



TransHyDE-Systemanalyse zu Transportlösungen von grünem Wasserstoff Techno-ökonomische Analyse einer Transformation von Infrastrukturen hin zu einer Wasserstoffwirtschaft

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II: Langfassung

Stand:	06.10.2025
Einreichungsdatum (TIB):	06.10.2025
Partnerin/Partner:	VNG AG
Autorin/Autor:	Dr. Philipp Hauser
Fördertitel:	Verbundvorhaben TransHyDE_FP1: Systemanalyse zu Transportlösungen für grünen Wasserstoff - Teilvorhaben der VNG-Verbundnetz Gas AG: Techno-ökonomische Analyse einer Transformation von Infrastrukturen hin zu einer Wasserstoffwirtschaft
Förderkennzeichen:	03HY201V
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

Gefördert durch:



Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
I. Ursprüngliche Aufgabenstellung	6
II. Vormaliger Stand des Wissens	6
III. Ausführliche Darstellung der durchgeführten Arbeiten	7
III.1 AP1: Verbundkoordination und Fachbeirat	7
III.2 AP2: Infrastrukturentwicklung aus Akteursperspektive	11
III.3 AP3: Infrastrukturentwicklung aus Systemperspektive	12
III.4 AP4: Modellkopplung	13
III.5 AP5: Nachhaltigkeitsbewertung	13
III.6 AP6: Kommunikation	13
III.7 AP7: Roadmap	14
IV. Wesentliche Ergebnisse	14
IV.1 Ausbau und Kopplung von Flexibilitätsoptionen haben Rückwirkungen auf den Bedarf an Wasserstoffkraftwerken	15
IV.2 Kohlenstoffarmer Wasserstoff für den Wasserstoffmarkthochlauf	15
IV.3 Ammoniak als Energieträger und Infrastrukturbaukasten im regenerativen Energiesystem .	16
IV.4 Versorgung industrieller Standorte mit Wasserstoff	18
IV.5 Wasserstoffspeicherung	18
V. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans .	19
VI. Fortschritt des Projektumfelds während der Laufzeit	20
VII. Erfolgte Veröffentlichungen	22
Literaturverzeichnis	24

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CO ₂	Kohlendioxid
DECHEMA	Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.
FID	Final Investment Decision
H ₂	Wasserstoff
IPCEI	Important Project of Common European Interest
IFF	Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
IKTS	Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme
ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
IEG	Fraunhofer-Institut für Energieinfrastrukturen und Geothermie
LNG	Liquefied Natural Gas
NTNU	Norwegian University of Science and Technology
OIES	Oxford Institute for Energy Studies
RFNBO	Renewable Fuels of Non-Biological Origin
SEP	Systementwicklungsplan
SNG	Synthetisches Erdgas
TIB	Technische Informationsbibliothek

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnisposter "The role of ammonia in the renewable energy system for the development of hydrogen infrastructure"..... 17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der Verbund- und Projekttreffen, sowie Konferenzteilnahmen	9
Tabelle 2 Wichtigste Position des zahlenmäßigen Nachweises	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 3: Erfolgte Veröffentlichungen	22

I. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Die Transformation und Defossilisierung des Energiesystems bedingt die integrierte Betrachtung eines Zielbildes auf der einen und eines Transformationspfades auf der anderen Seite. Dabei spielt die Ausgestaltung der künftigen Wasserstofftransportinfrastruktur eine zentrale Rolle. Mögliche Entwicklungsperspektiven können in Szenarien beschrieben werden. Hierbei ist die Einbindung von Stakeholdern wie der VNG ein innovativer Ansatz, um geplante Entwicklungen auf Unternehmensebene einzubinden und räumlich und zeitlich notwendige Entwicklungen für eine Transformation der Infrastruktur abzuleiten. In diesem Zusammenhang ist ein wesentliches Ziel der VNG AG, eine aktive Mitarbeit im Fachbeirat durch eine Teilnahme an allen Verbundtreffen im Rahmen des AP 1 zu gewährleisten. In der Entwicklung von Kontextszenarien hat VNG das Ziel, die eigenen Erkenntnisse und Unternehmensperspektive im Rahmen von AP 2 zur Gestaltung einer künftigen Wasserstoffwirtschaft einzubringen. Darüber hinaus werden durch eine aktive Mitwirkung an der Validierung wesentliche Eingangsparameter techno-ökonomischer Kennwerte in AP 3 geprüft und kommentiert. Dabei ist die Einbringung von Informationen und Umsetzungsexpertise zur Wasserstoffherstellung (AP 3.1) und zu möglichen Wasserstoffnachfragern (AP 3.2) im besonderen Fokus der VNG. Im Rahmen von AP 5 hat VNG das Ziel, Erkenntnisse zur Nachhaltigkeitsbewertung einzelner Wertschöpfungsstufen einer künftigen Wasserstoffwirtschaft beizusteuern und somit Möglichkeiten einer breiten gesellschaftlichen Unterstützung für eine Akzeptanz neuer Technologien abzuleiten. Das AP 6 zielt sowohl auf eine interne Kommunikation zwischen den Projektpartnern als auch eine externe Kommunikation mit relevanten Akteuren ab. VNG strebt hier eine breite Mitwirkung an, und verfolgt drei Teilziele: Erstens, Forschungsergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich machen; zweitens, Wirkung als Multiplikator der Nachhaltigkeitsergebnisse zur Akzeptanzförderung für Wasserstoffanwendungen und drittens, Beitrag zur Schaffung eines Projektnetzwerkes und der Förderung des Austauschs zwischen Wissenschaft und Industrie. Ein wesentliches Projektergebnis ist die Ausgestaltung einer Roadmap. Ziel von VNG ist hier ein Erkenntnisprozess mit Hinblick auf kurz- und mittelfristige Handlungsfelder sowie weitere Forschungsplattformen zur Vertiefung und Fortsetzung des Forschungsansatzes. Dazu wird VNG im Rahmen von AP 7 an Workshops teilnehmen und aktive Unterstützung bei der Erarbeitung einer Roadmap leisten.

II. Vormaliger Stand des Wissens

Die Ausgangslage und der vormalige Stand des Wissens wurden in der Gesamtvorhabenbeschreibung des Verbunds „Systemanalyse“ (TransHyDE-Sys) beschrieben.

Während die bestehende Energie- und Rohstoffinfrastruktur den aktuellen Bedarfen gerecht wird und im Kontext z.B. der Netzentwicklungspläne Strom und Gas durch einen Systementwicklungsplan (SEP) künftig auch integriert weiterentwickelt werden soll, sind andere existierende und insbesondere neue Infrastrukturen und Transportoptionen keinen strukturierten Entwicklungsprozessen unterworfen. Mit der absehbaren Bedeutung von H₂ als einem neuen universellen Energieträger, ebenso wie auch CO₂ als Rohstoff, stellt sich die Frage der Wechselwirkungen zwischen Angebot und Nachfrage auf der einen Seite und Infrastrukturen und deren Weiterentwicklung auf der anderen Seite. Die Erhebung

möglicher Bedarfsentwicklungen wird dadurch erschwert, dass auch auf der Nutzungsseite ggfs. verschiedene nicht-komplementäre Optionen verfügbar sind, mit unterschiedlichen Anforderungen an die Infrastruktur. Verschiedene Branchen haben ihre Vorstellungen der zukünftigen Entwicklungen publiziert; diese wurden bisher nie konsequent konsolidiert, so dass der räumlich und zeitlich abhängige Bedarf der Grundstoffindustrien bisher nicht in die Modelle integriert wurde. Gleichzeitig sind Strom- und Erdgasmodelle, sowohl als Bilanzmodelle, Markt- und hydromechanische Modelle auf deutscher und eingeschränkt auf EU-Ebene verfügbar. Diese Modelle werden integriert und mit den Bedarfen aus Industrie und Gesellschaft verknüpft. Parallel dazu wird eine Optimierung im Hinblick auf die volkswirtschaftlichen Kosten für die Errichtung und den Betrieb einer H₂-Infrastruktur durchgeführt. Statische kostenoptimierte Modelle sind für ähnliche Fragestellungen bekannt, jedoch besteht die besondere Herausforderung in der Modellierung eines in Bezug auf die räumliche und zeitliche Verteilung dynamischen Systems, d.h. der Transformation. Der Modellvergleich ist in dieser Form einzigartig und erlaubt eine genauere Einordnung der Ergebnisse als eine einfache Modellierung.

III. Ausführliche Darstellung der durchgeführten Arbeiten

III.1 AP1: Verbundkoordination und Fachbeirat

Im Rahmen des Arbeitspakets 1 wurde ein regelmäßiger fachlicher Austausch zwischen den Verbundpartnern etabliert, um die Zusammenarbeit im Projekt TransHyDE-Sys zu stärken und gemeinsame Entwicklungen zu fördern. Den Auftakt bildete das erste Verbundtreffen am 8. Juli 2021, das als virtuelles Kick-Off stattfand und an dem die VNG AG teilnahm. Bereits am 1. Dezember 2021 engagierte sich VNG aktiv in der ersten TransHyDE-Vollversammlung, bei der alle Verbünde zusammenkamen.

Am 16. März 2022 folgte ein weiteres digitales Verbundtreffen, bei dem sich die assoziierten Partner vorstellten. Auch hier war VNG online vertreten. Ein besonderer Beitrag erfolgte am 29. September 2022 beim Präsenztreffen in Berlin, bei dem VNG den Eröffnungsvortrag zum Thema Wasserstoffspeicherung hielt. Der Vortrag mit dem Titel „Die Rolle von Speichern in der Wasserstoffwertschöpfungskette, Praxisbeispiel: Energiepark Bad Lauchstädt“ unterstrich die zentrale Rolle von Speichertechnologien im Projektkontext.

Darüber hinaus nahm VNG am 1. Dezember 2022 erneut aktiv an der Vollversammlung aller TransHyDE-Verbünde in Berlin teil.

Im Jahr 2023 setzte sich die Beteiligung der VNG AG an den Verbundtreffen fort: Am 14. Februar in Kassel, am 10. Mai in Goslar sowie am 19. und 20. September beim Treffen in Frankfurt bei der DE-CHEMA. Die Vollversammlung im Jahr 2023 fand vom 27. bis 28. November in Leipzig statt, an der VNG ebenfalls teilnahm.

Auch 2024 war VNG bei den Verbundtreffen präsent, unter anderem am 15. Mai in Erfurt und am 18. September in Cottbus. Die Vollversammlung für 2025 ist für den 26. bis 27. November in Leipzig geplant.

Besondere Bedeutung hatten die Abschlussveranstaltungen des Projekts: Am 6. März 2025 nahm VNG an der Abschlussveranstaltung von TransHyDE-Sys in Brüssel teil. Die zentrale Abschlusskonferenz des Gesamtprojekts TransHyDE fand vom 25. bis 27. März 2025 in Berlin statt.

Neben diesen offiziellen Verbundtreffen und Vollversammlungen beteiligte sich VNG kontinuierlich an Projekttreffen innerhalb der Arbeitspakete und pflegte den fachlichen Austausch auch in bilateralen Gesprächen mit den Projektpartnern.

Neben den offiziellen Verbundtreffen und Vollversammlungen war VNG auch bei zahlreichen weiteren Veranstaltungen im In- und Ausland präsent, um die Ergebnisse und Perspektiven des Projekts TransHyDE zu vertreten und weiterzuentwickeln. Dazu zählen unter anderem die Teilnahme an den Berliner Energietagen im Mai 2023 mit einem Beitrag zur Szenarien-Definition im Arbeitspaket 3, ein Austausch zwischen Modellierern und Industrievertretern im Juli 2023 in Berlin sowie mehrere parlamentarische Abende zur Wasserstoffregulierung in Berlin (November 2023, April und November 2024). Besonders hervorzuheben ist die aktive Beteiligung an der European Hydrogen Week in Brüssel im November 2023 mit einem Vortrag zur Rolle von Wasserstoffspeichern und einem Poster zu Ammoniak-Analysen. Auch international war VNG vertreten, etwa bei der NTNU Energy Transition Week in Trondheim im März 2024 und beim Hydrogen Workshop in Oxford im November 2024, wo Erkenntnisse zu Transport- und Speicheroptionen vorgestellt und diskutiert wurden. Diese Veranstaltungen trugen wesentlich zur fachlichen Vernetzung und zur Sichtbarkeit der Projektergebnisse bei.

VNG hat an der Gründungsveranstaltung des Vereins TransHyDe 2.0 Initiative teilgenommen und nimmt weiterhin an den Informationsveranstaltungen teil. Zum Zeitpunkt des Berichts ist VNG noch kein Mitglied des Vereins geworden.

Im **Arbeitspaket 1.4** war die Einrichtung eines jährlichen Fachbeirats vorgesehen, beginnend im vierten Quartal 2021. Ziel war die Beratung des Steuerkreises durch Vertreter der Gas- und Energiewirtschaft, industrielle Anwender sowie zivilgesellschaftliche Organisationen. Auf Ebene des Verbundes Systemanalyse wurde jedoch kein formaler Fachbeirat etabliert. Stattdessen wurde entschieden, einen übergreifenden Beirat für das Gesamtprojekt TransHyDE zu installieren. Sobald dieser eingerichtet war, strebte VNG eine aktive Mitarbeit an und brachte bereits ab 2022 regelmäßig ihre Expertise in Form von Hintergrundgesprächen in das Projekt ein. So wurde VNG beispielsweise bei der Erstellung des Hintergrundpapiers zur Erdgasinfrastruktur eingebunden und unterstützte mit Fachexpertise bei der finalen Prüfung des Manuskripts.

Mit der Einrichtung des Fachbeirats auf Gesamtprojektebene wurde die Expertise von VNG in die erste Flagship-Publikation eingebracht, die im November 2023 auf der Hydrogen Week in Brüssel angekündigt und im April 2024 veröffentlicht wurde. VNG war hier als Mitautor tätig. Darüber hinaus engagierte sich VNG in der übergeordneten „Regulatory Community“ und brachte ihre Expertise zur Wasserstoffregulierung ein. Im Rahmen des parlamentarischen Abends im November 2023 entstand eine begleitende Publikation: *C. Gätsch et al. (2023) H2-Beschleunigungsgesetz: Regulatorische Maßnahmen zur Beschleunigung des Ausbaus von H2-Importterminals*.

Im Jahr 2024 wurde die begonnene Zusammenarbeit fortgeführt. VNG wirkte erneut an regulatorischen Fragestellungen mit und beteiligte sich an der Erstellung der zweiten Flagship-Publikation, wodurch die kontinuierliche fachliche Einbindung in die strategische Ausrichtung des Projekts TransHyDE unterstrichen wurde.

Tabelle 1 listet die Verbund- und Projekttreffen sowie die Konferenzteilnahmen auf.

Tabelle 1: Liste der Verbund- und Projekttreffen, sowie Konferenzteilnahmen

Datum	Ort	Zielstellung und VNG Beitrag
08.07.2021	Virtuell	Kick-Off
01.12.2021		Vollversammlung
16.03.2022	Virtuell	Verbundtreffen
29.09.2022	Berlin	Verbundtreffen
01.12.2022	Berlin	Vollversammlung
14.02.2023	Kassel	Verbundtreffen
10.05.2023	Goslar	Verbundtreffen
23.05.2023	Berlin	Die VNG hat im Rahmen der Berliner Energietage an einer Podiumsdiskussion zu den Ergebnissen des Verbundes Systemanalyse teilgenommen und aus Sicht des Industriepartners u.a. die Szenarien-Definition in AP 3 kommentiert
06.07.2023	Berlin	Austausch zwischen Modellierern des AP3 und Industrievertretern
19.09 – 20.09.2023	Frankfurt	Verbundtreffen bei der DECHEMA
08.11.2023	Berlin	Parlamentarischer Abend zum Thema H2-Beschleunigungsgesetz. Die VNG hat als Industrievertreter aus dem TransHyDE Systemanalyseverbund aktiv an der Diskussion teilgenommen
20.11- 22.11.2023	Brüssel	TransHyDE als Teil der European Hydrogen Week. VNG beteiligt sich aktiv mit einem Vortrag zur Rolle von H2-Speichern und einem Poster zu Zwischenergebnissen zur Analyse der Rolle von Ammoniak

Datum	Ort	Zielstellung und VNG Beitrag
11.03 – 15.03 2024	Trondheim	Teilnahme an der NTNU Energy Transition Week in Trondheim, insbesondere im von Frau Professor Holz und Herrn Professor Asgeir Tomasgard organisierten Gas Workshop mit dem Vortrag "The role of storages in the hydrogen market"
10.04.2024	Berlin	Parlamentarischer Abend mit dem Thema „Systemdienliche Erzeugung von Grünem Wasserstoff – Kriterien, Standorte und rechtliche Instrumente“.
12.04.2024	Dresden	Teilnahme an der "ENERDAY - International Conference on Energy Economics and Technology"
18.04.2024	Berlin	Teilnahme am Stakeholder Dialog im Rahmen des AP 3, um die Strom- und Gasnetzbetreiber in die Arbeiten zum Kernnetz in TransHyDE einzubinden
15.05.2024	Erfurt	Verbundtreffen
18.09.2024	Cottbus	Verbundtreffen
07.11.2024	Berlin	Parlamentarischer Abend, u. a. mit den energiepolitischen Sprechern der Bundestagsfraktionen.
27.11-28.11.2024	Leipzig	Vollversammlung in Leipzig.
29.11.2024	Oxford	Teilnahme am Hydrogen Workshop 2024 in Oxford. VNG wurden angefragt, einen Vortrag zum Thema Wasserstoffinfrastruktur zu halten. Dies bot die Gelegenheit, die Erkenntnisse zu Transport- und Speicheroptionen zu verproben und neue Impulse für das Projekt TransHyDE zu erhalten. Das Oxford Institute for Energy Studies ist ein renommiertes Forschungsinstitut mit langjähriger Erfahrung zu Strom-, Erdgas- und Wasserstoffmärkten. Dr. Philipp Hauser (VNG AG) nahm vor Ort teil.
06.03.2025	Brüssel	Abschlussveranstaltung TransHyDE-Sys in Brüssel
25.03.-27.03.2025	Berlin	Abschlusskonferenz TransHyDE in Berlin

Datum	Ort	Zielstellung und VNG Beitrag
26.11.- 27.11.2025	Leipzig	Vollversammlung (geplant)

III.2 AP2: Infrastrukturentwicklung aus Akteursperspektive

Die Arbeiten zu den Teilarbeitspaketen AP 2.2, 2.3 und 2.4 werden nachfolgend gesammelt beantwortet.

Im Rahmen des Arbeitspakets 2 hat VNG ihre unternehmensinterne Expertise zu Erzeugungstechnologien, Industrieanwendungen, Szenarienbildung und techno-ökonomischen Infrastrukturfragen umfassend in das Projekt TransHyDE eingebracht. Die Arbeiten begannen mit dem Kick-Off am 7. und 8. Dezember 2021, bei dem VNG aktiv an der Abstimmung der Teilarbeitspakete AP 2.2, 2.3 und 2.4 beteiligt war. Ein zentrales Zwischenergebnis war das gegenseitige Verständnis der eingebrachten Methoden, insbesondere im Hinblick auf die Abgrenzung der Akteursperspektive des AP2 zur Systemperspektive in AP 3.

Inhaltlich konzentrierten sich die Beiträge von VNG auf die Analyse des Wasserstoffhochlaufs in Ostdeutschland, die Transformation der Netzinfrastruktur sowie die Rolle von Ammoniak als Wasserstoffträger. Dabei wurden techno-ökonomische Fragestellungen zur zentralen Herstellung von blauem Wasserstoff versus dezentraler CO₂-Abscheidung bei Industrieprozessen bearbeitet. Parallel dazu wurden Kennzahlen zur Erzeugung von blauem Wasserstoff aus wissenschaftlicher Literatur zusammengestellt.

Im Bereich Szenarienbildung (AP 2.3) brachte VNG ihre Perspektive als Industrieakteur in Workshops und Webinaren ein, unter anderem beim Szenarienworkshop der DECHEMA im Oktober 2022. Die Szenarien wurden dort sowie im Nachgang über ein Miro-Board kommentiert. In den Jahren 2023 und 2024 lag der Fokus auf der Ausgestaltung von Kontextszenarien für eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft, insbesondere durch die Analyse kohlenstoffbasierter Wasserstoffträger wie Methanol und synthetisches Erdgas (SNG).

Im Rahmen der techno-ökonomischen Infrastrukturanalysen (AP 2.4) wurden Fragestellungen zur Wertschöpfungskette von Ammoniak und zur Flexibilität von Wasserstoffkraftwerken bearbeitet. Letzteres erfolgte in Kooperation mit der TU Dresden und mündete in einem Working Paper (2024) sowie einer wissenschaftlichen Publikation im Peer-Review-Journal *Energy Policy* (2025):

- Brunner, C., Misonel, S., Hauser, P., & Möst, D. (2024). How Much Flexibility Needs to Be Provided by Hydrogen Power Plants?
- Brunner, C., Misonel, S., Hauser, P., & Dominik, M. (2025). To what extent can flexibility options reduce the need for hydrogen backup power plants?

Darüber hinaus hat VNG im Rahmen der Technologiesteckbriefe Beiträge zu Kavernen- und Porenspeichern geleistet und Erkenntnisse aus eigenen Projekten zur Wasserstoffspeicherung für die European Hydrogen Week aufbereitet und präsentiert. Diese Arbeiten sind in die im Rahmen von AP7 erstellte Roadmap und die Website [Hochlauf der Wasserstoff-Infrastruktur | TransHyDE Systemanalyse](#) eingeflossen. Arbeiten zu regulatorischen Rahmenbedingungen für Low Carbon Hydrogen sowie zur Beschaffung und zum Import über den South2 Corridor rundeten die inhaltliche Beteiligung ab.

III.3 AP3: Infrastrukturentwicklung aus Systemperspektive

Im Arbeitspaket 3 hat VNG ihre unternehmensspezifische Expertise zur Wasserstofferzeugung und -nachfrage sowie zur systemischen Infrastrukturentwicklung eingebracht. Die Arbeiten in den Teilpaketen **AP 3.1** und **AP 3.2** wurden dabei eng miteinander verzahnt bearbeitet.

Die Aktivitäten im **Arbeitspaket 3.1** begannen ab 2022 mit der Auswertung relevanter Leitstudien zur Wasserstofferzeugung und der vertieften Analyse von blauem Wasserstoff. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFF wurde das Thema zentrale vs. dezentrale Wasserstoffversorgung diskutiert und im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit bearbeitet, die 2023 abgeschlossen wurde. Ergänzend wurden Importoptionen für Wasserstoff außerhalb Europas untersucht, wobei VNG ihre praktischen Erfahrungen mit Ländern wie Norwegen, Chile und Algerien einbrachte.

Ein besonderer Fokus lag auf dem Thema Ammoniak als Wasserstoffträger: Auf dem Projekttreffen in Ettlingen im Juli 2022 wurde ein entsprechendes Analysepapier angeregt, das bis Ende 2023 in eine interne Review-Schleife im TransHyDE-Verbund gegeben wurde und 2024 weiter überarbeitet wurde. Erste Erkenntnisse wurden bereits im Rahmen der Konferenz ENERDAY 2022 durch Dr. Philipp Hauser vorgestellt („Ammonia and its potential role in the energy system“).

Darüber hinaus wurden Arbeiten zur Bestimmung von Vorkettenemissionen begonnen und im Kontext des „Low Carbon Hydrogen Delegated Act“ weiterentwickelt. Die Erfahrungen aus dem Reallabor Energiepark Bad Lauchstädt flossen ebenfalls in die Roadmap-Gestaltung ein.

Im **Arbeitspaket 3.2** zur Wasserstoffnachfrage wurde ein gemeinsamer Austausch mit dem TransHyDE Konsortialpartner Salzgitter Flachstahl zur Versorgung der Stahlindustrie initiiert. Dabei wurden verschiedene Herstellungsarten von Wasserstoff sowie Nachhaltigkeitsaspekte diskutiert. Die techno-ökonomische Analyse zur Versorgung eines inländischen Industriestandorts ohne Pipelineanschluss wurde in Zusammenarbeit mit SZMF und mehreren Fraunhofer-Instituten durchgeführt. Die Berechnungen wurden bis Ende 2023 abgeschlossen, in einer Excel-Datei dokumentiert und 2024 in einer Arbeitsgruppe des Nationalen Wasserstoffrats vorgestellt. Teilergebnisse flossen in die zweite Flagship-Publikation ein.

Weitere Beiträge erfolgten zur Wasserstoffanwendung im Gebäudewärmebereich, insbesondere im Rahmen von Sektordiskussionen und Webinaren im Dezember 2022. Die Mitgestaltung und Validierung von Wasserstoffnachfrageszenarien basierte auf brancheninternen Studien und wurde kontinuierlich begleitet.

III.4 AP4: Modellkopplung

VNG hat hier im Rahmen der Verbundtreffen an den Diskussionen zur Modellkopplung teilgenommen. Eine eigene Modellierungsarbeit war nicht geplant und fand entsprechend auch nicht statt.

III.5 AP5: Nachhaltigkeitsbewertung

Im Arbeitspaket 5 hat VNG ihre Expertise in den Bereichen Lebenszyklusanalyse und Akzeptanzbewertung eingebracht. Ziel war es, unternehmensspezifische Erkenntnisse zur Bewertung von Technologien im Hinblick auf Nachhaltigkeit und gesellschaftliche Akzeptanz in die Projektarbeit zu integrieren.

Die Arbeiten im **Arbeitspaket 5.1** zur Lebenszyklusanalyse begannen ab 2022 und konzentrierten sich auf die Ermittlung von CO₂-Emissionswerten entlang der gesamten Wertschöpfungskette bei der Wasserstoffherstellung. Dabei wurden verschiedene Herstellungsarten berücksichtigt, insbesondere auch die Bewertung der SNG-Wertschöpfungskette aus AP 2.2 sowie die Versorgungsszenarien aus AP 3.2. In Zusammenarbeit mit Salzgitter Flachstahl wurde die nachhaltige Versorgung der Stahlindustrie mit Wasserstoff analysiert. Der bilaterale Austausch mündete in der Gründung einer Projektgruppe unter Einbezug der Fraunhofer IEG und Fraunhofer IKTS, mit dem Ziel, Effizienz-, Emissions- und Kostenparameter konsistent aufzubereiten und in einem gemeinsamen Diskussionsbeitrag zu publizieren.

Im weiteren Verlauf wurden auch Importoptionen unter Berücksichtigung sozio-ökonomischer Faktoren wie politischer Stabilität und Korruptionsindex untersucht. Die Arbeiten zur Bestimmung von Vor-kettenemissionen wurden im Kontext der regulatorischen Diskussion zum „Low Carbon Hydrogen Delegated Act“ vorangetrieben. Ein partnerübergreifender digitaler Austausch im Mai 2024 diente der Abstimmung und Weiterentwicklung der Bewertungsansätze.

Im **Arbeitspakete 5.3** zur Akzeptanzbewertung brachte VNG regelmäßig Erfahrungen aus dem Projekt Energiepark Bad Lauchstädt ein. Diese flossen sowohl in digitale Austausche mit dem Projektpartner IZES als auch in Diskussionen mit der BTU Cottbus zur wissenschaftlichen Fundierung von Akzeptanzforschung ein. Bereits im Februar 2022 fand ein erstes Onlinemeeting zum Stand des Arbeitspakets statt. Darüber hinaus kommentierte VNG die Inhalte und Darstellung der geplanten Projektwebsite und beteiligte sich aktiv an der Akzeptanzkommunikation im Rahmen der Verbundtreffen.

III.6 AP6: Kommunikation

Im Arbeitspaket 6 hat VNG ihre Kommunikations- und Vernetzungsaktivitäten in den Bereichen Stakeholdermanagement, Websitegestaltung und Neue Medien systematisch eingebracht.

Ziel von **Arbeitspaket 6.1** war die Identifikation und Einbindung relevanter Akteursgruppen. VNG beteiligte sich aktiv an verschiedenen Stakeholderformaten, darunter das Treffen des Forschungsnetzwerks Wasserstoff in Berlin (Oktober 2022), bei dem Projektergebnisse zu blauem und türkischem Wasserstoff vorgestellt wurden. Die Zwischenergebnisse aus AP 3 zum Thema Ammoniak wurden im November 2022 bei einer Konferenz von H2Global in Hamburg präsentiert und flossen in die weitere Projektarbeit ein. Im November 2023 nahm VNG am MODEZEEN-Workshop an der TU Dresden teil und stellte dort TransHyDE vor. Darüber hinaus zeigte VNG ihre Bereitschaft zur Teilnahme an Podiumsdiskussionen und Stakeholder-Veranstaltungen, die im Rahmen von AP 7 geplant und im April 2024

durchgeführt wurden. Im Rahmen der Abschlussveranstaltung 2025 in Berlin stellte VNG ein physisches Modell des Energiepark Bad Lauchstädt als Ausstellungsexponat zur Verfügung. Die unternehmensinternen Experten wurden regelmäßig in projektbezogene Fragestellungen eingebunden, insbesondere im Rahmen parlamentarischer Abende und Verbundtreffen.

Zur bedarfsgerechten Gestaltung der Projektwebsite brachte VNG im Rahmen von **Arbeitspaket 6.2** unternehmensspezifische Inhalte ein. Bereits im Februar 2022 nahm VNG am Online-Kickoff zur Websitegestaltung und zu geplanten Videoinhalten teil. Inhalte zum Energiepark Bad Lauchstädt sowie Beiträge zur Flagship-Publikation wurden dem Projekt zur Verfügung gestellt. Die Kommentierung der Websiteinhalte erfolgte kontinuierlich im Rahmen der Verbundkommunikation.

Die Aktivitäten zu **AP 6.2 und AP 6.3** wurden eng miteinander verzahnt. VNG nutzte ihre eigenen Kommunikationskanäle aktiv zur Verbreitung von TransHyDE-Inhalten. Bereits 2022 wurden erste Inhalte für eine Roadmap zusammengetragen und geeignete Kommunikationsformate diskutiert. Die Erfahrungen aus dem Energiepark Bad Lauchstädt wurden regelmäßig in die Akzeptanzkommunikation eingebracht und auch über Social-Media-Kanäle adressiert.

III.7 AP7: Roadmap

Im Arbeitspaket 7.2 hat VNG ihre Erkenntnisse aus den vorangegangenen Arbeitspaketen systematisch in die Entwicklung neuer Forschungsinitiativen eingebracht. Ziel war es, technologische Parameter und Akzeptanzaspekte zur Wasserstoffherzeugung und -nutzung in übergreifende Roadmap-Prozesse und Expertenformate zu überführen.

Bereits Ende 2022 beteiligte sich VNG an der Kommentierung des Foliensatzes „Roadmapping“ und brachte Inhalte zu Wasserstoffspeicherung im Rahmen der Technologiesteckbriefe ein. Die aktive Mitwirkung an der Erstellung und Bewertung dieser Steckbriefe wurde 2023 fortgesetzt. Im Zuge dessen wurden auch Einblicke in das Ammoniakimportprojekt mit dem Partnerland Chile gegeben, das als Beispielprojekt für die Roadmap diskutiert wird.

Darüber hinaus hat VNG regelmäßig Erkenntnisse aus eigenen Erzeugungs- und Transportprojekten in die Projektarbeit eingebracht. Ein besonderer Schwerpunkt bildete 2024 das Thema „Kernnetz“, bei dem die VNG-Tochter ONTRAS ihre Expertise in Stakeholder-Dialogen einbrachte und zur Validierung der Projektergebnisse beitrug.

IV. Wesentliche Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden zentrale Fragestellungen entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette untersucht, wobei die Schwerpunkte auf der Rolle von blauem Wasserstoff, den Flexibilitätsoptionen in Gaskraftwerken durch Wasserstoffeinsatz, den Potenzialen von Wasserstoff in der Stahlindustrie, zu Wasserstoffspeichern sowie auf der Bedeutung von Ammoniak als Transport- und Speichermedium lagen. Entlang dieser vier Themenblöcke werden nachfolgend die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst.

IV.1 Ausbau und Kopplung von Flexibilitätsoptionen haben Rückwirkungen auf den Bedarf an Wasserstoffkraftwerken

Im Rahmen des Projekts hat Dr. Philipp Hauser für die VNG AG maßgeblich Inhalte zur Rolle von Flexibilitätsoptionen im Stromsystem mit Rückwirkungen auf Wasserstoffkraftwerke beigesteuert. Die Ergebnisse sind unter anderem in dem Publikation Brunner et al. (2025), an der Dr. Philipp Hauser als Mitautor beteiligt war, im Fachjournal Energy Policy im März 2025 veröffentlicht. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass verschiedene Flexibilitätsoptionen wie Sektorkopplung, Speichertechnologien und internationaler Stromhandel den Bedarf an wasserstoffbetriebenen Backup-Kraftwerken in einem vollständig erneuerbaren, klimaneutralen Stromsystem deutlich senken können. Dennoch bleibt ein erheblicher Bedarf bestehen: Selbst bei optimaler Nutzung aller Flexibilitäten sind mindestens 46 GW Wasserstoffkraftwerkskapazität erforderlich, um die Versorgungssicherheit insbesondere in Zeiten geringer erneuerbarer Einspeisung zu gewährleisten. Ohne Flexibilitätsoptionen würde der Bedarf auf über 80 GW steigen. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung gezielter Marktanreize und eines Ausbaus der Infrastruktur, um die notwendige Backup-Kapazität bereitzustellen und die Transformation des Energiesystems zu unterstützen.

IV.2 Kohlenstoffarmer Wasserstoff für den Wasserstoffmarkthochlauf

Im Rahmen des Projekts hat Dr. Philipp Hauser für die VNG AG die Rolle von kohlenstoffarmen Wasserstoff (auch blauem Wasserstoff genannt) als Brückentechnologie für den Hochlauf des Wasserstoffmarktes analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die inländische Produktion von grünem Wasserstoff in Deutschland bis 2030 nicht ausreichen wird, um die erwartete Nachfrage zu decken. Es entsteht eine erhebliche Versorgungslücke, die durch Importe oder die Produktion von blauem Wasserstoff geschlossen werden muss. Blauer Wasserstoff bietet dabei eine wichtige Option, um Versorgungssicherheit und eine kontinuierliche Wasserstoffbasislast zu gewährleisten, insbesondere für industrielle Anwendungen. Projekte wie H2GE Rostock (VNG gemeinsam mit Equinor) demonstrieren, wie durch die Nutzung norwegischer Erdgasressourcen und die Abscheidung sowie Speicherung von CO₂ eine signifikante Menge an kohlenstoffarmen Wasserstoff bereitgestellt werden kann. Die Integration von blauem Wasserstoff ermöglicht eine Diversifizierung der Technologien und stärkt bestehende Energiepartnerschaften, etwa zwischen Deutschland und Norwegen. Gleichzeitig wirft die Nutzung von blauem Wasserstoff Fragen hinsichtlich der Dauer des Einsatzes, der öffentlichen Akzeptanz und potenzieller Lock-in-Effekte bei Erdgasimporten auf. Insgesamt trägt blauer Wasserstoff dazu bei, die Versorgungslücke beim Markthochlauf zu schließen und die Transformation der Industrie zu unterstützen. Die Erkenntnisse wurden im Rahmen eines Vortrags am 16. März in Potsdam bei einem Symposium, organisiert von RIFS und OIES, vorgestellt. Darüber hinaus sind die Erkenntnisse in die Flagship-Publikation eingeflossen.

IV.3 Ammoniak als Energieträger und Infrastrukturbaustein im regenerativen Energiesystem

Im Rahmen des TransHyDE-Projekts wurde gemeinsam mit den Kooperationspartnern Lucien Genge (BTU Cottbus), Michael Haendel (Fraunhofer ISI), Matthias Jahn und Erik Reichelt (Fraunhofer IKTS), Robert Kunze (ESA² GmbH) und Friedrich Mendler (Fraunhofer ISE) gemeinsam mit Philipp Hauser (VNG AG) die Rolle von Ammoniak als Wasserstoff-Syntheseprodukt und Energieträger für den Hochlauf des Wasserstoffmarktes analysiert.

Die Analyse zeigt, dass Ammoniak drei zentrale Einsatzfelder im Energiesystem bietet: Erstens als Transportvektor für Wasserstoff, zweitens als Grundstoff in der chemischen Industrie und drittens als potenzieller Brennstoff für Kraftwerke und Mobilitätsanwendungen. Besonders relevant ist Ammoniak als Importoption, da bereits eine globale Logistik existiert und Importterminals in Deutschland (z.B. Rostock, Brunsbüttel, Hamburg) verfügbar bzw. geplant sind. Die techno-ökonomische Bewertung ergab, dass Ammoniak mittel- und langfristig eine kosteneffiziente und emissionsarme Option für den maritimen Import von Energie darstellt, insbesondere solange ein direkter Wasserstoffimport via Pipeline noch nicht möglich ist.

Für die Integration von Ammoniak in das Energiesystem wurden vier Nutzungspfade identifiziert: die direkte stoffliche oder energetische Nutzung beim Verbraucher, die Nutzung in Hafennähe, die dezentrale Umwandlung in Wasserstoff mittels Crackern und die zentrale Rückumwandlung in Wasserstoff in Großanlagen an den Importterminals. Die Ergebnisse zeigen, dass Ammoniak als Energieträger die Resilienz des Energiesystems erhöht und als Brücke für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft dient. Gleichzeitig bestehen Herausforderungen hinsichtlich Sicherheit, Akzeptanz, Infrastrukturbedarf und ökologischer Auswirkungen (z.B. NO_x- und N₂O-Emissionen).

Das White Paper betont die Notwendigkeit, Ammoniak als Energievektor in Energiesystemmodellen endogen zu berücksichtigen und empfiehlt, die Infrastrukturplanung technologieoffen und flexibel zu gestalten. Die Erkenntnisse wurden im engen Austausch mit den TransHyDE-Verbundprojekten CAMP-FIRE, AmmoRef und LNG2Hydrogen erarbeitet, die jeweils spezifische technologische und systemische Fragestellungen zu Ammoniak als Energieträger adressieren.

Die Ergebnisse liegen in einem Working Paper im Verbund vor und sind als Erkenntnisse in die Flagship-Publikation eingeflossen. Zudem wurden die Ergebnisse auf der European Hydrogen Week in Brüssel und auf den Verbundtreffen im Rahmen eines Ergebnisposters vorgestellt, das in Abbildung 1 dargestellt ist.

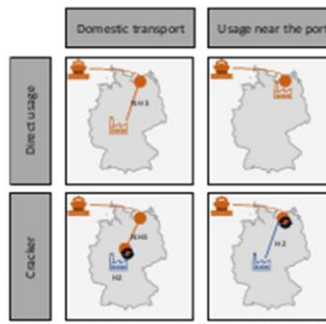
The role of ammonia in the renewable energy system for the development of hydrogen infrastructure

Study background

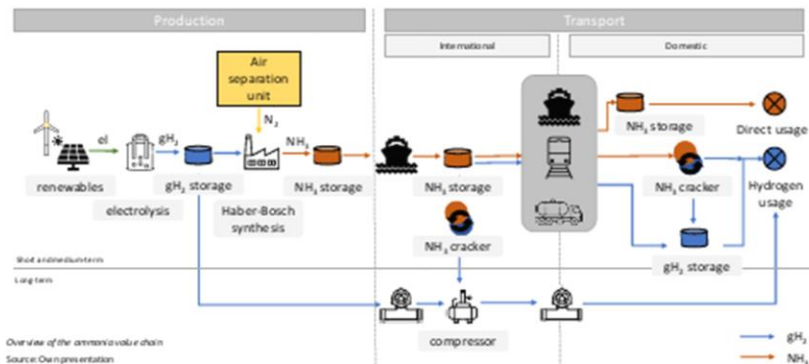
- Literature illuminates single aspects of ammonia, a systemic view of the importance of ammonia for the hydrogen ramp-up is missing
- Study explores the system integration of ammonia and outlines four options for the use of ammonia:
 - domestic transport and direct usage of ammonia,
 - direct usage of ammonia near the port,
 - domestic transport of ammonia and decentralized reconversion into hydrogen on-site,
 - reconversion of imported ammonia into hydrogen in a large-scale cracker near the port

Status Quo and Methodology

- literature focuses on ammonia as an import vector for hydrogen
- pipeline-based hydrogen import will be the most cost-effective transport option
- Systemic approach is needed to disclose the corresponding advantages and disadvantages of several use cases of ammonia



Integration paths of ammonia imports into the energy system, split into and by type of use and location. Source: Own Illustration



Lessons learned

- Ammonia (NH₃) is a carbon-free energy carrier that can be considered as an early import option for hydrogen.
- The direct use of ammonia, both materially, e.g. in fertilizer production, and energetically, e.g. in power plants, is diverse. Depending on the application and location, there are path dependencies for infrastructures to be built.
- Regarding the current state of science on the systemic role of ammonia, it is necessary for energy systemic models to consider ammonia endogenously as an energy vector.
- The analysis of industrial needs shows that ammonia is already accepted and established as an early decarbonization option on a global scale. At the same time, aspects of the timeframe for implementation should be examined more closely.

SPONSORED BY THE



Federal Ministry
of Education
and Research

Authors:

Philipp Hauser, Luden Genge, Michael Haendel, Matthias Jahn, Erik Reichelt,
Robert Kurze and Friedrich Mendler

Abbildung 1: Ergebnisposter "The role of ammonia in the renewable energy system for the development of hydrogen infrastructure"

IV.4 Versorgung industrieller Standorte mit Wasserstoff

Im Rahmen des Projekts TransHyDE wurde die Versorgung industrieller Standorte, insbesondere der Stahlindustrie, mit Wasserstoff und Ammoniak als Energieträger umfassend analysiert. Die Projektpartner VNG AG, Fraunhofer ISI und Fraunhofer IKTS haben gemeinsam verschiedene Versorgungsoptionen bewertet, die sowohl den Import als auch die Nutzung von Ammoniak als Wasserstoffträger einschließen. Dabei zeigte sich, dass Ammoniak aufgrund der etablierten globalen Logistik und Infrastruktur eine flexible und kosteneffiziente Lösung für die Dekarbonisierung industrieller Prozesse darstellt. Für die Stahlindustrie kann Ammoniak entweder direkt als Brennstoff für Prozesswärme eingesetzt oder vor Ort in Wasserstoff umgewandelt werden, was insbesondere für Standorte ohne Anschluss an das Wasserstoffkernnetz relevant ist. Die technische und wirtschaftliche Bewertung ergab, dass Ammoniak mittelfristig eine wichtige Brückentechnologie darstellt, bis eine flächendeckende Wasserstoffinfrastruktur verfügbar ist. Die Sicherheit beim Umgang mit Ammoniak sowie die Akzeptanz in der Industrie wurden ebenfalls als zentrale Aspekte herausgestellt.

Die Ergebnisse wurden sowohl in der Flagship Publikation als auch im Rahmen verschiedener Vorträge in die Öffentlichkeit kommuniziert, u.a. auch im Rahmen eines Vortrags in der AG 3 des Nationalen Wasserstoffrats.

Im Rahmen des Projektes TransHyDE wurden die Ergebnisse und Erkenntnisse zur Rolle von Wasserstoffspeichern als zentrale Säule für die Versorgungssicherheit im zukünftigen Wasserstoffmarkt untersucht. Die Präsentation beleuchtete die fundamentalen Aspekte der Wasserstoffspeicherung, die Systemperspektive sowie das Großprojekt „Energy Park Bad Lauchstädt“.

IV.5 Wasserstoffspeicherung

Ein Schwerpunkt lag auf den verschiedenen Speicheroptionen, insbesondere den geologischen Unterspeichern wie Kavernen und Porenspeichern. Deutschland verfügt über das größte technische Potenzial für Wasserstoffspeicherung in Europa, vor allem in Salzstrukturen im Norden des Landes. Die geologische und technische Eignung von Salzkavernen für die Wasserstoffspeicherung wurde im Rahmen des Energy Park Bad Lauchstädt nachgewiesen. Dort entsteht ein großskaliger Wasserstoffspeicher mit einer Kapazität von bis zu 50 Mio. Nm³ und einem Betriebsdruck von 30–140 bar, der als Teil des IPCEI-Projekts „GO! Green Octopus Storage Facility“ realisiert wird. Die Präsentation zeigte, dass saisonale und kurzfristige Flexibilität durch Wasserstoffspeicher entscheidend für die Integration erneuerbarer Energien und die Versorgungssicherheit sind. Für das Jahr 2050 wird in Deutschland ein Speicherbedarf zwischen 47 und 127 TWh erwartet, während die aktuelle Kavernenspeicherkapazität bei etwa 40 TWh liegt. Ein Ausbau der Speicherinfrastruktur ist daher notwendig, um die zukünftigen Anforderungen zu erfüllen.

Abschließend wurde betont, dass die Speicherung von Wasserstoff in geologischen Strukturen eine Schlüsselrolle für die Dekarbonisierung des Energiesystems und die Versorgungssicherheit spielt. Die Ergebnisse und Projekterfahrungen wurden im internationalen Rahmen der European Hydrogen Week vorgestellt und unterstreichen die Innovationskraft und die strategische Bedeutung von VNG und den Projektpartnern für die Entwicklung einer nachhaltigen Wasserstoffinfrastruktur.

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

Schaffung neuer und Sicherung bestehender Märkte: Das Projekt hat aktiv dazu beigetragen, neue Märkte im Bereich der Wasserstoffwirtschaft zu erschließen und aufbauend auf den bestehenden Marktstrukturen im Erdgasmarkt die Transformation der entsprechenden Akteure zu unterstützen. Bereits während der Laufzeit konnten regionale Wasserstoffmärkte identifiziert und erste Umsetzungsschritte eingeleitet werden, wie auch die positive FID im Energiepark Bad Lauchstädt oder der kommerzielle Liefervertrag mit TOTAL Energies zur Wasserstoffbelieferung zeigen, sodass die VNG-Gruppe und andere Marktakteure im Wasserstoffhochlauf auf die zukünftigen Anforderungen vorbereitet sind.

Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen: Durch die intensive Einbindung von Forschung und Entwicklung im Projektkontext wurden bestehende Arbeitsplätze durch das Verständnis neuer Geschäftsmodelle gesichert und die Grundlage für neue Beschäftigungsmöglichkeiten im Bereich Wasserstoff geschaffen. Die Projektergebnisse unterstützen den Hochlauf des Wasserstoffmarktes im Verständnis der Systemperspektive und tragen langfristig zur Sicherung von Arbeitsplätzen in der Gas- und Energiewirtschaft bei.

Vorbereitung von Marktpotenzialen: Die systematische Analyse unterschiedlicher Wasserstofftechnologien hat es ermöglicht, Marktpotenziale zum Beispiel von Ammoniak oder kohlenstoffarmen Wasserstoff (blauem Wasserstoff) frühzeitig zu erkennen, deren Gelingensbedingungen besser zu verstehen und deren Erschließung gezielt vorzubereiten. Die im Projekt entwickelte Roadmap dient daher als Referenzpunkt und dient ebenso wie die Szenarientwicklung als strategische Grundlage für die weitere Marktentwicklung.

Effizienzsteigerung in der Wertschöpfungskette: Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen einen effizienten Aufbau der Wasserstoffwertschöpfungskette. Die VNG kann auf Basis der Projektergebnisse Umsetzungsaktivitäten – zum Beispiel in der Rolle als Investor in das Kernnetz - gezielt planen und die Wertschöpfungskette optimieren.

Nachhaltigkeit und nachhaltiges Wirtschaften: Das Projektziel trägt maßgeblich zur Reduktion von Treibhausgasen durch den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft bei. Die im Projekt entwickelten Ansätze fördern die Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle und wirken über die Projektlaufzeit hinaus positiv auf die Transformation der VNG.

Funktionale und wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen: Die im Projekt betrachteten grünen Wasserstofftechnologien bieten funktionale und wirtschaftliche Vorteile gegenüber fossilen Energieträgern mit Blick auf die entstehenden Treibhausgasemissionen und die Möglichkeit der Integration Erneuerbarer Energien in das Energiesystem. Die VNG-Gruppe kann von diesen Vorteilen im Rahmen der Transformation ihrer Geschäftsmodelle profitieren.

Nutzen für verschiedene Anwendergruppen: Die Projektergebnisse sind für verschiedene Anwendergruppen und Industrien von hoher Relevanz. Insbesondere energieintensive Industrien – wie die

Gefördert durch:



Stahlindustrie – und Infrastrukturbetreiber – wie Netz- und Speicherbetreiber - können bereits kurzfristig von den entwickelten Lösungen profitieren.

Schaffung von Know-how und Kompetenzerhaltung: Im Projekt wurde gezielt Know-how zur Systemwirkung einzelner Elemente in der Wasserstoffwertschöpfungskette, z.B. Elektrolyseure und H₂-Speicher, aufgebaut und bestehende Kompetenzen erhalten. Die VNG verfügt nun über fundiertes Wissen entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette, z.B. der Wirkung von heimischer Erzeugung und Importen zur Bereitstellung, das für zukünftige Projekte und den Markthochlauf genutzt werden kann.

Transfer zu Nutzergruppen: Die Projektergebnisse wurden aktiv im Rahmen von Workshops mit Wirtschaft (Stakeholder Workshops) und Politik (parlamentarische Abende, Vorstellung im Nationalen Wasserstoffrat), insbesondere aber auch mit der energieintensiven Industrie, kommuniziert und transferiert. Dadurch ist eine breite Anwendung der Erkenntnisse gewährleistet.

Vereinfachter Zugang zu Informationen: Durch die Kommunikation der Projektergebnisse in Form von White Paper auf einer zentralen Website und die Entwicklung der Projektwebsite <https://www.transhyde.de/> wurde ein vereinfachter Zugang zu Informationen rund um die Wasserstoffwirtschaft geschaffen.

Folgeprojekte und Verstetigung der Organisation: Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Entwicklung weiterer Folgeprojekte zur Vertiefung. Die VNG ist bereit, die Roadmap und die entwickelten Ansätze in zukünftigen Kooperationen als Industriepartner in Forschungsprojekten weiterzuführen.

Schaffung und Kooperation zur Verbreitung von weiterem Know-how: Die im Projekt aufgebauten Netzwerke innerhalb der TransHyDE-Community und Kooperationen ermöglichen die Verbreitung von Know-how über die Projektlaufzeit hinaus. Die VNG wird auch künftig aktiv an der Weiterentwicklung des Wasserstoffhochlaufs in der Rolle des Umsetzers mitwirken.

Kontaktaufnahme mit potenziellen Verwertern/Nutzern/Akteuren (Spill-over) Die VNG selbst ist Verwerter und Nutzer der Erkenntnisse und kann diese als Multiplikator in das eigene Unternehmensnetzwerk mit Kunden und Partnern einbringen.

VI. Fortschritt des Projektumfelds während der Laufzeit

Zwischen 2021 und 2025 hat sich das Projektumfeld der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa rasant weiterentwickelt. Mit der Nationalen Wasserstoffstrategie (2020) und ihrer Fortschreibung 2023 wurde der politische Rahmen für den Markthochlauf geschaffen. Die EU-Kommission hat 2023 mit der Definition für erneuerbaren Wasserstoff (RFNBO) und im Juli 2025 mit der Definition für kohlenstoffarmen Wasserstoff zentrale regulatorische Grundlagen gelegt.

Ein bedeutender Meilenstein – auch für VNG - war die Notifizierung der IPCEI Hy2Infra-Welle durch die Europäische Kommission im Februar 2024, gefolgt von der Übergabe der Förderbescheide für ONTRAS-Vorhaben im Juli 2024. Im Oktober 2024 genehmigte die Bundesnetzagentur das Wasserstoffkernnetz mit einer geplanten Länge von 9.040 km, wovon rund 60 % auf die Umstellung bestehender

Gefördert durch:



Erdgasleitungen entfallen. Bis August 2025 sind bereits über 300 km Wasserstoffkernnetz realisiert, mit weiteren Projekten im Bau und in Planung.

Auch im Bereich der Wasserstoffproduktion wurden Fortschritte erzielt: Die installierte Elektrolyseleistung beträgt aktuell über 200 MW, für 2025 sind mehr als 250 MW zur Inbetriebnahme vorgesehen. Damit ist Deutschland zwar auf dem Weg zum Ziel von 10 GW Elektrolyseleistung bis 2030, allerdings ist das Ausbautempo noch zu langsam, um dieses Ziel rechtzeitig zu erreichen.

Im Bereich der Infrastruktur wurden zahlreiche Leitungsprojekte umgesetzt und die BNetzA hat im Juli 2025 das Hochlaufentgelt für H₂-Transportnetze mit 25 EUR/kWh/h/a festgelegt, was für die Wirtschaftlichkeit und Planbarkeit der Netzbetreiber von zentraler Bedeutung ist.

Auch auf europäischer Ebene wurden wichtige Fortschritte erzielt: Die EU-Kommission hat mit der Definition für kohlenstoffarmen Wasserstoff eine weitere Weiche für einen europäischen Wasserstoffmarkt gestellt. Abgeschlossene Lieferverträge – etwa zwischen VNG/Uniper und TotalEnergies ab 2025 oder RWE und TotalEnergies ab 2030 – sind ein weiterer Beleg für den Hochlauf.

Trotz dieser Erfolge bestehen weiterhin erhebliche Herausforderungen. Der Aufbau der H₂-Infrastruktur muss weiter beschleunigt werden, insbesondere beim Ausbau der Importinfrastruktur (Ammoniak-Terminals, Cracker) und der Fertigstellung des Wasserstoffkernnetzes. Die Projektpipeline für Elektrolyseure mit FID und Betrieb liegt noch unter dem politischen Ziel von 10 GW. Hierbei ist eine pragmatische und schnelle Überprüfung der Strombezugskriterien für Elektrolyseure bis spätestens 2026 erforderlich, da strengere Regeln zu erheblichen Mehrkosten führen können.

Ein weiteres Hemmnis ist die bislang sehr komplexe Vergabe von Fördergeldern: im Rahmen der European Hydrogen Bank sind viele Mittel ungenutzt geblieben. Auch auf der Nachfrageseite braucht es pragmatische Regulierung und Planungssicherheit, etwa durch Anreize im Kraftwerksbau und durch verbindliche Abnahmeverträge, um Investitionen in langlebige Wasserstoff-Assets zu ermöglichen.

Zusammenfassend zeigt sich: Der Anfang des Wasserstoffhochlaufs ist gemacht, die Grundlagen sind gelegt und erste Projekte sind realisiert. Die kommenden Jahre werden entscheidend sein, um die ambitionierten Ziele zu erreichen, regulatorische und wirtschaftliche Hürden zu überwinden und die Wettbewerbsfähigkeit der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa nachhaltig zu sichern. TransHyDE hat hierfür einen Instrumentenkasten geschaffen, um die notwendigen Handlungsoptionen zu analysieren und zu bewerten.

VII. Erfolgte Veröffentlichungen

Tabelle 2: Erfolgte Veröffentlichungen

Datum	Art der Veröffentlichung	Titel	Autoren
09.04.2021	Vortrag im Rahmen der Konferenz ENERDAY in Dresden	Impact of Green Gas Imports on Infrastructure Investments	Philipp Hauser
26.09.2022	Vortrag im Rahmen des Projektworkshops im BMWK geförderten Projekt VerSEAS	Versorgungssicherheit im Energiesystem – die Rolle von Wasserstoff	Philipp Hauser
11.09.2022	Forschungsnetzwerk Wasserstoff Treffen in Berlin	Dekarbonisierter Wasserstoff als Enabler für den Wasserstoffmarkt	Philipp Hauser
01.01.2023	White-Paper	H2-Beschleunigungsgesetz Rechtliche Maßnahmen zur Beschleunigung des Ausbaus von H2-Importterminals	C. Gätzsch, M. Greitzer, ..., P. Hauser et. al
16.03.2023	Vortrag im Rahmen des Seminar „Scaling-up Hydrogen Production: Critical Challenges & Bottlenecks“ (RIFS/OIES, Potsdam)	Low carbon hydrogen accelerate the hydrogen market ramp-up	Philipp Hauser
10.11.2023	White Paper, (internes TransHyDE-Papier)	Die Rolle von Ammoniak im regenerativen Energiesystem für die Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur	Philipp Hauser, Lucien Genge, Michael Haendel, Matthias Jahn, Erik Reichelt, Robert Kunze und Friedrich Mender
21.11.2023	Präsentation und Vortrag im Rahmen des Side Event auf der European Hydrogen Week in Brüssel	Hydrogen storages – cornerstone for providing security of supply in the hydrogen market	Philipp Hauser

Gefördert durch:



Datum	Art der Veröffentlichung	Titel	Autoren
21.11.2023	Ergebnisposter (European Hydrogen Week, Verbundtreffen)	Analyse der Rolle von Ammoniak (Poster)	P. Hauser, L. Genge, M. Haendel, M. Jahn, E. Reichelt, R. Kunze, F. Mender
15.03.2024	Flagship-Publikation (TransHyDE)	European Hydrogen Infrastructure Planning – Insights from the TransHyDE Project System Analysis Beitrag zu Section 3	Editors: F. Ausfelder, M. Ragwitz, M. Förster, C. Nolden
15.03.2024	NTNU Energy Transition Week, Gas Workshop	The Role of Storages in the Hydrogen Market	Philipp Hauser
21.10.2024	Working Paper	How Much Flexibility Needs to Be Provided by Hydrogen Power Plants?	Brunner, C.; Misconel, S.; Hauser, P.; Möst, D.
05.03.2025	Wissenschaftliche Publikation in Energy Policy	To what extent can flexibility options reduce the need for hydrogen backup power plants?	Brunner, C.; Misconel, S.; Hauser, P.; Dominik, M.

Literaturverzeichnis

Ausfelder, F.; Ragwitz, M.; Förster, M.; Nolden, C. (Hrsg.) (2024). European Hydrogen Infrastructure Planning – Insights from the TransHyDE Project System Analysis. Beitrag zur Section 3. Flagship-Publikation TransHyDE, 15.03.2024.

Brunner, C.; Misconel, S.; Hauser, Dr. P.; Dominik, M. (2025). To what extent can flexibility options reduce the need for hydrogen backup power plants? Energy Policy, 05.03.2025.

Brunner, C.; Misconel, S.; Hauser, Dr. P.; Möst, D. (2024). How Much Flexibility Needs to Be Provided by Hydrogen Power Plants? Working Paper, 21.10.2024.

Gätzsch, C.; Greitzer, M.; Hauser, Dr. P. et al. (2023). H2-Beschleunigungsgesetz: Rechtliche Maßnahmen zur Beschleunigung des Ausbaus von H2-Importterminals. White Paper, 01.01.2023.

Genge, L.; Haendel, M.; Hauser, Dr. P.; Jahn, M.; Kunze, R.; Mendler, F.; Reichelt, E. (2023). Die Rolle von Ammoniak im regenerativen Energiesystem für die Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur. White Paper, internes TransHyDE-Papier, 10.11.2023.

Genge, L.; Haendel, M.; Hauser, Dr. P.; Jahn, M.; Kunze, R.; Mendler, F.; Reichelt, E. (2023). Analyse der Rolle von Ammoniak. Ergebnisposter (European Hydrogen Week, Verbundtreffen), 21.11.2023.

Hauser, Dr. P. (2021). Impact of Green Gas Imports on Infrastructure Investments. Vortrag im Rahmen der Konferenz ENERDAY, Dresden, 09.04.2021.

Hauser, Dr. P. (2022). Dekarbonisierter Wasserstoff als Enabler für den Wasserstoffmarkt. Forschungsnetzwerk Wasserstoff Treffen, Berlin, 11.09.2022.

Hauser, Dr. P. (2022). Versorgungssicherheit im Energiesystem – die Rolle von Wasserstoff. Vortrag im Rahmen des Projektworkshops im BMWK-geförderten Projekt VerSEAS, 26.09.2022.

Hauser, Dr. P. (2023). Low carbon hydrogen accelerate the hydrogen market ramp-up. Vortrag im Seminar „Scaling-up Hydrogen Production: Critical Challenges & Bottlenecks“, RIFS/OIES, Potsdam, 16.03.2023.

Hauser, Dr. P. (2023). Hydrogen storages – cornerstone for providing security of supply in the hydrogen market. Vortrag beim Side Event auf der European Hydrogen Week, Brüssel, 21.11.2023.

Hauser, Dr. P. (2024). The Role of Storages in the Hydrogen Market. Vortrag im Rahmen der NTNU Energy Transition Week, Gas Workshop, 15.03.2024.