offshore-Wasserstoffwirtschaft in der Nordsee. Projektinformationen. Online verfügbar unter: <https://www.aquaventus.org>, zuletzt abgerufen am 30.09.2025.