

Freie Hansestadt Bremen

Die Senatorin für Wirtschaft, Arbeit und Europa

EFRE-Verwaltungsbehörde

April 2023



Europäische Union
Investition in Bremens Zukunft
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

BEGLEITENDE EVALUIERUNG DES OPERATIONELLEN PROGRAMMS EFRE BREMEN IN DER FÖRDERPERIODE 2014-2020

WIRKUNGSEVALUIERUNG DER FÖRDERUNG IM SZ9 „ETABLIERUNG UND ANWENDUNG NEUER TECHNOLOGIEN ZUR SENKUNG DER CO2-EMISSIONEN IN DER WIRTSCHAFT“

**BEGLEITENDE EVALUIERUNG DES OPERATIONELLEN PROGRAMMS EFRE
BREMEN IN DER FÖRDERPERIODE 2014-2020**

**WIRKUNGSEVALUIERUNG DER FÖRDERUNG IM SZ9 „ETABLIERUNG UND
ANWENDUNG NEUER TECHNOLOGIEN ZUR SENKUNG DER CO2-
EMISSIONEN IN DER WIRTSCHAFT“**

Ansprechperson

Marco Baldauf

Senior Consultant

M +49 152 53212034

marco.baldauf@ramboll.com

Autor:innen

Marco Baldauf

Leonie Beckmann

Ramboll Management Consulting GmbH
Jürgen-Töpfer-Straße 48
22763 Hamburg

T +49 40 302020-0

F +49 40 302020-199

<https://de.ramboll.com>

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Evaluierungsgegenstand und -auftrag	5
1.1	Evaluierungsgegenstand	5
1.2	Evaluierungsauftrag	6
2.	Executive Summary und Handlungsempfehlungen	7
2.1	Executive Summary	7
2.2	Handlungsempfehlungen	8
3.	Methodisches Vorgehen	10
3.1	Evaluierungsschwerpunkte	10
3.2	Arbeitsschritte	13
4.	Steckbriefe der untersuchten Projekte	15
4.1	Steckbrief zum Elektrolyseur-Testfeld	15
4.2	Steckbrief zu den Anwendungsstudien	17
4.3	Steckbrief zur LiDAR-Boje	20
5.	Ergebnisse der Relevanzanalyse	21
5.1	Strategische Relevanz	21
5.2	Praktische Relevanz	24
6.	Ergebnisse der Kohärenzanalyse	25
7.	Ergebnisse der Umsetzungsanalyse	30
8.	Ergebnisse der Wirkungsanalyse	32
9.	Literaturverzeichnis	38

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Prioritätsachse 3 des EFRE OP 2014-2020	5
Abbildung 2: Geförderte Projekte im Rahmen des SZ9.....	6
Abbildung 3: Evaluierungsschwerpunkte und Untersuchungsfragen.....	10
Abbildung 4: Interventionslogik	12
Abbildung 5: Methodisches Vorgehen	13
Abbildung 6: Wertschöpfungskette von Wasserstoff.....	22
Abbildung 7: Verortung der EFRE-Fördermaßnahme im Förderumfeld	26

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AEL	Alkalische Elektrolyse
BEG	Bremerhavener Entsorgungsgesellschaft mbH
BMDV	Bundesministeriums für Digitales und Verkehr
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DWV	Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e. V.
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
FBG	Fischereihafen - Betriebsgesellschaft mbH
GW	Gigawatt
HTEL	Hochtemperatur-Elektrolyse
hyBit	Hydrogen for Bremen's industrial transformation
ISL	Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik
ITZ	Innovations- und Transformationszentrum
IWAS	Intelligente Wasserwirtschaft und zukunftsfähige Speichertechnologien für das grüne Gewerbegebiet
IWES	Fraunhofer Institut für Windenergiesysteme
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LiDAR	Light detection and ranging
LOHC	Liquid organic hydrogen carrier
MW	Megawatt
NIP	Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
OP	Operationelles Programm
PA	Prioritätsachse
PEM	Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse
SNG	Synthetisches Erdgas
SWAE	Senatorin für Wirtschaft, Arbeit und Europa
SWH	Senatorin für Wissenschaft und Häfen
SZ	Spezifisches Ziel
TRL	Technology Readiness Level
ttz Bremerhaven	Technologie-Transfer-Zentrum Bremerhaven
TWh	Terawattstunde
ZIM	Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

1. EVALUIERUNGSGEGENSTAND UND -AUFTRAG

1.1 Evaluierungsgegenstand

Die Prioritätsachse (PA) 3 des Operationellen Programms (OP) für den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) des Landes Bremen in der Förderperiode 2014–2020 ist die Klimaschutzachse. Sie zielt darauf ab, CO₂-effiziente Wirtschafts- und Stadtstrukturen zu fördern. Die PA umfasst dazu drei Spezifische Ziele (SZ, vgl. Abbildung 1). Diese Evaluierung fokussiert sich auf das SZ9: Etablierung und Anwendung neuer Technologien zur Senkung der CO₂-Emissionen in der Wirtschaft.

Abbildung 1: Prioritätsachse 3 des EFRE OP 2014-2020

PA 3 – Klimaschutzachse (Gesamt-EFRE Anteile: 18,5 Mio. €)		
SZ5: Senkung der CO₂-Emissionen in der Wirtschaft (IP 4b) (EFRE-Anteil: 2,2 Mio. €)	SZ6: Senkung der CO₂-Emissionen in bestimmten städtischen Gebieten (IP 4e) (EFRE-Anteil: 5,3 Mio. €)	SZ9: Etablierung und Anwendung neuer Technologien zur Senkung der CO₂-Emissionen in der Wirtschaft (IP 4f)¹ (EFRE-Anteil: 11,0 Mio. €)
• 5a: Anreize für Energieeffizienz-investitionen in Unternehmen • 5b: Energieberatung, Information und Zertifizierung für Unternehmen	• 6a: Gebietsbezogene Analysen und integrierte Konzepte zur CO₂-Vermeidung • 6b: Projekte zur Umsetzung der integrierten Konzepte	• Förderung von FuE-Projekten im Bereich kohlenstoffarmer Technologien und ihres Einsatzes

Quelle: OP Bremen EFRE 2014-2020. Eigene Darstellung Ramboll Management Consulting.

Durch die EFRE-Förderung sollen neue Technologien entwickelt werden, die einen Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen leisten können. Die EFRE-Förderung unterstützt insbesondere Vorhaben zum Ausbau der Marktfähigkeit von neuartigen Technologien, um damit eine breite Nutzung dieser Technologien zu ermöglichen. Der Fokus der Förderung im Rahmen des OP EFRE Bremen 2014-2020 liegt dabei auf Wasserstoff-Technologien.

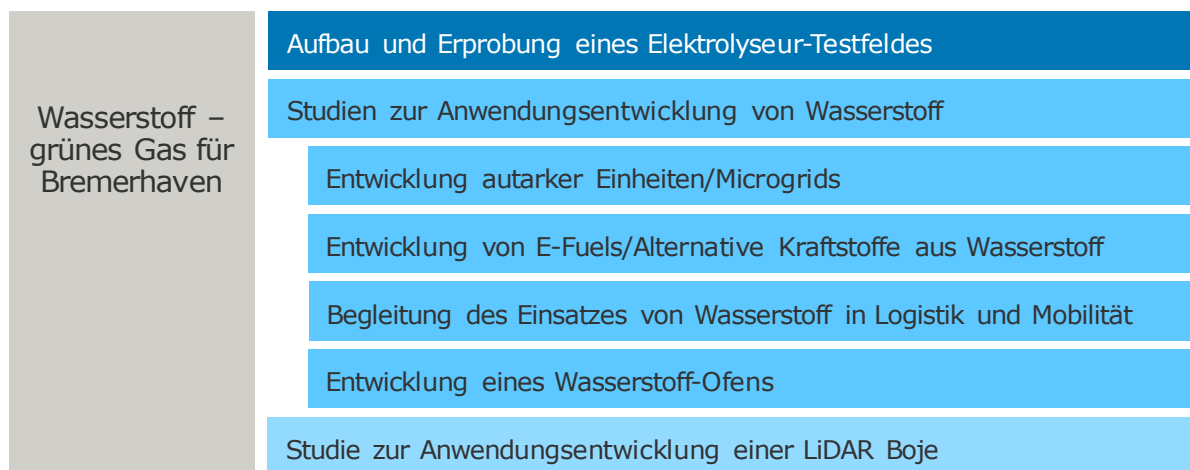
Konkret wird innerhalb des SZ9 die Maßnahme „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ gefördert, die wiederum aus den folgenden drei Teilmaßnahmen besteht: 1) der Aufbau eines Elektrolyseur-Testfeldes zur Erforschung der Produktion von grünem Wasserstoff², 2) vier Anwendungsstudien zur Erprobung von Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff in

¹ Das SZ9 wurde am 09.01.2020 im Zuge einer Programmänderung in das OP EFRE Bremen 2014-2020 aufgenommen.

² Wasserstoff wird auf Grundlage der Herstellung und der dadurch emittierten CO₂-Emissionen in vier Typen unterschieden: **Grüner Wasserstoff** wird durch die Elektrolyse von Wasser unter Hinzunahme von Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt und emittiert somit keine CO₂-Emissionen. Bei der Herstellung vom sogenannten **Blauen Wasserstoff** können bis zu 90 Prozent der in der Herstellung entstehenden CO₂-Emissionen im Erdboden gespeichert werden. **Grauer Wasserstoff** wird unter Hinzunahmen von (meist) fossilen Erdgas produziert, dadurch entstehen pro Tonne Wasserstoff rund 10 Tonnen CO₂. Die Herstellung von **Türkisen Wasserstoff** durch Spaltung von Methan ist derzeit noch in der Entwicklung – dabei entsteht jedoch kein gasförmiger, sondern fester Kohlenstoff (anstelle von CO₂) (BMWi 2020, S. 29).

verschiedenen Bereichen und 3) die Entwicklung einer wasserstoffbasierten „Light detection and ranging“ (LiDAR)-Boje (vgl. Abbildung 2 für eine Übersicht und Kapitel 4 für Details zu den Projekten).

Abbildung 2: Geförderte Projekte im Rahmen des SZ9



Quelle: OP Bremen EFRE 2014-2020. Eigene Darstellung Ramboll Management Consulting.

1.2 Evaluierungsauftrag

Laut Bewertungsplan des OP EFRE Bremen 2014-2020 ist für jedes SZ eine Wirkungsevaluierung durchzuführen. Der Schwerpunkt der Evaluierung von SZ9 liegt auf den Wirkungen der Fördermaßnahme „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“; zudem wird nach Rücksprache mit der EFRE-Verwaltungsbehörde sowie dem Fachreferat der Senatorin für Wissenschaft und Häfen (SWH) die Relevanz und Kohärenz der Förderung untersucht. Für diese Zielstellungen kombiniert die Evaluierung eine theoriebasierte Wirkungsanalyse mit einer Relevanz-, Kohärenz- und Umsetzungsanalyse.

Der vorliegende Bericht ist wie folgt gegliedert:

- Kapitel 2 enthält eine Kurzzusammenfassung der wesentlichen Evaluierungsergebnisse und formuliert Handlungsempfehlungen zur zukünftigen Ausgestaltung der Förderung von Wasserstofftechnologien.
- In Kapitel 3 wird das methodische Vorgehen der Evaluierung vorgestellt.
- In Kapitel 4 werden die untersuchten Teilmaßnahmen des SZ9 in Form von Steckbriefen vorgestellt.
- In Kapitel 5 werden die grundsätzliche Ausrichtung (strategische Relevanz) und die konkrete Ausgestaltung der Förderung (praktische Relevanz) untersucht und bewertet.
- In Kapitel 6 werden im Rahmen einer Kohärenzanalyse die Alleinstellungsmerkmale der betrachteten Förderung sowie ihre Synergien mit (anderen) Förderinstrumenten des Landes Bremen und des Bundes untersucht.
- In Kapitel 7 wird die finanzielle, materielle sowie praktische Umsetzung der Wasserstoffförderung im Rahmen von SZ9 beleuchtet.
- Kapitel 8 widmet sich der Wirkungsanalyse der Förderung.

2. EXECUTIVE SUMMARY UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

2.1 Executive Summary

Zentrale Ergebnisse der Relevanzanalyse

Die **strategische Relevanz** der Förderung von Wasserstoff wird als hoch bewertet. Drei Gründe werden hierfür angeführt:

- Wasserstoff gilt als Schlüsseltechnologie der Energiewende und ist somit für den erfolgreichen Klimaschutz von hoher Bedeutung. Bundesweit wird sich der Bedarf an Wasserstoff bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 2020 verdoppeln, seit Beginn der Energiekrise kommt Wasserstoff eine noch relevantere Funktion zu.
- Bremerhaven bietet mit Blick auf die Erforschung der Technologie gute Rahmenbedingungen. Der Standort weist sowohl eine Vielzahl an wissenschaftlichen Einrichtungen mit ausgewiesener Kompetenz in diesem Themenfeld auf als auch potenzielle Anwenderindustrien.
- In vielen möglichen Anwendungsbereichen von Wasserstoff besteht aktuell Förderbedarf.

Die **praktische Relevanz** der Fördermaßnahme ist ebenfalls als hoch zu bewerten, da die Förderung sich insgesamt als geeignet erweist, die Unterstützungsbedarfe der wissenschaftlichen Einrichtungen zu adressieren.

Zentrale Ergebnisse der Kohärenzanalyse

- Die thematische Offenheit der Fördermaßnahme „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ ist das zentrale Alleinstellungsmerkmal gegenüber der Mehrheit an Förderangeboten auf Landes- und Bundesebene.
 - Mehrheitlich fokussieren sich andere Förderprogramme auf EU-, Bundes- und Landesebene auf die Anwendung von Wasserstoff. Nur zwei Programme decken die gesamte Wertschöpfungskette von Produktion über Speicherung bis Anwendung von Wasserstoff ab.
 - In der Gesamtschau hat die zu evaluierende Fördermaßnahme eine Lücke in der bestehenden Förderlandschaft ausgefüllt.
-

Zentrale Ergebnisse der Umsetzungsanalyse

Die Umsetzung der Projekte wird grundsätzlich als gelungen bewertet:

- Die geförderten Projekte sind entweder abgeschlossen oder weit fortgeschritten. Aufgrund diverser externer Herausforderungen kam es jedoch zu Verzögerungen in der Umsetzung der Projekte. Dementsprechend befinden sich zwei der Projekte (das Elektrolyseur-Testfeld und die LiDAR-Boje) derzeit noch in der Projektverlängerung.
 - Die finanzielle Umsetzung der Projekte gestaltet sich überwiegend nach Plan.
 - Die administrative Abwicklung verlief aus Sicht der Beteiligten insgesamt sehr gut.
-

Zentrale Ergebnisse der Wirkungsanalyse

Zum Zeitpunkt der Evaluation ist eine umfängliche Betrachtung aller angestoßenen Wirkungen noch nicht messbar, u. a. da noch nicht alle geförderten Projekte final abgeschlossen sind und einige der Wirkungen erst langfristig zu beobachten sein werden. Dennoch deuten erste

Ergebnisse darauf hin, dass Impulse zu den anvisierten Wirkungen in Form einer Reduktion von CO₂-Emissionen erfolgten.

Weitere Wirkungen der Fördermaßnahme konnten festgestellt werden:

- Die geförderten Projekte etablierten und verfestigten Kooperationen zwischen Akteuren aus Wissenschaft und Wirtschaft. Synergieeffekte zwischen den Teilmaßnahmen wurden durch den engen Austausch genutzt und gegenseitiges Lernen ermöglicht.
- Die Projekte haben einen Beitrag zum Kompetenzaufbau in den geförderten wissenschaftlichen Einrichtungen geleistet. Zudem werden die Ergebnisse auf unterschiedliche Weise in die Lehre der Hochschulen eingebunden.
- Nach der Fertigstellung des Elektrolyseur-Testfelds erhalten die in Bremerhaven ansässigen Unternehmen (und wissenschaftlichen Einrichtungen) Zugang zu Wasserstoff.
- Die Projekte tragen zu einer erhöhten Sichtbarkeit der Technologien und Anwendungsfälle im Bereich Wasserstoff bei. Dadurch konnten Unternehmen für die Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff sensibilisiert werden.
- Die Projekte haben zu einer erhöhten Sichtbarkeit der (wissenschaftlichen) Akteure und des Standorts Bremerhaven im Bereich Wasserstoff beigetragen.
- Die Ergebnisse haben zu initialen Anwendungen von Wasserstoff in Unternehmen geführt. Weitere Industrie- und Forschungsprojekte befinden sich derzeit in Planung bzw. werden bereits durchgeführt.
- Die Weiterentwicklung von Genehmigungsverfahren ist eine nicht-intendierte Wirkung der Förderung.

2.2 Handlungsempfehlungen

Auf Grundlage der Evaluierungsergebnisse leiten sich drei zentrale Handlungsempfehlungen ab:

Enge Zusammenarbeit in Umsetzung fördern

Die Umsetzungsanalyse zeigt, dass eine enge Zusammenarbeit zwischen der zwischengeschalteten Stelle, dem Fachreferat der SWH sowie den Vertreter:innen der Zuwendungsempfänger eine zentrale Gelingensbedingung für die erfolgreiche Umsetzung der Fördermaßnahme war. Unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. neues Themenfeld, hohes Fördervolumen, späte Ergänzung des SZ im EFRE OP und somit ggf. höherer Zeitdruck, wenig Vorerfahrung hinsichtlich der Fördermitteladministration beim Zuwendungsempfänger) erscheint es zielführend, den Ansatz einer solch engen Zusammenarbeit weiter zu verfolgen.

Gute Planung eines übergreifenden Förderansatzes

Die Evaluation bewertet das Förderdesign und die Planung der Maßnahmen als sehr gelungen. Zum einen wurde sowohl der Kapazitätsaufbau der Wasserstoffproduktion als auch die Entwicklung konkreter Anwendungsbereiche adressiert. Auf diese Weise wurden verschiedene Aspekte der Wertschöpfungskette von Wasserstoff in den Blick genommen und damit ein übergreifender Beitrag zum Auf- und Ausbau der Wasserstoffwirtschaft in Bremerhaven geleistet. Zum anderen wurde die Teilmaßnahme „Anwendungsstudien“ mittels einer Vorstudie zur Ermittlung von Bedarfen der Industrie in Bremerhaven hinsichtlich Wasserstoff-Anwendungen gezielt vorbereitet. Darüber hinaus hat die Fördermaßnahme Lücken in der bestehenden Förderarchitektur dezidiert geschlossen. Die Vorgehensweise einer detaillierten Planung und des übergreifenden Förderansatzes sollte in der Erarbeitung zukünftiger Fördergegenstände verfolgt werden, insbesondere bei der Erforschung neuartiger Technologien.

Sichtbarkeit

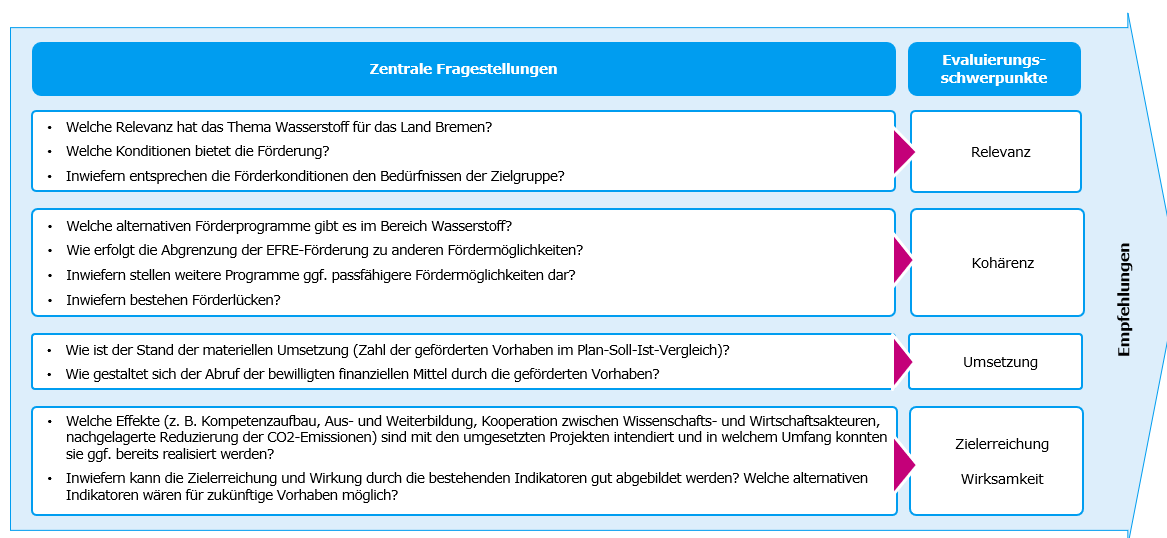
Die Evaluation stellt fest, dass die Relevanz von Wasserstoff bereits sehr hoch ist und zukünftig noch weiter steigen wird. Eine noch höhere Sichtbarkeit der geschaffenen Infrastrukturen, Studienergebnisse sowie der aufgebauten Kompetenzen und Kooperationen könnte der gesteigerten Relevanz des Themas gerecht werden und die Wirkungen bestmöglich multiplizieren. Mit der Geschäftsstelle Wasserstoffwirtschaft hat die Wirtschaftsförderung in Bremerhaven (BIS) bereits eine zentrale Anlaufstelle geschaffen. Es empfiehlt sich, die sich im Aufbau befindlichen Strukturen und Beziehungen weiter zu stärken und mit geeigneten Maßnahmen die Sichtbarkeit des Themas Wasserstoff weiter zu erhöhen.

3. METHODISCHES VORGEHEN

3.1 Evaluierungsschwerpunkte

Zur Bewertung des Beitrages der umgesetzten Projekte auf die Entwicklung und Anwendung von Wasserstoff-Technologien wurde die Relevanz, die Umsetzung und die Zielerreichung und Wirksamkeit der geförderten Projekte untersucht. Abbildung 3 fasst die in den Evaluierungsschwerpunkten leitenden Untersuchungsfragen zusammen. Die Evaluierungsschwerpunkte werden im Folgenden näher erläutert.

Abbildung 3: Evaluierungsschwerpunkte und Untersuchungsfragen



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll Management Consulting.

Relevanzanalyse

In der Relevanzanalyse wurden zwei eng miteinander verknüpfte und aufeinander aufbauende Fragen erörtert:

- Im Rahmen der **Analyse der strategischen Relevanz** (vgl. Kapitel 5.1) wurde erörtert, inwiefern vor dem Hintergrund der Ausgangslage in Bremerhaven ein Unterstützungsbedarf für die Entwicklung und Anwendung von Wasserstoff-Technologien im Sinne der Förderung besteht.
- Im Rahmen der **Analyse der praktischen Relevanz** (vgl. Kapitel 0) wurde geprüft, ob der Förderansatz und die geltenden Förderkonditionen der EFRE-Förderung den Bedürfnissen der Zielgruppen entsprechen.

Maßgebliche Informationsquellen zur Beantwortung dieser Untersuchungsfragen waren die verschiedenen Wasserstoffstrategien sowie Informationen aus den durchgeführten Interviews (vgl. Kapitel 3.2).

Kohärenzanalyse

Im Rahmen der Kohärenzanalyse wurden Alleinstellungsmerkmale und Synergien der Förderung gegenüber angrenzenden Förderprogrammen der EU, des Bundes und der Länder untersucht, sodass bestehende Lücken und Doppelungen in der Förderarchitektur identifiziert wurden. Als Grundlage für die Kohärenzanalyse diente eine Onlinerecherche zu Förderprogrammen. Darüber

hinaus wurden Hinweise aus den durchgeführten Interviews sowie aus der Bremer Wasserstoffstrategie mitebezoogen.

Umsetzungsanalyse

In der Umsetzungsanalyse wurde die finanzielle, materielle und praktische Umsetzung der Projekte untersucht (für detaillierte Beschreibungen der geförderten Projekte vgl. Kapitel 4). Dabei wurden die zentralen Gelingensbedingungen und Herausforderungen während der Umsetzung der geförderten Projekte beleuchtet. Diese Fragen wurden insbesondere mit Hilfe der aus den internen Dokumenten (z. B. Anträge, Sachstandsberichte, Programmdokumente) sowie den Interviews herausgearbeiteten Ergebnisse beantwortet.

Zielerreichungs- und Wirkungsanalyse

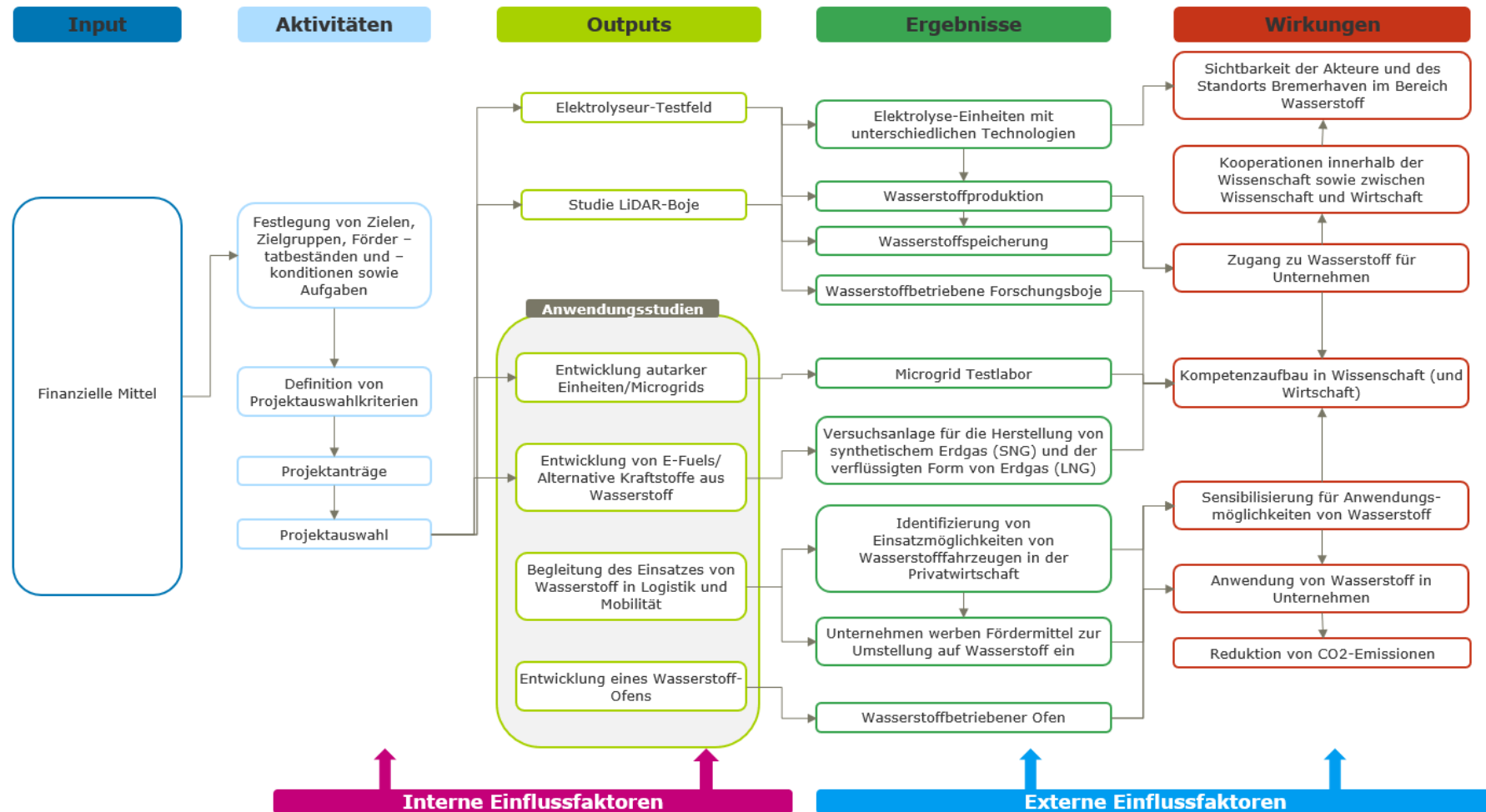
Den Schwerpunkt der Evaluierung bildete die Wirkungsanalyse. Zentral war hierbei die Frage nach den intendierten und ggf. realisierte Effekten der Projekte (vgl. Kapitel 8). Darüber hinaus wurden auch externe Einflussfaktoren auf die Wirkungen der Maßnahme beleuchtet.

Die Wirkungsanalyse wurde auf Basis eines theoriebasierten Evaluationsansatzes durchgeführt. Bei deren Durchführung orientierte sich das Evaluationsteam an dem von der Europäischen Kommission für die Evaluierung von Interventionen der Struktur- und Investitionsfonds empfohlenen Ansatz der Kontributionsanalyse (englisch: Contribution Analysis)³. Der Ansatz erlaubte eine systematische und strukturierte Bewertung von Umsetzung, Zielerreichung und Wirksamkeit und hat den Vorteil, dass er einen einheitlichen konzeptionellen Rahmen für die qualitativen methodischen Bausteine der Evaluierung bietet.

Die systematische Beweisführung einer Kontributionsanalyse besteht aus drei aufeinander aufbauenden Analyseschritten. Zunächst werden die Interventionslogiken der betrachteten Förderungen detailliert nachgezeichnet. In diesen Logiken werden erwartete Aktivitäten, Outputs, Ergebnisse und Wirkungen der Förderung, Hypothesen bezüglich Wirkungsmechanismen sowie vermutete interne und externe Einflussfaktoren beschrieben. Dazu wurde zunächst eine Wirkungslogik der geförderten Projekte nachgezeichnet (vgl. Abbildung 4). In einem zweiten Schritt wurden die in der Interventionslogik beschriebenen Wirkungsketten und Wirkungsmechanismen empirisch überprüft. In einem dritten und letzten Schritt wurden mögliche alternative Erklärungsmöglichkeiten insbesondere auf der Ebene von Ergebnissen und Wirkungen überprüft und deren alleinige Verantwortung für die beobachteten Veränderungen ausgeschlossen. Gelingt die skizzierte Beweisführung überzeugend, kann als bestätigt gelten, dass die untersuchten Förderungen einen kausalen Beitrag zur Erreichung wesentlicher Förderziele leisten.

³ Vgl. Mayne, J. (2011): Addressing Cause and Effect in Simple and Complex Settings through Contribution Analysis. In: Schwartz, R., Forss, K., Marra, M. (Hg.): Evaluating the complex: Attribution, Contribution and Beyond, S. 53-96. New York, NY: Transaction; DG Regio und DG Empl (2015): Monitoring and Evaluation of European Cohesion Policy. ERDF, ESF, CF, Guidance Document on Evaluation Plans.

Abbildung 4: Interventionslogik



Eigene Darstellung Ramboll Management Consulting.

3.2 Arbeitsschritte

Für die Adressierung der in Kapitel 3.1 beschriebenen Untersuchungsfragen wurden verschiedene Erhebungs- und Analyseschritte umgesetzt. Abbildung 5 stellt die vier Phasen der Evaluierung mit den jeweiligen Arbeitsschritten schematisch dar.

Abbildung 5: Methodisches Vorgehen



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll Management Consulting.

01 Projektetablierung

Im Rahmen der Projektetablierung wurde ein Auftaktgespräch mit einer Vertreterin der SWH geführt. Das Evaluationskonzept wurde vorgestellt und die Verfügbarkeit und Übergabe von Programmdokumenten geklärt. Im Anschluss wurde das Konzept zudem mit der EFRE-

Verwaltungsbehörde der Senatorin für Wirtschaft, Arbeit und Europa (SWAE) abgestimmt.

02 Konzeptionsphase

Die anschließende Konzeptionsphase umfasste drei Schritte: (1) ein interner Kick-off-Workshop, in dem ein Stakeholder-Mapping zur Identifikation relevanter Akteure sowie die gemeinsame Analyse bestehender Strategiedokumente durchgeführt wurden, (2) die weitergehende Analyse relevanter Dokumente und Programmdaten sowie (3) die Erarbeitung von Leitfäden für die geplanten Interviews.

Für die Analyse relevanter Dokumente und Programmdaten wurden insbesondere Dokumente, die den Antrags- und Bewilligungsprozess darstellten, Protokolle der Besprechungen zur Abwicklung der Förderung zwischen Vertreter:innen der SWH sowie der SWAE und Zuwendungsempfänger herangezogen. Des Weiteren wurden die Monitoringdaten zum OP EFRE ausgewertet, um Hinweise über die materielle und finanzielle Umsetzung der Projekte zu erhalten.

03 Erhebungsphase

In der Erhebungsphase wurden sieben Interviews mit Expert:innen im Bereich Wasserstoff und mit Akteuren geführt, die in der Umsetzung der Projekte involviert sind bzw. waren. Die als Videokonferenz oder telefonisch durchgeführten Interviews dienten der Erhebung von Einschätzungen zur Relevanz, Kohärenz, Umsetzung und Wirkung der Fördermaßnahme.

04 Synthesephase

Im Rahmen der Synthesephase wurden alle gewonnenen Erkenntnisse aus den vorangegangenen Phasen im Hinblick auf die Untersuchungsschwerpunkte und Fragestellungen der Evaluierung zusammengeführt und vertiefend ausgewertet (Ergebnistriangulation).

Ein wichtiger Bestandteil der Auswertung war der intern durchgeführte Auswertungsworkshop. Ziel des Workshops war es, Befunde, die von allen Analysen gestützt wurden, herauszuarbeiten. Außerdem wurden widersprüchliche Befunde diskutiert, analysiert und entsprechend eingeordnet. Weiterhin wurde eine Bewertung der Aussagekraft der Ergebnisse der verschiedenen Analysen vorgenommen sowie offenbleibende und weiterführende Fragestellungen ausgewiesen.

4. STECKBRIEFE DER UNTERSUCHTEN PROJEKTE

Die Maßnahme „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ setzt sich aus drei verschiedenen Teilmaßnahmen zusammen (vgl. Abbildung 2 in Kapitel 1.1). Dabei wird zum einen der Aufbau von Infrastruktur in Form eines Elektrolyse-Testfeldes gefördert, das zukünftig die Produktion und Speicherung von grünem Wasserstoff ermöglichen soll (siehe Kapitel 4.1). Zum anderen werden Machbarkeitsstudien zum Einsatz von Wasserstoff in verschiedenen Anwendungsbereichen gefördert (siehe Kapitel 4.2 und 4.3). Die Maßnahme deckt auf diese Weise die gesamte Wertschöpfungskette von Wasserstoff ab: von der Produktion über die Speicherung bis zur Erprobung von Anwendungen. Im Folgenden werden die Projekte detailliert in Form von Steckbriefen dargestellt.

4.1 Steckbrief zum Elektrolyseur-Testfeld

Elektrolyseur-Testfeld	
	Zuwendungsempfänger: Fraunhofer Institut für Windenergiesysteme (IWES)
	Standort: Stadt Bremerhaven
	Laufzeit: 1. Januar 2020 – voraussichtlich September 2023
	Förderfähige Ausgaben: 16.163.971 Euro
	Fördergegenstände: • Infrastruktur für die Stellplätze von Testelektrolyseuren (zehn Einheiten) • Zwei Elektrolyse-Einheiten (Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEM) und alkalische Elektrolyse (AEL)) mit einer Nennleistung von je 1 MW
	Hintergrund und Relevanz: Die Erzeugung von grünem Wasserstoff erfolgt mittels eines Elektrolyse-Verfahrens, bei denen Wasser (H ₂ O) in seine chemischen Komponenten Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O ₂) zerlegt wird. Dies geschieht durch den Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien. Aufgrund der schwankenden Energieversorgung von erneuerbaren Energiequellen steht die Erzeugung vor spezifischen Herausforderungen, deren Auswirkungen bisher wenig erforscht sind.
	Umsetzung und Genese: Auf Basis bereits bestehender Forschungsinfrastruktur soll ein neues Elektrolyseur-Testfeld entstehen.



Ziele der Teilmaßnahme:

Das Testfeld, zusammen mit einer neu angeschafften „liquid organic hydrogen carrier“ (LOHC, dt. flüssige organische Wasserstoffträger) Einheit und Brennstoffzelle ermöglicht den gesamten Kreislauf von Wasserstofferzeugung, über Speicherung bis zur Nutzung abzubilden und zu erforschen. Dadurch können die Forschenden die Herstellung von Wasserstoff bei schwankender Energiezufuhr (primär aus Windenergie) erforschen und lokale Unternehmen auf grünem Wasserstoff zugreifen und diesen nutzen. Die Schaffung der Produktionskapazitäten von Wasserstoff soll zudem einen Anreiz für weitere Wasserstoff-Anwendungen geben. Diese können parallel entwickelt werden, sodass sich Bremerhaven langfristig zu einem Kompetenzzentrum für Wasserstoff entwickeln kann.

Darüber hinaus intendierte Wirkungen:

Nach Projektende wird das Testfeld in den Dauerbetrieb übergehen. Im Vollbetrieb sollen rund 400 kg Wasserstoff täglich erzeugt werden. Dies entspricht einer CO₂-Reduktion von 4 t am Tag im Vergleich zur Produktion von Wasserstoff, der aus fossilen Quellen erzeugt wurde.

Quellen: Förderantrag, Sachstandsberichte, Interviews.

4.2 Steckbrief zu den Anwendungsstudien

Studie „Anwendungsentwicklungen von Wasserstoff“

**Zuwendungsempfänger:**

Hochschule Bremerhaven

**Standort:**

Stadt Bremerhaven

**Laufzeit:**

Juni 2020 – Oktober 2022

**Förderfähige Ausgaben:**

3.428.931,63 Euro

**Fördergegenstände:**

- Koordinierung der Studieninhalte durch die Hochschule Bremerhaven
- Vier Teilstudien im Rahmen des Modellprojekts „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“

**Hintergrund und Relevanz:**

Im Rahmen des Modellprojekts „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ sollen neben der Erforschung des Elektrolyse-Testfeldes (vgl. Steckbrief 4.1) auch vier Anwendungsmodelle von Wasserstoff erforscht werden.

**Umsetzung und Genese:**

Die Studie beinhaltet vier Teilstudien zu diversen Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff. Die Studien fokussieren sich auf folgender Themenfelder:

1. Entwicklung autarker Einheiten/Microgrids

Die Teilstudie zielt darauf ab, Grundlagen autarker Einheiten (sog. Microgrids) zu erforschen. Hierzu soll ein Microgrid Testlabor an der Hochschule Bremerhaven errichtet werden, wo Anwendungsmodelle im Labor-Testbetrieb untersucht werden. Zwei Anwendungsmodelle werden in der Studie berücksichtigt:

- **Microgrids, die selbst Wasserstoff erzeugen**, bspw. durch erneuerbare Energien. Relevante Fragen sind hierbei die Sicherheit, Lebensdauer, Benutzerfreundlichkeit, Wartungsfreiheit und Energieautarkie der Microgrids.
- **Microgrids, die mit Treibstoff fremdversorgt werden**, aber auf erneuerbare Energieversorgung umgestellt werden sollen, wie es bspw. bei Schiffen der Fall ist. Relevante Fragen sind hierbei Speicherdichte, die kontinuierliche Versorgung und die Betriebssicherheit.

2. Entwicklung von E-Fuels/Alternative Kraftstoffe aus Wasserstoff

Kraftstoffe, die aus Wasserstoff entwickelt wurden, sollen im Hinblick auf Speicherdichte, Handhabbarkeit, und Integrationsfähigkeit in den

Transportsektor beforscht werden. Hierzu sollen im Labormaßstab verschiedene Verfahren untersucht werden. Dazu soll eine Versuchsanlage für die Herstellung von synthetischem Erdgas (SNG) und der verflüssigten Form von Erdgas (LNG) im Labor-/Technikumsmaßstab gebaut werden.

3. Begleitung des Einsatzes von Wasserstoff in Logistik und Mobilität

Der Einsatz von Wasserstoff in Arbeitsfahrzeugen soll im Fischereihafen, im Gewerbegebiet Lune Delta und im Stadtgebiet Bremerhavens begleitet und wissenschaftlich untersucht werden, sodass Einsatzmöglichkeiten von Wasserstofffahrzeugen in der privaten Wirtschaft identifiziert werden und die individuellen Erfordernisse mit möglichen Technologien und Fahrzeugen am Markt abgeglichen werden. In der anschließenden Anwendungsphase sollen Unternehmen im Umrüstungsprozess, in der technischen Anwendung und in der Personalschulung wissenschaftlich begleitet werden. Außerdem werden die Unternehmen unterstützt, Fördermittel einzuwerben.

4. Entwicklung eines Wasserstoff-Ofens

Im Rahmen dieser Studie wird erforscht, in welchen Bereichen der Lebensmittelproduktion Wasserstoff anstelle konventioneller Energieträger verwendet werden kann. Dies wird am Beispiel eines Ofens untersucht, der mit Wasserstoff betrieben wird. Dies bedarf der Konstruktion eines Wasserstoffbrenners und anschließende Tests im Umgang.



Ziele der Teilmaßnahme:

Insgesamt soll mit Hilfe der Studien die jeweils benötigte Technik für die Anwendung von Wasserstoff entwickelt und erprobt werden, sodass eine anschließende Überführung in die Industrie ermöglicht wird.

1. Entwicklung autarker Einheiten/Microgrids

Wasserstoff als Speichermedium ermöglicht die Energieversorgung von autarken Einheiten, unabhängig von saisonalen oder Tageszeiten-bedingten Energieschwankungen. Dadurch können große Gebiete oder Einheiten auf Basis von Photovoltaik und Wind mit Wasserstoff als Speichermedium langfristig CO₂-neutral versorgt werden. Für kleine Einheiten kann die Versorgung zudem ohne Netzanschluss sichergestellt werden.

2. Entwicklung von E-Fuels/Alternative Kraftstoffe aus Wasserstoff

Die Ergebnisse der Versuchsanlage zur Herstellung von SNG sollen die Basis für größere Pilot- und Produktionsanlagen sein, sodass langfristig der Mobilitäts- und Transportsektor auf Wasserstoff umgestellt werden kann.

3. Begleitung des Einsatzes von Wasserstoff in Logistik und Mobilität

Die Ergebnisse sollen Aussagen zum Arbeitsaufwand bei der Umstellung von Batterie zu Brennstoffzelle, zur Begleitung der Motorumrüstung, zur Untersuchung von Wasserstoff- und Energieverbrauch, zur Betrachtung zusätzlicher Sicherheitsregeln, zum Personal-Training sowie zur Erfassung der Einsatzzeiten und Fahrstrecken ermöglichen. Langfristig soll der Einsatz von Wasserstoff in Fahrzeugen zu einer Reduktion von CO₂-Emissionen führen, welche mit Hilfe von Benchmarking-Kriterien und Monitoringprogrammen erfassbar gemacht werden.

4. Entwicklung eines Wasserstoff-Ofens

Ziel der Entwicklung des Wasserstoff-Ofens ist es, Lebensmittelherstellern die Verwendung von Wasserstoff anhand des Ofens näher zu bringen, sodass die

Technologie in Wirtschaftsbereichen wie der Lebensmittelherstellungen übernommen wird. Langfristig soll der Einsatz von Wasserstoff in der Lebensmittelproduktion zu einer Reduktion von CO₂-Emissionen führen.

Quellen: Förderantrag, Sachstandsberichte, Interviews.

4.3 Steckbrief zur LiDAR-Boje

	Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES)
	Standort: Stadt Bremerhaven
	Laufzeit: 2. Januar 2020 – voraussichtlich September-2023
	Förderfähige Ausgaben: 686.525,00 Euro
	Fördergegenstand: Die Entwicklung einer wasserstoff-betriebenen LiDAR-Boje (Light detection and ranging-Boje)⁴
	Hintergrund und Relevanz: Bisher sind maritime Anwendungen von Wasserstoff, insbesondere in der Schifffahrt, selten. Daher benötigt es die weitere Erforschung des Trägermaterials LOHC (liquid-organic hydrogen carrier, zu Deutsch flüssige organische Wasserstoff Träger) im maritimen Bereich.
	Umsetzung und Genese: Um die Verwendung von LOHC in maritimen Bereichen zu erforschen, wird eine Forschungsboje des Fraunhofer IWES dahingehend umgebaut, dass sie mit Wasserstoff als Energiequelle betrieben werden kann. Der dafür notwendige Wasserstoff soll aus dem ebenfalls geförderten Elektrolyseur-Testfeld des IWES stammen (vgl. Steckbrief zum Elektrolyseur-Testfeld).
	Ziele der Teilmaßnahme: Im Rahmen der Studie wird eine wasserstoffbasierte LiDAR-Boje entwickelt, auf deren Anwendungsergebnissen weitere Wasserstoffanwendungen entwickelt werden können. Langfristig soll damit auch der Wasserstoff-Antrieb von Schiffen ermöglicht werden, sodass CO ₂ -Emissionen in der Schifffahrt reduziert werden.

Quellen: Förderantrag, Sachstandsberichte, Interviews.

⁴ Eine LiDAR-Boje misst Windgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Höhen in Offshore-Windparks. Für den Betrieb bedarf es einer mehrmonatigen, ununterbrochenen Stromversorgung auf hoher See.

5. ERGEBNISSE DER RELEVANZANALYSE

Im folgenden Kapitel wird die Relevanz der Maßnahme analysiert. Hierfür wird zunächst die grundsätzliche Ausrichtung der EFRE-Förderung untersucht (**strategische Relevanz**). Hierbei wird beleuchtet, inwiefern unter den gegebenen Rahmenbedingungen Förderbedarfe bestehen. Vor diesem Hintergrund wird schließlich geprüft, ob der Förderansatz grundsätzlich geeignet ist, die Bedarfe der Zielgruppe zu adressieren (**praktische Relevanz**).

5.1 Strategische Relevanz

Die strategische Relevanz der Maßnahme im Bereich Wasserstoff kann als hoch bewertet werden. Wie im Folgenden dargelegt, kommt dem Bereich Wasserstoff im Zuge der Energiewende und somit zur Erreichung von Klimaschutzziele eine hohe Bedeutung zu, jedoch bestehen weiterhin Erforschungsbedarfe zur Erzeugung und Speicherung Wasserstoff bzw. zur Anwendung dieses Energieträgers.

Wasserstoff ist eine Schlüsseltechnologie der Energiewende und somit für den erfolgreichen Klimaschutz von hoher Bedeutung. Der Bedarf an Wasserstoff wird sich bis zum Jahr 2030 etwa verdoppeln.

Grüner Wasserstoff ist ein CO₂-freier Energieträger, dem in folgenden Bereichen der Energieversorgung eine potenziell zentrale Funktion zu kommt bzw. zu kommen wird (vgl. BMWi, 2020):

- Wasserstoff kann als **Speichermedium** für überschüssigen Strom fungieren. Auf diese Weise können Fluktuationen in der Stromerzeugung durch erneuerbare Energiequellen auf der einen Seite und der Stromnachfrage in Industrie und Privatsektor auf der anderen Seite ausgeglichen werden.
- Wasserstoff kann **fossile Energieträger ersetzen** oder als **Basis für synthetische Energieträger** dienen. Dadurch ermöglicht Wasserstoff eine Einsparung von CO₂-Emissionen in Bereichen mit hohem Energiebedarf, der allein durch Elektrifizierung nicht gedeckt werden kann.

Vor diesem Hintergrund ist in Deutschland ein starker Anstieg des Bedarfs an Wasserstoff zu erwarten. Derzeit werden jährlich rund 55 TWh Wasserstoff in Industrieanwendungen stofflich verwertet (Bundesregierung, 2020). Die Nationale Wasserstoffstrategie⁵ geht für das Jahr 2030 von einem jährlichen Bedarf von circa 90 bis 110 TWh aus, was in etwa einer Verdopplung der benötigten Menge entspricht. Bis 2050 steigt diese auf 110-380 TWh an. Diese Einschätzung wird in seiner groben Ausrichtung anhand von Ergebnissen einer 2021 veröffentlichten Metastudie bestätigt. Die Metastudie basiert auf vier EU-weiten und acht nationalen Studien und kommt zum Schluss, dass in Deutschland bis 2030 ein jährlicher Bedarf von bis zu 80 TWh bestehen wird. Im Zeitraum bis 2050 weisen die untersuchten Studien hingegen eine deutlich größere Bandbreite auf. In Abhängigkeit von den zugrunde liegenden Annahmen wird ein Bedarf in den Bereichen von entweder 170-450 oder 400-800 TWh prognostiziert (Wietschel, 2021).

Seit dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine und den Folgen auf die deutsche Energiewirtschaft und -politik kommt der Wasserstoff-Technologie zweifelsohne eine noch größere Rolle zu. Wasserstoff kann mittelfristig dazu beitragen die Energieversorgung zu stabilisieren und die Energiequellen zu diversifizieren (vgl. Nationaler Wasserstoffrat, 2022). Die stark steigenden Preise fossiler Energieträger, insbesondere Gas, führen zudem zu einer verstärkten Nachfrage

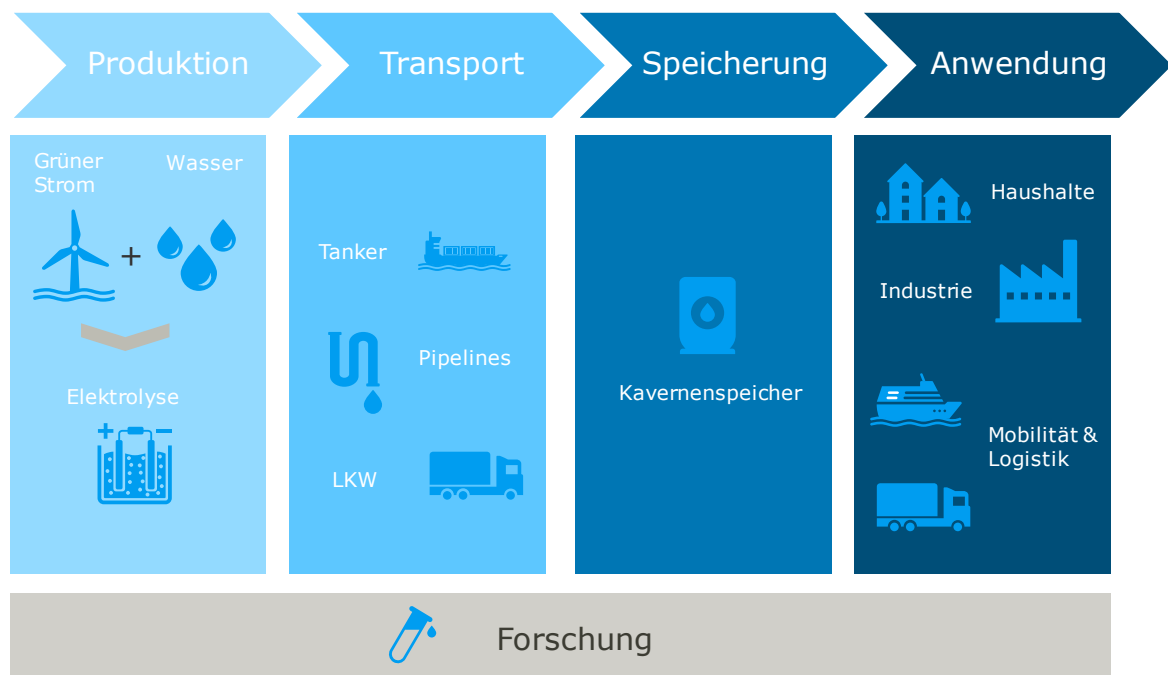
⁵ Die Strategie wurde im Jahr 2020 verabschiedet; vor dem Hintergrund der oben dargestellten Auswirkungen des russischen Angriffskrieges und der damit verbundenen Ausweitung der Wasserstoffwirtschaft gehen manche Expert:innen von einem zunehmenden Boom der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland aus (z. B. Stiftung Wissenschaft und Politik, 2022)

nach grünem Wasserstoff auf dem Weltmarkt, da dieser in Teilen Europas, dem Mittleren Osten und Afrika bereits günstiger als fossile Energieträger ist (vgl. Witsch, 2022).

Entlang der gesamten Wertschöpfungskette bietet Bremerhaven gute Rahmenbedingungen, insbesondere für die Anwendung von Wasserstoff.

Um das gesamte Potenzial der Technologie ausschöpfen zu können ist es gemäß der Nationalen Wasserstoffstrategie von hoher Bedeutung, Wasserstoff entlang der gesamten Wertschöpfungskette in den Blick zu nehmen. Das heißt es bedarf Forschung entlang der Produktion bzw. des Imports und der Speicherung, der Infrastruktur und der Anwendung von Wasserstoff. Hierfür bieten Norddeutschland und das Land Bremen, dabei insbesondere Bremerhaven, gute Rahmenbedingungen (vgl. auch Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstenländer, 2019). Diese werden bereits im Rahmen verschiedener (Forschungs-)Projekte genutzt bzw. erprobt und gestärkt (BIS Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH, 2022), was der Region attestiert, die Relevanz von Wasserstoff frühzeitig erkannt und gefördert zu haben.

Abbildung 6: Wertschöpfungskette von Wasserstoff



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll Management Consulting.

- Bremerhaven verfügt über mehrere Institute und Forschungseinrichtungen, die **Wasserstoff-Forschung** betreiben. Dazu gehört neben den Wissenschaftsakteuren (das Fraunhofer IWES, die Hochschule Bremerhaven, das Technologie-Transfer-Zentrum (ttz) Bremerhaven und das Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL)), auch das Wasserstoff-Know-how in einer Vielzahl von Unternehmen (BIS Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH, 2022).
- Für die **Produktion** von grünem Wasserstoff muss Wasser (H_2O) in seine Komponenten Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O_2) zerlegt werden. Dies geschieht mittels des chemischen Verfahrens der Elektrolyse. Die Kapazität aller aktuell bestehender und geplanter Elektrolyseure in Deutschland kann bis 2030 eine Leistung von rund vier bis acht GW abgedeckt werden (acatech, DECHEMA 2022). Eine Umfrage unter den Mitgliedern des Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verbandes e.V. (DWV) sieht den Aufbau der

Produktionskapazität von rund 28 GW bis 2030 schneller voranschreiten (DWV, 2022). Da Elektrolyseure zur Erzeugung von grünem Wasserstoff grünen Strom benötigen, wird den norddeutschen Bundesländern aufgrund ihrer geografischen Nähe zu Offshore-Windparks eine wichtige Rolle zugeschrieben (Merten et al., 2020). Bereits heute haben diese Bundesländer eine hohe Erzeugungskapazität von On- und Offshore-Windstrom, die zukünftig noch stärker ausgebaut wird. Rund 20 Prozent des kumulierten Leistungsbestands für Windenergie in Deutschland befindet sich derzeit in Niedersachsen (Deutsche WindGuard, 2022). Bremen und Bremerhaven profitieren zwar von der Nähe zur vorhandenen Windkraftkapazität in Norddeutschland, das Land selbst hat jedoch aus Sicht einzelner interviewter Expert:innen nicht ausreichend eigene Windenergieanlagen und Anschlussmöglichkeiten ans Netz, um sich als großer Produktionsstandort zu etablieren.

- Deutschland wird zukünftig nicht in der Lage sein, seinen Bedarf an grünem Wasserstoff vollständig durch eigene Produktion abzudecken, da die benötigte Menge an grünem Strom nicht ausreichen werden. Daher wird der Wasserstoff-Import von hoher Bedeutung sein (Wietschel et al., 2020). Der **Import** von Wasserstoff kann entweder über Schiffstransporte oder Pipelines erfolgen, ergänzt um LKW-Transporte für kurze Strecken. Verschiedene Studien kommen zu dem Ergebnis, dass Schiffstransporte im Vergleich zum Transport durch Pipelines deutlich teurer sind, da die hierfür stattfindende Verflüssigung des Wasserstoff-Gases sehr energieintensiv sei. In Pipelines könnte Wasserstoff hingegen in gasförmigem Zustand transportiert werden. Daher rechnet sich der Wasserstoff-Transport via Schiff erst bei großen Distanzen; Merten et al. (2020) und SCI4climate.NRW (2021) kommen zu dem Schluss, dass Schiffstransporte bei Distanzen ab 4.000 bzw. 5.000 km günstiger seien, der Nationale Wasserstoffrat hingegen sieht Pipelines bei Distanzen bis zu 10.000 km im Kostenvorteil (Nationale Wasserstoffrat, 2021). Die bestehenden Pipelines müssten jedoch auf den Gebrauch für Wasserstoff umgerüstet werden, sodass zumindest kurzfristig Schiffsimporte kostengünstiger seien (ebd.). Bremerhaven verfügt über eine Pipeline, durch die derzeit jedoch Erdgas transportiert wird. Kurzfristig sei laut einer interviewten Expert:in daher keine Pipelinekapazität für den Transport von Wasserstoff vorhanden. Die Wasserstoffstrategie des Landes Bremen sieht jedoch eine „einmalige Chance die bremischen Häfen als Standort für diese neuen Transportgüter zu etablieren“ (S.13). Festzuhalten ist, dass es zum derzeitigen Stand noch nicht absehbar ist, welcher Anteil des zukünftigen Wasserstoffbedarfs durch inländische Wasserstoffproduktion gedeckt wird; einem interviewten Experten wird dies von der Ausbaugeschwindigkeit regenerativer Stromerzeugung in Deutschland sowie den Entwicklungen des internationalen Preisniveaus abhängen.
- Die **Speicherung** von großen Mengen an Wasserstoff ist in sogenannten Kavernenspeichern möglich. Kavernenspeicher werden durch Bohrungen in Salzstöcken mit einer Tiefe von etwa 500 bis 2.500 Meter künstlich geschaffen (Scholz, 2021). Aufgrund geologischer Bedingungen sind Kavernen überwiegend im Norden Deutschlands vorhanden sind (Agert et al., 2020). Bremen bzw. Bremerhaven verfügt selbst jedoch über keine solcher Speicher. Aktuell werden die bestehenden Kavernenspeicher zur Einlagerung von Erdgas genutzt, können mittelfristig aber auch zur Speicherung von Wasserstoff genutzt werden (Göbel, 2022). Die Speicherung von kleineren Wasserstoffmengen erfolgt als chemisch gebundener Wasserstoff z. B. in Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC).
- In Bremerhaven finden sich einige Bereiche bzw. Industrien, für die eine **Anwendung** von Wasserstoff von hoher Bedeutung sind. Hierzu zählen insbesondere Bereiche, bei denen es bisher keine Möglichkeiten der vollständigen Elektrifizierung oder anderweitige Dekarbonisierung gibt. Liebreich (2021) zufolge sind dies insbesondere die chemische Industrie und die Stahlindustrie. Darüber hinaus ist Wasserstoff im Bereich Mobilität und Logistik von besonderer Relevanz für die maritime Schifffahrt und Küsten-/Binnenschifffahrt und an Land für Maschinenanwendungen. In einigen dieser Bereiche wird die Anwendung bereits im Rahmen von Forschungsprojekten im Land Bremen vorangetrieben. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang insbesondere das Forschungsprojekt HyBit, im Rahmen dessen in Bremen eine Elektrolyseanlage mit einer Leistung von 10 MW errichtet wird. Diese soll Wasserstoff für das Bremer Stahlwerk produzieren und somit die Anwendung von Wasserstoff

in der Stahlindustrie erproben. Außerdem gibt es im Umfeld des Hafens mehrere Anwendungsfelder, hierzu gehören der Hafen und die maritime Wirtschaft selbst, aber auch die Logistik und die Lebensmittelverarbeitung. Als weniger relevant schätzen interviewte Expert:innen den Gebrauch von Wasserstoff für die Wärmeerzeugung in Privathaushalten ein. Der Grund hierfür ist, dass die Wärmeerzeugung durch strombetriebene Wärmepumpen einen deutlich höheren Effizienzgrad aufweist als die Nutzung von Strom zur Herstellung von Wasserstoff.

In vielen dieser Anwendungen besteht Förderbedarf, weil sie bisher noch nicht ausreichend erforscht worden sind. Zudem werden Anreize benötigt, um Wasserstoff in diesen Bereichen in die Markteinführung zu bringen.

Wasserstoff-Produktion bedarf nur noch wenig weiterer industrieller Forschung, da es bereits seit Längen eine bedeutende Rolle als Ausgangsstoff und Prozessgas in industriellen Anwendungen spielt (Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstenländer, 2019).⁶ Dennoch ist die Transformation der Wirtschaft zur standardisierten Anwendung von Wasserstoff aufgrund vieler Unsicherheiten mit (wirtschaftlichen) Risiken behaftet. Beispielsweise bleibt abzuwarten, ob Deutschland in Zukunft ausreichend Wasserstoff produzieren oder importieren kann, um alle Sektoren und Anwendungen zu versorgen. Zudem ist unsicher, zu welchen Preis Wasserstoff langfristig verfügbar sein wird und in welchen Industrien die Nutzung sich als wirtschaftlich erweisen wird (Ueckerdt et al., 2021). Daher bedarf es derzeit noch weitere Erprobungen von Anwendungen, die die Möglichkeiten von Wasserstoff erforschen, optimieren und aufzeigen, sodass langfristig eine großflächige Anwendung in der Industrie ermöglicht wird.

5.2 Praktische Relevanz

Die Maßnahme „Wasserstoff – Grünes Gas für Bremerhaven“ wird mit circa 20 Mio. Euro aus dem EFRE-Programm des Landes Bremen gefördert. Die Förderhöhe der Teilmaßnahmen ist in den Steckbriefen in Kapitel 4 näher erläutert. Zuwendungsempfänger waren das Fraunhofer IWES, die Hochschule Bremerhaven sowie das ttz Bremerhaven (siehe Kapitel 4).

Die Förderkonditionen der EFRE-Förderung entsprechen den Unterstützungsbedarfen der wissenschaftlichen Einrichtungen in Bremerhaven.

Die interviewten Vertreter:innen der wissenschaftlichen Einrichtungen sowie eine Expertin bewerten die Ausgestaltung der Förderkonditionen insgesamt als sehr gut geeignet, um ihre Unterstützungsbedarfe zu adressieren. Mit Blick auf die Teilmaßnahme „Anwendungsentwicklungen von Wasserstoff“ wurde dabei die Offenheit der Fördermaßnahme hinsichtlich verschiedener Anwendungsgebiete sehr positiv bewertet; oftmals ist die Forschungsförderung von Wasserstoff diesbezüglich stärker eingeschränkt (z. B. auf Anwendungen in Mobilität und Logistik, siehe Kapitel 6). Auf diese Weise konnten die wissenschaftlichen Einrichtungen ihre Fördervorhaben an den konkret identifizierten Bedarfen der Industrie in Bremerhaven ausrichten. Hierzu wurde vor Beginn der Förderung eine Vorstudie erstellt, die wiederum aus EFRE-Mitteln finanziert wurde (vgl. Werner et al., 2019). Hinsichtlich der Förderung des Elektrolyse-Testfeldes wurde hingegen von Seiten der interviewten Vertreter:innen des Zuwendungsempfängers das hohe Fördervolumen besonders positiv hervorgehoben. Auf diese Weise wurde der Aufbau von Infrastruktur zur Wasserstoffproduktion ermöglicht.

⁶ Wie im Absatz zur Wasserstoff-Produktion aufgezeigt wurde, liegt der TRL je nach Art der Elektrolyse bei 4-6 bis zu 9. Industrielle Forschung liegt auf den TRL 2-4.

6. ERGEBNISSE DER KOHÄRENZANALYSE

Im Folgenden wird die Kohärenz der Fördermaßnahme „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ zu anderen Förderprogrammen untersucht. Dazu werden Alleinstellungsmerkmale und Synergien der Förderung gegenüber angrenzenden Förderprogrammen der EU, des Bundes und der Länder identifiziert. Es wird die Frage thematisiert, ob und inwiefern Lücken und Doppelungen in der Förderarchitektur vorhanden sind und welche Ableitungen bzgl. einer zukünftigen Förderung im Themenbereich Wasserstoff getroffen werden können.

Um die Kohärenz zu überprüfen, werden alle einschlägigen Förderprogramme auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene entlang folgender Abgrenzungskriterien mit der Fördermaßnahme „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ verglichen:

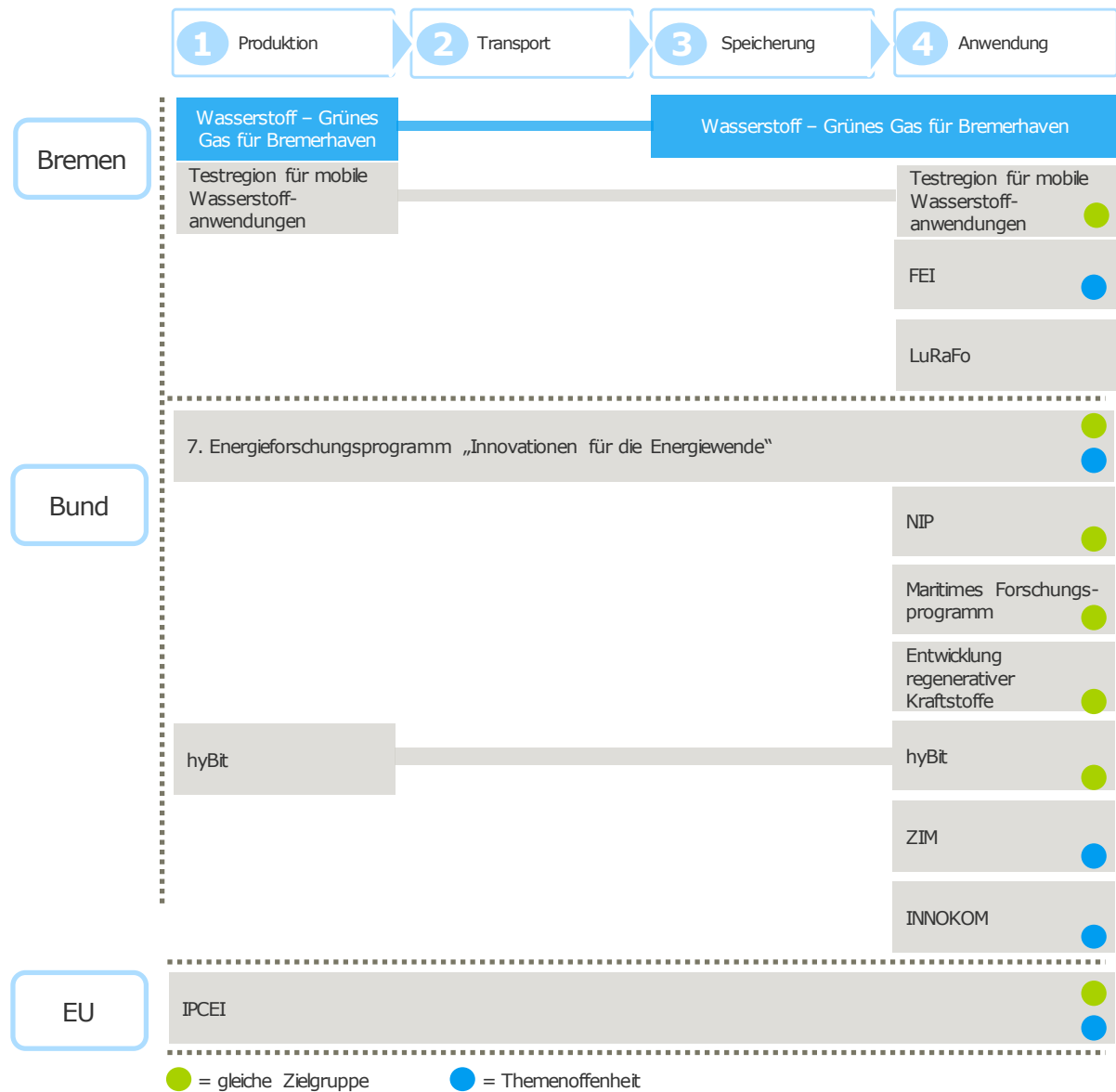
- Thematische Ausrichtung
- Zielgruppe

Verortung der Programme entlang der Wertschöpfungskette von Wasserstoff (vgl. hierzu Um das gesamte Potenzial der Technologie ausschöpfen zu können ist es gemäß der Nationalen Wasserstoffstrategie von hoher Bedeutung, Wasserstoff entlang der gesamten Wertschöpfungskette in den Blick zu nehmen. Das heißt es bedarf Forschung entlang der Produktion bzw. des Imports und der Speicherung, der Infrastruktur und der Anwendung von Wasserstoff. Hierfür bieten Norddeutschland und das Land Bremen, dabei insbesondere Bremerhaven, gute Rahmenbedingungen (vgl. auch Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstenländer, 2019). Diese werden bereits im Rahmen verschiedener (Forschungs-)Projekte genutzt bzw. erprobt und gestärkt (BIS Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH, 2022), was der Region attestiert, die Relevanz von Wasserstoff frühzeitig erkannt und gefördert zu haben.

- Abbildung 6)

Die Zusammenstellung der Förderprogramme erfolgte anhand einer Onlinerecherche auf der einen Seite und den Ergebnissen der Interviews mit Vertreter:innen der geförderten wissenschaftlichen Einrichtungen auf der anderen Seite. Zur Analyse der Kohärenz wurde in einem ersten Schritt eine Verortung der Förderprogramme vorgenommen (siehe folgende Abbildung). Hierbei ist zu betonen, dass nur jene Programme dargestellt werden, die entweder explizit auf die Förderung von Wasserstoff abzielen oder in den Interviews mit Vertreter:innen der Zuwendungsempfänger als potenzielle Förderoptionen herausgestellt wurden. Darüber hinaus besteht auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene eine Vielzahl weiterer FuE- bzw. Innovationsförderangebote, mittels derer Projekte zu Wasserstoff gefördert werden können.

Abbildung 7: Verortung der EFRE-Fördermaßnahme im Förderumfeld



Quelle: SWAE und SKUMS (2021), Onlinerecherche, Interviews. Eigene Darstellung Ramboll Management Consulting.

Die thematische Offenheit der Fördermaßnahme „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ ist das zentrale Alleinstellungsmerkmal gegenüber der Mehrheit an Angeboten auf Landes- und Bundesebene.

Die einzige Vorgabe der Fördermaßnahme bestand darin, die Reduktion von CO₂-Emissionen als übergeordnete Zielsetzung zu adressieren. Der Fördergegenstand wurde thematisch nicht eingeschränkt, sodass in der Teilmaßnahme „Anwendungsstudien“ eine Vielzahl an sehr heterogenen Anwendungsfeldern adressiert werden konnte. Wie anhand Abbildung 7 zu erkennen ist, ist dahingegen ein Großteil der betrachteten Förderprogramme thematisch eingegrenzt. Beispielsweise werden im Rahmen der Förderprogramme des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) Wasserstoffanwendungen im Bereich Mobilität und Transport gefördert, das Maritime Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

fördert hingegen ausschließlich die Forschung zu Wasserstoffanwendungen im Bereich von Schiffsantrieben.

Thematisch nicht spezifiziert und für die Entwicklung von Wasserstoffanwendungen offen sind die Innovationsförderprogramme des BMWK: das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) sowie INNO-KOM. ZIM fördert jedoch primär kleine und mittlere Unternehmen (KMU), Forschungseinrichtungen können hingegen ausschließlich im Rahmen eines Verbundes mit KMU gefördert werden. Darüber hinaus setzt die Förderung von ZIM innerhalb des Innovationsprozesses deutlich später an. Die Teilmaßnahme „Anwendungsstudien“ fördert angewandte Forschung zu Wasserstoffanwendungen mit der Zielsetzung eines Proof-of-Concept. Der Fokus von ZIM liegt hingegen auf der industriellen Entwicklung von innovativen Produkten mit dem Ziel einer direkt anschließenden Markteinführung. Für die Zielgruppe ist ZIM daher als Förderprogramm zur marktrelevanten Weiterentwicklung der Ergebnisse aus den Anwendungsstudien relevant (Interviews).

INNO-KOM weist als Zielgruppe rechtlich selbständige gemeinnützige Forschungseinrichtungen aus, die weder Teil einer Hochschule sind noch einer grundfinanzierten Forschungseinrichtung angehören oder eine sonstige institutionelle Förderung von mehr als 20 Prozent (Grundfinanzierung) erhalten (BMWK 2023). Die Zuwendungsempfänger der betrachteten Fördermaßnahme sind für diese Förderung daher nicht antragsberechtigt.⁷

„Important Projects of Common European Interest“ (IPCEI) fördert die Erforschung von Wasserstoff entlang der gesamten Wertschöpfungskette und ist im Anwendungsbereich themenoffen. Es grenzt sich von der EFRE-Fördermaßnahme durch deutlich höhere Projektvolumen ab.

BMWK und BMDV haben im Rahmen der IPCEI-Förderung 62 deutsche Großvorhaben ausgewählt und hierfür acht Milliarden Euro zur Verfügung gestellt. Insgesamt sollen durch die Förderung Investitionen in Höhe von 33 Milliarden Euro ausgelöst werden (BMWK, 2022). An drei der geförderten Projekte sind in Bremen ansässige Unternehmen bzw. wissenschaftliche Partner maßgeblich beteiligt. Das Gesamtvolumen der drei Förderprojekte liegt bei etwa 2,4 Milliarden Euro (SWAE und SKUMS, 2021).

Auf Bundesebene zielt nur das 7. Energieforschungsprogramm auf die gesamte Wertschöpfungskette von Wasserstoff ab. Im Rahmen dieses Programms werden in Bremen aktuell zwei Projekte umgesetzt.

Das 7. Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende“ (seit 2021) ist als Rahmen für die Forschungsförderung und Innovationspolitik der Bundesregierung im Energiebereich zu verstehen. Die Förderung von Wasserstoff wird darin sowohl im Kontext der Sektorenkopplung als auch in den Bereichen Produktion und Speicherung als strategisch wichtiges FuE-Thema ausgewiesen. Im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms werden Vorhaben entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Produktion bis Anwendung sowie des gesamten Innovationszyklus (von Grundlagenforschung bis zur Markterschließung) gefördert.⁸

Konkret werden in Bremen zwei Projekte aus Mitteln des 7. Energieforschungsprogramms umgesetzt:

- Im Rahmen der Etablierung des mit 55 Mio. Euro geförderten Norddeutschen Reallabors werden acht Elektrolyseure mit einer Wasserstoff-Erzeugungskapazität von 42 MW betrieben, drei Projekte zur Abwärmenutzung in der Wasserstoffproduktion umgesetzt

⁷ Der Unterauftragnehmer ttz erfüllt hingegen die Förderbedingungen und befindet sich aktuell in einem Antragsverfahren (siehe Kapitel 8).

⁸ Am Energieforschungsprogramm sind neben BMWK auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Bereich Bioenergie und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) im Bereich der nuklearen Sicherheitsforschung beteiligt. Die Förderung von Wasserstoffforschung und -anwendung liegt bei BMBF und BMWK.

sowie eine Infrastruktur an Wasserstoff-Tankstellen erprobt. Das Norddeutsche Reallabor wird in den fünf norddeutschen Bundesländern umgesetzt.

- Das Projekt SHARC erarbeitet ein Konzept für die intelligente Integration von erneuerbaren Energien in die Energieinfrastruktur des Hafens in Bremerhaven; hierbei wurden auch Ansätze zur Förderung der Sektor-Kopplung unter Einsatz von Wasserstoff-Technologien untersucht. Die zur Verfügung gestellten Mittel betrugen etwa 2,5 Mio. Euro (SWAE und SKUMS, 2021).

Aus Sicht eines interviewten Vertreters eines Zuwendungsempfängers deckt das 7. Energieforschungsprogramm das Thema Wasserstoff zwar sehr umfassend ab, sei hinsichtlich der Nachfrage jedoch stark überzeichnet.

Von Seiten des Landes wird seit Juli 2021 die Etablierung einer Testregion für mobile Wasserstoffanwendungen in Bremerhaven gefördert.

Die Mittel in Höhe von fünf Mio. Euro stammen hierbei aus dem im Februar 2021 beschlossenen Maßnahmenpaket für die Bewältigung der Covid-19-Pandemie. Daher stellt die Förderung kein dauerhaft bestehendes Förderprogramm dar. Wie im Rahmen der Wirkungsanalyse gezeigt wird (siehe Kapitel 8), sind insofern positive Synergien zwischen der im Rahmen dieser Evaluation betrachteten Fördermaßnahme und der Landesförderung zu erwarten, als diese sich an den Ergebnissen der Anwendungsstudien anschließt.

Darüber hinaus können nach Aussage der interviewten Forschenden zwei landesseitige Innovationsförderprogramme für Wasserstoff-Projekte genutzt werden. Die Beihilfen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben und Durchführbarkeitsstudien im Rahmen der Richtlinie „Forschung, Entwicklung und Innovation“ (FEI) sowie das Luft- und Raumfahrt-Forschungsprogramm (LuRaFo) ist für bremische Einrichtungen für Forschung und Wissensverbreitung als Kooperationspartner eines Unternehmens im Rahmen von FuE-Verbundprojekten verfügbar. Laut Aussage einer interviewten Forscher:in können die Programme FEI und LuRaFo nur für deutlich kleiner dimensionierte Projekte genutzt werden. Bei FEI erhalten die Einrichtungen eine Fördersumme von maximal 100.000 Euro; bei LuRaFo geht aus den Förderdaten eine durchschnittliche Fördersumme von etwas über 100.000 Euro für wissenschaftliche Einrichtungen hervor. Die Fördermaßnahme „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ grenzt sich somit deutlich ab.

In der Gesamtschau hat die zu evaluierende Fördermaßnahme eine Lücke in der bestehenden Förderlandschaft ausgefüllt.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die Förderlandschaft zum einen aus sehr umfangreichen und anspruchsvollen Programmen auf Bundes- und EU-Ebene besteht. Hervorzuheben sind hierbei insbesondere die Programme IPCEI sowie das 7. Energieforschungsprogramm, deren Förderbeträge oftmals zweistellige Millionenbeträge erreichen und entsprechend schlagkräftige Konsortien für eine erfolgreiche Antragstellung notwendig sind.⁹ Darüber hinaus besteht nach Aussage einer Vertreter:in eines Zuwendungsempfängers eine große Nachfrage an den Programmen, was die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Förderung verringert. Zum anderen besteht von Bundes- und Landesseite eine Vielzahl an thematisch nicht spezifizierter Innovationsförderprogrammen für Verbundvorhaben mit KMU. Die Fördersummen liegen hierbei deutlich unterhalb derer der zu evaluierenden Fördermaßnahme.

Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass die bestehende Förderlandschaft thematisch eine Tendenz in Richtung des Themenkomplexes Mobilität aufweist. Wie aus der Analyse der strategischen Relevanz hervorgeht, ist Mobilität und Logistik eines der zentralen Anwendungsfelder für eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft. Weitere potenzialreiche Industrien wie beispielsweise die Lebensmittelindustrie, die chemische Industrie sowie die Metallindustrie

⁹ Im Rahmen der Wirkungsanalyse in Kapitel 8 wird gezeigt, dass die EFRE-Fördermaßnahme die geförderten wissenschaftlichen Einrichtungen in eine bessere Ausgangslage versetzt hat, sich an größeren Förderausschreibungen des Bundes zu beteiligen.

werden hingegen seltener als Anwendungsfelder adressiert. Nach Aussage eine:r Vertreter:in eines Zuwendungsempfängers hat die Fördermaßnahme „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ aufgrund ihrer Themenoffenheit zwei Teilstudien (Wasserstoff-Backofen und etwas weniger deutlich auch Microgrids) ermöglicht, die andernfalls nur geringe Chancen auf eine Förderung hätten.

7. ERGEBNISSE DER UMSETZUNGSANALYSE

Die geförderten Projekte sind entweder abgeschlossen oder weit fortgeschritten. Die Umsetzung der Projekte wird dabei grundsätzlich als gelungen bewertet.

Die Anwendungsstudien zu den Microgrids, E-Fuels, Wasserstoff in Logistik und Mobilität sowie zur Entwicklung eines Wasserstoff-Ofens sind alle im Dezember 2022 abgeschlossen worden, nachdem die Projektlaufzeiten aufgrund von Verzögerungen jeweils um einige Monate verlängert wurden. Die LiDAR-Boje und das Elektrolyseur-Testfeld befinden sich hingegen noch in der Umsetzung: die LiDAR-Boje ist derzeit in der ersten der zwei vorgesehenen Testphasen, das Elektrolyseur-Testfeld ist noch im Aufbau. Beide Projekte werden bis Ende 2023 abgeschlossen sein.

In den IST-Werten der Indikatoren zum Monitoring des EFRE OP spiegelt sich der Projektfortschritt bisher noch nicht wider. Gründe hierfür sind das entweder noch keine finalen Verwendungsnachweisprüfungen der inhaltlich abgeschlossenen Projekte erfolgt sind oder sich die Projekte noch in der Umsetzung befinden. Daher wird der IST-Wert aktuell¹⁰ mit Null ausgewiesen – dies gibt jedoch den aktuellen Stand der Umsetzung nicht vollständig wieder.

In der Umsetzung der Projekte sind Verzögerungen zu verzeichnen.

In der Umsetzung der Projekte kam es zu teils erheblichen Zeitverzögerungen, sodass die ursprüngliche Projektlaufzeiten von jeweils zwei Jahren um bis zu 18 Monate verlängert werden mussten. Aus den Interviews mit Beteiligten aller Projekte und den Sachstands- und Abschlussberichten gingen diverse externe Herausforderungen hervor, die die Umsetzung der Projekte erschwerten und verlangsamten:

- In Folge der Covid-19-Pandemie kam es zu **Einschränkungen** in der Nutzung von Laborräumen, sodass die Forschungstätigkeiten verlangsamt wurden. Im Rahmen der Anwendungsstudie zu Logistik und Mobilität konnten geplante Besuche bei Unternehmen sowie die vorgesehenen Treffen im Konsortium nicht wie geplant durchgeführt werden. Dies führte zu erschwerten Absprachen mit den Partnerunternehmen.
- Zudem kam es in Folge der Covid-19-Pandemie und den damit einhergehenden Auswirkungen auf globale Lieferketten zu Schwierigkeiten in der **Materialbeschaffung**. Alle durchgeführten Teilmaßnahmen waren davon betroffen. Bestimmte Materialien zum Bau des Elektrolyseur-Testfeldes konnten nur mit Verzögerung beschafft werden; bei der Teilstudie Logistik und Mobilität führten Schwierigkeiten bei der Beschaffung einer mobilen Betankungseinrichtung zu einer Verzögerung von fast einem Jahr. In der Teilstudie zum Microgrid und der Studie der LiDAR-Boje führte der Materialmangel zu einer Verzögerung von rund fünf bzw. sechs Monaten.
- Die geringe **Verfügbarkeit von Fachkräften** hat insbesondere bei der baulichen Umsetzung des Elektrolyseur-Testfeldes zu Verzögerungen geführt.
- Des Weiteren führten **Herausforderungen in der Vergabe von Aufträgen** zu Zeitverzögerungen. In einem der Projekte kam es zum Ausfall eines Zulieferers, sodass eine Neuvergabe notwendig wurde.
- Eine weitere Herausforderung stellte das **Zertifizierungs- bzw. Genehmigungsverfahren** verschiedener technischer Anlagen dar. Da die angewandten Technologien oftmals vergleichsweise neu sind, fehlt es sowohl bei Zertifizierungsstellen als auch den Genehmigungsbehörden derzeit noch an Normen und standardisierten Verfahren, sodass Prozesse teils verlangsamt wurden.

Die finanzielle Umsetzung der Projekte gestaltet sich überwiegend nach Plan.

¹⁰ Zum Stand Januar 2023

Aus Sicht der Projektbeteiligten hat sich die finanzielle Abwicklung der Projekte als insgesamt gut gestaltet. Die bereitgestellten Mittel waren in fast allen Projekten ausreichend bemessen; lediglich der Bau des Elektrolyseur-Testfelds benötigte eine Aufstockung um knapp 500.000 Euro der zuvor bewilligten Mittel in Höhe von rund 15 Millionen Euro (siehe Kapitel 4.1).

Der Abruf der Mittel wurde aufgrund der oben skizzierten Verzögerungen in der Projektumsetzung ebenfalls in mehreren Fällen verschoben. Entsprechend wurden bisher – je nach Umsetzungsstand der Teilmaßnahmen – unterschiedlich hohe Anteile der Mittel abgerufen. Auch hier ist stark davon auszugehen, dass die übrigen Mittel mit weiterem Projektfortschritt bzw. -abschluss im Jahr 2023 vollständig abgerufen werden.

Die administrative Abwicklung verlief aus Sicht der Beteiligten insgesamt sehr gut.

Insgesamt haben sich sowohl die Vertreterinnen und Vertreter der Zuwendungsempfänger als auch die Projektsteuernden des Landes Bremen als sehr zufrieden mit der administrativen Umsetzung der Projekte gezeigt. Die Zusammenarbeit zwischen der zwischengeschalteten Stelle und den Umsetzungsakteuren erfolgte weitestgehend reibungslos. Insbesondere die Kommunikation zwischen allen Beteiligten wurde als sehr positiv hervorgehoben. Zur administrativen Abwicklung der Projekte haben die Projektbeteiligten sowie die Verantwortlichen auf Seiten der SWAE regelmäßige Jour-Fixes abgehalten. Aus den Interviews und den Protokollen geht hierzu hervor, dass diese Jour Fixes einen großen Beitrag dazu geleistet haben, dass die finanzielle und administrative Abwicklung der Projekte gut funktioniert hat. Zum Beispiel konnten dadurch Änderungen im Projektverlauf frühzeitig besprochen und entsprechende Anpassungen in die Wege geleitet werden. Außerdem konnte sichergestellt werden, dass den formalen Anforderungen der EFRE-Förderung Rechnung getragen werden konnten.

8. ERGEBNISSE DER WIRKUNGSANALYSE

Im nachfolgenden Kapitel wird beurteilt, inwiefern die mit der Förderung intendierten Ergebnisse, insbesondere die Reduzierung von CO₂-Emissionen und den Erkenntnisgewinn aus der Forschung (vgl. Wirkungslogik in Kapitel 3.1) erreicht wurden bzw. noch erreicht werden. Konkret wird dazu analysiert, welche Ergebnisse auf Ebene der Maßnahme zu vermerken sind und wie sich die Wirkung der Förderung darstellt. Neben den Effekten der geförderten Projekte wurden auch externe Einflussfaktoren, die möglicherweise die Effekte beeinflussen könnten, mit beleuchtet.

Erste Impulse hin zu den anvisierten Wirkungen zu beobachten. Weitere Wirkungen der Förderung sind langfristig zu erwarten.

Zum Zeitpunkt der Evaluation ist es noch nicht möglich, die mit der Förderung angestoßenen Wirkungen umfänglich zu beurteilen bzw. anhand der verfügbaren Indikatoren zu messen. Wie in Kapitel 0 beschrieben, sind die Projekte entweder noch in der (baulichen) Umsetzung oder wurden erst kürzlich abgeschlossen. Dennoch deuten die bisher beobachteten Effekte darauf hin, dass die einzelnen Teilmaßnahmen ein hohes Potenzial aufweisen, Wasserstoff in die Anwendung zu bringen und langfristig als neuen Energieträger in der Industrie in Bremerhaven zu etablieren. Damit würde langfristig die Nutzung fossiler Energieträger reduziert werden und ein Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen geleistet.

Die geförderten Projekte etablierten und verfestigten Kooperationen zwischen Akteuren aus Wissenschaft und Wirtschaft. Synergieeffekte zwischen den Teilmaßnahmen wurden durch den engen Austausch genutzt und gegenseitiges Lernen ermöglicht.

Die interviewten Umsetzungsakteure betonen, dass dies durch die enge Zusammenarbeit der Partner:innen bei der Konzeptionierung und Umsetzung der Projekte bewirkt wurde. Beispielsweise nutzt die Hochschule Bremerhaven die Infrastruktur des Elektrolyseur-Testfeldes für Lehrzwecke, während die Forschungsinstitute durch den Kontakt einen vereinfachten Zugang zu Werkstudierenden erhalten. Gelingensbedingungen hierfür sind zum einen die enge Zusammenarbeit und der regelmäßige Austausch innerhalb und zwischen den verschiedenen Teilmaßnahmen sowie zum anderen die räumliche Nähe der Partner in Bremerhaven.

Es besteht ein hohes Interesse an einer weiteren Zusammenarbeit im Themenfeld Wasserstoff, das sich in der bereits erfolgten Planung einzelner Folgeprojekte widerspiegelt. Einem Interviewpartner zufolge sei der nächste Schritt der wissenschaftlichen Einrichtungen, ihre gemeinsamen Forschungsinteressen abzustimmen, um somit die Kooperation der Partner langfristig auszurichten.

Die Projekte haben einen Beitrag zum Kompetenzaufbau in den geförderten wissenschaftlichen Einrichtungen geleistet. Zudem werden die Ergebnisse auf unterschiedliche Weise in die Lehre der Hochschulen eingebunden.

Einige Interviewpartner:innen berichteten, dass die beteiligten Institute im Rahmen der Projekte Kompetenzen aufbauen konnten, die es ihnen ermöglichen, sich in Zukunft neue Bereiche im Themenfeld Wasserstoff zu erschließen. Grundsätzlich weist eine Vielzahl der Forschenden in den Projektteams hohe Expertise im Themenfeld Windenergie auf; der vergleichsweise neue Themenbereich Wasserstoff wird seit etwa fünf Jahren bearbeitet. Die EFRE-Förderung stellt nach Aussage mehrerer interviewten Vertreter:innen der Zuwendungsempfänger einen wichtigen Baustein dar, um die Kompetenzen der Forschenden in diesem Bereich weiter auszubauen.

Zudem sind Effekte in der Aus- und Weiterbildung erkennbar: in den Interviews wurde mehrfach von einer Einbindung der Forschungsinhalte in der Lehre berichtet, sodass die Lehre praxisorientierter wurde bzw. werden kann. Studiengruppen der Hochschule Bremerhaven besuchten beispielsweise den Microgrid-Container als Teil ihrer Lehrveranstaltungen und Professor:innen konnten die dort generierten Live-Daten und Forschungsergebnisse in Vorlesungen integrieren. Des Weiteren können die Forschungsdaten im Rahmen von Abschluss-

oder Seminararbeiten von Studierenden verwendet werden. Dem Sachstandsbericht (August 2022) zufolge sollen die Anwendungsfälle perspektivisch auch in der beruflichen Weiterbildung bzw. in anderen Hochschulen in die Lehre einbezogen werden.

Nach der Fertigstellung des Elektrolyseur-Testfelds erhalten die in Bremerhaven ansässigen Unternehmen (und wissenschaftlichen Einrichtungen) Zugang zu Wasserstoff.

Wie im Steckbrief zum Elektrolyseur-Testfeld (vgl. Abschnitt 4.1) dargelegt, beträgt die geplante Kapazität der Elektrolyseuren 2 MW, womit rund 400 kg Wasserstoff täglich erzeugt werden können. Dies entspricht einem Energiegehalt von etwa 13.200 kWh.¹¹ Diese Produktionskapazität ist die Basis für weitere Forschungs- und Anwendungsprojekte sowohl in den wissenschaftlichen Einrichtungen als auch den Unternehmen. Hierfür steht der Zuwendungsempfänger bereits mit potenziellen Abnehmern des am Testfeld produzierten Wasserstoffs in Kontakt (Interviews).

Die Projekte tragen zu einer erhöhten Sichtbarkeit der Technologien und Anwendungsfälle im Bereich Wasserstoff bei. Dadurch konnten Unternehmen für die Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff sensibilisiert werden.

Aus Sicht der Interviewpartner:innen konnte mit den Projekten eine hohe Sichtbarkeit der Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff erreicht werden. Ein wesentlicher Faktor hierfür stellt das generell hohe Interesse an der Technologie dar, die durch den steilen Anstieg der Preise für Erdgas im Jahr 2022 nochmals verstärkt wurde. Die Ergebnisse der Anwendungsstudien wurden bereits in verschiedenen Kontexten präsentiert:

- Der Wasserstoff-Ofen ist in Folge von Fachmessebesuchen und Pressemitteilungen innerhalb der Branche sehr sichtbar. Die Forschenden stehen mit einem Unternehmen in Kontakt, das Industriebacköfen herstellt. Zudem wurde eine Vielzahl an Anfragen von Industriebäckereien gestellt, die angesichts der steigenden Gaspreise auf erneuerbare Energieträger umsteigen möchten. Zu eruieren ist hierbei, inwiefern bestehende erdgasbetriebene Öfen zur Nutzung von Wasserstoff als Energieträger modifiziert werden können. Nach Aussage eines Vertreters der geförderten wissenschaftlichen Einrichtung wäre hierzu eine weitere Anwendungsstudie nötig.
- Der Microgrid-Container ermöglicht eine gute Anschauung des Anwendungsfeldes und profitiert von seiner zentralen Platzierung an der Hochschule Bremerhaven.
- Im Rahmen der Anwendungsstudie zu Mobilität und Logistik wurde ein Gabelstapler auf Wasserstoff umgerüstet. Dieser wurde in zwei Unternehmen in Bremerhaven angewandt und ist von den dortigen Nutzenden auf Akzeptanz gestoßen (Abschlussbericht).

Um die Sichtbarkeit der Anwendungsmöglichkeiten noch weiter zu erhöhen, bedarf es aus Sicht einzelner Expert:innen und der Umsetzungsakteure jedoch noch weitere Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit. Zum einen sollen die Anwendungsfälle noch stärker visualisiert werden, sodass sie der (Fach-)Öffentlichkeit oder der Industrie einfacher zugänglich gemacht werden können. Ideen hierfür sind z. B. maßstabsgetreue Modelle im Schaufenster der Hochschule in der innerstädtischen Fußgängerzone auszustellen. Damit könnte die breite Öffentlichkeit über die Anwendung informiert werden und die gesellschaftliche Akzeptanz für die Nutzung von Wasserstoff gefördert werden.¹² Um eine größere Reichweite zu erzielen ist aus Sicht der Umsetzungsakteure die Projektwebsite „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ zu aktualisieren. Außerdem fehlen die englischen Informationen gänzlich, sodass nur eine

¹¹ 1 kg (komprimierter) Wasserstoff hat einen Energiegehalt von 33 kWh (DIHK, 2020).

¹² Eine 2022 erstellte Metastudie zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Wasserstoff stellt fest, dass einerseits der Kenntnisstand zu Wasserstoff gering ist, andererseits die Technologie von den Bürger:innen „überwiegend als vertrauenswürdig eingestuft und mit keinem hohem Risiko bzw. Bedrohungspotential assoziiert [wird]“. (Arndt, 2022; S. 5)

eingeschränkte internationale Sichtbarkeit möglich ist. Hierfür fehlten jedoch u. a. die personellen und finanziellen Kapazitäten bei den Umsetzungsakteuren.

Die Projekte haben zu einer erhöhten Sichtbarkeit der (wissenschaftlichen) Akteure und des Standorts Bremerhaven im Bereich Wasserstoff beigetragen.

Neben einer gesteigerten Sichtbarkeit der Anwendungen selbst konnte auch die Sichtbarkeit der involvierten Akteure und des (wissenschaftlichen) Standorts Bremerhaven für Wasserstoff in der Region und darüber hinaus erhöht werden. In den Interviews mit den Expert:innen und Forschenden wurden hierfür konkrete Beispiele genannt:

- Internationale Delegationen aus Schweden, Japan und den Niederlanden sind zur Besichtigung der dortigen Anwendungsfälle nach Bremerhaven gekommen.
- Einzelne Forschende werden aufgrund der geförderten Vorhaben als Expert:innen im Bereich Wasserstoff wahrgenommen. Dies hat zur Folge, dass sie an der Erstellung von Strategiepapieren mitwirken und somit Politik mitgestalten können.
- Zudem erwarten einige interviewte Expert:innen, dass die Sichtbarkeit von Bremerhaven als Wasserstoff-Standort mit der Inbetriebnahme des Elektrolyse-Testfeldes nochmals ansteigen wird. Die Zielsetzung ist hierbei, dass Unternehmen mit Bedarf an Wasserstoff sich im näheren Umfeld ansiedeln. Hierzu kann auch die geplante Präsentation des Elektrolyse-Testfeldes in einer ARD-Dokumentation beitragen.

Die Ergebnisse und aufgebauten Prototypen bzw. Infrastrukturen der Anwendungsstudien haben zu initialen Anwendungen von Wasserstoff in Unternehmen geführt. Weitere Industrie- und Forschungsprojekte befinden sich derzeit im Aufbau.

Die Interviewpartner:innen sind einstimmig der Meinung, dass die im Rahmen der EFRE-Förderung umgesetzten Maßnahmen einen großen Beitrag geleistet haben, Wasserstoff sowohl in der (regionalen) Wissenschaft als auch Wirtschaft zu platzieren und neue bzw. gestärkte Kooperationen und Kompetenzen in diesem Bereich aufzubauen. Zudem konnte notwendige (Forschungs-)Infrastruktur angeschafft und aufgebaut werden. Auf dieser Basis konnten bzw. können weitere Vorhaben aufbauen.

Im Anschluss an die geförderten Projekte sind bereits mehrere weitere Projekte in der Planung bzw. Umsetzung.

- Aus dem Bremen-Fonds für die Bewältigung der Covid-19-Pandemie hat der Bremer Senat im Jahr 2021 fünf Mio. Euro für die **Einrichtung einer Testregion für mobile Wasserstoffanwendungen** in Bremerhaven bewilligt. Das Fördervorhaben besteht aus fünf Teilprojekten, die von den Partnern ttz Bremerhaven, Hochschule Bremerhaven, Fischereihafen - Betriebsgesellschaft mbH (FBG), Ortspolizeibehörde und die Bremerhavener Entsorgungsgesellschaft mbH (BEG) begleitet werden (BIS Bremerhaven, 2021).
- Bremerhaven ist einer der vier Standorte¹³ des **ITZ Nords** (Innovations- und Transformationszentrum Wasserstoff). Schwerpunkt des ITZ Nords ist die Erforschung und Erprobung von Wasserstoff- und Brennstoffzellenanwendungen in der Luftfahrt und Schifffahrt. Speziell wird in Bremerhaven ein 3D Seegangsimulator gebaut. Das ITZ Nord wird mit Mitteln des BMDV von bis zu 70 Mio. Euro gefördert (Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie – NOW GmbH, 2022).
- Die Forschungsergebnisse der Anwendungsstudie **E-Fuels** fließen in das Forschungsprojekt MariSynFuel ein, das seit Januar 2023 im Rahmen der Förderrichtlinie „Entwicklung regenerativer Kraftstoffe“ des BMDV mit etwa 6,5 Mio. Euro gefördert wird. Das ttz ist Teil eines Konsortiums aus in Bremerhaven ansässigen wissenschaftlichen Einrichtungen und Unternehmen. Zielsetzung ist die Etablierung synthetischer Kraftstoffe für die Schifffahrt, um

¹³ Die anderen drei Standorte sind Bremen, Stade und Hamburg.

auf diese Weise fossile Energieträger zu ersetzen. Im Zentrum des Vorhabens steht die Entwicklung und der Aufbau einer Anlage zur synthetischen Herstellung von Methanol und dessen direkte Verwendung für das neue Forschungsschiff „Uthörn“ des Alfred-Wegener-Instituts (AWI, 2023). Als weitere, direkte Folge der Ergebnisse der Anwendungsstudie hat das ttz Bremerhaven einen Antrag im Rahmen des Förderprogrammes INNO-KOM des BMWK zur „Vorbereitung zur industriellen SNG-Erzeugung“ mit Projektstart im Januar 2023 eingereicht (Abschlussbericht).

- Der **Wasserstoff-Ofen** soll perspektivisch als Demonstrator in einem Anwendungszentrum für Wasserstoffnutzung in der Lebensmitteltechnologie in den Räumlichkeiten des ttz Bremerhaven genutzt werden. Zudem hat sich aus dem Austausch mit der Industrie gezeigt, dass großes Interesse an der Um- bzw. Nachrüstung bestehender Industrieöfen besteht. Um dies zu ermöglichen ist nach Aussage der interviewten Projektverantwortlichen zusätzliche Forschungsförderung notwendig (Interviews).
- Das Fraunhofer IWES plant auf Grundlage der Studie zur **LiDAR-Boje** ein Folgeprojekt zur Speicherung von Wasserstoff in solch einer Messboje. Dieses soll zukünftig in Kooperation mit einem weiteren Fraunhofer-Institut und weiteren Partnern umgesetzt werden (Interviews).
- Aktuell wird im Rahmen des Projektes „IWAS - Intelligente Wasserwirtschaft und zukunftsfähige Speichertechnologien für das grüne Gewerbegebiet / Quartier Lune Delta“ (IWAS – Lune Delta) überprüft, inwiefern die im **Microgrid** verwendete Technologie auf weitere Anwendungen übertragbar ist. Das Projekt wird von der Hochschule Bremerhaven durchgeführt und aus REACT-EU Mitteln gefördert (Hochschule Bremerhaven, 2023).
- Das **Elektrolyseur-Testfeld** soll nach seiner Fertigstellung als Grundlage weiterer Forschung im Bereich der Elektrolyse auf Basis von Windenergie fungieren. Außerdem kann der dort produzierte Wasserstoff in den oben beschriebenen Projekten und von der ansässigen Industries verwendet werden (Interviews).

Durch die Wasserstoffproduktion des Elektrolyse-Testfeldes und die Nutzung der wasserstoffbasierten LiDAR-Boje direkte CO₂-Einsparungen erzielt werden.

Nach Fertigstellung des **Elektrolyseur-Testfelds** werden dort voraussichtlich 400 kg grüner Wasserstoff pro Tag hergestellt werden. Dadurch können im Vergleich zu Wasserstoff aus fossilen Energiequellen circa vier Tonnen CO₂-Emissionen am Tag (entsprechend rund 1.200 Tonnen jährlich) eingespart werden (vgl. Antrag). Zudem liegt nahe, dass nachgelagerte Reduktionseffekte durch die Schaffung einer Grundlage für weitere Wasserstoffanwendungen eintreten.

Durch die wasserstoffbasierte Stromversorgung der **LiDAR-Boje** erwarten die Projektbeteiligten, dass pro Boje im Jahr bis zu 320 Liter Diesel ersetzt werden, was einer Reduktion von CO₂-Emissionen in Höhe von ca. 850 kg entspräche (vgl. Antrag). Dabei ist zu betonen, dass es sich hierbei um die Entwicklung eines Prototyps handelt und die konkrete Einsparung bei einem Anwendungsfall nicht die primär intendierte Zielstellung des Forschungsprojekts ist. Nach einer erfolgreichen Testphase können potenziell bis zu zehn Bojen umgerüstet werden. Zudem wäre perspektivisch eine Integration des Wasserstoff-Antriebs in Yachten mit Dieselgeneratoren möglich, sodass hier eine Potenzierung der CO₂-Einsparungen möglich wäre (vgl. Antrag).

Auf Grundlage der Projektergebnisse in den Anwendungsstudien ist eine nachgelagerte Reduzierung von CO₂-Emissionen erwartbar.

Zukünftig können CO₂-Emissionen eingespart werden, indem Areale oder Produktionsprozesse anstelle fossiler Energieträger grünen Wasserstoff nutzen. Damit ist eine nahezu vollständige Reduzierung von CO₂-Emissionen im Vergleich zu fossilen Energieträgern möglich (vgl. Anträge).¹⁴ Nach Aussage eines Vertreters des Zuwendungsempfängers wurde durch die Anwendungsstudien

¹⁴ Die Europäische Kommission setzt für grünen Wasserstoff in Elektrolyse-Prozessen mit Wind- oder PV-Strom als Input Emissionswerte von 3,3 g bis 9,1 CO₂eq/MJ an (Richtlinie EU 2015/652 Anhang 1 Teil 2 Ziff. 5).

der Grundstein dafür gelegt, die Bereiche der Logistik, Industrie, Verarbeitendes Gewerbe sowie der Hafenwirtschaft nachhaltig zu transformieren; eine nachgelagerte Reduktion der CO₂-Emissionen im Umfang von etwa 90 Prozent seien aus seiner Sicht möglich.

Im Projektabschlussbericht der Anwendungsstudien werden die möglichen Reduktionspotentiale für die Teilstudien „Microgrid“ und „Entwicklung von E-Fuels/Alternative Kraftstoffe aus Wasserstoff“ im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Analysis, LCA)¹⁵ detailliert aufgezeigt. Für den Wasserstoff-Ofen und die Studie zur Mobilität und Logistik wurde keine LCA durchgeführt.

- **Microgrid:** Im Vergleich zu herkömmlichen autarken Systemen zur Speicherung (Batterien) oder Erzeugung (Dieselgeneratoren) von Strom ist der CO₂-Fußabdruck von Wasserstoffsystemen (Microgrids) über alle Lebenszyklusphasen um ein fünf- bzw. vierfaches niedriger.¹⁶ Zudem sind die Umweltauswirkungen¹⁷ des Microgrids gegenüber der Batterie und des Dieselgenerators um ein Vielfaches geringer.
- **E-Fuels:** Die Herstellung von E-Fuels/Synthetischem Methan erzeugt weniger als ein Viertel der CO₂-Emissionen pro kg Energieträger als die nächstbesten Energieträger Erdgas und Diesel.¹⁸

Aufgrund der Tatsachen, dass die voraussichtliche Auswirkung der Fördermaßnahme auf die Einsparung von CO₂-Emissionen stark nachgelagert ist, bleibt fraglich, inwiefern die CO₂-Reduktion einen geeigneten Indikator zur Abbildung von Zielerreichung und Wirkung der Fördermaßnahme darstellt. Als möglicher weiterer Indikator zur Erfassung der Wirkung könnte beispielsweise die Anzahl der Folgeprojekte bei den beteiligten Akteuren genutzt werden. Eine klare Definition eines Folgeprojektes wäre mit Blick auf folgende Aspekte eine wichtige Rahmenbedingung: Ab welchem Grad einer thematischen Überschneidung gilt ein Projekt ein Folgeprojekt? Zu welchem Zeitpunkt nach Ende der Fördermaßnahme wird der Indikator erhoben? Hierbei ist zu betonen, dass das Monitoring mit einem höheren Aufwand verbunden wäre. Grundsätzlich können eine Vielzahl der Wirkungen der Fördermaßnahme (z. B. Kompetenzaufbau, Erhöhung der Sichtbarkeit) nur sehr schwer im Rahmen eines Monitorings erfasst werden, da die Eindimensionalität einem Monitoringsystem inhärent ist. Für die qualitative Erfassung und Bewertung von Wirkungen ist eine ex-post-Evaluation das deutlich geeignetere Instrument.

Die Weiterentwicklung von Genehmigungsverfahren ist eine nicht-intendierte Wirkung der Förderung.

Einzelne Interviewpartner:innen berichteten, dass die Genehmigungsverfahren im Rahmen der geförderten Projekte (und weiteren Projekte im Bereich Wasserstoff) dazu geführt haben, dass bei technische Prüfgesellschaften ein Bewusstsein dafür geschaffen wurde, dass bestehende Zertifizierungs- und Genehmigungsverfahren auf Wasserstoff-Infrastruktur angepasst werden müssen. Daher werden derzeit Leitfäden entwickelt, wie mit entsprechenden Genehmigungen zukünftig umgegangen werden könne. Dies zählt langfristig auf die Zielerreichung der Norddeutschen Wasserstoffstrategie ein, schnellere Genehmigungsverfahren im Aufbau von Infrastrukturen zu erzielen (vgl. auch Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstenländer, 2019).

Ein geförderter Zuwendungsempfänger sieht durch die gewonnenen Kompetenzen die Chance, sich langfristig als unabhängige Bewertungsinstanz im Themenfeld von Elektrolyseuren zu

¹⁵ Die Lebenszyklusanalyse (LCA) untersucht Umweltauswirkungen eines Produkts über den gesamten Lebenszeitraum (Beschaffung von Rohstoffen, Produktion, Transport, die Nutzung, Recycling bestimmter Materialien sowie die endgültige Entsorgung am Lebensende).

¹⁶ Wasserstoffsystem: ca. 150 kg CO₂-Eq; Batterie: ca. 575 kg CO₂-Eq; Dieselgenerator: ca. 475 kg CO₂-Eq.

¹⁷ Die Abschätzung der Umweltwirkungskategorien wurde entlang der Dimensionen Wasseremissionen, Erschöpfungspotential, Luftemissionen, Feste (Abfall-)Emissionen, Landnutzung und Toxizitätspotential durchgeführt.

¹⁸ E-Fuels: <1 kg CO₂-Eq/kg; Erdgas und Diesel: ca. 4 kg CO₂-Eq/kg; Benzin/Stein- und Braunkohle: ca. 5,5 bis 8,5 kg CO₂-Eq/kg

etablieren, in welchem aktuell noch keine global geltenden Standards existieren. Eine erste Vernetzung in internationalen Arbeitsgruppen habe hierzu bereits stattgefunden (Interviews).

Die Energiekrise ist ein externer Einflussfaktor mit positivem Effekt auf die Wirkungen der Fördermaßnahme.

Wasserstoff und Wasserstoff-Technologien sind mit der aktuellen europäischen Energiekrise noch deutlicher in den Fokus politischer Entscheidungsträger:innen und Unternehmen gerückt (vgl. Abschnitt 5.1). Dadurch sind auch die Wirkungen der geförderten Projekte positiv verstärkt worden: in den Interviews wurde beispielsweise berichtet, dass aufgrund der gestiegenen Gaspreise das Interesse der Bäckereiindustrie am Wasserstoff-Ofen angestiegen sei. Ähnliche Effekte können auch in den anderen Anwendungsstudien beobachtet werden.

9. LITERATURVERZEICHNIS

acatech, DECHEMA (2022): Elektrolyse in Deutschland: Kapazitäten, Zielsetzungen und Bedarfe bis 2030, Berlin 2022. Verfügbar unter: <https://www.wasserstoff-kompass.de/news-media/dokumente/erzeugungskapazitaeten>

Agert, C., Brand, U., Deniz, Ö. Dyck, A. Ehrenberger, S., Gils, H., Gomez Trillos, J.C., Jacobs, N., Junne, T., Kallo, J., Kröner, M., Kutne, P., Lorenz, T., Naegler, T., Oswald, M., Pagenkopf, J., Pregger, T., Riedel, T., Riedel, U., Simon, S., Steck, F., Vogt, T., Zobel, M. (2020): Wasserstoff als ein Fundament der Energiewende - Teil 2: Sektorenkopplung und Wasserstoff: Zwei Seiten der gleichen Medaille. Hrsg.: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR). Verfügbar unter:

https://www.dlr.de/content/de/downloads/publikationen/broschueren/2020/wasserstoffstudie-teil-2.pdf;jsessionid=CC2444776309A7F25BFF2B5DCD97B67F.delivery-replication2?_blob=publicationFile&v=4

Arndt, P. (2022): TRANSFORMATION & GESELLSCHAFT: Ein Stimmungsbild – Studie zur Energiewende und der Akzeptanz von Wasserstoff. Verfügbar unter: https://norddeutsches-reallabor.de/wp-content/uploads/2022/07/NRL_3.1_AP-2_Studienbericht_FINAL.pdf

Alfred-Wegener-Institut (AWI) (2023): Synthetisches Methanol als maritimer Kraftstoff für die Schifffahrt aus Bremerhaven. Verfügbar unter: <https://www.awi.de/ueber-uns/service/presse/presse-detailansicht/default-9f10e519c1.html>

BIS Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH (2021): PROJEKTSTART TESTREGION FÜR MOBILE WASSERSTOFFANWENDUNGEN IN BREMERHAVEN. Verfügbar unter: <https://www.bis-bremerhaven.de/projektstart-testregion-fuer-mobile-wasserstoffanwendungen-in-bremerhaven.100014.html#:~:text=%E2%80%9EBremerhaven%20ist%20pr%C3%A4destiniert%20als%20Standort,Gesamtprojektes%20ist%20die%20BIS%20Wirtschaftsf%C3%B6rderung.>

BIS Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH (2022): Wasserstoff – Neuer Energieträger und Wirtschaftsmotor für Bremerhaven. Verfügbar unter: <https://www.bis-bremerhaven.de/wirtschaftsstandort/wasserstoff.99406.html>

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

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022): IPCEI Wasserstoff: Gemeinsam einen Europäischen Wasserstoffmarkt schaffen. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/ipcei-wasserstoff.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023): Richtlinie zur Förderung der Innovationskompetenz mit gemeinnützigen Industrieforschungseinrichtungen (INNO-KOM). Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/I/innokom-richtlinie.pdf?_blob=publicationFile&v=4

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2021): Bekanntmachung der Förderrichtlinie für Maßnahmen der Forschung, Entwicklung und Innovation im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase II (Schwerpunkt Nachhaltige Mobilität) als Teil des Regierungsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2016 bis 2026 – von der Marktvorbereitung zu wettbewerbsfähigen Produkten. BANz AT 27.07.2021 B5.

Clausen, J. (2022): Das Wasserstoffdilemma: Verfügbarkeit, Bedarfe und Mythen. Berlin: Borderstep Institut. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/publikation/clausen-j-2022-das-wasserstoffdilemma-verfuegbarkeit-bedarfe-und-mythen-berlin-borderstep-institut/>

Deutsche WindGuard (2022): Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland - Erstes Halbjahr 2022. Verfügbar unter: <https://www.wind->

[energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/06-zahlen-und-fakten/20220711_Status_des_Windenergieausbaus_an_Land_-_Halbjahr_2022.pdf](https://www.energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/06-zahlen-und-fakten/20220711_Status_des_Windenergieausbaus_an_Land_-_Halbjahr_2022.pdf)

Die Senatorin für Wirtschaft, Arbeit und Europa (2021): Schlüssel zu Innovationen 2030. Strategie für Innovation, Dienstleistungen und Industrie Land Bremen.

Die Senatorin für Wirtschaft, Arbeit und Europa, Die Senatorin für Wissenschaft und Häfen, Die Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau (2021): Wasserstoffstrategie Land Bremen. Verfügbar unter: <https://www.bremen-innovativ.de/wp-content/uploads/2022/02/Wasserstoffstrategie-Land-Bremen.pdf>

DWV (2022): Marktumfrage zur prognostizierten jährlichen Lieferkapazität für Elektrolyseure zur grünen Wasserstoffproduktion. Hrsg.: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband. Verfügbar unter: <https://www.dwv-info.de/wp-content/uploads/2015/06/DWV-Marktumfrage-zur-jaehrlichen-Lieferkapazitaet-fuer-Elektrolyseure.pdf>

Göbel, O. (2022): Die Energiewende zu Ende gedacht. Vortrag an Hochschule Hamm-Lippstadt, verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=VvnmBOLuvGw>

Hochschule Bremerhaven (2023): IWAS – Lune Delta. Verfügbar unter: <https://www.hs-bremerhaven.de/forschung/forschungsprojekte/iwas-lune-delta/>

Liebreich, M. (2021): The Clean Hydrogen Ladder: an introduction.

Mayne, J. (2011): Addressing Cause and Effect in Simple and Complex Settings through Contribution Analysis. In: Schwartz, R., Forss, K., Marra, M. (Hg.): Evaluating the complex: Attribution, Contribution and Beyond, S. 53-96. New York, NY: Transaction.

Merten, F., A. Scholz, C. Krüger, S. Heck, Y. Girard, M. Mecke und M. Goerge (2020): Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Produktion, Studie für den Landesverband Erneuerbare Energien NRW e. V., Wuppertal Institut & DIW Econ. Verfügbar unter: <https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/LEE-H2-Studie.pdf>

Nationale Wasserstoffrat (2021): Wasserstofftransport. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021-07-02_NWR-Grundlagenpapier_Wasserstofftransport.pdf

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie – NOW GmbH. (2018). Studie IndWEde. Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.dwv-info.de/wp-content/uploads/2019/06/NOW-Elektrolysestudie-2018.pdf>

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie – NOW GmbH. (2022). Innovations- und Technologiezentrum Wasserstoff. Berlin, Juli 2022. Verfügbar unter: https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/07/Wasserstoff-Vollversammlung_Podiumsdiskussion-Technologie-und-Innovationszentrum-Wasserstoff_06.07.22.pdf

Nationaler Wasserstoffrat (2022): Angriffskrieg Russland gegen die Ukraine – mögliche Auswirkungen auf den Wasserstoffhochlauf. Stellungnahme. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-04-01_NWR-Stellungnahme_Ukraine.pdf

SCI4climate.NRW 2021: Wasserstoffimporte, Bewertung der Realisierbarkeit von Wasserstoffimporten gemäß den Zielvorgaben der Nationalen Wasserstoffstrategie bis zum Jahr 2030, Gelsenkirchen. Verfügbar unter: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2021/Bereitstellung_von_Wasserstoff_bis_2030.pdf

Scholz, C., Herrig, S. (2021): Factsheet: Wasserstoffkavernenspeicher. Verfügbar unter: <https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/industrie-und-produktion/factsheet-kavernenspeicher-cr-energy4climate.pdf>

Stiftung Wissenschaft und Politik (2022): Krieg in der Ukraine: Folgen für den Wasserstoffmarkt. Verfügbar unter: <https://www.swp-berlin.org/publikation/krieg-in-der-ukraine-folgen-fuer-den-wasserstoffmarkt>

Ueckert, F., Pflüger, B., Odenweller, A., Günther, C., Knodt, M., Kemmerzell, J., Rehfeldt, M., Bauer, C., Verpoort, P., Gils, H.C., Luderer, G. (2021): Durchstarten trotz Unsicherheiten: Eckpunkte einer anpassungsfähigen Wasserstoffstrategie - Wie die Politik Wasserstoffpfade hin zur Klimaneutralität 2045 finden kann. Hrsg.: Kopernikus-Projekt Ariadne. Verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/eckpunkte-einer-anpassungsfahigen-wasserstoffstrategie/>

Werner, U., Fichter, C., Wagner vom Berg, B., Kühne, U., Böcker, J., Schott, C., Szilagyi, C., Rau, C., Mues, M. (2019): Integriertes Gesamtkonzept Fischereihafen Bremerhaven (und angrenzende Gebiete) zur Senkung der CO₂ Emissionen - Ergänzungsstudie Wasserstoff. Im Auftrag der Freien Hansestadt Bremen, vertreten durch die Senatorin für Wissenschaft, Gesundheit und Verbraucherschutz.

Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstenländer (2019): Norddeutsche Wasserstoffstrategie

Wietschel, M., Bekk, A., Breitschopf, B., Boie, I., Edler, J., Eichhammer, W., Klobasa, M., Marscheider-Weidemann, F., Plötz, P., Sensfuß, F., Thorpe, D., Walz, R. (2020): Chancen und Herausforderungen beim Import von grünem Wasserstoff und Syntheseprodukten. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI).

Wietschel, M., Zheng, L., Arens, M., Hebling, C., Ranzmeyer, O., Schaadt, A., Hank, C., Sternberg, A., Herkel, S., Kost, C., Ragwitz, M., Herrmann, U., Pflüger, B. (2021): Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Karlsruhe, Freiburg, Cottbus: Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IEG (Hrsg.).

Witsch, K. (2022): Grüner Wasserstoff ist zum ersten Mal günstiger als Wasserstoff aus Erdgas. Handelsblatt. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/erneuerbare-energien-gruener-wasserstoff-ist-zum-ersten-mal-guenstiger-als-wasserstoff-aus-erdgas/28251636.html>