

# PORTUGAL

Produktion, (Zwischen-) Speicherung und  
Verteilung von grünem Wasserstoff

Zielmarktanalyse 2021 mit Profilen der Marktakteure

[www.german-energy-solutions.de](http://www.german-energy-solutions.de)

## Impressum

### Herausgeber

AHK Portugal

Av. da Liberdade, 38 – 2º; 1269-039 Lissabon

Tel.: +351 213 211 200

Fax: +351 213 467 150

E-Mail: [info@ccila-portugal.com](mailto:info@ccila-portugal.com)

Web: [www.ccila-portugal.com](http://www.ccila-portugal.com)

### Kontaktperson

Paulo Azevedo

Tel.: (+351) 213 211 204

E-Mail: [paulo-azevedo@ccila-portugal.com](mailto:paulo-azevedo@ccila-portugal.com)

### Stand

16.08.2021

### Gestaltung und Produktion

AHK Portugal

### Bildnachweis

Shutterstock | nostal6ie

### Redaktion

Abteilung Markt- und Absatzberatung

Paulo Azevedo

Tel.: (+351) 213 211 204

Fax: (+351) 213 467 250

E-Mail: [paulo-azevedo@ccila-portugal.com](mailto:paulo-azevedo@ccila-portugal.com)

Paulo Azevedo, Daniela Stocksreiter Ferreira, Robin Müller, Daniel Pichler

### Urheberrecht

AHK Portugal

Die Marktstudie wurde im Rahmen des Energie-Konsortialbildungsprogramms der Exportinitiative Energie erstellt und aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie gefördert.

### Disclaimer

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Die Zielmarktanalyse steht dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Germany Trade & Invest sowie geeigneten Dritten zur unentgeltlichen Verwertung zur Verfügung. Sämtliche Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit, Vollständigkeit oder Qualität der bereitgestellten Informationen. Für Schäden materieller oder immaterieller Art, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen unmittelbar oder mittelbar verursacht werden, haftet der Herausgeber nicht, sofern ihm nicht nachweislich vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden zur Last gelegt werden kann.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>1</b>
<b>I. Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>II. Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>III. Abkürzungen</b> .....	<b>4</b>
<b>IV. Energieeinheiten</b> .....	<b>6</b>
<b>V. Executive Summary</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Projektziel und -rahmen</b> .....	<b>8</b>
1.1. Ziel der Konsortialbildung.....	8
1.2. Rahmenbedingungen.....	9
1.3. Take-aways aus der Informationsveranstaltung .....	9
<b>2. Zielgruppen in der deutschen Industrie</b> .....	<b>10</b>
2.1. Produktion von grünem Wasserstoff .....	11
2.2. (Zwischen-) Speicherung von grünem Wasserstoff.....	11
2.3. Verteilung von grünem Wasserstoff.....	11
<b>3. Projekt- und Wettbewerbsumfeld</b> .....	<b>12</b>
3.1. Marktumfeld.....	12
3.2. Nationale Projekte und Kooperationen .....	12
3.3. Internationale Projekte und Kooperationen.....	13
3.4. Lokale Behörden und Verbände .....	14
3.5. Lokale Wettbewerber: Produktion von grünem Wasserstoff.....	14
3.6. Lokale Wettbewerber: Speicherung und Verteilung von grünem Wasserstoff.....	15
3.7. Weitere Wasserstoffanwendungen und internationale Wettbewerber .....	16
<b>4. Technische Lösungsansätze und ihre Wirtschaftlichkeit</b> .....	<b>18</b>
4.1. Produktion von grünem Wasserstoff .....	19
4.2. Speicherung von grünem Wasserstoff .....	23

4.3.	Verteilung von grünem Wasserstoff.....	24
4.4.	Fazit: Projektopportunitäten für das Konsortium.....	27
<b>5.</b>	<b>Energiemarkt- und finanzierungsspezifische Rahmenbedingungen .....</b>	<b>28</b>
5.1.	Nationale Wasserstoffstrategie (EN-H2).....	28
5.2.	Finanzierungsmöglichkeiten und Förderprogramme .....	31
<b>6.</b>	<b>Agile Prozesssteuerung und Moderation der Umsetzung.....</b>	<b>33</b>
<b>7.</b>	<b>SWOT-Analyse.....</b>	<b>35</b>
<b>8.</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>36</b>
8.1.	Fachspezialisten .....	36
8.2.	Publikationen und Vorträge .....	36
<b>9.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>44</b>
9.1.	Anhang 1: 37 ausgewählte IPCEI-Projekte im Rahmen der EN-H2 (Stand: Juni 2021).....	44
9.2.	Anhang 2: Nationales (Erdgas-) Transportnetzwerk, Speicherinfrastrukturen und LNG-Terminal (Sines) .....	46
9.3.	Anhang 3: Der portugiesische Energiemarkt im Überblick .....	47
9.4.	Anhang 4: Investitionsklima in Portugal .....	48
9.5.	Anhang 5: Arbeitsmarkt in Portugal .....	49

## I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Beispielhafte Wertschöpfungskette von grünem Wasserstoff.....	8
Abbildung 2 – Beispiele der Anwendungsmöglichkeiten von grünem Wasserstoff.....	10
Abbildung 3 – Wettbewerbsanalyse des Projekts .....	17
Abbildung 4 – Bereiche der gesuchten Lösungsansätze für grünen Wasserstoff nach der EN-H2.....	18
Abbildung 5 – Formel zur Berechnung der Produktionskosten von 1 kg grünem Wasserstoff.....	19
Abbildung 6 – Produktionskosten von Wasserstoff (2019-2050).....	21
Abbildung 7 – ETARs in Portugal (Stand: 2020).....	22
Abbildung 8 – Konzessionen der Erdgasverteilungsunternehmen in Portugal .....	26
Abbildung 9 – Verteilung per Erdgasnetz und UAG .....	26
Abbildung 10 - Erstes Beispiel einer Wertschöpfungskette im Rahmen der Konsortialbildung.....	27
Abbildung 11 – Zweites Beispiel einer Wertschöpfungskette im Rahmen der Konsortialbildung .....	28
Abbildung 12 – Rechtliche Rahmenbedingungen der portugiesischen Wasserstoffstrategie (EN-H2).....	29
Abbildung 13 – Organisationsstruktur der RDNG .....	29
Abbildung 14 – PNEC 2030 – geplante Erhöhung der Kapazitäten erneuerbarer Energiequellen (in GW).....	31
Abbildung 15 – Der UPGRADE-Prozess der Konsortialbildung .....	33
Abbildung 16 – Nationales (Erdgas-) Transportnetzwerk, Speicherinfrastrukturen und LNG-Terminal (Sines) .....	66

## II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Kurzübersicht von drei verschiedenen Elektrolyseverfahren.....	21
Tabelle 2 – Ausgewählte Ziele bis 2030 aus der Nationalen Wasserstoffstrategie (2020).....	30
Tabelle 3 – SWOT-Analyse Portugal (deutsche Unternehmensperspektive).....	35
Tabelle 4 – Die 37 ausgewählten IPCEI-Projekte im Rahmen der EN-H2 (Stand: Juni 2021).....	64

### III. Abkürzungen

ADI	Ausländische Direktinvestitionen
AEL	Alkalische Elektrolyse
AGN	Associação Portuguesa das Empresas de Gás Natural Portugiesischer Verband der Erdgasunternehmen
AHK Portugal	Deutsch-Portugiesische Industrie- und Handelskammer
AICEP	Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal Agentur für Investitionen und Außenhandel Portugals
APA	Agência Portuguesa do Ambiente Portugiesische Umweltagentur
AP2H2	Associação Portuguesa para a Promoção do Hidrogénio Portugiesischer Verband für die Förderung von Wasserstoff
API	American Petroleum Institute Amerikanisches Erdölinstitut
AS Carriço	Armazenamento Subterrâneo do Carriço Untertagespeicher Carriço
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CAPEX	Capital expenditure Investitionsausgaben
CP	Comboios de Portugal Portugiesisches Schienenverkehrsunternehmen
DBT	Dibenzyltolul bzw. „Marlotherm“
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia Generaldirektion für Energie und Geologie
DL	Decreto-Lei Gesetzesverordnung
DLR	Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum
EE	Erneuerbare Energie(n)
EIB	Europäische Investitionsbank
EN-H2	Estratégia Nacional para o Hidrogénio Nationale Strategie für Wasserstoff
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas Residuais Regulierungsbehörde für Wasser- und Abfalldienstleistungen
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos Regulierungsbehörde für Energiedienstleistungen
ETAR	Estações de Tratamento de Águas Residuais Stationen zur Behandlung von Abwasser
EU	Europäische Union
F&E	Forschung & Entwicklung
GGND	Galp Gás Natural Distribuição Größter Verteilernetzwerkbetreiber in Portugal
INE	Instituto Nacional de Estatística Nationales Statistikinstitut
INEGI	Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial Institut für Wissenschaft u. Innovation im Maschinenbau u. Wirtschaftsingenieurwesen
IPCEI	Important Project of Common European Interest

IRENA	International Renewable Energy Agency Internationale Agentur für Erneuerbare Energien
ISQ	Instituto de Soldadura e Qualidade Institut für Schweißtechnik und Qualität
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
LCOP	Levelized cost of production Nivellierte Produktionskosten
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia Nationales Labor für Energie und Geologie
LNG	Liquified Natural Gas Flüssigerdgas
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier Flüssige Organische Wasserstoffspeicher
MAAC	Ministério do Ambiente e da Ação Climática Ministerium für Umwelt und Klimapolitik
MARCOGAZ	Technischer Verband der Europäischen Erdgaswirtschaft
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OPEX	Operational expenditure Betriebskosten
PE	Polyethylen
PEM	Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyse
PNEC 2030	Plano Nacional para a Energia e o Clima 2030 Nationaler Energie- und Klimaplan 2030
PNI 2030	Programa Nacional de Investimentos 2030 Nationales Investitionsprogramm 2030
PO SEUR	Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos Operatives Programm Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz
PRR	Plano de Recuperação e Resiliência Aufbau- und Resilienzplan
PtG	Power-to-Gas Umwandlung von elektrischer Energie (Strom) in chemischer Energie (Gas)
PtH	Power-to-Heat Umwandlung von elektrischer Energie (Strom) in Wärmeenergie
PtL	Power-to-Liquid Umwandlung von elektrischer Energie (Strom) in flüssige Energieträger
PV	Photovoltaik
RCM	Resolução do Conselho de Ministros Ministerratsbeschluss
RDGN	Rede de Distribuição de Gás Natural Nationales Erdgasverteilungsnetz
REN	Redes Energéticas Nacionais, S.A. Verantwortlich für die Verwaltung des nationalen Strom- und Erdgassystems
RNT	Rede Nacional de Transporte Nationales Transportnetz
RNTGN	Rede Nacional de Transporte de Gás Natural Nationales Erdgastransportnetz
RQS	Regulamento de Qualidade de Serviço dos setores elétrico e do gás Regelung für die Dienstleistungsqualität im Strom- und Erdgassektor

SNG	Sistema Nacional de Gás Nationales Gassystem
SOFC	Festoxid-Elektrolysezelle
THG-Emissionen	Treibhausgas-Emissionen
TRL	Technology readiness level Technologie-Reifegrad
UNCTAD	Konferenz der Vereinten Nationen für Handel und Entwicklung United Nations Conference on Trade and Development

## IV. Energieeinheiten

g CO <sub>2</sub> -eq/MJ	Gramm CO <sub>2</sub> -Äquivalente pro Megajoule
Joule (J)	1 J = 2,78 x 10 <sup>-7</sup> kWh 1 MJ = 1 x 10 <sup>6</sup> J (Megajoule) 1 GJ = 1 x 10 <sup>9</sup> J (Gigajoule) 1 TJ = 1 x 10 <sup>12</sup> J (Terajoule)
GW	Gigawatt: 1 GW = 1.000 Megawatt
GWh	Gigawattstunde: 1 GWh = 3,6 x 10 <sup>12</sup> Joule pro Stunde
kW	Kilowatt: 1 kW = 1.000 Watt
kWh	Kilowattstunde: 1 kWh = 3,6 x 10 <sup>6</sup> Joule
kWh/m <sup>3</sup>	Kilowattstunde pro Kubikmeter
MJ/m <sup>3</sup>	Megajoule pro Kubikmeter
MW	Megawatt: 1 MW = 1.000 Kilowatt
MWh	Megawattstunde: 1 MWh = 3,6 x 10 <sup>9</sup> Joule pro Stunde
m <sup>3</sup>	Kubikmeter (entspricht auch 1.000 Liter)
Nm <sup>3</sup>	Normkubikmeter Bezieht sich auf Gasmengen im Normalzustand (0 Grad Celsius Temperatur, 1,01325 bar Druck)
PWh	Petawattstunde: 1 PWh = 1.000.000 GWh
TWh	Terawattstunde: 1 TWh = 1.000 GWh

## V. Executive Summary

Die vorliegende Zielmarktanalyse zum Thema „Produktion, Verteilung und (Zwischen-) Speicherung von grünem Wasserstoff in Portugal“ hat das Ziel, deutschen Anbietern von Technologien, Produkten und Dienstleistungen der Wasserstoffbranche einen Einblick in das portugiesische Marktgeschehen zu vermitteln sowie entsprechende Projektchancen in diesem Bereich aufzuzeigen, um sich somit als Konsortium wirksam gegenüber Projektpromotoren und -entwicklern auf dem portugiesischen Markt zu positionieren.

Hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit der Stromproduktion aus Solarenergie bietet Portugal besondere Voraussetzungen. Mit jeweils 14,76 Euro/MWh und 11,14 Euro/MWh wurden bei zwei Solarphotovoltaik-Versteigerungen in 2019 und 2020 Weltrekorde aufgestellt. Von der gesamten Stromerzeugung Portugals stammten beispielsweise im Zeitraum von Januar bis Mai 2021 rund 72 % aus erneuerbaren Energiequellen.<sup>1</sup> Portugal verfügt über viele natürliche Ressourcen wie Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Erdwärme, die noch nicht vollständig genutzt werden. Die erneuerbaren Energien, die für die Wasserstoffproduktion essentiell sind, sollen im Rahmen des Nationalen Plans für Energie und Klima (PNEC 2030) weiter ausgebaut werden, sodass hier besonders viel Potenzial schlummert. Die Elektrolyse-Kapazität soll zudem bis 2030 auf bis zu 2 GW ausgeweitet werden, angefangen mit 10 MW und kleineren Projekten in verschiedenen Regionen. Bezüglich der Verteilung von grünem Wasserstoff verfügt Portugal über ein gut ausgebautes Gasnetz mit einem hohen Anpassungspotenzial, um erneuerbare Gase zu leiten. Bis 2030 soll eine Konzentration von 15 % grünem Wasserstoff im portugiesischen Erdgasnetz eingespeist werden.

Es soll daher der Fragestellung nachgegangen werden, inwiefern der portugiesische Markt Wachstumspotenziale in den Marktsegmenten der Produktion, (Zwischen-) Speicherung und Verteilung von grünem Wasserstoff aufweist und an welchen Anknüpfungspunkten Potenzial für deutsche Anbieter von Technologien und Produkten besteht. Zu diesem Zweck wurden das Ziel der Konsortialbildung definiert sowie das Projekt- und Wettbewerbsumfeld analysiert. Es wird aufgezeigt, dass sich die Nachfrage Portugals vor allem an Hersteller dezentraler Anlagen für regionale Ansätze durch die Kopplung an Solar- und Windkraftwerke sowie an Abwasseraufbereitungsanlagen und Verteilungsnetze richtet. Durch die Installation in Anlagennähe sollen logistische Herausforderungen und Kosten minimiert werden, in dem unter anderem der durch Elektrolyseverfahren produzierte Wasserstoff in das nationale Gasnetz eingespeist und anschließend transportiert werden kann.

Es zeigt sich schließlich, dass sich der noch junge Wasserstoffmarkt in der Anfangsphase befindet und dementsprechend eine Vielzahl an „First Mover“-Opportunitäten für deutsche Unternehmen besteht. Aufgrund der ambitionierten Ziele der Nationalen Wasserstoffstrategie EN-H<sub>2</sub> hat die portugiesische Regierung dementsprechend bereits einige Anreizmechanismen für den kurzfristigen Einsatz von grünem Wasserstoff angekündigt, um die Produktion und die Anwendung von grünem Wasserstoff im Industrie- und Mobilitätssektor zu stimulieren.

Bei der Recherche nach Informationen für die vorliegende Zielmarktanalyse wurde nicht nur auf Fachspezialisten, sondern auch auf spezifische Informationen aus den entsprechenden Regulierungsbehörden (z.B. ERSE), ebenso wie dem wissenschaftlichen Beratungsinstitut der portugiesischen Regierung (LNEG), der Kontrollinstanz für die Umsetzung der EN-H<sub>2</sub> (DGEG) sowie Universitätsprofessoren (Prof. Sheila Samsatli) und Elektrolyseurherstellern (ITM Power) geachtet, um ein möglichst breit aufgestelltes Fundament für dieses Konsortialbildungsprojekt zu legen und sämtliche Perspektiven in diese Arbeit einfließen zu lassen.

Basierend auf den genannten Punkten bestehen in Portugal sehr gute Aussichten für deutsche Anbieter und Hersteller von Technologien und Dienstleistungen in den Bereichen der Produktion von grünem Wasserstoff sowie erneuerbare Energien in der Industrie. Die in Portugal bereits ansässigen deutschen Unternehmen bekräftigen das gute Image der deutschen Produkte und deren Langlebigkeit, worauf auch Marktneueinsteiger aufbauen können. Die Potenziale für verschiedene Maßnahmen sind ebenso hoch wie der Erklärungs- und Informationsbedarf, weshalb aktuell dies der richtige Zeitpunkt für deutsche Investoren und Unternehmen ist, um den portugiesischen Markt zu erschließen.

<sup>1</sup> APREN: Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental (maio 2021) (2021)

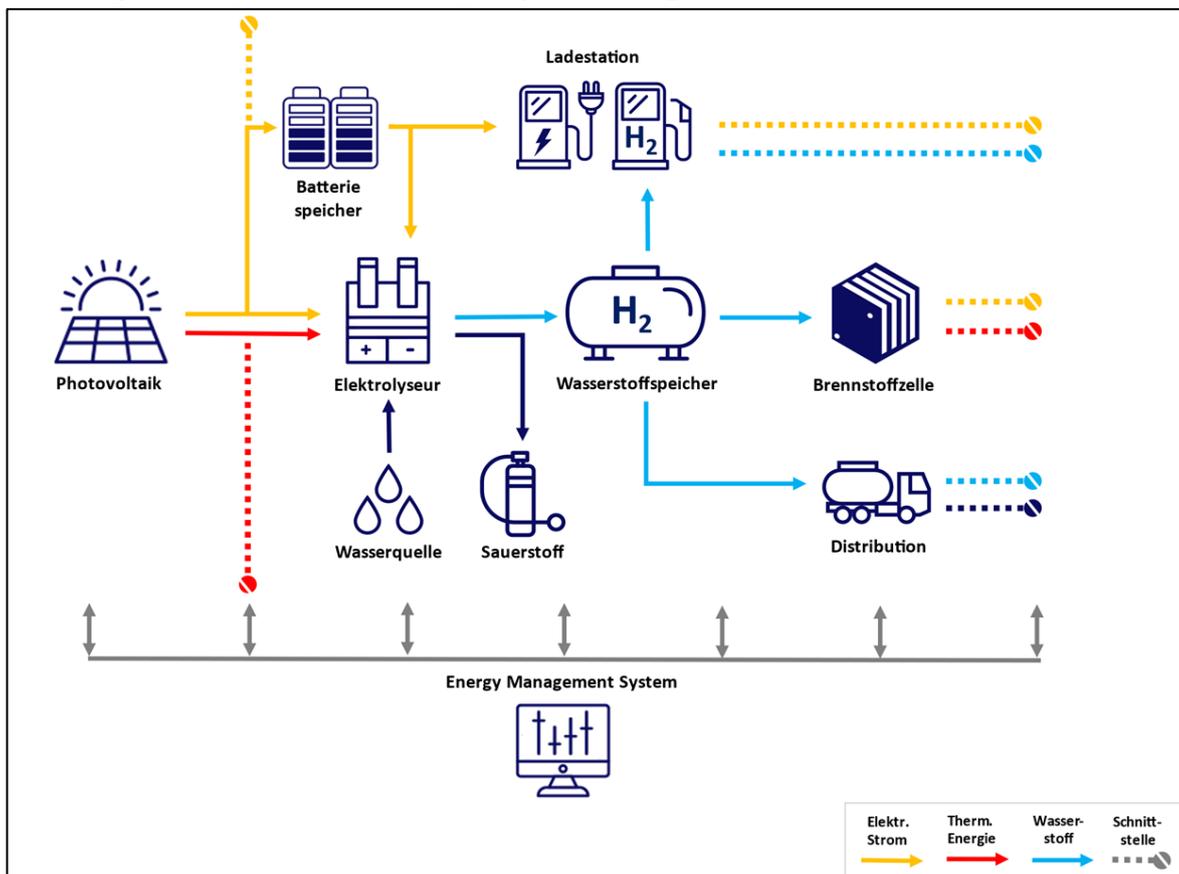
# 1. Projektziel und -rahmen

## 1.1. Ziel der Konsortialbildung

Das Ziel des Projektes ist es, ein Konsortium aus deutschen Anbietern zu bilden, die sich anhand ihres Technologieangebots ergänzen und sich dadurch wirksam gegenüber Projektentwicklern auf dem portugiesischen Markt positionieren. Im Rahmen dieser Zielmarktanalyse wurden hierfür folgende Teilbereiche definiert, die bei Bedarf erweitert werden können:

- die **Produktion** von grünem Wasserstoff durch Elektrolyseverfahren aus erneuerbaren Energiequellen,
- die **(Zwischen-) Speicherung**, wie beispielsweise unterirdisch in Salzkavernen,
- die **Verteilung** von grünem Wasserstoff über die Einspeisung in die Erdgasnetze.

Abbildung 1 – Beispielhafte Wertschöpfungskette von grünem Wasserstoff



Quelle: BC Consult (2021)

Im Vordergrund dieses Konsortialbildungsprojektes steht das Potenzial des grünen Wasserstoffs für die Sektorenkopplung. Dazu gehört neben der Produktion von Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen auch die Elektrifizierung von Haushalten, Industrie und Verkehr, ebenso wie die Energiespeicherungslösungen (z.B. Salzkavernen, Reservetanks, Kapazität des Erdgasnetzes an sich). Die Nachfrage Portugals richtet sich vor allem an Hersteller dezentraler Anlagen für die regionale Anbindung an Solar- und Windkraftwerke sowie an Abwasseraufbereitungsanlagen und Verteilungsnetze. Durch die Installation in Anlagennähe sollen logistische Kosten minimiert werden. Der durch Elektrolyseverfahren produzierte Wasserstoff kann dementsprechend in das nationale Erdgasnetz eingespeist und anschließend verteilt werden. Auf dieser Grundlage wurden die drei Technologieschwerpunkte definiert, die eine entsprechende Clusterbildung ermöglichen und in den folgenden Kapiteln ausführlich dargestellt werden.

Eine Konsortialbildung erhöht die Erfolgchancen deutscher Unternehmen durch die Kombination von Erfahrung, technologischer Expertise und Ressourcen der einzelnen Unternehmen beim Markteintritt. Diese profitieren voneinander, unter anderem durch die kombinierte Leistungsfähigkeit und Bildung von Synergien, die gemeinsame Nutzung von Marktkenntnissen und lokalen Netzwerken, eine Kosten- und Risikooptimierung sowie die Prozessbegleitung des BMWi und der für das Zielland verantwortlichen AHK. Gleichzeitig wird potenziellen portugiesischen Kunden alles aus einer Hand angeboten, was das Markteintrittsrisiko für jedes einzelne deutsche Unternehmen senkt und die Erfolgsaussichten steigert. Schließlich profitieren die deutschen Unternehmen von der Dachmarke „Mittelstand Global – Energy Solutions made in Germany“.

## 1.2. Rahmenbedingungen

Um grünen Wasserstoff als eine nachhaltige Lösung für die Dekarbonisierung der Wirtschaft zu positionieren und gleichzeitig einen neuen Industriesektor mit Exportpotenzial zu etablieren, fördert die portugiesische Regierung eine Infrastrukturpolitik rund um Wasserstoff. Das Ministerium für Umwelt und Klimapolitik (*Ministério do Ambiente e da Ação Climática de Portugal*) unter Minister João Matos Fernandes (seit November 2015 im Amt) und Staatssekretär für Energie, João Galamba (seit Oktober 2018 im Amt), hat Mitte Mai 2020 die Nationale Wasserstoffstrategie *Estratégia Nacional de Hidrogénio* (EN-H2) vorgestellt, die den institutionellen, finanziellen und geschäftlichen Rahmen für den portugiesischen Wasserstoffmarkt definiert. In der EN-H2 wird die Bedeutung internationaler Zusammenarbeit hervorgehoben, um einen globalen Wasserstoffmarkt zu schaffen und internationale Anstrengungen im Bereich des grünen Wasserstoffs voranzutreiben. Basierend auf öffentlichen und privaten Investitionen in Projekte in den Bereichen Produktion, (Zwischen-) Speicherung, Distribution, Transport sowie Verbrauch und Verwendung von erneuerbaren Gasen in Portugal soll der Sektor auf portugiesischer Ebene mobilisiert werden.

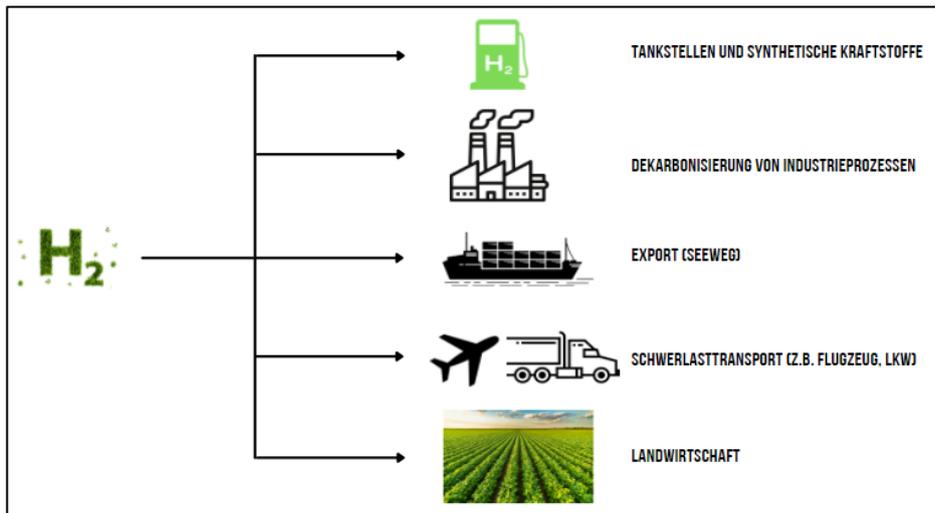
Im Rahmen der *Important Projects of Common European Interest* (IPCEI), also strategische Förderprojekte der EU-Kommission, die Innovation in ressourcenintensiven Markt Bereichen forcieren sollen, wurde bereits eine Reihe von Projekten ausgewählt, die sich auf die Produktion, Speicherung und die Verteilung von grünem Wasserstoff konzentrieren. Die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien zu niedrigen Preisen sowie ein hohes Solar- und Windpotenzial machen Portugal zu einem besonders potenzialreichen Standort für die Produktion von wettbewerbsfähigem, grünem Wasserstoff.

## 1.3. Take-aways aus der Informationsveranstaltung

Im Rahmen des Konsortialbildungsprojektes fand am 30. Juni 2021 die erste Informationsveranstaltung statt. Moderiert wurde die Veranstaltung von der BC Berlin-Consult GmbH, in Zusammenarbeit mit der AHK Portugal und der eclareon GmbH. Etwa 20 deutsche Unternehmen nahmen an der Informationsveranstaltung teil, wovon mehr als 10 im Anschluss an die Einführungsvorträge von portugiesischen Vertretern aus der Industrie und aus der Forschung an Workshops in Form von Break-out-Rooms teilnahmen.

Das sehr engagierte Brainstorming der deutschen KMUs mündete in erste Ansätze für Anwendungsmöglichkeiten von grünem Wasserstoff in den Bereichen der Landwirtschaft, Mobilität und des Tourismus. Dies soll in der aktuellen Phase (Juni 2021) jedoch nur als Momentaufnahme aufgefasst werden, da sich der genaue Projektrahmen dieser Konsortialbildung ein Stück weiter *upstream* befindet, sprich in der Wasserstoffproduktion, -(zwischen-)speicherung und -verteilung. Nichtsdestotrotz, um den diversen Anwendungsmöglichkeiten grünen Wasserstoffs Ausdruck zu geben, sind in der Abbildung auf der folgenden Seite exemplarisch Einsatzbereiche dargestellt.

Abbildung 2 – Beispiele der Anwendungsmöglichkeiten von grünem Wasserstoff



Quelle: Eigene Darstellung (2021)

Die in Abbildung 2 exemplarisch dargestellten Anwendungsmöglichkeiten befinden sich praktisch am „Ende“ der Wertschöpfungskette und sollen hier das sektorenübergreifende Potenzial von grünem Wasserstoff untermauern. Man erkennt auch, dass die aufgezeigten Anwendungsbereiche teilweise ineinandergreifen. In der Landwirtschaft, beispielsweise, können synthetische Kraftstoffe (z.B. grüner Ammoniak) zum Einsatz kommen und den ökologischen Fußabdruck der kraftstoffintensiven landwirtschaftlichen Maschinerie (z.B. Traktoren) verbessern. Die Anwendung von solchen Kraftstoffen ist daher natürlich eine zukünftige Option für den Schwerlasttransport (z.B. Cargo-Schiffe, Flugzeuge), aber auch in naher Zukunft eine Möglichkeit, die Treibhausgas-Emissionen von touristischen Reisen zu reduzieren, beispielsweise mit dem Einsatz von wasserstoffbetriebenen Reisebussen. Es laufen derzeit Pilotprojekte für die Entwicklung von wasserstoffbetriebenen Cargo-Schiffen, wodurch der zukünftige Wasserstoffexport per See auch emissionsfrei erfolgen könnte. Darüber hinaus kann grüner Wasserstoff in Industrieprozessen eingesetzt werden, um deren Dekarbonisierung voranzutreiben. So plant das portugiesische Unternehmen The Navigator Company beispielsweise die Nutzung eines Gasgemischs mit grünem Wasserstoff und die ökologische Bilanz von Verbrennungsprozessen zu verbessern. Besonders verbrauchsintensive Industrien, dessen Prozesse sich nur bedingt elektrifizieren lassen (z.B. Chemie- und Zementindustrie), können auf grünen Wasserstoff als klimaneutrale Alternative zugreifen; beispielsweise um Wärme zu erzeugen.

## 2. Zielgruppen in der deutschen Industrie

Das Konsortialbildungsprojekt „**Produktion, (Zwischen-) Speicherung und Verteilung von grünem Wasserstoff in Portugal**“ richtet sich an deutsche Unternehmen, die im Verbund energieeffiziente Lösungen und Technologien innerhalb der drei vorgeschlagenen Teilbereiche anbieten und mit den Projektträgern integriert weiterentwickeln. Der damit einhergehende Wissenstransfer, die gebündelte Markt- und Technologieerfahrung sowie das geballte Know-how erhöhen deutlich die Erfolgchancen durch kombinierte Leistungsfähigkeit und stimulieren kosten- bzw. ressourcenoptimale Ansätze. Das Konsortium, das aus mindestens vier deutschen Unternehmen bestehen soll, kann dabei als einheitliche Gruppe oder nach Angeboten, Produkten und Dienstleistungen gruppiert, abhängig von der Art und Anzahl der teilnehmenden deutschen Unternehmen, auftreten.

Portugal befindet sich in Phase 1 (2020-2023) der Umsetzung der EN-H<sub>2</sub> und schafft den Lizenzierungs- und Regulierungsrahmen, der in Kapitel 5 näher beschrieben wird, um die Entwicklung und Umsetzung von Projekten unterschiedlicher Größenordnung und verschiedener Sektoren zu beschleunigen. Für die Definition der Zielgruppen in der deutschen Industrie unterscheiden wir zwischen Zielgruppen für die Produktion, (Zwischen-) Speicherung und Verteilung von grünem Wasserstoff.

## 2.1. Produktion von grünem Wasserstoff

Von entscheidender Bedeutung für die Produktion von grünem Wasserstoff sind die Elektrolyseure. Im Rahmen dieser Zielmarktanalyse stehen die drei gängigen Elektrolyseurarten im Fokus: der **alkalische** Elektrolyseur (AEL), der **saure bzw. Protonen-Austausch-Membran**-Elektrolyseur (PEM) und der **Hochtemperatur**-Elektrolyseur, wie etwa die **Festoxid**-Elektrolysezelle (SOFC).

Die Zielgruppen in der deutschen Industrie sind daher Hersteller von Elektrolyseuren, Systemhersteller und Komponentenlieferanten sowie Beratungsunternehmen, Forschungsinstitute und Labore aus dem Bereich der erneuerbaren Energien. Dazu gehören Photovoltaik-Module (PV-Module), ebenso wie Technologien zur Gewinnung konzentrierter Solarenergie oder Windenergie in Kombination mit Solarenergie. Darüber hinaus sind technische bzw. technologische Lösungsansätze für Meerwasserentsalzung und Abwasseraufbereitung gefragt.

Auf Grund des Bedarfs an Elektrolyseuren werden auch konkret Komponentenlieferanten für solche Systeme relevant, wie z.B. Hersteller von (Edelmetall-) Katalysatoren, Bipolarplatten und Membran-Elektroden-Einrichtungen, sogenannte *membrane electrode assemblies* (MEA).

## 2.2. (Zwischen-) Speicherung von grünem Wasserstoff

In Phase 1 der EN-H<sub>2</sub> konzentrieren sich die Speicherprojekte hauptsächlich auf die Einspeisung in das Erdgasnetz und die Nutzung der inhärenten Speicherkapazität des Erdgasnetzes an sich, dem sogenannten *lineback*. Darüber hinaus sind jedoch andere technische Lösungsansätze gefragt. Das portugiesische Nationale Labor für Energie und Geologie, *Laboratório Nacional de Energia e Geologia* (LNEG), entwickelt laut eigenen Angaben bis Ende 2021 eine Potenzialanalyse für die Nutzung von Salzkavernen in Portugal als Speicherlösung, zusätzlich zur Zwischenspeicherung im Erdgasnetz.

Andernfalls bekannte Alternativen, wie etwa die Einspeisung von grünem Wasserstoff in erschöpften Erdgasfeldern, sind in Portugal nicht gegeben, da keine Öl- oder Gasfelder vorhanden sind. Dementsprechend sind Unternehmen gefragt, die Energiespeicherlösungen entwickeln und/oder bereits Erfahrung mit der Speicherung von erneuerbaren Gasen vorweisen können. Des Weiteren ist das Know-how von Unternehmen relevant, die sich mit den geologischen Rahmenbedingungen für eine sichere Speicherung von Wasserstoff bzw. generell von erneuerbaren Gasen in Salzkavernen auskennen. Darüber hinaus sind weitere Zielgruppen in der deutschen Industrie relevant, wie Chemie- oder Energieunternehmen, die mit der chemischen Bindung von Wasserstoff für dessen Speicherung arbeiten. Konkret sind damit die Speicherung in Form von Methanol bzw. Methan sowie in Form von flüssigen organischen Wasserstoffspeichern, *Liquid Organic Hydrogen Carriers* (LOHC), gemeint. Komponentenlieferanten von Batterien und dimensionsstabilen Elektroden (DSA-Elektroden), ebenso wie von Akkumulatoren und Brennstoffzellen werden in diesem Kontext ebenfalls relevant sein.

## 2.3. Verteilung von grünem Wasserstoff

Die Verteilung von grünem Wasserstoff in Portugal kann gegebenenfalls dadurch erleichtert werden, dass es in Portugal einen einzigen Übertragungsnetzbetreiber gibt, nämlich REN Gasodutos, der zum Unternehmen Redes Energéticas Nacionais, S.A. (REN) gehört. Grundsätzlich wird grüner Wasserstoff über das Erdgasnetz verteilt, wodurch der Netzbetreiber in absehbarer Zukunft ein – sozusagen – hybrides Versorgungssystem überwachen muss bzw. ein mit einer bestimmten Wasserstoffkonzentration versehenes Erdgasnetz. Hieraus entsteht Bedarf nach technologischen Lösungen für das Gasnetz der Zukunft. Das Energiemanagementsystem muss Betriebsverfahren vorsehen, die die Kompatibilität der Grenzwerte für die Gasqualität sicherstellen, ebenso wie die Interoperabilität der Systeme (Sektorenkopplung) sowie die Echtzeit-Überwachung der Gas- bzw. Gasgemischqualität im Netzwerk, welche wiederum die Einspritz- und Mischvorgänge den Normierungen entsprechend steuert.

Weitere Zielgruppen in der deutschen Industrie gehen mit den für die (Zwischen-) Speicherung genannten Gruppen einher. Dazu gehören Unternehmen, die Technologien zur Verflüssigung von Wasserstoff anbieten, ebenso wie Firmen, die Tankfahrzeuge für Druck- oder Flüssigwasserstoff bauen. Die Einspeisung von grünem Wasserstoff in das Erdgasnetz wird ebenfalls Know-how von Gasnetzbetreibern, Komponentenlieferanten für Rohrleitungen von Gasnetzen (z.B. Einspritzdüsen, Kontrollmechanismen) erfordern. Grundsätzlich sollen die Verteilungsprojekte mit zentralen (im industriellen Maßstab) und dezentralen (in der Nähe des Verbrauchsortes) Produktionseinheiten verbunden sein, um eine effiziente, sektorenübergreifende Versorgung zu gewährleisten.

## 3. Projekt- und Wettbewerbsumfeld

Für eine erfolgreiche Positionierung auf dem Wasserstoffmarkt ist es essentiell, die nationalen und internationalen Marktakteure zu identifizieren und entsprechend zu klassifizieren. Dadurch zeichnet sich nicht nur die Wettbewerbssituation Portugals ab, man gewinnt damit ebenfalls ein besseres Verständnis für besonders relevante strategische Partner in diesem Markt. An dieser Stelle ist es wichtig zu betonen, dass es sich beim grünen Wasserstoffmarkt um einen sehr jungen Markt handelt, dessen Handelsstrategien, Regulatorik und Wirtschaftlichkeit noch in einer embryonalen Phase sind und welcher stark von gemeinsamen, internationalen Technologie- und Wissenstransfers abhängt, um den eigenen ambitionierten Zielen gerecht zu werden.

Angesichts der für einen solch jungen Markt typischen Charakteristika gilt es im Projekt- und Wettbewerbsumfeld zwei Aspekte im Blick zu behalten: Erstens kann von einem zukünftig günstigeren Preis von grünem Wasserstoff ausgegangen werden, der unmittelbar mit der fortschreitenden technologischen Innovation, den Pilotprojekten und den daraus gewonnenen Learning-by-Doing-Erfahrungen sowie letztendlich den Skaleneffekten von technisch und technologisch reifen Lösungen für den Wasserstoffmarkt eintreten wird. Zweitens gilt es, konkret für den portugiesischen Wasserstoffmarkt, die Möglichkeit zu nutzen, die kurzfristig anstehenden Projekte zu forcieren, da diese Geschäftsmöglichkeiten für deutsche Anbieter eröffnen und ihnen die Chance geben, als „First Mover“ den neu entstehenden Markt mitzugestalten.

### 3.1. Marktumfeld

Die Nationale Wasserstoffstrategie EN-H2 bildet die institutionelle Grundlage und das energie- und wirtschaftspolitische Rückgrat des portugiesischen Wasserstoffmarktes; diese schließt jedoch nicht dynamische Änderungen durch die Regierung aus, die ursprünglich nicht in der EN-H2 vorgesehen waren. Erst im März 2021 bestätigte die Regierung, dass die ersten Auktionen für Wasserstoff stattfinden sollten. Anders als in EN-H2 vorgesehen, werde diese erste Auktion jedoch nicht für die Produktion von Wasserstoff erfolgen, sondern für Unternehmen, die bereits grünen Wasserstoff verwenden<sup>2</sup> bzw. um dessen Anwendungsmöglichkeiten zu unterstützen. Laut EN-H2 wäre für diese erste Auktion die Vergabe von insgesamt einer halben Kilotonne grünen Wasserstoff für eine Einspeisung ins Erdgasnetz von ca. 0,1 % vorgesehen.

Dabei sollen Investitionen im Rahmen der Produktion, also die Investitionsausgaben (CAPEX) sowie laufende Betriebskosten (OPEX), unterstützt werden. Das übergeordnete Ziel, so der Staatssekretär für Energie João Galamba, sei, dass die Konsumenten nicht die Mehrkosten für den Aufbau des noch jungen Wasserstoffmarktes tragen, sondern dass die Wasserstoffproduzenten kosteneffizienter ihre Produktion aufbauen und das erneuerbare Gas an die Endverbraucher bringen können. Hierfür erhielt die Regierung großen Zuspruch aus dem Industriesektor; Unternehmen wie Bondalti, Cimpor, Renova und Solvay haben bereits ihr Interesse bekundet, grünen Wasserstoff zu verwenden. Im Transportbereich meldeten das portugiesische Schienenverkehrsunternehmen *Comboios de Portugal* (CP) und der Bushersteller CaetanoBus ebenfalls Interesse an im Hinblick auf die Produktion neuartiger, wasserstoffbetriebener Busse und Züge.

### 3.2. Nationale Projekte und Kooperationen

Die portugiesische Regierung hatte Mitte Juni 2020 eine Ausschreibung zur Förderung von Wasserstoffprojekten im Rahmen der *Important Project of Common European Interest* (IPCEI) eingeleitet. Dabei handelt es sich um transnationale, wichtige Vorhaben zur Förderung der europäischen Wirtschaft und Industrie mit staatlicher Unterstützung. Aus den eingereichten 74 Vorschlägen wählte das Ministerium für Umwelt und Klimapolitik (*Ministério do Ambiente e da Ação Climática*) am 27. Juli 2020 die 37 Projekte, die in die nächste Bewerbungsrunde kamen und welche mit einem Volumen von 9 Mrd. Euro finanziert werden könnten. Stand heute (Juni 2021) hat die AHK Portugal die 37 ausgewählten Projekte in Cluster unterteilt, die sich darauf beziehen, in welchem Part der Wertschöpfungskette von grünem Wasserstoff sich die jeweiligen Projekte bewegen. Diese Cluster sind: **F&E, Industrie, Infrastruktur, Mobilität, Produktion** sowie **Speicherung**. Die mit wenigen oder gar keinen Informationen näher beschriebenen IPCEI-Projekte wurden als **Nicht bekannt** klassifiziert. Die Tabelle mit den 37 ausgewählten IPCEI-Projekten finden Sie im Anhang 1.

<sup>2</sup> ECO/Capital Verde: Leilões de hidrogénio avançam em abril com novas regras (2021)

### Green Flamingo / H2Sines – Industrielle Produktion von grünem Wasserstoff in Sines

Mit einer geplanten Investition von mehr als 2,85 Mrd. Euro wurde Green Flamingo ursprünglich als Vorzeige-Industrieprojekt Portugals zur Herstellung von grünem Wasserstoff vorgestellt.<sup>3</sup> Dabei sollte am portugiesischen Tiefseehafen Sines bis 2030 in Kooperation mit der niederländischen Regierung eine Industrieanlage mit einer Kapazität von mindestens 1 GW an Elektrolyseuren installiert werden, vorrangig für den Export per Schiff nach Rotterdam.<sup>4</sup> Anfangs bildete sich ein sogenanntes Mega-Konsortium aus einigen der größten portugiesischen Energieunternehmen wie EDP, Galp und REN zusammen mit der Metallbaugruppe Martifer und dem weltweit größten Hersteller von Windenergieanlagen, dem dänischen Unternehmen VESTAS,<sup>5</sup> die die Wasserstoffproduktion in Sines unter dem Projektnamen „Green Flamingo“ forcieren wollten. Nach aktuellem Stand (Juni 2021) haben EDP und Galp zwar das Mega-Konsortium verlassen, um eigenständig andere Projekte zur Wasserstoffproduktion zu verfolgen, die Planung läuft jedoch weiter – nunmehr unter dem Namen „H2Sines“ – und wird von der portugiesischen Regierung als wichtiger Meilenstein für die Wasserstoffproduktion in Portugal nach wie vor unterstützt, sodass mit evtl. Änderungen an der Konsortialbildung zu rechnen ist.

### Green Gas

Ein weiteres Projekt namens Green Gas wird in Évora von Fusion Fuel in Partnerschaft mit Galp entwickelt. Dieses Pilotprojekt testet die Einspeisung von grünem Wasserstoff in das Verteilungsnetz, welchen das Unternehmen bereits durch Elektrolyse von Wasser in seiner Industrieanlage in Sabugo, in der portugiesischen Gemeinde Almargem do Bispo, mittels einer innovativen Technologie zur Konzentration der Sonnenstrahlung produziert. Bis 2025 plant das Unternehmen insgesamt 488 Mio. Euro in fünf Wasserstoffprojekte zu investieren, um die anvisierte Produktionsmenge von 61.000 Tonnen Wasserstoff zu erreichen.<sup>6</sup>

## 3.3. Internationale Projekte und Kooperationen

### Associação Ibérica de Gás Natural

Der Iberische Erdgasverband Gasnam ist der Verband für nachhaltigen Transport, der die Gas- und Wasserstoff-Wertschöpfungskette integriert, um die ökologischen, wirtschaftlichen und betrieblichen Herausforderungen des Transports (Straßenverkehr, Schiff- und Luftfahrt) in Spanien und Portugal zu bewältigen. Unter anderem organisiert der Verband den „Green Gas Summit“ über die Anwendung von erneuerbaren Gasen für den Mobilitätssektor.<sup>7</sup>

### European Clean Hydrogen Alliance

Die Europäische Allianz für sauberen Wasserstoff zielt auf einen ehrgeizigen Einsatz von Wasserstofftechnologien bis 2030 ab, indem sie die Produktion von erneuerbarem und kohlenstoffarmem Wasserstoff, die Nachfrage in Industrie, Mobilität und anderen Sektoren sowie die Wasserstoffverteilung zusammenführt. Mit dieser Allianz will die EU ihre Wettbewerbsfähigkeit in diesem Bereich ausbauen, um das übergeordnete Ziel zu verfolgen, bis 2050 Kohlenstoffneutralität zu erreichen. Konkret im portugiesischen Projekt- bzw. Wettbewerbsumfeld gewinnt die *Clean Hydrogen Alliance* besondere Relevanz durch die Teilnahme des Unternehmens Portgás an den Roundtables. Als Betreiber des Gasverteilungsnetzes ist Portgás das einzige portugiesische Unternehmen, welches an zwei Roundtables dieser Allianz teilgenommen hat. Die übergeordneten Themen waren "Übertragung und Verteilung von sauberem Wasserstoff" und "Sauberer Wasserstoff für Haushaltsanwendungen". Neben dem Wissensaustausch zielen diese Arbeitsgruppen darauf ab, die wichtigsten Herausforderungen, Prioritäten und Möglichkeiten der verschiedenen Technologien zur Wasserstofferzeugung zu identifizieren, einschließlich der Verteilung in den Infrastrukturen und des Einflusses auf die Ausrüstung der aktuellen und zukünftigen Kunden.<sup>8</sup>

### Hydrogen Council

Hydrogen Council ist eine globale, von CEOs geleitete Initiative führender Unternehmen mit dem langfristigen Ziel, Wasserstoff als Übergang zu einer sauberen Energieversorgung der Zukunft zu fördern. Die Mitgliederzahl beläuft sich auf

<sup>3</sup> Dinheiro Vivo: Governo conta com 7 mil milhões de investimento até 2030 (2020)

<sup>4</sup> TSF: Governo quer „fábrica gigante de hidrogénio” em Portugal (2020)

<sup>5</sup> ECO/Capital Verde: EDP, Galp, Martifer, REN e dinamarquesa Vestas avançam em mega-consórcio (2020)

<sup>6</sup> ECO/Capital Verde: Há dois projetos de hidrogénio verde prestes a arrancar até fim do ano (2020)

<sup>7</sup> Revista Cargo: Gasnam saúda EN-H2 e a sua aplicação na mobilidade (2020)

<sup>8</sup> REN: Portgás única empresa portuguesa a integrar duas mesas redondas da “European Clean Hydrogen Alliance” (2021)

aktuell (Juni 2021) 81 Firmen. Unter ihnen befinden sich große Unternehmen aus den Bereichen Energie, Transport, Industrie und dem Finanzsektor, die eine gemeinsame Vision zur Rolle von Wasserstoff in der Energiewende vorantreiben. Das portugiesische Energieunternehmen Galp ist dem Hydrogen Council beigetreten und evaluiert nun strategische Partnerschaften im Zusammenhang mit der Produktion von grünem Wasserstoff und dessen Potenziale für die Dekarbonisierung von ressourcenintensiven Industrieprozessen, Mobilität und die Einspeisung in Erdgasnetze. Diese Projekte reihen sich in das strategische Ziel von Galp ein, etwa 40 % der jährlichen Nettoinvestitionen im Zusammenhang mit Projekten für die Energiewende zu tätigen.<sup>9</sup>

### 3.4. Lokale Behörden und Verbände

Lokale Behörden und Verbände sind keine Wettbewerber im portugiesischen Wasserstoffmarkt, sondern vielmehr relevante Stakeholder. Für einen erfolgreichen Markteintritt in Portugal empfiehlt sich ein umfangreiches Verständnis der wasserstoffmarktspezifischen Behördenlandschaft bzw. ein Verständnis darüber, welche Behörden diesen Markt im besonderen Maße beeinflussen können. Im Kapitel 8 „Marktakteure“ werden die Wichtigsten aufgezählt und beschrieben.

### 3.5. Lokale Wettbewerber: Produktion von grünem Wasserstoff

Wettbewerber (u.a. Projektpromoter) können entsprechend ihrer Relevanz, Positionierung auf dem lokalen Markt und ihrer Erfahrung mit projektnahen Technologien (z.B. Elektrolyseverfahren, Einspeisung ins Erdgasnetz, Speichertechnologien, usw.) auch als potenzielle Partner gesehen werden. Hieraus ergeben sich Synergieeffekte durch die Zusammenarbeit mit Institutionen bzw. Unternehmen, die die aktuellen Gegebenheiten des portugiesischen Wasserstoffmarktes kennen und dementsprechend für eine strategische Ausrichtung im Zielland einen entscheidenden Beitrag leisten können.

#### Bondalti Chemicals

In einem Chemiekomplex in der portugiesischen Gemeinde Estarreja soll die Wasserstoffproduktion durch Bondalti vom portugiesischen Staat bzw. durch EU-Fördergelder unterstützt werden. Das Projekt trägt den Titel „H2Enable – The Hydrogen Way for Our Chemical Future“, sieht eine Gesamtinvestition von 2,4 Mrd. Euro vor und soll bis 2040 entwickelt und umgesetzt werden. Besonders ist bei diesem Projekt, dass nicht nur die Produktion, sondern sämtliche Teile der Wertschöpfungskette von Wasserstoff entlang der 4 Projektphasen involviert werden. Mit Photovoltaik soll grüner Wasserstoff für den Direktverkauf produziert werden, jedoch auch für die Herstellung von grünem Ammoniak, welcher wiederum eine zentrale Rolle im portugiesischen Energieexport der Zukunft einnehmen soll.<sup>10</sup>

#### EDP – Energias de Portugal

Mit einer Gesamtinvestition in Höhe von 12,6 Mio. Euro, wovon 10 Mio. aus EU-Finanzierungsinstrumenten stammen, startete EDP im April 2020 ein Pilotprojekt zur Produktion von grünem Wasserstoff im Kombikraftwerk Ribatejo. Das Projekt soll eine Laufzeit von vier Jahren (bis 2024) haben. Die ersten praktischen Tests zur Wasserstoffproduktion per Elektrolyseverfahren sind für 2022 geplant und sehen eine installierte Leistung von 1 MW sowie eine Speicherkapazität von 12 MWh vor. Dieses Projekt, das den Namen FLEXnConfu – Flexibilisierung von Gas- und Dampfturbinenkraftwerken durch Power-to-X-Lösungen mit nicht konventionellen Brennstoffen trägt, erfolgt innerhalb eines internationalen Konsortiums unter der Leitung des italienischen Unternehmens RINA.<sup>11</sup> Darüber hinaus stellte EDP in einem Vierjahresplan (2021-2025) das Vorhaben vor, Elektrolyseure mit einer Gesamtleistung von 250 MW in Portugal zu installieren.<sup>12</sup>

#### Fusion Fuel

Fusion Fuel produziert grünen Wasserstoff durch ihr entwickeltes „Solar-to-Hydrogen“-Elektrolyseverfahren „HEVO“. Der PEM-Elektrolyseur ist für die Massenproduktion hergestellt worden, um somit einen vielseitigen Einsatz zu fördern. Die Technologie ermöglicht die Kombination mit einer hocheffizienten Solarzelle und den Anschluss an ein speziell entwickeltes konzentriertes PV-Solarpanel, um die Energie der Sonne, sowohl elektrische als auch thermische, direkt nutzen zu können. Die Anwendung dieses Produktionsverfahrens soll eine deutlich höhere Energieumwandlungsrate (27 %) als

<sup>9</sup> Galp: Galp adere ao Hydrogen Council e avalia projetos para desenvolver economia do hidrogénio em Portugal (2020)

<sup>10</sup> Bondalti: Bondalti aposta no hidrogénio (2020)

<sup>11</sup> ECO/Capital Verde: Hidrogénio verde já arranca na central térmica da EDP no Ribatejo (2020)

<sup>12</sup> Expresso: EDP tem em mãos 20 projetos de hidrogénio verde (2021)

die gängigen Marktlösungen zur Wasserstoffproduktion (8-10 %) erzielen können. Das Unternehmen rechnet bis 2026 mit einer jährlichen Produktion von mehr als 100.000 Tonnen grünem Wasserstoff und einer installierten Elektrolyseur-Kapazität bis 2025 in Höhe von 600 MW.<sup>13</sup> Darüber hinaus plant das Unternehmen, in ein großindustrielles Wasserstoffprojekt für Sines in Höhe von 492 Mio. Euro zu investieren. Die geplante Fabrik zur Produktion von grünem Wasserstoff soll ebenfalls für die Produktion von grünem Ammoniak verwendet werden.<sup>14</sup>

### **Galp Energia**

Galp ist der größte Produzent und Nutzer von Wasserstoff – aber noch nicht grünen Wasserstoff – in Portugal. Das Unternehmen produziert jährlich etwa 120 Tausend Tonnen Wasserstoff, welcher im Produktionsprozess seines Raffinerie-systems verwendet wird. Es ist ebenfalls an der Inbetriebnahme der ersten Wasserstofftankstelle in Portugal beteiligt, die noch in diesem Jahr eröffnet werden soll. Auch langfristig plant Galp weitere Großprojekte. Im Rahmen von grünem Wasserstoff ist, nach dem Verlassen des angestrebten Mega-Konsortiums Green Flamingo, mit einem eigenständigen Projekt von Galp zu rechnen, das schrittweise die Umwandlung der Industrieanlage in Sines in ein Zentrum für grüne Energie vorsieht. Dabei sollen die Produktion von grünem Wasserstoff und von synthetischem Kraftstoff im Vordergrund stehen. Galp beabsichtigt, bis 2025 ein Projekt für einen Elektrolyseur mit einer Kapazität von 100 MW zu entwickeln, der potenziell auf 0,6 – 1 GW erweitert werden soll, wenn sich die Technologie und das Geschäftsmodell bewähren.<sup>15</sup>

### **Ultimate Power<sup>16</sup>**

Seit 2012 beschäftigt sich Ultimate Power mit der Herstellung und dem Vertrieb von Geräten zur Wasserstoffproduktion, vorrangig PEM-Elektrolyseuren. 2018 wurde im Bereich der Verbrennungsoptimierung in der Industrie ein Joint Venture mit dem Zementkonzern SECIL gegründet, aus dem die Firma UTIS entstanden ist. Die Geräte für die Zementindustrie sind Elektrolyseure mit einem Durchfluss von 10.000 Litern pro Stunde (l/h), die in einem sechs Meter langen Container untergebracht sind. Jede Einheit kann bis zu 900.000 Euro kosten, aber der Break-Even wird nach Angaben des Unternehmens bereits nach 8 bis 12 Monaten erreicht.

## **3.6. Lokale Wettbewerber: Speicherung und Verteilung von grünem Wasserstoff**

### **Dourogás**

Die Dourogás-Gruppe wird 2 Mio. Euro, mit Unterstützung des nationalen Finanzierungsinstrumentes Portugal 2020, in die Installation einer grünen Wasserstoffstation in Vila Franca de Xira investieren. Das Projekt, das noch im 2. Halbjahr 2021 beginnen soll, wird im Jahr 2022 fertig sein. Zusätzlich zu grünem Wasserstoff investiert Dourogás auch in 100 % erneuerbares Biomethan; eine Tankstelle in Loures soll 2022 eröffnet werden. Seit 2017 produziert das Unternehmen dieses Gas in Mirandela und verwendet dafür Biogas aus einer organischen Verwertungsanlage für feste Siedlungsabfälle. Das Pilotprojekt, genannt Biogasmove, ist bereit für eine neue Phase mit der Erweiterung der Produktion in Mirandela und dem Anschluss an das Erdgasnetz, um es in der gesamten Region zu verteilen. Die Dourogás-Tankstelle in Loures, die bisher Fahrzeuge mit Erdgas versorgt hat, wird nun Biomethan von Biogasmove erhalten und verteilen.<sup>17</sup>

### **GGND – Galp Gás Natural Distribuição**

Galp Gás Natural Distribuição (GGND) ist Portugals größter Erdgasnetzbetreiber. Das Verteilernetzwerk von 13.000 km versorgt ca. 1,1 Mio. portugiesische Haushalte. Knapp 95 % des Netzwerks von GGND bestehen aus Polyethylen („PE“)-Niederdruckleitungen, die auch für den Transport von Wasserstoff, synthetischem Erdgas oder Biomethan genutzt werden können. Für Juni 2021 hatte das Unternehmen anvisiert, ein Pilotprojekt in der Gemeinde Seixal zu starten. Dabei soll ein kleines Netzwerk von 80 Verbrauchern, zumeist Privathaushalte, Erdgas mit einem Anteil an grünem Wasserstoff zwischen 2 und 20 % zugeliefert bekommen.<sup>18</sup> Das Projekt, welches den Namen „Green Pipeline“ trägt, wird in Partnerschaft mit verschiedenen Unternehmen (PRF, Vulcano/Bosch) sowie dem Elektrolyseurhersteller Gestene durchgeführt, soll über zwei Jahre entwickelt werden, Investitionskosten von einer halben Mio. Euro vorsehen und die ersten konkreten Erfahrungswerte für eine Einspeisung von grünem Wasserstoff in das Erdgasnetz auf einer solchen Skala liefern.

<sup>13</sup> Jornal Económico: Fusion Fuel: A empresa portuguesa de hidrogénio que negocia em Wall Street (2021)

<sup>14</sup> Jornal Económico: Fusion Fuel tem projeto de 492 milhões de euros para Sines (2021)

<sup>15</sup> Jornal de Negócios: Galp planeia centro de energia verde em Sines. Avança no hidrogénio e no lítio (2021)

<sup>16</sup> Observador: Portugal quer hidrogénio e esta empresa lidera (2020)

<sup>17</sup> Dinheiro Vivo: Vila Franca de Xira vai ter posto de hidrogénio verde em 2022 (2021)

<sup>18</sup> ECO/Capital Verde: Galp Distribuição vai injetar hidrogénio na rede de gás natural até junho (2021)

## LNEG

Das portugiesische Nationale Labor für Energie und Geologie forscht aktuell nach Speicherlösungen und plant bis Ende 2021 mit dem Mapping der geologisch und topographisch potenzialreichsten Regionen Portugals für die Einrichtung von Salzkavernen für die Speicherung von Wasserstoff fertig zu sein. Die Eignung von Salzkavernen für solche Speicherzwecke wird auch in Deutschland bereits getestet, z.B. mit dem HyCAVmobil-Projekt.<sup>19</sup> Aus einem Gespräch mit der AHK Portugal geht hervor, dass der LNEG im Osten Portugals und in der Algarve im Süden die vielversprechendsten Regionen erkennt. Für dieses Projektvorhaben, welches mit besonders hohen Investitions- und Betriebskosten verbunden wäre (z.B. Bohrlöcher bis in 1.000 m Tiefe, Entfernung von Grundwasser, um einen Salzhohlraum zu bilden usw.), strebt das LNEG nach institutionellen Kooperationen bzw. nach finanziellen Instrumenten der Regierung, die zusätzlich zur EN-H<sub>2</sub> vorgestellt werden sollen, um die Forschungs- und Entwicklungsarbeit für Speicherlösungen zu ermöglichen. In Portugal gibt es lediglich einen vergleichbaren Untertagespeicher, nämlich in der Gemeinde Carriço, der aus sechs Erdgasspeicherräumen in einer natürlichen Salzformation besteht und von REN Armazenagem betrieben wird, der Sparte für Energiespeicherung des Energieunternehmens REN.<sup>20</sup>

## Portgás

Portgás ist ein Erdgasverteiler, den REN von der EDP-Gruppe gekauft hat und der im Norden des Landes tätig ist. Das Unternehmen plant eine Investitionssumme von 11,95 Mio. Euro für die Dekarbonisierung und die Digitalisierung der Anlagen. Portgás untersucht darüber hinaus mit der fachlichen Unterstützung von INEGI die technische Machbarkeit der H<sub>2</sub>-Einspeisung in ihr Gasverteilungsnetz.<sup>21</sup>

## Turbogás

Turbogás betreibt in der Gemeinde Tapada do Outeiro eines der wichtigsten Erdgas-Kombikraftwerke Portugals mit einer installierten Leistung von insgesamt 990 MW. Das Unternehmen hat nun ein Projekt vorgestellt, in Tapada do Outeiro grünen Wasserstoff zu produzieren, um binnen fünf Jahren (bis 2025) Teile des Großraums Porto versorgen zu können. Das Unternehmen will den Verbrennungsprozess der Anlage durch die Beimischung von bis zu 15 % grünem Wasserstoff zunehmend dekarbonisieren und plant mit der Installation eines 15-MW-Elektrolyseurs, der in einer ersten Phase grünen Wasserstoff aus Netzstrom (grün, mit Herkunftsnachweisen) und später aus erneuerbaren Quellen produziert. Es soll eine Einspeisung in das Gasnetz bis zu einem Anteil von 5 % getestet werden; darüber hinaus plant Turbogás die Errichtung eines regionalen Wasserstoffmarktes, der die Umstellung der bestehenden Industrien und des Mobilitätssektors im Großraum Porto fördern soll.<sup>22</sup>

## 3.7. Weitere Wasserstoffanwendungen und internationale Wettbewerber

### CaetanoBus

Die Gemeinde Cascais, in der Nähe von Lissabon, hat für rund eine Mio. Euro zwei wasserstoffbetriebene Busse des portugiesischen Buserstellers CaetanoBus gekauft als Teil der Dekarbonisierungsstrategie für den Mobilitätssektor der Gemeinde. Darüber hinaus wurde eine Partnerschaft mit der Salvador Caetano-Gruppe geschlossen, um das erste portugiesische wasserstoffbetriebene Abfallsammelfahrzeug zu entwickeln und in der Praxis zu testen. Zukünftig soll eine Flotte von 10 wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen parat stehen. Das Flaggschiff des Unternehmens ist das H<sub>2</sub>.City Gold, ein zu 100 % wasserstoffbetriebener Bus, von dem bereits zwei Einheiten für das eFarm-Projekt nach Niebüll in Schleswig-Holstein geliefert wurden.<sup>23</sup> Damit ist CaetanoBus, insbesondere für den Mobilitätssektor, ein wichtiger lokaler Wettbewerber bzw. potenzieller Partner.

### Endesa

Endesa ist ein spanischer Stromkonzern, der seine Expansionsvorhaben nach Portugal für die Produktion von grünem Wasserstoff bestätigt hat. Ein Joint Venture zwischen Endesa und Trustenergy – Trustenergy ist wiederum ein Joint Venture des französischen Energiekonzerns ENGIE und des japanischen Konglomerats Marubeni Corporation – ist für die

<sup>19</sup> DLR: Salzkavernen speichern Wasserstoff für Mobilitätswende (2020)

<sup>20</sup> REN: Armazenamento subterrâneo (2021)

<sup>21</sup> Expresso: Adaptação das redes de gás ao hidrogénio e outros gases renováveis custará quase 24 milhões de euros (2021)

<sup>22</sup> ECO/Capital Verde: Turbogás quer criar primeira rede regional de hidrogénio verde no Grande Porto (2020)

<sup>23</sup> CaetanoBus: Caetano H<sub>2</sub>.City Gold é o autocarro a hidrogénio escolhido pelo projeto eFarm na Alemanha (2020)

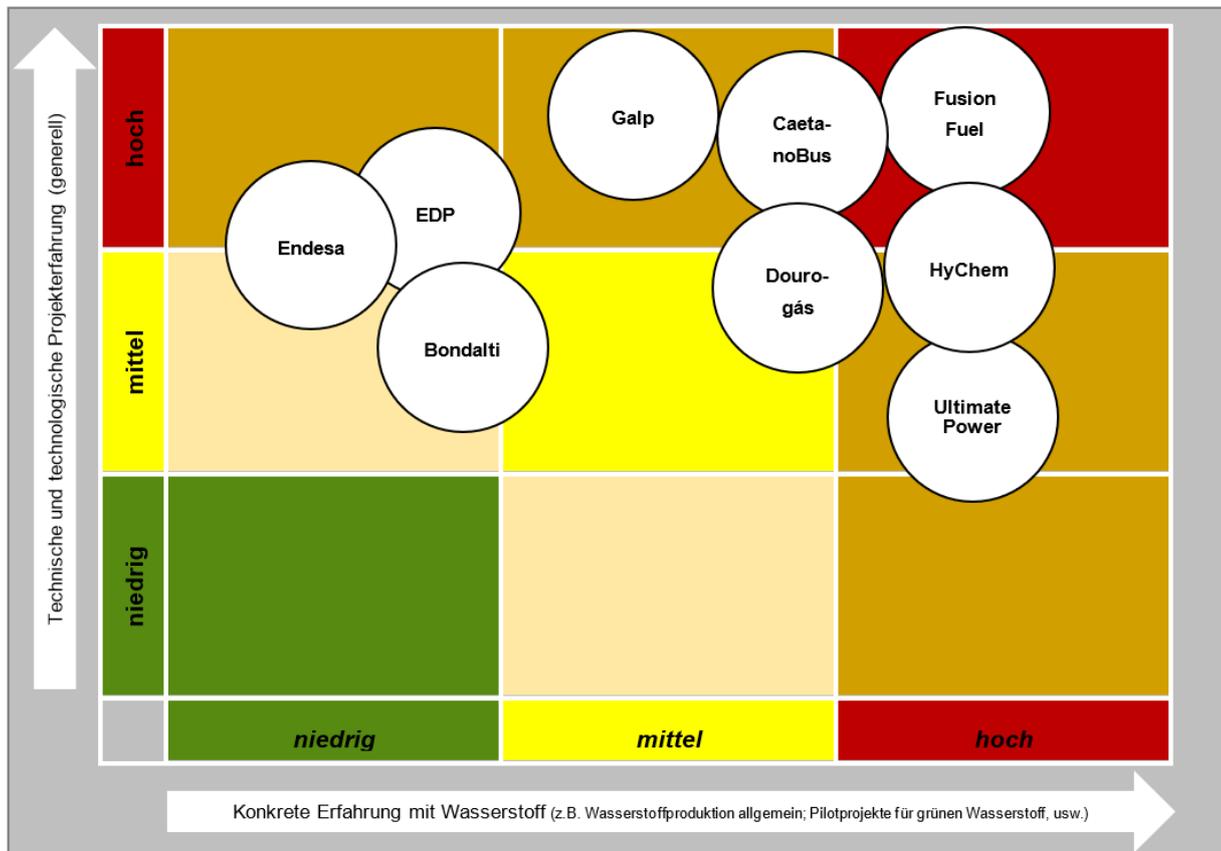
Geschäftsführung des Kohlekraftwerks Pego verantwortlich. Mit einer Investition von rund 582 Mio. Euro wird der Konzern das Kohlekraftwerk Pego, das im November 2021 seinen Betrieb einstellt, nun durch eine PV-Anlage mit einer Kapazität von 650 MW ersetzen sowie einen Batteriespeicher mit einer Leistung von 100 MW und einen Elektrolyseur, der in einer ersten Phase bis zu 1.500 Tonnen grünen Wasserstoff pro Jahr produzieren soll. Der Umbau des Kraftwerks Pego ist Teil der Energiewende von Endesa, die sich zum Ziel gesetzt hat, dass 80 % der gesamten Stromproduktion in Spanien und Portugal im Jahr 2030 emissionsfrei sein und diese im Jahr 2050 komplett entfallen sollen.<sup>24</sup>

### HyChem

Algora, ein portugiesisches Joint Venture der Unternehmen A4F und Green Aqua, erwarb im April 2021 Solvay Portugal, eine Tochtergesellschaft des belgischen Energiekonzerns. Solvay Portugal wurde dann in HyChem umbenannt und soll im Industriepark in Póvoa de Santa Iria bei Lissabon zusammen mit einem Hersteller von Wasserstoffperoxid arbeiten, das besonders für die Papier- bzw. Zellstoffindustrie relevant ist.<sup>25</sup> Die Expertise in der Produktion von Natriumchlorat und Wasserstoff möchte das Unternehmen bündeln und – als Teil des Projektes MOVE2LOWC – 12 Mio. Euro in die Produktion von grünem Wasserstoff per Dampfreformierung investieren. Mittel- bis langfristig soll der gesamte Industriekomplex zu einer „Gemeinschaft“ der erneuerbaren Energien werden, wo sich u.a. die technischen bzw. technologischen Kompetenzen für Wasserstoffproduktion (Solvay), autotrophische Mikroalgen (A4F) und erneuerbare Gase (Dourogás) vereinen.<sup>26</sup>

In der Abbildung 3 ist eine Wettbewerbsanalyse der portugiesischen wie auch internationalen Marktteilnehmer (u.a. Wettbewerber sowie Projektpromoter), unterteilt nach technischer und technologischer Projekterfahrung sowie konkreter Erfahrung mit Wasserstoff, dargestellt.

Abbildung 3 – Wettbewerbsanalyse des Projekts



Quelle: Eigene Darstellung (2021)

<sup>24</sup> Agencia EFE: Endesa vai substituir central a carvão do Pego por energia solar e hidrogénio verde (2021)

<sup>25</sup> Dinheiro Vivo: Algora conclui compra da Solvay Portugal e passa a chamar-se HyChem (2021)

<sup>26</sup> HyChem: Opportunities and Challenges of Technological Consortium targeting H2 projects in Portugal (2021)

## 4. Technische Lösungsansätze und ihre Wirtschaftlichkeit

Die portugiesische Regierung hat in ihrer Nationalen Wasserstoffstrategie (EN-H2) Konstellationen der Wertschöpfungskette aufgezeigt, welche das größte Potenzial von der Produktion bis zum Endverbrauch für die Anwendbarkeit in Portugal aufweisen. Eine dieser möglichen Konstellationen, auch bekannt als Power-to-Gas-Verfahren (PtG), umfasst die relevanten Teilbereiche, welche innerhalb des Konsortialansatzes definiert wurden, nämlich die Wasserstoffproduktion durch Wasserelektrolyseverfahren aus erneuerbaren Energien, die (Zwischen-) Speicherung sowie die Einspeisung in die Erdgasnetze und Verteilung des grünen Wasserstoffs. Ziel der portugiesischen Regierung ist es, mit grünem Wasserstoff die Energiewende in Portugal zu beschleunigen und die Wirtschaft zu dekarbonisieren. Technisch betrachtet liegt der Fokus auf Produktion und Einbindung zunehmender Mengen von grünem Wasserstoff in Industrieprozesse sowie dessen Anwendungsmöglichkeiten, z.B. für die Produktion erneuerbarer Kraftstoffe (synthetische Kraftstoffe für den See- und Luftfahrtsektor), aber auch im Mobilitätssektor (vorrangig im schweren Straßenverkehr von Personen und Gütern).<sup>27</sup>

Abbildung 4 – Bereiche der gesuchten Lösungsansätze für grünen Wasserstoff nach der EN-H2



Quelle: Eigene Darstellung nach: Diário da República - Estratégia Nacional para o Hidrogénio (2020)

Die EU-Kommission erkennt an, dass die Technologien für die Produktion von grünem Wasserstoff kosten- bzw. preistechnisch noch nicht mit den Marktalternativen (z.B. Erdgas) mithalten können. Nach Angaben der Kommission werden die Kosten für erneuerbaren Wasserstoff auf 2,5 bis 5,5 Euro pro Kilogramm geschätzt, im Vergleich zu 1,5 Euro pro Kilogramm für Wasserstoff auf fossiler Basis.<sup>28</sup> Schätzungen der EU-Kommission zufolge könnten die kumulierten Investitionen in erneuerbaren Wasserstoff in Europa bis 2050 zwischen 180 und 470 Mrd. Euro betragen. Gleichzeitig entsteht eine Wertschöpfungskette für Wasserstoff, die verschiedene Industriesektoren bedient und indirekt bis zu einer Million Menschen beschäftigen könnte. Darüber hinaus sieht die EU-Kommission die Installation von Elektrolyseuren bis zur einer Kapazität von 6 GW und die Produktion von insgesamt 1 Mio. Tonnen Wasserstoff zwischen heute (2021) und 2024 vor. Bis 2030 sind als Benchmark 40 GW bzw. 10 Mio. Tonnen vorgesehen, sodass die Technologien bis 2050 endgültig „gereift“ sind. Ferner rechnet die EU-Kommission mit einer 24-prozentigen Deckung des weltweiten Energiebedarfs durch Wasserstoff sowie einem jährlichen Absatzvolumen i.H.v. 630 Mrd. Euro.<sup>29</sup>

<sup>27</sup> Ministério do Ambiente e da Ação Climática: Estratégia Nacional para o Hidrogénio (2020)

<sup>28</sup> European Commission: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe (2020)

<sup>29</sup> European Commission: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe (2020)

Auf EU-Ebene sind demnach die institutionellen und energiepolitischen Rahmenbedingungen gegeben, innerhalb derer technische Lösungsansätze für die Wasserstoffwirtschaft gesucht werden. Auf diese und insbesondere die finanziellen Rahmenbedingungen wird in Kapitel 5 näher eingegangen. In diesem Kapitel stehen konkrete technische Lösungsansätze für die Bereiche Produktion, (Zwischen-) Speicherung und Verteilung von grünem Wasserstoff sowie deren Wirtschaftlichkeit im Fokus.

#### 4.1. Produktion von grünem Wasserstoff

Aufgrund des hohen Potenzials an natürlichen Ressourcen (Wind und Sonne) hat Portugal große Vorteile in der Herstellung von kostengünstigem, grünem Wasserstoff: Die nivellierten Produktionskosten von grünem Wasserstoff werden in der (Fach-) Literatur *levelized cost of production* (LCOP) genannt.<sup>30</sup> Der promovierte Chemieingenieur Rui Costa Neto, der in Portugal seit 2002 eng mit der Wasserstoffwirtschaft bzw. mit Forschungen und Entwicklungen in diesem Bereich verbunden ist, hat eine Formel zur Berechnung der Produktionskosten von einem Kilogramm grünem Wasserstoff vorgestellt. Diese wird im Rahmen der vorliegenden Zielmarktanalyse als ein hilfreiches Instrument verwendet, um die Einflussvariablen besser zu verstehen, die für die vollständige Berechnung der Produktionskosten von grünem Wasserstoff relevant sind bzw. um in einem weiteren Schritt konkrete Aussagen über die Wirtschaftlichkeit einer bestimmten Art der Wasserstoffproduktion treffen zu können und ggf. Benchmarks für Projekte in Portugal zu kalkulieren.

Abbildung 5 – Formel zur Berechnung der Produktionskosten von 1 kg grünem Wasserstoff

$$\text{Kosten}_{H_2} \left( \frac{\text{€}}{\text{kg}} \right) = \left( \frac{\text{EE\_Strom} \left( \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right)}{1000} + \frac{\text{CAPEX} \left( \frac{\text{€}}{\text{kW}} \right)}{10} * \frac{1}{\text{BSJ} \left( \frac{\text{h}}{\text{Jahr}} \right)} \right) * \frac{33,33 \left( \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \right)}{\text{EFF}} - \text{Umsatz}_{O_2} \left( \frac{\text{€}}{\text{kg}} \right) * 8$$

<b>EE_Strom</b>	Kosten des <b>EE-Stroms</b> ; in Portugal kann man mit einem Tarif von ca. 21 €/MWh rechnen
<b>CAPEX</b>	<b>Investitionsausgaben</b> ; vorrangig Anschaffungskosten des <b>Elektrolyseurs</b> (ca. 900 – 3.000 €/kW)
<b>BSJ</b>	<b>Betriebsstunden</b> des Elektrolyseurs pro Jahr (zwischen 2.100 und 8.760 h/Jahr)
<b>EFF</b>	<b>Effizienz</b> des Elektrolyseurs (ca. 0,6 – 0,7); 33,33 kWh/kg im Zähler = Energie in 1 kg Wasserstoff
<b>Umsatz<sub>O<sub>2</sub></sub></b>	<b>Einnahmen aus „Nebenprodukt“</b> : Pro kg (grünem) Wasserstoff werden 8 kg Sauerstoff produziert

Quelle: Eigene Darstellung nach „The potential and competitiveness of Portugal’s green hydrogen“, Rui Costa Neto (2021)

Die erste Variable sind die Kosten des eingesetzten Stroms aus erneuerbaren Energiequellen (z.B. Photovoltaik). In diesem Aspekt punktet Portugal deutlich mehr als andere potenzielle Wasserstoffproduzenten, da das Land in den letzten Auktionen für Solarenergie den niedrigsten Tarif der Welt mit 11,14 Euro/MWh erzielen konnte, wobei man mit einem mittleren Tarif von etwa 21 Euro/MWh rechnen sollte.<sup>31</sup> Die zweite Variable drückt die Kapitalkosten für die Elektrolyseure aus. In den nächsten Jahren bzw. insbesondere mit den in der portugiesischen Wasserstoffstrategie EN-H2 angestrebten Entwicklungen und generell dem Aufbau eines internationalen Wasserstoffmarktes ist mit einer stetigen Kostensenkung zu rechnen, die die Entwicklung der Technologie und dessen Reife, *technology readiness level* (TRL), begleitet. Es wird erwartet, dass die Kapitalkosten für Elektrolyseure, die Prof. Rui Costa Neto in seiner Formel noch zwischen 900 und 3.000 Euro/kW bezifferte, bis 2050 auf ca. 105-206 Euro/kW<sup>32</sup> fallen werden, was im Vergleich zu heute eine Kostenreduktion von bis zu 99 % bedeutet. Darüber hinaus müssen die Betriebsjahre berücksichtigt werden; in Abbildung 5 sind im Nenner entsprechend 10 (Jahre) angegeben, je nach Betriebsstunden im Jahr kann ein Elektrolyseur auch eine längere Lebenszeit erreichen. Auch im Hinblick auf die Zukunft, bei immer weiter fallenden Stromkosten, wird die CAPEX-Kostenkomponente die mit der deutlich höheren Gewichtung sein.<sup>33</sup>

<sup>30</sup> Prognos AG: Flexibilitäts-Optionen für die Energiewende und ihr Einsatz (2019)

<sup>31</sup> República Portuguesa | XXII Governo: Leilão português regista preço de energia solar mais baixo do mundo (2020)

<sup>32</sup> IRENA: Green hydrogen cost reduction – Scaling up electrolyzers to meet the 1.5 goal (2020)

<sup>33</sup> EDP: The role of renewable H<sub>2</sub> (2021)

Die dritte Variable sind die Betriebsstunden der Elektrolyseuranlage pro Jahr. Dadurch, dass die Variable im Nenner des Bruchs steht, erkennt man, dass je höher die Jahresbetriebsstunden, umso günstiger werden die Produktionskosten, da die Investitionsausgaben (CAPEX) mit einer immer kleineren Zahl ( $1/BSJ$ ) multipliziert werden. Wie man anhand der nächsten (vierten) Variable sieht, sind nicht nur die Betriebsstunden pro Jahr ein wichtiger Kostentreiber, sondern auch die Effizienz der Elektrolyseuranlage. Die Effizienz einer Elektrolyseuranlage kann als Heizwert des erzeugten Wasserstoffs geteilt durch die eingesetzte elektrische Energie berechnet werden, wobei der Wert immer kleiner als 1 ist.<sup>34</sup> Je näher an 1, umso effizienter ist die Technologie bzw. ist der Output im Vergleich zum Input. Auch hier lässt sich schließen, dass eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Technologie die Effizienz näher an 100 % bzw. an den Wert 1 bringen wird. Wir können anhand der Formel, mathematisch betrachtet, erkennen, wie das die Produktionskosten stark reduzieren könnte. Die Effizienz steht nämlich im Nenner des Bruchs, sodass je schlechter die Effizienz – sprich, je kleiner als 1 (z.B.  $33,33 / 0,7 = 47$ ) –, umso teurer werden die Produktionskosten. Effizientere Prozesse, wo der Nenner immer näher an 1 kommt (z.B.  $33,33 / 0,9 = 37$ ), senken die Kosten.

Schlussendlich werden die Einnahmen aus dem „Nebenprodukt“ der Wasserstoffproduktion – Sauerstoff – abgezogen. Für jedes Kilogramm produzierten grünen Wasserstoff entstehen 8 Kilogramm Sauerstoff, die mit einem bestimmten Marktpreis behaftet sind. Prof. Rui Costa Neto berechnete verschiedene Szenarien mit einem Verkaufspreis von Sauerstoff zwischen 0 und 3 Euro/kg. Ab einem Verkaufspreis von 1 Euro/kg würden negative Produktionskosten für grünen Wasserstoff erreicht werden, d.h. die Produktion würde sich allein aus dem Vertrieb des entstehenden Sauerstoff vollständig refinanzieren. Dies sollte womöglich nur berücksichtigt werden, wenn der Betreiber der Elektrolyseuranlage tatsächlich den mitentstehenden Sauerstoff verkauft bzw. diese Nebeneinnahmequelle in irgendeiner Form nutzt. Das Ergebnis dieser Formel sind die Kosten für grünen Wasserstoff in Euro/kg.<sup>35</sup>

Es geht einschlägig aus der Literatur und Expertengesprächen der AHK Portugal mit Elektrolyseurherstellern (z.B. ITM Power) hervor, dass die Technologie- neben den Stromkosten die wichtigsten Kostenkomponenten darstellen. Die untenstehende Abbildung ist das Ergebnis einer Fallstudie von Greenpeace Energy, die die Produktionskosten von grünem Wasserstoff für zwei verschiedene Entwicklungsszenarien kalkuliert hat; einmal mit einem gleichbleibenden Trend und einmal mit einem (realistischen) Preissturz der Elektrolyseure. Das Ergebnis sind Produktionskosten in Höhe von, umgerechnet, 3 Euro/kg (bis 2030) bzw. 2 Euro/kg (bis 2050), womit die mittel- und langfristige Wettbewerbsfähigkeit von grünem Wasserstoff verdeutlicht wird. Das geht einher mit den Berechnungen der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien, *International Renewable Energy Agency* (IRENA). Diese rechnete mit dem Beispiel des für 2025 vorgesehenen dänischen Energiemixes. Den Berechnungen der IRENA zufolge werde Dänemark 2025 das Ziel eines LCOP von etwa 2 – 2,5 Euro pro Kilogramm grünen Wasserstoff erreichen.<sup>36</sup>

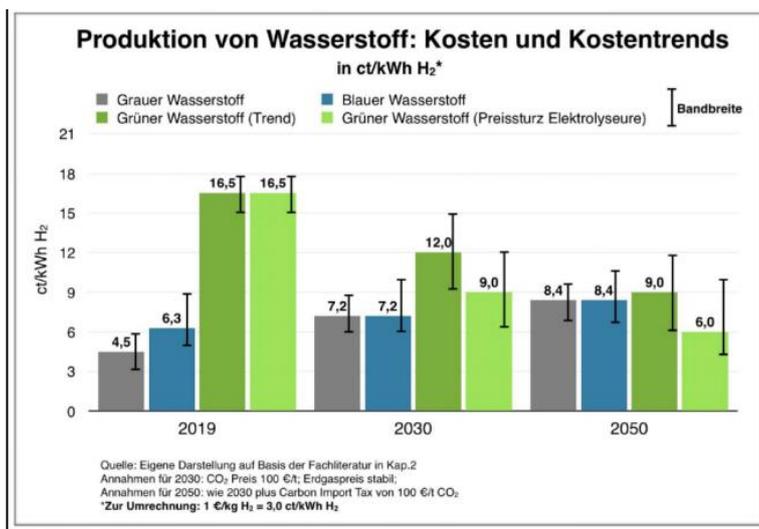
Grundsätzlich gilt es zu beachten, dass die volatilste Kostenkomponente die Kosten für den Elektrolyseur sind. Dementsprechend sollten starke Schwankungen der Schätzungen von Produktionskosten (z.B. 0,072 bis 0,215 Euro/kWh) in der Literatur relativiert werden. Der Reifegrad bzw. die Skaleneffekte der zunehmenden Nutzung der Technologie werden diesen Kostenpunkt in den nächsten Jahren reduzieren bzw. diesen letztendlich stabilisieren, sodass sich aussagekräftigere Kostenanalysen durchführen lassen.

<sup>34</sup> NREL: Hydrogen Production: Fundamentals and Case Study Summaries (2010)

<sup>35</sup> COSTA NETO, Prof. Rui: The potential and competitiveness of Portugal's green hydrogen (2021)

<sup>36</sup> IRENA: Power-to-Hydrogen Innovation (2019)

Abbildung 6 – Produktionskosten von Wasserstoff (2019-2050)



Quelle: Greenpeace Energy: Blauer Wasserstoff – Eine Fallstudie (2020)

### Technische Lösungsansätze

Für die Produktion von grünem Wasserstoff behalten wir, im Rahmen dieser Zielmarktanalyse, folgende Elektrolyseurtechnologien im Visier:

Tabelle 1 – Kurzübersicht von drei verschiedenen Elektrolyseverfahren

	Alkalische Elektrolyse (AEL)	Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEM)	Feststoff-Oxid-Hochtemperatur-elektrolyse (SOFC)
Betriebstemperatur	100 – 150 Grad Celsius	70 – 90 Grad Celsius	700 – 800 Grad Celsius
Elektrolyt	Flüssige alkalische Lösung aus Natrium oder Kaliumhydroxid	Protonenleitende Membran	Keramische, ionenleitende Membran
Marktreife	Marktfähig	Marktfähig	Fortgeschrittene Entwicklungsphase
Kurzbeschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hydroxid-Ionen werden durch Wasserstoff in den Elektrolyt (z.B. Natronlauge) transportiert</li> <li>Wird an der Kathode erzeugt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektronen fließen durch einen Stromkreis und Wasserstoffionen bewegen sich über die PE-Membran zur Kathode</li> <li>Wasser reagiert an der Anode zu Sauerstoff- und Wasserstoffionen (Protonen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wasser an der Kathode verbindet sich mit Elektronen zu gasförmigem Wasserstoff und negativ geladenen Sauerstoffionen</li> <li>Sauerstoffionen passieren die keramische Membran, reagieren an der Anode zu gasförmigem Sauerstoff und erzeugen Elektronen</li> </ul>

Quelle: Eigene Darstellung nach: FFE – Elektrolyse – Die Schlüsseltechnologie für Power-to-X (2021)

Die meisten Projekte, die in Kapitel 3 bei der Beschreibung des Projekt- bzw. Wettbewerbsumfelds in Portugal erwähnt wurden, sehen den Einsatz von Elektrolyseanlagen vor und/oder Forschungsinitiativen für die Weiterentwicklung von Technologien wie SOFC, die z.B. in Deutschland stark von Bosch vorangetrieben wird.<sup>37</sup> Nach Angaben des BMWi verfügt die deutsche Chemieindustrie über reichhaltige Erfahrung in der Produktion von Wasserstoff mittels Elektrolyse und produziert jährlich ca. 3 TWh Wasserstoff mit diesem Verfahren.<sup>38</sup> Diese Expertise kann sich insbesondere für Pilot- und Demonstrationsprojekte in Portugal als ein Schlüsselfaktor für einen erfolgreichen Markteintritt erweisen. Das technische

<sup>37</sup> BOSCH: So revolutionieren stationäre Brennstoffzellen die Stromversorgung (2020)

<sup>38</sup> Deutscher Bundestag: Kosten der Produktion von grünem Wasserstoff (2020)

Know-how von Unternehmen, die bereits mit ähnliche Verfahren vertraut sind (z.B. Chloralkali-Elektrolyse<sup>39</sup>), kann entscheidend für die Weiterentwicklung der Technologien und eine entsprechende Senkung der Kosten und Erhöhung des TLR sein. Aus den Expertengesprächen der AHK Portugal geht einschlägig hervor, dass es essentiell wird, auch einen entsprechend ausgebildeten, lokal aufgestellten technischen Service zu gewährleisten, der beispielsweise Ersatzteile für Elektrolyseure liefert oder eine regelmäßige Wartung vornimmt. In Bezug auf Elektrolyseure haben jedoch die meisten technischen Dienstleistungsunternehmen gar keine oder verschwindend geringe Erfahrungswerte, was insbesondere für neue Projekte und dessen Instandhaltung berücksichtigt werden sollte.

### Produktion aus behandeltem Abwasser

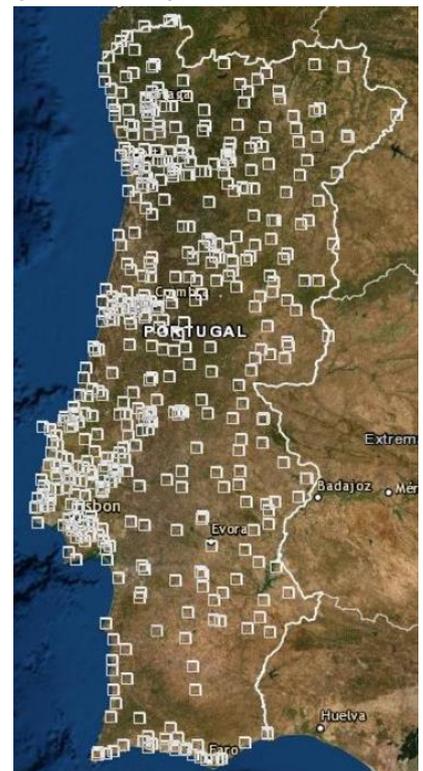
Die Produktion von grünem Wasserstoff durch Elektrolyse verbraucht Wasser als Rohstoff in einer Größenordnung von etwa 9 Litern pro Kilogramm Wasserstoff. Bedenkt man, dass 1 kg Wasserstoff etwa 0,00003333 MWh Energie beinhaltet,<sup>40</sup> würde man etwa 30.000 Liter Wasser (30 m<sup>3</sup>) für 1 GWh benötigen. Damit ist der Wasserstoffverbrauch in der Produktion von grünem Wasserstoff vergleichbar mit dem von anderen Technologien zu Energieerzeugung, wie beispielsweise PV-Module, dessen Instandhaltung und Säuberung mit Wasser bis zu 75.000 Liter (75 m<sup>3</sup>) für 1 GWh erfordern kann.<sup>41</sup> Es ist für die Zukunft der Nationalen Wasserstoffstrategie Portugals von zentraler Bedeutung, einen ressourcenschonenden Umgang mit Wasser zu definieren, wodurch insbesondere die Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser und Meerwasser weiter erforscht wird. Aufgrund der günstigen geografischen Lage und der ausgedehnten Küstenlinie wäre die Verwendung von Salzwasser in Portugal für die Produktion von grünem Wasserstoff zwar naheliegend, jedoch ist dessen technische Machbarkeit noch von der Verfügbarkeit einer Technologie abhängig, welche die direkte Nutzung von Salzwasser für Elektrolyseure ermöglicht. Im Gespräch der AHK Portugal mit dem LNEG wurde ebenjene Relevanz einer technologischen Weiterentwicklung, die die Nutzung von Salzwasser für Elektrolyseure ermöglicht (oder zumindest von kostengünstigeren Entsalzungsmethoden), nochmal unterstrichen. Die Nutzung von Abwasser für die Produktion von grünem Wasserstoff könnte eine wirtschaftliche und umweltverträgliche Alternative darstellen, laut dem LNEG.

In Portugal gibt es im Bereich der kommunalen Abwasserentsorgung etwa 4.370 Kläranlagen, wovon 2.759 sogenannte Stationen zur Behandlung von Abwasser, *Estações de Tratamento de Águas Residuais* (ETAR), und 1.611 Sammelkläranlagen sind (s. Abbildung 7). Laut der Regulationsbehörde für Wasser- und Abfalldienstleistungen, *Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos* (ERSAR), wurden 2018 zwar insgesamt 602 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser behandelt, jedoch werden nur etwa 8,5 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser so weit gereinigt, dass eine Wiederverwendung möglich ist, was einem Anteil von 1,2 % des insgesamt behandelten Abwassers entspricht.<sup>42</sup> In dieser Hinsicht sind Forschungsinitiativen und technologische Lösungsansätze für die Abwasserbehandlung gefragt, die gleichzeitig Synergiemöglichkeiten zwischen dem Wasser- und dem Energiesektor eröffnen können. Die Verteilung der ETARs in ganz Portugal wäre ein mögliches Grundgerüst einer dezentralisierten Produktion von grünem Wasserstoff, dessen wirtschaftlicher Mehrwehrt auf den Verbraucher umgewälzt werden könnte, d.h. eine Senkung der Wasserkosten.

### Produktion mittels direkter solarer Energie

Ein anderer technischer Lösungsansatz wäre die direkte, solare Wasserstoffherzeugung über photoelektrochemische Prozesse, an dem u.a. das Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR) nebst der Elektrolyse forscht.<sup>43</sup> Dementsprechend wird ein Forschungs- und Demonstrationsprojekt in der Nähe von Stuttgart namens „ASTOR“ durchgeführt. Der AHK Portugal ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Zielmarktanalyse kein Projekt dieser Art hierzulande bekannt.

Abbildung 7 – ETARs in Portugal (Stand: 2020)



Quelle: Estratégia Nacional para o Hidrogénio, nach APA und SNIAMB (2020)

<sup>39</sup> ThyssenKrupp: Wasserelektrolyse: Strom zu Gas (2021)

<sup>40</sup> H2Tools: Energy equivalency of fuels (2021)

<sup>41</sup> Save Water: Reduce Solar PV module cleaning water consumption by 28 times (2018)

<sup>42</sup> Zero: Apenas 1,2 % da água residual das estações de tratamento é reutilizada (2017)

<sup>43</sup> DLR: Erzeugung von Wasserstoff: Elektrolyse und solare Verfahren (2020)

## 4.2. Speicherung von grünem Wasserstoff

Die zweite Stufe der Wertschöpfungskette für grünen Wasserstoff, die im Rahmen dieser Zielmarktanalyse besprochen wird, ist die (Zwischen-) Speicherung. Das LNEG hat, als beratende wissenschaftliche Institution für das Ministerium für Umwelt und Klimapolitik, vor allem folgende Speicherlösungen vorgeschlagen: (1) Das Gas zu komprimieren und in Reservoiren bzw. geologischen Formationen – Salzkavernen – zu speichern, (2) Das Gas zu verflüssigen und in kryogenen Tanks aufzubewahren oder Metall- bzw. komplexe Hydride zu nutzen. Darüber hinaus ergibt sich als (Zwischen-) Speicherlösung die Einspeisung von grünem Wasserstoff ins Erdgasnetz. Gasnetze verfügen nämlich über inhärente Speicherkapazitäten, die in der Fachliteratur als *linepack* bekannt sind.<sup>44</sup> Theoretisch wäre noch die poröse Speicherung, die beispielsweise in Österreich getestet wurde<sup>45</sup> oder die Injektion von Wasserstoff in stillgelegte Erdgasfelder, wie es z.B. in Argentinien mit dem Projekt „Hychico“ erforscht wurde, denkbar. Für Portugal sind beide jedoch keine realistischen Optionen.<sup>46</sup> Die für Portugal einzige realisierbare Option – geologisch betrachtet – sind die Salzkavernen, da das Land über keine Öl- oder Gasfelder verfügt und die poröse Speicherung nicht besonders erforscht ist.

### Unterirdische Speicherung in Salzkavernen

In Portugal existiert ein einziger Untertagespeicher für Erdgas, nämlich der *Armazenamento Subterrâneo do Carriço* (AS Carriço). Dort wird Erdgas unter hohem Druck in 6 verschiedenen Kavernen gespeichert, die innerhalb eines massiven Salzstocks in einer Tiefe von über 1.000 Metern liegen. Die 6 Kavernen haben eine Gesamtspeicherkapazität von 3.839 GWh und sind an einer Oberflächengasstation angebunden, die gleichzeitig die weitere Einspeisung von Gas aus dem Fernleitungsnetz in die Kavernen und die Entnahme von Gas aus den Kavernen in das Netz ermöglicht. Die tägliche Einspeisekapazität beträgt etwa 24 GWh/Tag, während die Entnahmekapazität bei 129 GWh/Tag liegt.<sup>47</sup> Schätzungen zufolge kann eine Salzkaverne mit einer Höhe von etwa 800 m und mindestens 50 m Durchmesser bis zu 150 GWh in Form von grünem Wasserstoff aufnehmen. Das LNEG unternimmt aktuell eine Potenzialanalyse, um festzustellen, wo die potenzialträchtigsten Regionen in Portugal für solche Salzkavernen liegen; die Tendenz geht klar Richtung des portugiesischen Ostens und der Algarve im Süden. Da diese Speicherlösung anfangs mit sehr hohen Kapitalkosten verbunden ist, wie das LNEG im Gespräch mit der AHK Portugal verdeutlichte (z.B. (Test-) Bohrungen in bis zu 1.000 m Tiefe), ist es zunächst erforderlich, anhand der kommenden Forschungsergebnisse die Regierung von einer Subventionierung dieser Speicherlösung zu überzeugen, sodass diese dann flächendeckend angewendet werden kann und dessen Kosten entsprechend reduziert. Zukünftige Lösungen für die unterirdische Speicherung von grünem Wasserstoff in Salzkavernen werden womöglich aus einer engen Zusammenarbeit zwischen LNEG als Forschungsinstitution und der REN Armazenagem, S.A., ein Tochterunternehmen der REN, die als Betreiber des AS Carriço über das entsprechende technische Know-how und praktische Erfahrungswerte verfügen, entstehen. Das LNEG weist jedoch auf einen gewissen Platzmangel hin sowie die für die Exkavation von Salzkavernen notwendige Entsorgung der entstehenden Sole ins Meer, was bereits mit verheerenden Auswirkungen auf die Entwicklung der Meeresfauna in Verbindung gebracht wurde.

### LOHC als Wasserstoffträger

In der portugiesischen Wasserstoffstrategie EN-H2 ist die Verflüssigung von Wasserstoff rein für die Errichtung einer H2-Exportinfrastruktur vorgesehen, insbesondere für den Transport auf dem Seeweg (z.B. Ammoniak, LOHC).<sup>48</sup> Wasserstoff hat mit den – bereits genannten – 33,3 kWh/kg den höchsten massenspezifischen Heizwert. Allerdings ist die volumenbezogene Energiedichte, nach der z.B. Gasverbrauch berechnet wird, mit etwa 3 Wh/Liter relativ gering. Hinzu kommt, dass die traditionellen Speicherlösungen für Wasserstoff im flüssigen Zustand erfolgen, wodurch etwa 30 % des Heizwertes verlorengehen. Die gasförmige Speicherung, etwa in komprimierten Druckflaschen, führt zu einem Verlust von nur 12 % des Heizwertes,<sup>49</sup> wodurch sie bevorzugt wird. Das heutzutage beliebteste Medium für die Speicherung von Wasserstoff sind demnach die sogenannten flüssigen organischen Wasserstoffträger, *liquid organic hydrogen carriers* (LOHC) und zwar vorrangig Dibenzyltoluol (DBT),<sup>50</sup> welches als preiswertes Wärmetransfer-Öl mit nicht-saturierten und

<sup>44</sup> National Gas Grid: NTS Linepack (2021)

<sup>45</sup> Österreichisches Parlament: Wasserstoffspeicher der Zukunft (2017)

<sup>46</sup> Hychico: Facilities (2021)

<sup>47</sup> Ministério do Ambiente e da Ação Climática: Estratégia Nacional para o Hidrogénio (2020)

<sup>48</sup> Ministério do Ambiente e da Ação Climática: Estratégia Nacional para o Hidrogénio (2020)

<sup>49</sup> Bayern innovativ: Ammoniak als Wasserstoffspeicher (2021)

<sup>50</sup> H2International: Dibenzyltoluene: The Future of Hydrogen Storage (2018)

nicht-toxischen Molekülen unter dem Namen „Marlotherm<sup>51</sup>“ vermarktet wird. Mittels eines Katalysators und unter Temperaturen von etwa 200 Grad Celsius werden molekulare Bindungen so aufgebrochen, dass bis zu 18 Wasserstoff-Atome pro DBT-Molekül angelagert werden können. Damit lassen sich in einem Liter DBT etwa 600 Liter Wasserstoff in Gasform speichern. In Deutschland entwickelte ein Erlanger Unternehmen bereits 2016 eine Speicheranlage für Wasserstoff mit DBT.<sup>52</sup> Diese Speicherform ist, wie bereits erwähnt, in der EN-H2 präsent als potenzialträchtigster Ansatz für den Export von grünem Wasserstoff. Dessen Wirtschaftlichkeit ist unmittelbar auch von der Entwicklung der Exportinfrastruktur für grünen Wasserstoff abhängig. Je schneller bzw. je exportintensiver der Markt, umso gängiger wird diese Technologie als Speicherungs- bzw. Transportlösung ersucht und kann dann eine tragende Rolle in der Wasserstoffwirtschaft einnehmen.

### 4.3. Verteilung von grünem Wasserstoff

Der dritte Technologiebereich, der im Rahmen des Konsortialbildungsprojekts in den Fokus gezogen wird, ist der der Verteilung von grünem Wasserstoff. Hier erweist sich die Einspeisung von grünem Wasserstoff in bestehende Erdgasnetze als besonders vorteilhafte Lösung. Zum einen ist dies bisher die kostengünstigste Option, da sie kurzfristig verfügbar ist und eine bereits bestehende Infrastruktur nutzt. Zum anderen bestehen in Europa bereits etablierte Netzmanagement- und Betriebsstrategien sowie geprüfte Sicherheitsverfahren, die auf einer langjährig entwickelten Wartungs- und Kontrollstruktur basieren.

Der Technische Verband der Europäischen Erdgaswirtschaft (MARCOGAZ) hat eine Analyse über die regulatorischen Grenzwerte für die Wasserstoffaufnahme in die bestehende Erdgasinfrastruktur und im Endverbrauch durchgeführt. Dabei wurden 4 verschiedene Bereiche in Betracht bezogen, nämlich die Verteilung (mit mehr oder mit weniger als 16 bar), die Speicherung und die Netzregulatorik bzw. die Erfassung des Netzverbrauchs und des Endverbrauchs. Diese Analyse bestätigt, dass Haushaltsgeräte wie z.B. Gasherde bis zu einer Konzentration von etwa 20-22 % Wasserstoff im Gasnetz ohne Einschränkungen funktionieren können bzw. ohne dass eine technische Anpassung der Haushaltsgeräte erfolgen muss. Für die Distribution mit geringerem Druck (unter 16 bar) eignen sich laut derselben Studie Polyethylen- ebenso gut wie Stahl-Pipelines, wenngleich der genaue Stahltyp berücksichtigt werden muss. Das portugiesische Erdgasnetz besteht fast vollständig aus Polyethylen und das Transportnetz aus API X57-Stahlleitungen, die laut MARCOGAZ die unempfindlichsten der so genannten „High End“-Stähle sind. Laut einschlägiger Expertenmeinung sind die Leitungen an und für sich das geringere Problem, vielmehr geht es darum, andere Komponenten des Erdgasnetzes auf höhere Wasserstoffkonzentrationen vorzubereiten, wie z.B. Einspritzdüsen, Ventile und Drehscheiben, die den Gasfluss kontrollieren.<sup>53</sup>

Um den Druck im Versorgungsnetz zu regulieren, sind, der Analyse von MARCOGAZ zufolge, Odormittel-Einspritzdüsen besonders geeignet, da diese theoretisch auch mit einer hundertprozentigen Einspeisung von Wasserstoff ins Erdgasnetz operieren können. Druckregulatoren und andere Ventile würden ab einer bestimmten Konzentration eine technische Umrüstung benötigen und könnten aufgrund der Reaktion mit Wasserstoff ihre materielle bzw. mechanische Beständigkeit verlieren. Strittig ist, in Bezug auf die Verteilung von grünem Wasserstoff, nach wie vor das Thema der Gaszählung, wie u.a. im Expertengespräch der AHK Portugal mit Elektrolyseurherstellern betont wurde. Die gängigen Geräte, wie z.B. das Balgengasmessgerät, der Turbinen- oder der Ultraschallgaszähler seien nur bis zu einer Konzentration von 10 % ohne Bedenken einsatzfähig; für höhere Konzentrationen fehlen noch Forschungsergebnisse bzw. sind technische Umrüstungen unumgänglich. Industriell gesehen können z.B. Dampfboiler nach aktuellem Stand nur eine Konzentration von 5 % Wasserstoff im Erdgasnetz unbedenklich bewältigen. Die meisten industriellen Prozesse, die Erdgas nutzen, sind so installiert, dass sie eine hohe Sensibilität bereits gegenüber relativ geringen Wasserstoffkonzentration haben. Im Rahmen der angestrebten zwanzigprozentigen Konzentration ist also vor allem in der Industrie Handlungsbedarf; für noch höhere Konzentrationen ist sektorenübergreifend eine weitergehende Recherche nötig.<sup>54</sup>

<sup>51</sup> Eastman: Marlotherm Heat Transfer Fluids (2021)

<sup>52</sup> Hydrogenious LOHC Technologies: Products (2021)

<sup>53</sup> LNEG: Policy Brief “Uso das redes de gás natural para o transporte e distribuição de hidrogénio”

<sup>54</sup> MARCOGAZ: Overview of test results & regulatory limits for hydrogen admission into existing natural gas infrastructure & end use (2019)

Es herrscht, hinsichtlich der Konzentration von Wasserstoff in den Erdgasnetzen in einer Anfangsphase, ein gewisser Konsens. Bereits zwischen 2004 und 2009 wurde in der südhessischen Stadt Groß-Bieberau mit Unterstützung des sechsten Forschungs- und Entwicklungsprogramms FP6 der EU-Kommission ein Pionierprojekt namens „NATURALHY“ durchgeführt. Das Projekt hatte als Ziel, die damals noch praktisch unerforschte Einspeisung von Wasserstoff ins Erdgasnetz zu testen bzw. entsprechende Benchmarks für eine sichere Konzentration von Wasserstoff in den Erdgasnetzen zu setzen. Im Projektmanagement-Team befand sich u.a. das portugiesische Institut für Schweißtechnik und Qualität, *Instituto de Soldadura e Qualidade* (ISQ). Die Projektergebnisse deuteten auf eine problemlose Einspeisung von Wasserstoff ins Erdgasnetz bis zu einer Konzentration von etwa 20 % hin, auch für Haushaltsgeräte.<sup>55</sup> Im Jahr 2020 startete beispielsweise das Vereinigte Königreich ein Pilotprojekt namens HyDeploy, um die Verteilung von grünem Wasserstoff für eine begrenzte Menge – praktisch ein „privates“ Versorgungsnetz – von Unternehmen und Haushalten mit einer Konzentration von bis zu 20 % zu versorgen.<sup>56</sup> Im französischen Dunkerque läuft aktuell (Juni 2021) das „GRYHD“-Projekt zur Einspeisung von Wasserstoff ins Erdgasnetz; ebenfalls bis zu einer Konzentration in Höhe von 20 %.<sup>57</sup>

Dieses Ergebnis wurde also bereits mehrfach bestätigt<sup>58</sup> und ist mittlerweile ein Grenzwert, der u.a. in der H2-Strategie Portugals vorgesehen ist. Aus technischer Sicht wird es relevant sein, die Nutzung des bestehenden Erdgasnetzes zur Verteilung von Wasserstoff so abzuwickeln, dass man bei Bedarf und je nach Qualitätsanforderung bzw. Endanwendung (z.B. bestimmte industrielle Prozesse) Wasserstoff im Netz „trennen“ kann. Das bedeutet, dass Wasserstoff gegebenenfalls in „reinerer“ Form, d.h. in höherer Konzentration, verteilt wird. In jedem Fall, so wie es auch einschlägig aus den Expertengesprächen hervorgeht, wird es notwendig sein, Technologien, Techniken und Verfahren zur Messung des Wasserstoffgehalts in Netzen, des Brennwertes des Gasgemischs und des Vorhandenseins von Wasserstoffflecks im Versorgungsnetz zu entwickeln.

Des Weiteren sind die Energie- bzw. Gasregulatorik im Blick zu behalten, die für Projekte mit grünem Wasserstoff relevant werden. Die Regulierungsbehörde für Energiedienstleistungen, *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos* (ERSE), hat die Regelung für die Dienstleistungsqualität im Strom- und Erdgassektor, *Regulamento de Qualidade de Serviço dos setores elétrico e do gás* (RQS), veröffentlicht, worin bestimmte Messwerte festgelegt sind, die nicht über- bzw. unterschritten werden dürfen.<sup>59</sup> So muss das Nationale Erdgastransportnetz, *Rede Nacional de Transporte de Gás Natural* (RNTGN), beispielsweise einen Höchstwert von 57,66 MJ/m<sup>3</sup> bzw. einen Mindestwert von 48,17 MJ/m<sup>3</sup> des Wobbe-Index einhalten. Der Wobbe-Index ist definiert als das Verhältnis des Brennwertes zur Quadratwurzel der relativen Dichte eines Gases und ist eine relevante Kennzahl für Erdgasnetze, sodass auf europäischer Ebene in Anbetracht der zunehmenden Einspeisung von Wasserstoff einheitliche Regelungen vorgeschlagen wurden.<sup>60</sup> Es wird beispielsweise ein maximaler Heizwert des Gases im Netz von 13,51 kWh/m<sup>3</sup> (PCS<sub>max</sub>) bzw. ein minimaler Heizwert von 10,05 kWh/m<sup>3</sup> (PCS<sub>min</sub>) definiert. Aus der Literatur geht hervor, dass der durchschnittliche PCI für Erdgas etwa 11,9 kWh/m<sup>3</sup> beträgt und nur 3 kWh/m<sup>3</sup> für Wasserstoff. Ab einer bestimmten Konzentration würde also theoretisch eine Verringerung des Brennwertes des Gases im Netz erfolgen. Laut einer Analyse der ERSE wäre eine Wasserstoffbeimischung von 22 % im Erdgasnetz möglich, ohne dass sich der Brennwert des Erdgases über bzw. unter die Grenzwerte bewegt.<sup>61</sup> Es gilt zu beachten, dass es trotz etwaiger regulatorischer Einschränkungen in Portugal relativ einfach zu einer flächendeckenden Integration der Gas- und Stromsysteme (Sektorenkopplungen) kommen kann. Das ergibt sich daraus, dass der Betreiber der RNTGN derselbe ist wie der RNT und dass es darüber hinaus eine einzige Regulierungsbehörde für den Gas- und Stromsektor (ERSE) gibt.

Um einen besseren Überblick über die bestehende Verteilungsinfrastruktur in Portugal zu erhalten, dient die nachfolgende Abbildung 8, die die Konzessionsbereiche der in dieser Zielmarktanalyse bereits genannten portugiesischen Erdgasverteilungsunternehmen (z.B. Portgás) darstellt.

<sup>55</sup> FWG Groß-Bieberau: NATURALY Brochure (2009)

<sup>56</sup> HyDeploy: UK's first grid-injected hydrogen pilot gets underway (2020)

<sup>57</sup> ENGIE: The GRYHD Demonstration Project (2020)

<sup>58</sup> QUARTON, Christopher J., SAMSATLI, Sheila: Should we inject hydrogen into gas networks? Practicalities and whole-system value chain optimisation (2020)

<sup>59</sup> ERSE: Regulamento da Qualidade de Serviço – Setor Elétrico e do Gás Natural (2017)

<sup>60</sup> European Commission: The Wobbe Index in the H-gas standard and how to include renewable gases in the gas quality standardisation (2019)

<sup>61</sup> Ministério do Ambiente e da Ação Climática: Estratégia Nacional para o Hidrogénio (2020)

Den Erdgasverteilungsunternehmen übergeordnet ist die (technische) Infrastruktur des Erdgastransportnetzes, *Rede Nacional de Transporte de Gás Natural* (RNTGN). Anfang 2021 wurde die aktualisierte Netz-karte der RNTGN veröffentlicht, die man in Abbildung 8 sieht. Nach aktuellem (Juni 2021) Stand sind keine weiteren Leitungen im Bau; alle roten Trassen, die auf der Karte markiert sind, stehen für Erdgasleitungen, die in Betrieb sind.

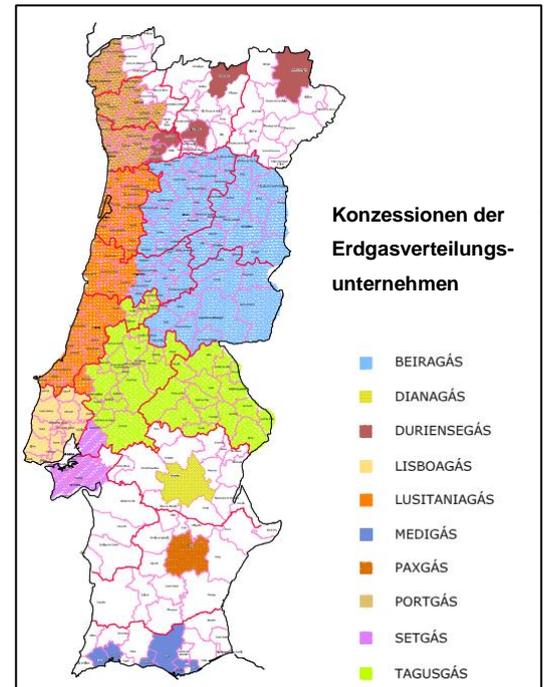
Das Erdgastransportnetz RNTGN umfasst die Hochdruck-Gasleitungen (zwischen 20 und 85 bar) und verbindet alle Infrastrukturen des Gas-systems, unterirdische Speicher und das Flüssigerdgas-Terminal in Si-nes (LNG) sowie die internationalen Verbindungsleitungen mit den Ver-brauchsstellen der öffentlichen Stromversorgung (hauptsächlich Kraft-werke und Heizkraftwerke) und den Abgängen zu den Verteilungsnet-zen. Das Netz umfasst Infrastrukturen wie Pipelines und Abzweigungen, Gasregulier- und Messstationen (GRMS), eichpflichtige Übergabestationen (CTS) und andere Elemente (s. hierzu Anhang 2).

Dabei ist das Verteilungsnetz in Küstennähe dichter als in den Inlands-gebieten oder im Süden an der Algarve. Die Verteilung des Erdgases er-folgt grundsätzlich über das Hochdruck- (über 20 bar), Mitteldruck- (4 bis 20 bar) und Niederdruck-Transportnetz (unter 4 bar) zu den Ver-brauchseinrichtungen. Die kleineren, lokalen Verteilungsnetze, die z.B. Gebiete im Inland versorgen, die fernab vom Erdgasverteilungsnetz lie-gen, werden über die sogenannten autonomen Flüssiggas-Einheiten, *Unidades Autónomas de GNL* (UAG), versorgt.<sup>62</sup> Die blauen Flächen auf der Abbildung 9 zeigen, welche Gebiete über solche UAG beliefert werden.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Verteilung des Wasser-stoffs über das bestehende Erdgasnetz ist womöglich ein Um-denken in der Erfassung von Gasverbrauch, wie wir sie heute kennen, erforderlich. Wasserstoff würde, wie bereits erwähnt, in variabler Konzentration bzw. mit variierendem Druck im Erdgasnetz vorhanden sein und ggf. für bestimmte Verbrau-cher (z.B. Industrieanlagen) sogar in konzentrierter Form zu-geführt werden müssen.

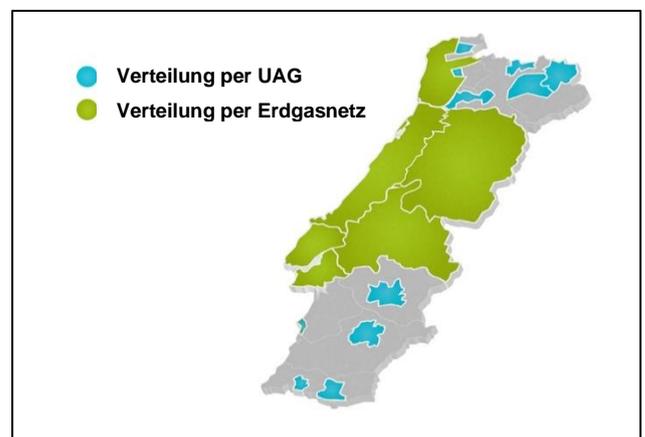
Aktuell messen Gaszähler typischerweise das Volumen des verbrauchten Gases und nicht den Brennwert.<sup>63</sup> Bei einem Ge-misch von Erdgas mit grünem Wasserstoff sinkt jedoch die pro Volumeneinheit gelieferte Energie, je nach Wasserstoffkon-zentration, aufgrund der geringeren volumenbezogenen Ener-giedichte. Daher ist die Messung des verbrauchten Volumens allein nicht ausreichend, um den Energieverbrauch zu bestim-men. Energiemanagementsysteme bzw. Prüf- und Messtechni-ken im Erdgasverteilungsnetz werden soweit umgerüstet werden müssen, dass eine Nachverfolgung des gelieferten Ener-giegehalts bzw. des gelieferten Gemischs möglich ist. Eine Abrechnung könnte dann ggf. nach Gasbrennwert oder ande-ren, verbrauchsabhängigen Ansätzen erfolgen. Dieser finale Schritt – der Endverbrauch – schließt den Kreis der Wert-schöpfungskette des grünen Wasserstoffs, sodass eine nicht sachgerechte Inrechnungstellung der geförderten Energie womöglich den Absatzmarkt für Wasserstoff unterminieren würde.

**Abbildung 8 – Konzessionen der Erdgasverteilungsunternehmen in Portugal**



Quelle: Galp: Atlas da distribuição (2020)

**Abbildung 9 – Verteilung per Erdgasnetz und UAG**



Quelle: Galp Gás Natural Distribuição – Pontos de entrega do gás (2020)

<sup>62</sup> ERSE: Distribuição (2021)

<sup>63</sup> SWLB: Ermittlung des Abrechnungsvolumens (2017)

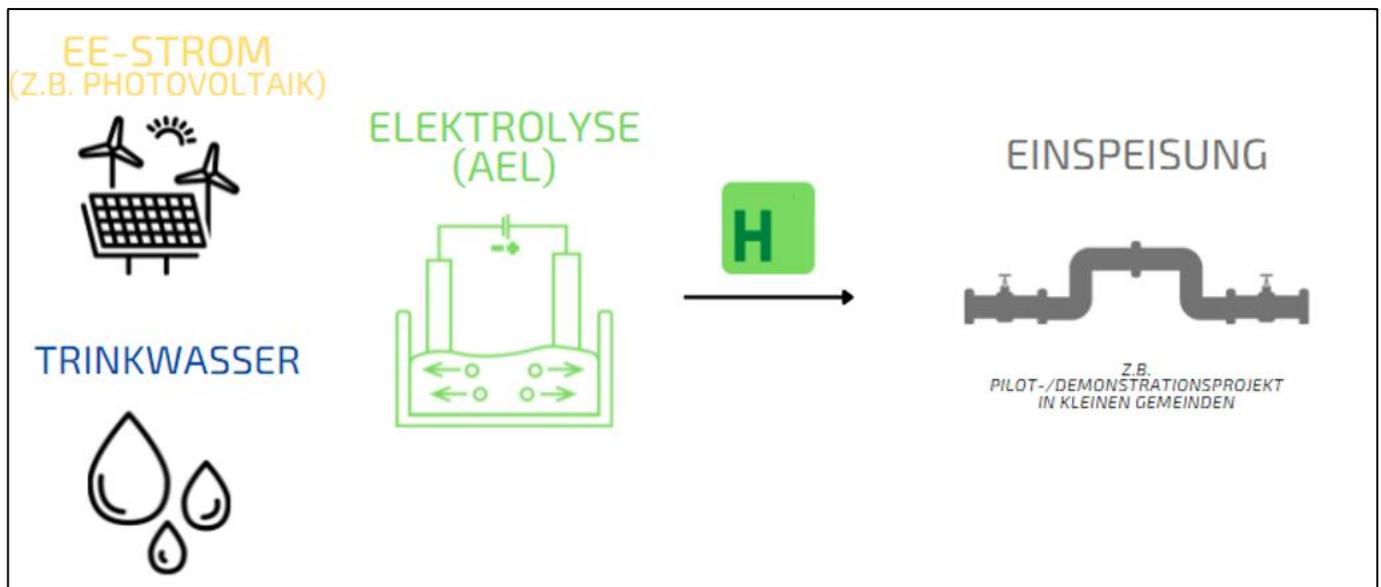
#### 4.4. Fazit: Projektopportunitäten für das Konsortium

Die Beschreibung des Projekt- und Wettbewerbsumfeldes in Kapitel 3 sowie die hier in Kapitel 4 erläuterten technischen Lösungsansätze und dessen Wirtschaftlichkeit bilden das Grundgerüst für die Definition der ersten, konkreten Projektopportunitäten für das neu zu bildende Konsortium, welche hier an zwei exemplarischen Wertschöpfungsketten verdeutlicht werden sollen.

##### Projektopportunitäten – Beispiel 1: Produktion und Einspeisung ins Erdgasnetz

Das erste Beispiel für eine mögliche Wertschöpfungskette, die sich aus dem Konsortialbildungsprojekt bilden kann, zeigt eine Wasserstoffproduktion mittels eines alkalischen Wasserelektrolyseurs. In diesem Fall würde solare Photovoltaik für den EE-Strom und normales Trinkwasser als Wasserquelle dienen. Von der Verfügbarkeit der Ressourcen her ist dies eine der schnellstmöglichen Umsetzungsmöglichkeiten. Die Nutzung von behandeltem Abwasser, wie sie gleich im zweiten Beispiel erwähnt wird, oder die Nutzung von entsalztem Meerwasser, ist zurzeit noch nicht technisch ausgereift. Die Abbildung 10 zeigt diese beispielhafte Wertschöpfungskette auf:

Abbildung 10 - Erstes Beispiel einer Wertschöpfungskette im Rahmen der Konsortialbildung



Quelle: Eigene Darstellung (2021)

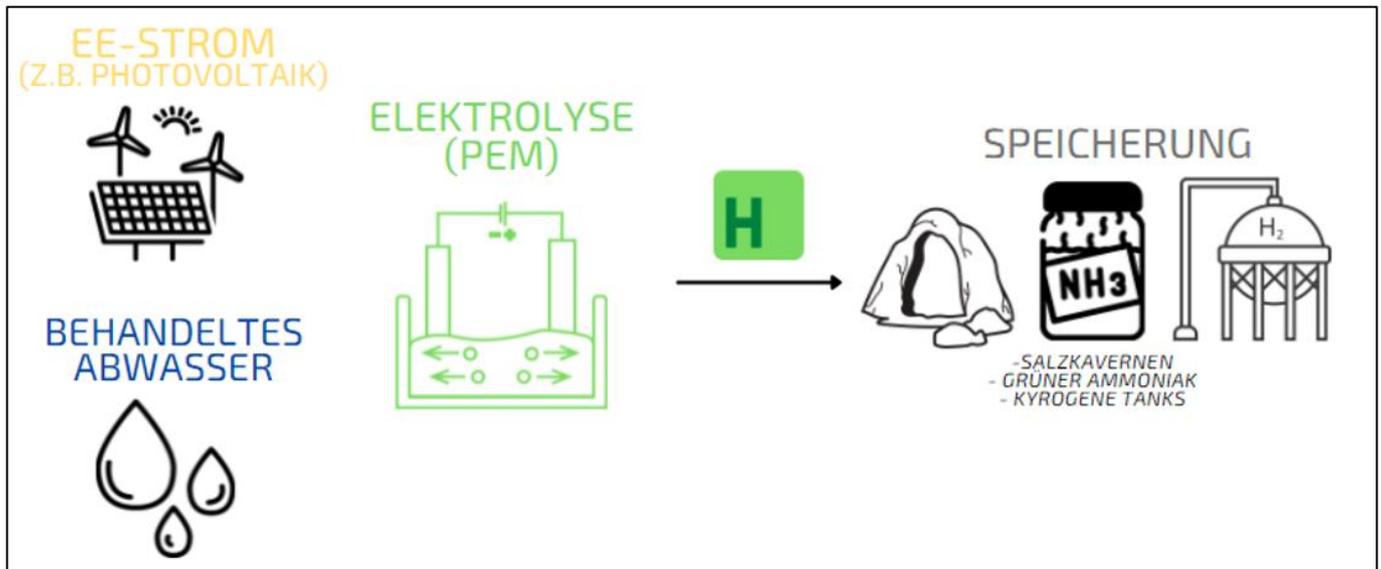
Der zweite Schritt nach der Wasserstoffproduktion wäre in diesem Fall die direkte Einspeisung ins Erdgasnetz, somit ein klassisches Power-to-Gas-Verfahren (PtG). Gerade im Falle eines kurzfristigen Markteintritts eignet es sich, Pilot- und Demonstrationsprojekte in kleinen Gemeinden, ähnlich wie das Green Pipeline in Seixal,<sup>64</sup> zu konzipieren.

##### Projektopportunitäten – Beispiel 2: Produktion, Speicherung und Vertrieb

Für Beispiel 2 nehmen wir erneut die solare Photovoltaik als EE-Strom für die Wasserstoffproduktion, beziehen hier jedoch die Nutzung von behandeltem Abwasser für das Wasserelektrolyseverfahren ein. Das Elektrolyseverfahren an sich könnte hier nun die PEM-Technologie sein. Der gewonnene grüne Wasserstoff kann in kryogenen Tanks oder in Form von grünem Ammoniak gelagert werden. Darüber hinaus, je nachdem wie die Forschungsinitiativen voranschreiten und eine entsprechende Regulatorik gebildet wird, kann der produzierte grüne Wasserstoff in Zukunft auch in Salzkavernen gespeichert werden. Vor allem die Speicherung in Form von grünem Ammoniak, die auch in der Nationalen Wasserstoffstrategie Portugals als Treiber des Wasserstoffexports vorgesehen ist, ermöglicht es, den Binnen- und EU-Markt für grünen Wasserstoff zu bedienen. Für den Vertrieb müsste eine entsprechende Distributionsinfrastruktur definiert werden, z.B. Belieferung mit Tankfahrzeugen oder die Verschiffung von grünem Wasserstoff in Form von grünem Ammoniak (s. Abbildung 11).

<sup>64</sup> Expresso: Seixal recebe projeto pioneiro de injeção de hidrogénio verde na rede de gás (2020)

Abbildung 11 – Zweites Beispiel einer Wertschöpfungskette im Rahmen der Konsortialbildung



Quelle: Eigene Darstellung (2021)

## 5. Energiemarkt- und finanzierungsspezifische Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel werden, neben der nationalen Wasserstoffstrategie (EN-H2), ebenfalls verschiedene Finanzierungsmöglichkeiten und Förderprogramme aufgeführt. Weitere Informationen zum portugiesischen Energiemarkt, zum Investitionsklima sowie zum Arbeitsmarkt können in den Anhängen 3 bis 5 eingesehen werden.

### 5.1. Nationale Wasserstoffstrategie (EN-H2)

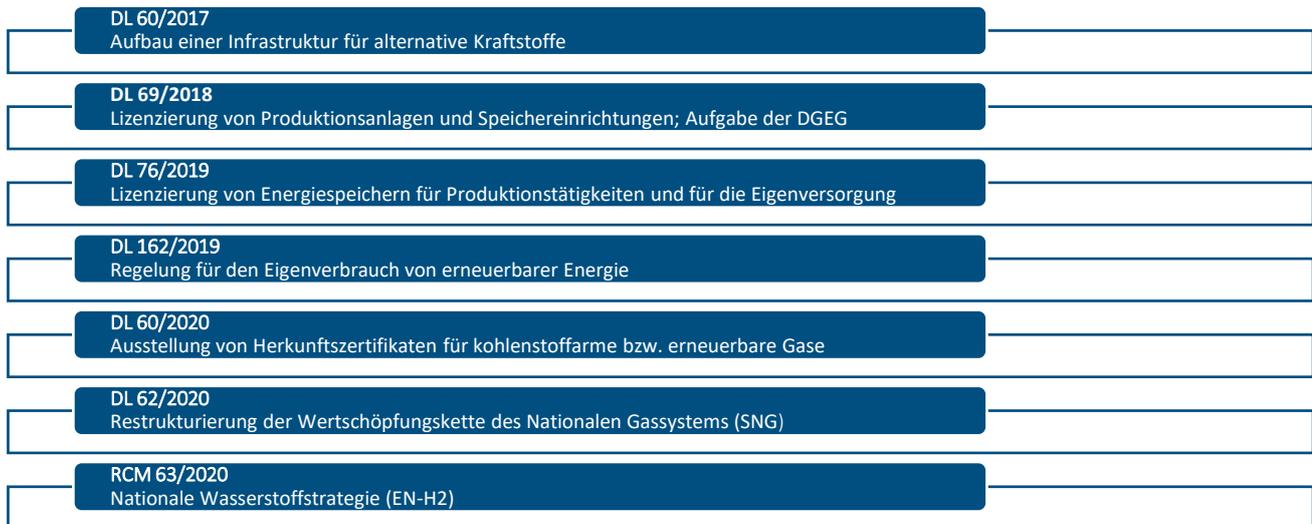
#### Allgemeine Informationen

Die Nationale Wasserstoffstrategie, *Estratégia Nacional para o Hidrogénio* (EN-H2), wurde am 14. August 2020 durch den Ministerratsbeschluss, *Resolução do Conselho de Ministros* (RCM), Nr. 63/2020 genehmigt und reiht sich im portugiesischen Kontext ein mit den Programmen zur Klimaneutralität 2050, *Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050*, sowie dem Nationalen Plan für Energie und Klima 2030, *Plano Nacional para a Energia e o Clima 2030* (PNEC 2030). Die EN-H2 zeichnet sich insbesondere durch die vorgesehenen Investitionen in erneuerbare Gase als Energiequelle aus; vorrangig mit grünem Wasserstoff. Damit beabsichtigt die portugiesische Regierung eine effiziente Energiewende und gleichzeitig die wirtschaftliche und wissenschaftliche Dynamisierung des Energie- und Gassektors durch diesen neuen Markt. Die Generaldirektion für Energie und Geologie, *Direção-Geral de Energia e Geologia* (DGEG), fungiert als Kontrollinstanz und wird den Fortschritt der Strategie halbjährlich bewerten sowie dessen Bewertungsergebnisse online veröffentlichen. Darüber hinaus soll die EN-H2 spätestens alle 5 Jahre neu analysiert und gegebenenfalls angepasst werden. Rechtlich basiert die EN-H2 auf den oben vorgestellten Rahmenbedingungen. Im Folgenden wird auf die konkreten Ziele der EN-H2 eingegangen sowie auf dessen energiemarktspezifische und wirtschaftspolitische Inhalte.

#### Rechtliche Rahmenbedingungen

In einem dreijährigen Prozess (von 2017 bis 2020) definierte die portugiesische Regierung Schritt für Schritt die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Wasserstoffmarkt. Die untenstehende Abbildung fasst die wichtigsten Gesetzesverordnungen, *Decretos-Lei* (DL), und Ministerratsbeschlüsse, *Resolução de Conselho de Ministros* (RCM), zusammen, die in diesem Kontext wichtig waren und 2020 zur Verabschiedung der Nationalen Wasserstoffstrategie (EN-H2) beigetragen haben.

**Abbildung 12 – Rechtliche Rahmenbedingungen der portugiesischen Wasserstoffstrategie (EN-H2)**



Quelle: Eigene Darstellung nach „Hidrogénio no SNG“ – Pedro Furtado, REN (2020)

### Energiepolitische Rahmenbedingungen

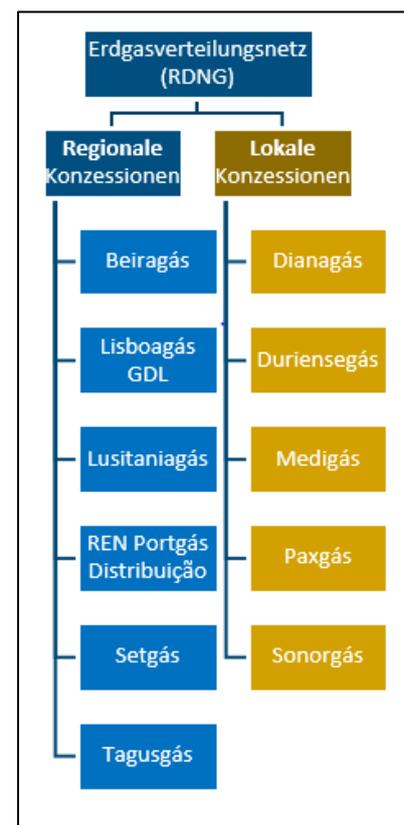
Portugal verfügt über ein Erdgasverteilungsnetz, die *Rede de Distribuição de Gás Natural* (RDGN), das mit dem Übertragungsnetz verbunden ist. Die flächendeckende Versorgung mit Erdgas wird über regionale bzw. lokale Verteilungsnetze gewährleistet, welche wiederum mit Flüssigerdgas (LNG) versorgt werden, das per Tankwagen angeliefert wird. Derzeit sind ca. 1,3 Mio. Kunden an die portugiesischen Erdgasverteilungsnetze angeschlossen.<sup>65</sup> Die Organisationsstruktur im Überblick ist aus der Abbildung 13 zu entnehmen.

### Energiepolitische Ziele für die sektorenübergreifende Integration von Wasserstoff

In der EN-H2 sind konkrete, ambitionierte Ziele für die Integration von Wasserstoff jeweils bis 2025 und 2030 vorgesehen, ebenso wie zukünftige Richtwerte für 2040 und 2050. Stand heute (Juni 2021) beabsichtigt die EN-H2 eine Einspeisung von Wasserstoff in das portugiesische Erdgasnetz bis zu einer Konzentration von 80 % in 2050. Diese Ziffer sollte jedoch nur bedingt als Benchmark gewertet werden, vielmehr ist die angestrebte Konzentration von 15 % bis 2030 in nächster Zukunft relevant.

Inwiefern sich die zunehmende Integration von Wasserstoff auf die verschiedenen Wirtschaftssektoren niederschlagen und wie sich die benötigte Versorgungsinfrastruktur ausprägen soll, zeigen die in der EN-H2 angesetzten Ziele bis 2030 (vgl. Tabelle 2 auf der folgenden Seite).

**Abbildung 13 – Organisationsstruktur der RDNG**



Quelle: Eigene Darstellung nach EN-H2 (2020)

<sup>65</sup> Diário da República: Decreto-Lei n° 38/2017

**Tabelle 2 – Ausgewählte Ziele bis 2030 aus der Nationalen Wasserstoffstrategie (2020)**

 <b>5%</b> Endenergieverbrauch	 <b>5%</b> Straßenverkehrs- verbrauch	 <b>5%</b> Industrieverbrauch
 <b>15%</b> Einspeisung in das Gasnetz	 <b>50-100</b> Tankstellen	 <b>2 GW</b> Installierte Kapazität an Elektrolyseuren
 <b>7 000 M€</b> Investitionen in Pro- jekte der Wasserstoff- produktion	 <b>300-600 M€</b> Einsparung an Gasimporten	 <b>900 M€</b> Zuschüsse für Investi- tionen und Produk- tion

Quelle: Eigene Darstellung nach: EN-H2 (2020)

Die energiepolitischen Ziele sind u.a. in der wichtigen Gesetzesverordnung Nr. 62/20 verankert, welche die Wertschöpfungskette des portugiesischen Nationalen Gassystems, *Sistema Nacional de Gás* (SNG), neu anordnete. Dieser Gesetzesverordnung nach soll die Dekarbonisierung des Gasnetzes mittels kohlenstoffarmer und erneuerbarer Gase erfolgen. Es ist wichtig zwischen beiden genannten Arten von Gasen zu unterscheiden. Als kohlenstoffarm zählt jedes Brenngas, das durch ein Verfahren unter Anwendung nicht erneuerbarer Energiequellen hergestellt wird, jedoch Emissionswerte von unter 36,4 Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Megajoule (g CO<sub>2</sub>-eq/MJ) erzielt.<sup>66</sup> Ein erneuerbares Gas hingegen ist ein Brenngas, das durch einen Prozess unter Verwendung erneuerbarer Energiequellen im Sinne der EU-Richtlinie 2018/2001 des EU-Parlaments und des Rats<sup>67</sup> erzeugt wird, wie etwa grüner Wasserstoff.

### Wirtschaftspolitische Ziele

Es geht einschlägig aus der Literatur und aus den Expertengesprächen, die die AHK Portugal im Rahmen dieser Zielmarktanalyse durchgeführt hat, hervor, dass der Preis von grünem Wasserstoff zwar Stand heute (Juni 2021) noch nicht mit dem Marktpreis für Erdgas konkurrieren kann, dies jedoch schlichtweg normal ist für einen noch sehr jungen Markt, dessen Technologie- und Kostenoptimierungspotenziale es noch zu erforschen bzw. auszuschöpfen gilt. Die EN-H2 rechnet mit einer Preisparität zwischen grünem Wasserstoff und Erdgas in 2035, abhängig von stetig wachsenden finanziellen Zuwendungen durch die portugiesische Regierung in diesem Zeithorizont. In diesem Rahmen wird die in Kapitel 4 vorgestellte Formel von Professor Rui Costa Neto potenziell relevant, um den Einfluss von Variablen wie den EE-Strompreis und die Technologiekosten von Elektrolyseuren besser zu verstehen.

Es ist vorgesehen, für die Einspeisung von Wasserstoff in die Erdgasnetze und für die Vergabe der Produktionszuschüsse Auktionen für die Produktion von grünem Wasserstoff jährlich oder halbjährlich durchzuführen, wobei Stand Juni 2021 noch keine genauen Termine vorgesehen sind.<sup>68</sup> Damit erhofft sich die portugiesische Regierung ähnlich positive Ergebnisse wie im Fall der Auktionen zur Produktion von Solarenergie. Die Obergrenze für die finanziellen Zuwendungen für Produktionsunterstützung bis 2030, mit dem Ziel 15 % Wasserstoff in das Gasnetz einzuspeisen, liegt voraussichtlich zwischen 500 und 550 Mio. Euro, die aus dem Umweltfonds (*Fundo do Ambiente*) stammen.

<sup>66</sup> DGE: Produtor de gases de origem renovável e de baixo teor de carbono (2020)

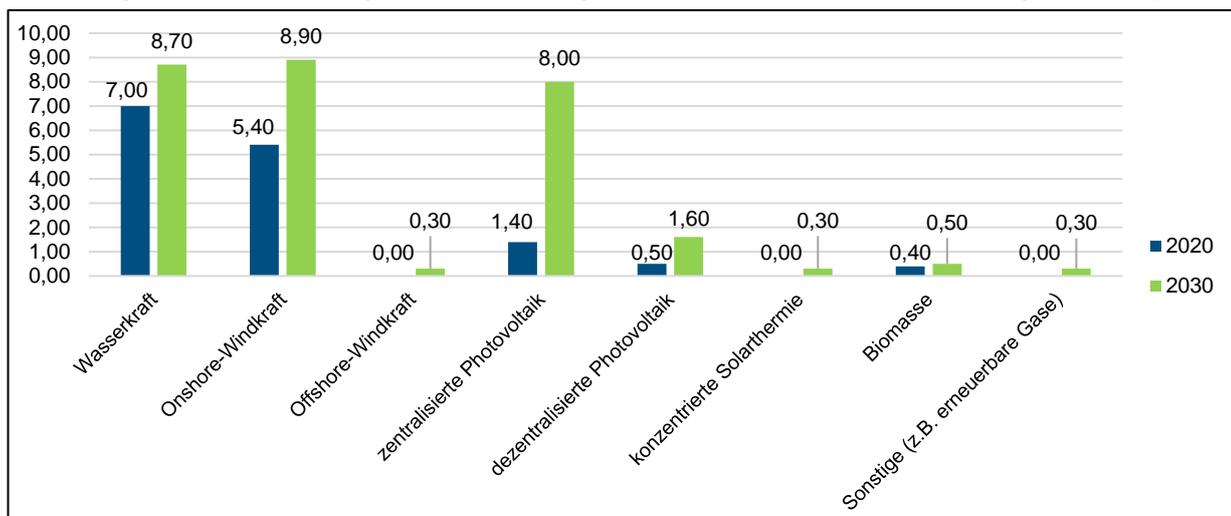
<sup>67</sup> EUR-Lex: Richtlinie (EU) 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (2018)

<sup>68</sup> Diário de República: RCM 63/2020 – Estratégia Nacional para o Hidrogénio (2020)

### Nationaler Plan für Energie und Klima 2021-2030 (PNEC 2030)

Der bereits erwähnte Nationale Plan für Energie und Klima, *Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030* (PNEC 2030), wurde erstmals am 28. Januar 2019 öffentlich vorgestellt und legt die grundsätzlichen Strukturen und Ziele für die energetische Entwicklung Portugals im Zeitraum 2021-2030 fest. Im Kontext dieser Zielmarktanalyse ist es wichtig zu betonen, dass der PNEC 2030 die Praktikabilität einer Nationalen Wasserstoffstrategie überhaupt erst ermöglicht, insbesondere durch die vorgesehenen Investitionen in erneuerbare Energie und die ambitionierten Ziele hinsichtlich des Anteils an EE-Strom am Gesamtverbrauch. Der PNEC 2030 definiert nationale Zielvorhaben und Maßnahmen mit dem Ziel, Klimaneutralität bis 2050 über die Energiewende und graduelle Dekarbonisierung der Wirtschaft zu erlangen. Weitere Ziele sind die Steigerung der Beschäftigung für qualifizierte Arbeitskräfte, ein nachhaltiger Wohlstand und ein gemeinschaftliches Wohlergehen.<sup>69</sup>

Abbildung 14 – PNEC 2030 – geplante Erhöhung der Kapazitäten erneuerbarer Energiequellen (in GW)



Quelle: Eigene Darstellung nach: República Portuguesa / Ministério do Ambiente e da Transição Energética: PNEC 2030 (2019)

Für die Umsetzung des PNEC 2030 sieht das Nationale Investitionsprogramm 2030, *Programa Nacional de Investimentos 2030* (PNI 2030), Gesamtinvestitionen von 21,9 Mrd. Euro bis 2030 vor, mit denen 72 Programme und Projekte realisiert werden sollen. Der größte Anteil der Investitionen fällt in die Bereiche Transport und Mobilität mit 12,7 Mrd. Euro; weitere 4,9 Mrd. stehen dem Bereich Energie und 3,6 Mrd. dem Bereich Umwelt zur Verfügung; schließlich sind 0,8 Mrd. für Bewässerung vorgesehen.<sup>70</sup>

## 5.2. Finanzierungsmöglichkeiten und Förderprogramme

### IPCEI – Important Project of Common European Interest

Die portugiesische Regierung hatte Mitte Juni 2020 eine Ausschreibung zur Förderung von Wasserstoffprojekten im Rahmen der *Important Project of Common European Interest* (IPCEI) eingeleitet. Aus den 74 eingereichten Vorschlägen wurden 37 Projekte ausgewählt, welche mit einem Volumen von bis zu 9 Mrd. Euro finanziert werden können und im Anhang 1 aufgezählt wurden. Es handelt sich um Vorhaben zur Produktion, Speicherung, Verteilung sowie Endanwendung von grünem Wasserstoff. Für die IPCEI-Bewerbung beginnt nun die nächste Phase; ein umfassender Vorbereitungsprozess, der detailliertere Informationen und die Überprüfung der spezifischen Richtlinien erfordert, die für die Analyse der Vereinbarkeit mit dem Binnenmarkt definiert wurden. Es werden ebenfalls umfangreiche finanzielle Informationen über die Investitionsvorhaben gesammelt, sodass letztendlich die Projekte, die Teil des finalen IPCEI-Antrags sein werden, von einem Komitee ausgewählter Teilnehmer in enger Abstimmung mit den nationalen Behörden ausgesucht werden.<sup>71</sup>

<sup>69</sup> República Portuguesa/Ministério do Ambiente e da Transição Energética: Plano Nacional Energia e Clima – Gulbenkian, 28 de janeiro de 2019 (2019)

<sup>70</sup> República Portuguesa/Ambiente e Transição Energética: Sessão de Apresentação: Plano Nacional Integrado Energia-Clima – Linhas de Atuação para o Horizonte 2021-2030 (2019)

<sup>71</sup> ECO/Capital Verde: Candidatura de Portugal ao IPCEI de hidrogénio vai acelerar ainda em março (2021)

## PO SEUR – Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso dos Recursos<sup>72</sup>

Für die Produktion von grünem Wasserstoff und anderen erneuerbaren Gasen hat Portugal durch das Förderprogramm PO SEUR im Dezember 2020 eine erste Ausschreibung mit insgesamt 40 Mio. Euro veröffentlicht, wobei maximal 5 Mio. Euro pro Projekt verteilt werden. Bis Mai 2021 erhielt die PO SEUR-Ausschreibung 14 Anträge mit einem Investitionsvorhaben von insgesamt 108 Mio. Euro. Das größte Projekt, das in dieser ersten Ausschreibung beantragt wurde, ist eine Investition in Höhe von 21 Mio. Euro in eine Anlage zur Wasserstoffproduktion im südportugiesischen Setúbal, die von Hyperion Renewables betrieben werden soll und auch zur Liste der 37 ausgewählten IPCEI-Projekte gehört.<sup>73</sup>

Die portugiesische Regierung schätzt, dass es im Laufe des Jahrzehnts (bis 2030) zu privaten Investitionen in Höhe von 7 bis 9 Mrd. Euro kommen wird, die durch öffentliche Finanzierungsinstrumente mit insgesamt 900 Mio. bis 1 Mrd. Euro unterstützt werden, sei dies durch Investitionszuschüsse, wie die vorgestellte PO SEUR-Ausschreibung, oder Verbrauchszuschüsse, wie die geplanten Auktionen zur Wasserstoffproduktion. In diesem Programm sind ca. 1,5 Mrd. Euro für Lösungen im Bereich Energie bestimmt, davon etwa 300 Mio. Euro für den Eigenverbrauch. Speichertechnologien werden insbesondere im Rahmen der Diversifizierung von einheimischen erneuerbaren Energien, die ins Stromnetz eingespeist werden, fokussiert, um die Energieabhängigkeit Portugals zu reduzieren. Hierzu zählen u.a. Pilotprojekte im Bereich Planung, Netz-integration und Energiespeicherung von erneuerbaren Energien.<sup>74</sup>

## PRR – Plano de Recuperação e Resiliência

Im Aufbau- und Resilienzplan der portugiesischen Regierung, *Plano de Recuperação e Resiliência* (PRR), sind 186 Mio. Euro für die Produktion von erneuerbaren Gasen vorgesehen; das Ziel ist die Einrichtung einer Produktionskapazität in Höhe von insgesamt 120 MW. Diese 186 Mio. Euro sind ein Teil der Gesamtsumme von 371 Mio. Euro, die für die Investition in Wasserstoff und andere erneuerbare Energiequellen vorgesehen ist. Die Differenz verteilt sich auf Programme zur Potenzierung der erneuerbaren Energie auf Madeira (69 Mio. Euro) und zur Energiewende auf den Azoren (116 Mio. Euro). Insgesamt sind 13,9 Milliarden (Mrd.) Euro an finanziellen Zuschüssen im PRR vorgesehen.<sup>75</sup>

## InvestEU

Es handelt sich um ein neues EU-Instrument mit finanziellen Garantien zum Einsatz öffentlicher und privater Mittel für strategische Innovation im Kontext europäischer Politik, welches im EU-Haushalt mit 38 Mrd. Euro beziffert wird und mit der Unterstützung der Europäischen Investitionsbank (EIB) bis zu 650 Mrd. Euro zwischen 2021 und 2027 mobilisieren soll. Die im EU-Haushalt vorgesehenen 38 Mrd. Euro unterscheiden sich nach Investitionsart wie folgt: Nachhaltige Infrastrukturen (11,5 Mrd. Euro), Forschung, Entwicklung und Digitalisierung (11,25 Mrd. Euro), Förderung von KMU (11,25 Mrd. Euro) und soziale Investitionen (4 Mrd. Euro). Das InvestEU wird in der EN-H2 explizit als Finanzierungsinstrument erwähnt und wird ebenfalls von der EU-Kommission als wichtiger Mechanismus für die Unterstützung von Projekten mit erneuerbaren Gasen hervorgehoben.<sup>76</sup>

## ETS Innovation Fund

Dieser Innovationsfonds, in dem rund 10 Mrd. Euro zur Förderung kohlenstoffarmer Technologien im Zeitraum 2020-2030 gebündelt werden, verfügt über das Potenzial, die erstmalige Demonstration innovativer wasserstoffbasierter Technologien zu erleichtern. Er wird ebenfalls explizit in der Nationalen Wasserstoffstrategie Portugals als mögliches Finanzierungsinstrument genannt. Eine erste Aufforderung zur Einreichung von Vorschlägen im Rahmen des Fonds wurde am 3. Juli 2020 veröffentlicht.<sup>77</sup>

## Fazilität „Connecting Europe“

Es handelt sich um einen EU-Finanzierungsmechanismus für Projekte im Bereich der Infrastruktur im Energie- und Transportsektor sowie im Bereich der Digitalisierung mit einem Gesamtbudget in Höhe von 43 Mrd. Euro, das sich auf drei Sektoren verteilt. Der größte Anteil des Budgets (31 Mrd. Euro) ist für den Transportsektor vorgesehen; es folgen mit 9 Mrd. Euro der Energiesektor und mit 3 Mrd. Euro der digitale Sektor. Für die Finanzierung ist es wichtig, dass 60 % der durch „Connecting Europe“ finanzierten Ausgaben nachweislich in direktem Zusammenhang mit den Klimazielen stehen

<sup>72</sup> Diário da República: Portaria n.º 57-B/2015 de 27 de fevereiro (2015)

<sup>73</sup> Expresso: Primeiro concurso de hidrogénio recebe 14 projetos com investimento total de 108 milhões (2021)

<sup>74</sup> PO SEUR: Eixo I (2020)

<sup>75</sup> RTP: PRR prevê 186 ME para atingir 120 MW de produção de gases renováveis (2021)

<sup>76</sup> European Commission: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe (2020)

<sup>77</sup> European Commission: Innovation Fund (2020)

müssen, wodurch auch der Kofinanzierungssatz erhöht werden kann. Darüber hinaus soll der nicht-rückzahlbare Kofinanzierungssatz für neue Technologien und Innovationen – inkl. alternative Kraftstoffe – im nächsten Finanzplan auf 50 % erhöht werden. Mit „Connecting Europe“ können speziell Infrastrukturen für Wasserstoff, die Wiederverwendung von Gasnetzen, Projekte zur Kohlenstoffabscheidung und Wasserstofftankstellen zwischen 2021 und 2027 finanziert werden.<sup>78</sup>

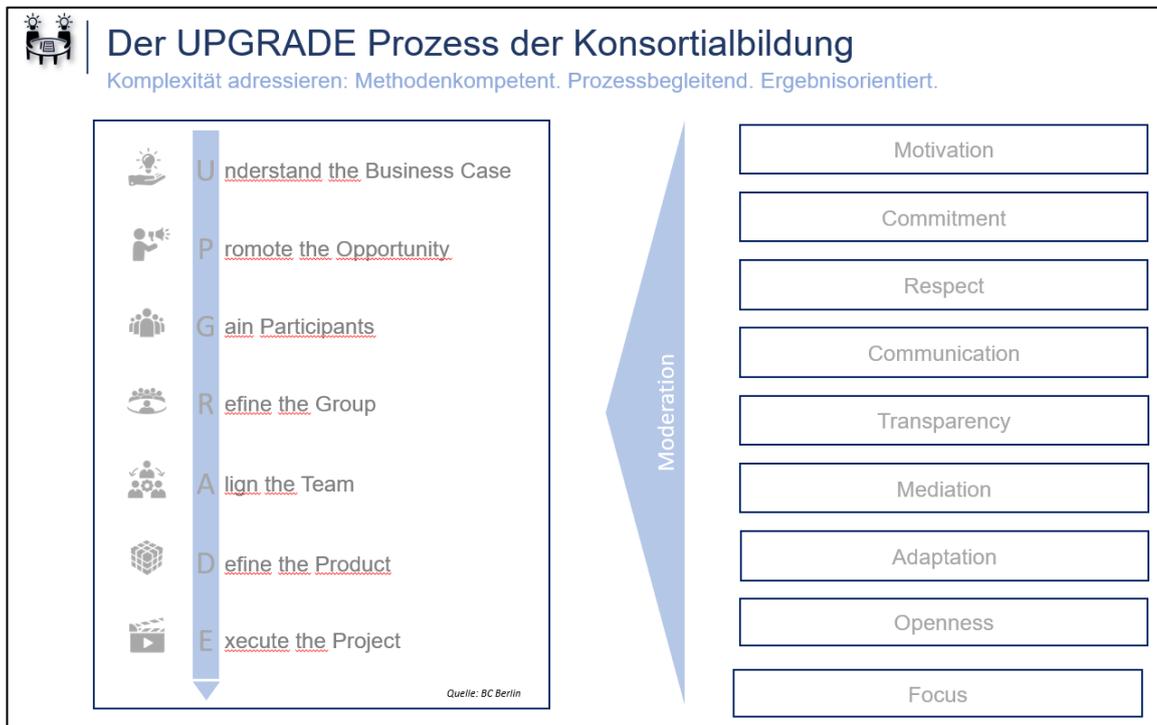
### Horizon Europe

Es handelt sich um ein Forschungs- und Innovationsfinanzierungsprogramm mit einem Budget von 97,6 Mrd. Euro zur Unterstützung für den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft bzw. Dekarbonisierung sowie Umwelt- und Klimaschutz. Der Fonds ist in drei sogenannte Säulen unterteilt, wobei die wichtigste die zweite ist, nämlich „Globale Herausforderungen und industrielle Wettbewerbsfähigkeit“, für die im Programm 52,7 Mrd. Euro vorgesehen sind. Hierunter fallen Projekte bzw. Initiativen aus ausgewählten Clustern wie Digitalisierung, Klimaschutz, Energie und Mobilität.<sup>79</sup>

## 6. Agile Prozesssteuerung und Moderation der Umsetzung

Das Durchführungskonzept dieses Projektes besteht darin, das Konsortium aus deutschen Unternehmen bei ihren Exportbemühungen in Portugal im Wasserstoffmarkt durch eine Kombination von drei unterschiedlichen Modulen zu unterstützen. Diese Module sind: Die Erstellung einer Zielmarktanalyse mit Profilen der Marktakteure, die Durchführung einer Fachveranstaltung sowie die Organisation von Gesprächsterminen mit lokalen Stakeholdern. Ausgehend von den bereits definierten Clustern werden in Zusammenarbeit mit den Projektträgern konkrete Einsatzmöglichkeiten für deutsche Konsortien identifiziert und in einem agilen Prozess bis zur Projektreife vorangebracht (vgl. Abbildung 15).

Abbildung 15 – Der UPGRADE-Prozess der Konsortialbildung



Quelle: BC Berlin (2020)

<sup>78</sup> European Commission: Press Corner Q&A: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe (2020)

<sup>79</sup> FCH: Clean Hydrogen for the Next Generation EU (2020)

In der Konsortialbildungsphase im Nachgang zur Informationsveranstaltung werden unter Leitung der BC Berlin-Consult GmbH interaktive Gruppenarbeiten stattfinden, die vorgeclustert auf den im Rahmen der Informationsveranstaltung identifizierten Tätigkeitsbereichen der deutschen Unternehmen mit dem größten Ergänzungspotenzial basieren.

Ziel dieser Phase ist es, ein Technologiekonsortium mit mindestens vier deutschen Unternehmen zu bilden, die mit entsprechenden Zusammenarbeitserklärungen ihre verbindliche Teilnahme am Konsortium bestätigen. Berücksichtigt man die Vielfalt der Projektopportunitäten im Rahmen der „Produktion und (Zwischen-) Speicherung von grünem Wasserstoff in Portugal“, wie sie oben dargestellt wurde, wird auch mehr als ein Konsortium in Erwägung gezogen.

Kern des Konsortialbildungsprojekts stellt, nach Bildung des deutschen Technologiekonsortiums, die Konsortialreise ins Zielland Portugal dar. Ziel der Konsortialreise ist es, durch einen vor Ort organisierten Fachworkshop einen auf das Energieprojekt bezogenen Überblick über die in Deutschland vorhandenen Technologien für energieeffiziente und technologieübergreifende Lösungen in der Wasserstoffproduktion und -verteilung (unter Einbindung von erneuerbaren Energien wie PV, Solarthermie oder Windkraft) und ihre Anwendungen zu geben und dem deutschen Konsortium die Möglichkeit zu bieten, ihre Technologien, Produkte und deren Anwendungsgebiete zu präsentieren. Zusätzlich werden für die deutschen Unternehmen individuelle Gespräche mit dem jeweiligen Kunden bzw. Gesprächspartner vor Ort im portugiesischen Unternehmen organisiert.

Basierend auf den Erkenntnissen, die sich aus den verschiedenen Programmpunkten der Konsortialreise – inklusive der bilateralen Geschäftsgespräche mit potenziellen lokalen Projektpartnern und Institutionen – ergeben, werden bis Ende 2021 weitere notwendige Prozesse definiert und die Geschäftsbeziehungen zum Kunden ausgebaut.

## 7. SWOT-Analyse

Die Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Zielmarktanalyse wird abschließend in einer SWOT-Analyse dargestellt, in der die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken aus Sicht eines deutschen Technologiekonsortiums aufgezeigt werden.

**Tabelle 3 – SWOT-Analyse Portugal (deutsche Unternehmensperspektive)**

Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Geologisch gegebenes Potenzial für einen kosten- und ressourcenoptimierenden Ausbau von erneuerbarer Energie sowie Speicherungslösungen (z.B. Salzkavernen)</li> <li>➤ Weltrekord-Tieftarif dank der erfolgreichen Solarauktionen 2019 (ca. 21 Euro/MWh) senkt eine wichtige Kostenkomponente von grünem Wasserstoff</li> <li>➤ Ambitionierte Ziele der Energieunabhängigkeit (PNEC 2030 und EN-H2) und des Aufbaus eines Exportmarktes für Wasserstoff bringen zahlreiche finanzielle und institutionelle Unterstützungsmöglichkeiten mit sich</li> <li>➤ Know-how ist vorhanden, wie z.B. in der Produktion von Elektrolyseuren (Ultimate Power) bzw. dem Elektrolyseverfahren an sich (Galp), darüber hinaus auch für Endanwendungen wie synthetische Kraftstoffe (Bondalti) oder zur Dekarbonisierung industrieller Prozesse (The Navigator Company)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ „Learning-by-Doing“-Effekte im Wasserstoffmarkt noch relativ überschaubar, sodass die Skalierung einer Wasserstoffproduktion, beispielsweise, noch mit hohen Investitionsausgaben verbunden ist</li> <li>➤ Auf Regierungsebene (u.a. Ministerium für Umwelt und Klimapolitik) muss noch entschieden werden, wie die Energieversorgung bei Lastspitzen aussieht bzw. inwiefern Solar- und Windenergie dann überschüssige Kapazitäten haben</li> <li>➤ Mögliche höhere Preise deutscher Dienstleistungen und Produkte des Konsortiums erschweren Kaufkraft bei kurzen ROI-Erwartungen der Portugiesen</li> </ul>
Chancen (Opportunities)	Risiken (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nationaler Plan für Energie und Klima (PNEC2030) mit ambitionierten Energie- und Klimazielen durch Förderung von erneuerbaren Energien, die wiederum für die Produktion von grünem Wasserstoff essentiell sind</li> <li>➤ Nationale Wasserstoffstrategie (EN-H2) allein sieht Investitionen zwischen 7 und 9 Mrd. Euro für die Umsetzung der Ziele vor, wie beispielsweise die Einspeisung von Wasserstoff ins Erdgasnetz bis zu einer Konzentration von 15 %</li> <li>➤ Sektorenübergreifende Einsatzmöglichkeiten für grünen Wasserstoff; bereits bis 2030 sollen „5-Prozent-Ziele“ erreicht werden im Industrie- und Mobilitätssektor sowie im Endenergieverbrauch</li> <li>➤ Das für den Wasserstoffmarkt potenziell richtungweisende Großkonsortium in Sines ist aktuell (Juni 2021) in der Umstrukturierung; bei einer erfolgreichen Umsetzung könnte der ganze portugiesische Markt von Spillover-Effekten profitieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Noch nicht definierte Exportinfrastruktur für grünen Wasserstoff (bzw. in Form von grünem Ammoniak gespeichert)</li> <li>➤ Fehlende Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit der Speicherung von erneuerbaren Energien mit Hilfe von Wasserstoff</li> <li>➤ Relativ geringer Technologie-Reifegrad für einen Ausbau der Wasserstoffproduktion steht einer geplanten Milliardeninvestition gegenüber</li> <li>➤ Mangelnde Liquidität portugiesischer Unternehmen sowie Priorisierung anderer Investitionen</li> <li>➤ Unsichere nationale wirtschaftliche Entwicklung (v.a. vor dem Hintergrund der COVID-19-Pandemie)</li> </ul>

Quelle: Eigene Darstellung

Nach Auswertung der SWOT-Analyse zeigt sich, dass deutliche Chancen und ein großes Potenzial für deutsche Anbieter von Dienstleistungen und Technologien in dem Konsortialbildungsprojekt bestehen. Die dargestellten Schwächen des Konsortiums werden im gesamten Prozess adressiert und durch intensive gemeinsame Vorbereitung und zielgenaue Produktentwicklung soweit wie möglich mitigiert. Die Unterstützung der AHK Portugal basiert ebenfalls darauf, die externen Marktrisiken weitgehend zu minimieren. Die AHK Portugal nimmt eine optimistische Haltung bezüglich der Möglichkeiten für deutsche Unternehmen in Portugal ein.

## 8. Quellenverzeichnis

### 8.1. Fachspezialisten

Callies, Julia	Bosch-Politikteam für Stationäre Brennstoffzelle
Collins, James	Head of Investor Relations, ITM Power
Costa Neto, Rui	Professor an der Fakultät für Ingenieurwesen der Universität Lusófona
Ege, Niclas	Sales Manager, H-TEC Systems GmbH
Rohrlack, Marcel	External Affairs Managers, H-TEC Systems GmbH
Samsatli, Sheila	Dozentin an der University of Bath (UK), Fachbereich Chemieingenieurwesen
Simões, Sofia	Leiterin Abteilung Ressourcenökonomie, LNEG

### 8.2. Publikationen und Vorträge

- Agencia EFE: Endesa vai substituir central a carvão do Pego por energia solar e hidrogénio verde (2021)  
<https://www.efe.com/efe/portugal/portugal/endesa-vai-substituir-central-a-carv-o-de-pego-por-energia-solar-e-hidrogenio-verde/50000441-4548038>, zuletzt abgerufen am 17.06.2021
- AGN: Quem Somos – Associados (2021)  
<https://agnatural.pt/agn/quem-somos/>, zuletzt abgerufen am 06.06.2021
- AICEP: Portugal – Ficha País (2020)  
<https://www.portugalglobal.pt/PT/Biblioteca/Paginas/Detalhe.aspx?documentId=%7B50F511F4-D2EA-4F9F-90E4-D47BDE498C50%7D>, zuletzt abgerufen am 03.06.2021
- AP2H2: Quem Somos (2021)  
<https://www.ap2h2.pt/>, zuletzt abgerufen am 19.05.2021
- Banco de Portugal: BPStat – Quadros (2020)  
<https://www.bportugal.pt/page/quadros-do-setor>, zuletzt abgerufen am 08.06.2021
- Bayern Innovativ: Ammoniak – ein idealer Wasserstoffspeicher? (2018)  
<https://www.bayern-innovativ.de/seite/ammoniak-wasserstoffspeicherv>, zuletzt abgerufen am 19.06.2021
- BMBF: Eine kleine Wasserstoff-Farbenlehre  
<https://www.bmbf.de/de/eine-kleine-wasserstoff-farbenlehre-10879.html>, zuletzt abgerufen am 19.06.2021
- Bondalti: Bondalti aposta no hidrogénio (2020)  
<https://www.bondalti.com/pt/multimedia/noticias/bondalti-aposta-no-hidrogenio/>, zuletzt abgerufen am 19.06.2021
- Bosch: So revolutionieren stationäre Brennstoffzellen die Stromversorgung (2020)  
<https://www.bosch.com/de/stories/festoxid-brennstoffzellen-sofc-system/>, zuletzt abgerufen am 09.06.2021

- CaetanoBus: Caetano H2.City Gold é o autocarro a hidrogénio escolhido pelo projeto eFarm na Alemanha (2020)  
<https://www.bondalti.com/pt/multimedia/noticias/bondalti-aposta-no-hidrogenio/>, zuletzt abgerufen am 19.06.2021
- Deutscher Bundestag: Kosten der Produktion von grünem Wasserstoff (2020)  
<https://www.bundestag.de/resource/blob/691748/01a954b2b2d7c70259b19662ae37a575/WD-5-029-20-pdf-data.pdf>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021
- DGEG: Fatura energética portuguesa 2020 (2021)  
<https://www.dgeg.gov.pt/pt/destaques/fatura-energetica-portuguesa-2020/>, zuletzt abgerufen am 12.06.2021
- DGEG: Produtor de gases de origem renovável e de baixo teor de carbono (2020)  
<https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/combustiveis/operadores-do-sng/produtor-de-gases-de-origem-renovavel-e-de-baixo-teor-de-carbono/>, zuletzt abgerufen am 12.06.2021
- DGERT: Evolução da Remuneração Mínima Mensal Garantida (RMMG) (2021)  
<https://www.dgert.gov.pt/evolucao-da-remuneracao-minima-mensal-garantida-rmmg>, zuletzt abgerufen am 22.06.2021
- Diário da República: Decreto-Lei nº 172/2006 (2006)  
<https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/540627/details/normal?l=1>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021
- Diário da República: Decreto-Lei nº 38/2017  
<https://dre.pt/pesquisa/-/search/106804082/details/normal#:~:text=A%20Estrat%C3%A9gia%20Nacional%20para%20a%20Energia%20estabece%20a,de%20comercializadores%20baseados%20em%20procedimentos%20transparentes%20e%20c%C3%A9leres,> zuletzt abgerufen am 13.06.2021
- Diário da República: Decreto-Lei nº 76/2019 (2019)  
<https://data.dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/122476954/details/maximized>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021
- Diário da República: Portaria nº 57B/2015 de 27 de fevereiro (2015)  
<https://dre.pt/home/-/dre/66619907/details/maximized>, zuletzt abgerufen am 19.06.2021
- Diário da República: RCM 63/2020 – Estratégio Nacional para o Hidrogénio (2020)  
<https://dre.pt/home/-/dre/140346286/details/maximized>, zuletzt abgerufen am 19.06.2021
- Dinheiro Vivo: Governo conta com 7 mil milhões de investimento até 2030 (2020)  
<https://www.dinheirovivo.pt/empresas/hidrogenio-governo-counta-com-7-mil-milhoes-de-investimento-ate-2030-12694196.html>, zuletzt abgerufen am 13.05.2021
- Dinheiro Vivo: Governo e BEI cooperam para acelerar investimentos no hidrogénio (2020)  
<https://www.dinheirovivo.pt/economia/governo-e-bei-cooperam-para-acelerar-investimentos-no-hidrogenio-13542191.html>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021
- Dinheiro Vivo: Vila Franca de Xira vai ter posto de hidrogénio verde em 2022 (2021)  
<https://www.dinheirovivo.pt/empresas/vila-franca-de-xira-vai-ter-posto-de-hidrogenio-verde-em-2022-13703056.html>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021

- DLR: Erzeugung von Wasserstoff: Elektrolyse und solare Verfahren (2020)  
<https://www.dlr.de/content/de/artikel/dossier/wasserstoff/wasserstoffherzeugung-elektrolyse-und-solare-verfahren.html>, zuletzt abgerufen am 12.06.2021
- DLR: Institut für Solarforschung – ASTOR  
[https://www.dlr.de/sf/de/desktopdefault.aspx/tabid-9315/22259\\_read-51115/](https://www.dlr.de/sf/de/desktopdefault.aspx/tabid-9315/22259_read-51115/), zuletzt abgerufen am 18.06.2021
- DLR: Salzkavernen speichern Wasserstoff für Mobilitätswende (2020)  
[https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/04/20201217\\_salzkavernen\\_speichern\\_wasserstoff\\_fuer\\_mobilitaetswende.html](https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/04/20201217_salzkavernen_speichern_wasserstoff_fuer_mobilitaetswende.html), zuletzt abgerufen am 12.06.2021
- Eastman: Marlotherm SH Heat Transfer Fluid (2021)  
<https://www.eastman.com/Pages/ProductHome.aspx?product=71114174>, zuletzt abgerufen am 12.06.2021
- ECO/Capital Verde: Candidatura de Portugal ao IPCEI do hidrogénio acelerar ainda em março (2021)  
<https://eco.sapo.pt/2021/03/12/candidatura-de-portugal-ao-ipcei-vai-acelerar-ainda-em-marco/>, zuletzt abgerufen am 12.06.2021
- ECO/Capital Verde: EDP, Galp, Martifer, REN e a dinamarquesa Vestas avançam em mega-consórcio (2020)  
<https://eco.sapo.pt/2020/07/27/galp-edp-martifer-ren-e-vestas-estudam-criacao-de-cluster-de-hidrogenio-verde-em-sines/>, zuletzt abgerufen am 10.05.2021
- ECO/Capital Verde: Galp Distribuição vai injetar hidrogénio na rede de gás natural até junho (2021)  
<https://eco.sapo.pt/2021/03/02/galp-distribuicao-vai-a-injetar-hidrogenio-na-rede-de-gas-natural-ate-junho/>,  
zuletzt abgerufen am 11.06.2021
- ECO/Capital Verde: Há dois projetos de hidrogénio verde prestes a arrancar até fim do ano (2020)  
<https://eco.sapo.pt/2020/11/20/ha-dois-projetos-de-hidrogenio-verde-prestes-a-arrancar-ate-fim-do-ano/>,  
zuletzt abgerufen am 12.05.2021
- ECO/Capital Verde: Hidrogénio verde já arrancou na central térmica da EDP no Ribatejo (2020)  
<https://eco.sapo.pt/2020/04/27/hidrogenio-verde-ja-arrancou-na-central-termica-da-edp-no-ribatejo/>, zuletzt  
abgerufen am 11.06.2021
- ECO/Capital Verde: Leilões de hidrogénio avançam em abril com novas regras (2021)  
<https://eco.sapo.pt/2021/03/04/leiloes-de-hidrogenio-avancam-em-abril-com-novas-regras/>, zuletzt abgerufen  
am 11.05.2021
- ECO/Capital Verde: Turbogás quer criar primeira rede regional de hidrogénio verde no Grande Porto (2020)  
<https://eco.sapo.pt/2020/06/26/turbogas-quer-criar-rede-regional-de-hidrogenio-verde-no-grande-porto/>,  
zuletzt abgerufen am 12.06.2021
- EDP: The role of renewable H2 (2021)  
<http://www.edp.pt>, zuletzt abgerufen am 12.06.2021
- ENGIE: The GRYHD Demonstration Project (2020)  
<https://www.engie.com/en/businesses/gas/hydrogen/power-to-gas/the-grhyd-demonstration-project>, zuletzt  
abgerufen am 12.06.2021
- ERSE: Distribuição (2021)  
<https://www.erse.pt/gas-natural/funcionamento/distribuicao/> zuletzt abgerufen am 24.06.2021

ERSE: Regulamento da Qualidade do Serviço (2017)

<https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-02/RegulamentoQualidadeServico.pdf>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021

EUR-Lex: Richtlinie (EU) 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (2018)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021

European Commission: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe (2020)

[https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/communication-com2020301-hydrogen-strategy-climate-neutral-europe\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/communication-com2020301-hydrogen-strategy-climate-neutral-europe_en), zuletzt abgerufen am 18.06.2021

European Commission: Innovation Fund (2021)

[https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund_en), zuletzt abgerufen am 18.06.2021

European Commission: Plano Nacional Integrado Energia e Clima (2021-2030) (2020)

[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/portugal\\_draftnecp.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/portugal_draftnecp.pdf), zuletzt abgerufen am 18.06.2021

European Commission: The Wobbe Index in the H-gas standard and how to include renewable gases in the gas quality standardisation (2019)

[https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/cen\\_-\\_gas\\_quality.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/cen_-_gas_quality.pdf), zuletzt abgerufen am 18.06.2021

Eurostat: Electricity prices (including taxes) for household consumers, second half 2020 (2021)

[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics), zuletzt abgerufen am 18.06.2021

Eurostat: Gas prices for household consumers (from 2007 onwards) (2021)

[https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_pc\\_202&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_202&lang=en), zuletzt abgerufen am 18.06.2021

Eurostat: Gas prices for non-household consumers (from 2007 onwards) (2021)

[http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_pc\\_203&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_203&lang=en), zuletzt abgerufen am 18.06.2021

Expresso: Adaptação das redes de gás ao hidrogénio e outros gases renováveis custará quase 24 milhões de euros (2021)

<https://expresso.pt/economia/2021-03-03-Adaptacao-das-redes-de-gas-ao-hidrogenio-e-outros-gases-renovaveis-custara-quase-24-milhoes-de-euros>, zuletzt abgerufen am 18.06.2021

Expresso: EDP tem em mãos 20 projetos de hidrogénio verde (2021)

<https://expresso.pt/economia/2021-02-25-EDP-tem-em-maos-20-projetos-de-hidrogenio-verde>, zuletzt abgerufen am 11.06.2021

Expresso: Primeiro concurso de hidrogénio recebe 14 projetos com investimento total de 108 milhões (2021)

<https://expresso.pt/economia/2021-05-10-Primeiro-concurso-do-hidrogenio-recebe-14-projetos-com-investimento-total-de-108-milhoes-b7c83a88>, zuletzt abgerufen am 23.06.2021

Expresso: Seixal recebe projeto pioneiro de injeção de hidrogénio verde na rede de gás (2020)

<https://expresso.pt/economia/2020-12-17-Seixal-recebe-projeto-pioneiro-de-injecao-de-hidrogenio-verde-na-rede-de-gas>, zuletzt abgerufen am 19.06.2021

FCH: Clean Hydrogen for the next generation EU

<https://www.fch.europa.eu/news/clean-hydrogen-next-generation-eu>, zuletzt abgerufen am 11.06.2021

FWG Groß-Bieberau: NATURALHY Brochure (2009)

[https://www.fwg-gross-bieberau.de/fileadmin/user\\_upload/Erneuerbare\\_Energie/Naturalhy\\_Brochure.pdf](https://www.fwg-gross-bieberau.de/fileadmin/user_upload/Erneuerbare_Energie/Naturalhy_Brochure.pdf),  
zuletzt abgerufen am 11.06.2021

Galp: Galp adere ao Hydrogen Council e avalia projetos para desenvolver economia do hidrogénio em Portugal (2020)

<https://www.galp.com/corp/pt/media/comunicados-de-imprensa/comunicado/id/1043/galp-adere-ao-hydrogen-council-e-avalia-projetos-para-desenvolver-economia-do-hidrogenio-em-portugal>, zuletzt abgerufen am  
07.06.2021

H2-International: Dibenzyltoluene: The Future of Hydrogen Storage (2018)

<https://www.h2-international.com/2018/09/03/dibenzyltoluene-the-future-of-hydrogen-storage/>, zuletzt abgerufen am 15.06.2021

H2Tools: Energy equivalency of fuels (2021)

<https://h2tools.org/hyarc/calculator-tools/energy-equivalency-fuels>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021

Hychico: Homepage (2021)

<http://www.hychico.com.ar/eng/index.html>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021

HyDeploy: UK's first grid-injected hydrogen pilot gets underway (2020)

<https://hydeploy.co.uk/about/news/uks-first-grid-injected-hydrogen-pilot-gets-underway/>, zuletzt abgerufen am 19.06.2021

Hydrogenious LOHC Technologies: Products (2021)

<https://www.hydrogenious.net/index.php/en/products-2/>, zuletzt abgerufen am 18.06.2021

INE: Estatísticas do Mercado de Trabalho (2021)

[https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine\\_tema&xpid=INE&tema\\_cod=1114&xlang=pt](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_tema&xpid=INE&tema_cod=1114&xlang=pt), zuletzt abgerufen am 20.06.2021

IRENA: Green hydrogen cost reduction – scaling up electrolyzers to meet the 1.5 goal (2021)

[https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA\\_Green\\_hydrogen\\_cost\\_2020.pdf](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf), zuletzt abgerufen am 13.06.2021

IRENA: Renewable power-to-hydrogen (2019)

[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA\\_Power-to-Hydrogen\\_Innovation\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Power-to-Hydrogen_Innovation_2019.pdf), zuletzt abgerufen am 13.06.2021

ISE Fraunhofer: „H2Demo“ – grüner Wasserstoff auf direkter solarer Wasserspaltung (2021)

<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2021/h2demo-gruener-wasserstoff-aus-direkter-solarer-wasserspaltung.html>, zuletzt abgerufen am 21.06.2021

Jornal de Negócios: Galp planeia centro de energia verde em Sines. Avança no hidrogénio e no lítio (2021)

<https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/energia/detalhe/galp-planeia-centro-de-energia-verde-em-sines-avanca-no-hidrogenio-e-quer-refinar-litio>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021

- Jornal Económico: Conheça os 37 projetos já aprovados pelo Governo no âmbito do hidrogénio verde (2020)  
<https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/conheca-os-37-projetos-ja-aprovados-pelo-governo-no-ambito-do-hidrogenio-verde-660995>, zuletzt abgerufen am 14.06.2021
- Jornal Económico: Fusion Fuel: A empresa portuguesa de hidrogénio que negocia em Wall Street (2021)  
<https://leitor.jornaleconomico.pt/noticia/a-empresa-portuguesa-de-hidrogenio-que-negoceia-em-wall-street>,  
zuletzt abgerufen am 14.06.2021
- Jornal Económico: Fusion Fuel tem um projeto de 492 milhões para Sines (2021)  
<https://leitor.jornaleconomico.pt/noticia/hidrogenio-fusion-fuel-tem-projeto-de-492-milhoes-para-sines>, zu-  
letzt abgerufen am 13.06.2021
- LNEG: O LNEG está a participar no esforço de tornar madura a tecnologia do H2 (2020)  
<https://www.lneg.pt/o-lneg-esta-a-participar-no-esforco-de-tornar-madura-a-tecnologia-do-h2/>, zuletzt abgeru-  
fen am 14.06.2021
- LNEG: Policy Brief “Uso das redes de gás natural para o transporte e distribuição de hidrogénio” (2020)  
[https://www.lneg.pt/lneg-policy-brief-uso-das-redes-de-gas-natural-para-transporte-e-distribuicao-de-hidro-  
genio/](https://www.lneg.pt/lneg-policy-brief-uso-das-redes-de-gas-natural-para-transporte-e-distribuicao-de-hidro-genio/), zuletzt abgerufen am 14.06.2021
- MAAC: Plano Nacional de Energia e Clima  
[https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/fich-  
eiro.aspx?v=%3D%3DBAAAAB%2BLCAAAAAAABAAzNzA1BQAB%2FFGcBAAAAA%3D%3D](https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/fich-eiro.aspx?v=%3D%3DBAAAAB%2BLCAAAAAAABAAzNzA1BQAB%2FFGcBAAAAA%3D%3D), zuletzt abgerufen  
am 14.06.2021
- MARCOGAZ: Overview of test results & regulatory limits for hydrogen admission into existing natural gas infrastructure & end use (2019)  
[https://www.marcogaz.org/publications/overview-of-test-results-regulatory-limits-for-hydrogen-admission-  
into-existing-natural-gas-infrastructure-end-use/](https://www.marcogaz.org/publications/overview-of-test-results-regulatory-limits-for-hydrogen-admission-into-existing-natural-gas-infrastructure-end-use/), zuletzt abgerufen am 20.06.2021
- National Gas Grid: NTS Linepack (2021)  
<https://www.nationalgrid.com/uk/gas-transmission/balancing/nts-linepack>, zuletzt abgerufen am 19.06.2021
- NREL: Hydrogen Production: Fundamentals and Case Study Summaries (2010)  
<https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/48269.pdf>, zuletzt abgerufen am 15.06.2021
- Observador: Portugal está a cumprir metas de redução de emissão de gases com efeito de estufa (2021)  
[https://observador.pt/2021/05/12/portugal-esta-a-cumprir-metas-de-reducao-de-emissao-de-gases-com-efeito-  
de-estufa-afirma-zero/](https://observador.pt/2021/05/12/portugal-esta-a-cumprir-metas-de-reducao-de-emissao-de-gases-com-efeito-de-estufa-afirma-zero/), zuletzt abgerufen am 19.06.2021
- Observador: Portugal quer hidrogénio e esta empresa lidera (2020)  
<https://observador.pt/2020/07/16/portugal-quer-hidrogenio-e-esta-empresa-lidera/>, zuletzt abgerufen am  
19.06.2021
- OECD: Foreign Direct Investment Regulatory Restrictiveness Index (2018)  
<https://www.oecd.org/investment/fdiindex.htm>, zuletzt abgerufen am 19.06.2021
- Österreichisches Parlament: Wasserstoffspeicher der Zukunft (2017)  
<https://www.thegreenage.co.uk/solar-panel-maintenance/>, zuletzt abgerufen am 11.06.2021

PEA: Emissões de gases com efeito de estufa (2017)

<https://rea.apambiente.pt/content/emiss%C3%B5es-de-gases-com-efeito-de-estufa>, zulezt abgerufen am 11.06.2021

PORDATA: Duração média semanal do trabalho efetivo dos trabalhadores por conta de outrem (2019)

<https://www.pordata.pt/Portugal/Dura%C3%A7%C3%A3o+m%C3%A9dia+semanal+do+trabalho+efetivo+dos+trabalhadores+por+conta+de+outrem+total+e+por+sector+de+atividade+econ%C3%B3mica-361>, zulezt abgerufen am 21.06.2021

PORDATA: Remuneração base média mensal dos trabalhadores por conta de outrem: total e setor de atividade (2019)

<https://www.pordata.pt/Municipios/Remunera%C3%A7%C3%A3o+base+m%C3%A9dia+mensal+dos+trabalhadores+por+conta+de+outrem+total+e+por+sector+de+atividade+econ%C3%B3mica-238>, zulezt abgerufen am 21.06.2021

PORDATA: Salário médio mensal dos trabalhadores por conta de outrem (2019)

<https://www.pordata.pt/Municipios/Ganho+m%C3%A9dio+mensal+dos+trabalhadores+por+conta+de+outrem+total+e+por+sexo-282>, zulezt abgerufen am 21.06.2021

PO SEUR: Homepage (2021)

<https://poseur.portugal2020.pt/>, zulezt abgerufen am 17.06.2021

Prognos AG: Flexibilitäts-Optionen für die Energiewende und ihr Einsatz (2019)

[https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user\\_upload/stmwi/Themen/Energie\\_und\\_Rohstoffe/Dokumente\\_und\\_Cover/Energiegipfel/AG\\_3/Impulsvortrag\\_Fr.\\_Dr.\\_Kirchner\\_Prognos\\_AG\\_Sitzung\\_2\\_AG\\_3.pdf](https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Themen/Energie_und_Rohstoffe/Dokumente_und_Cover/Energiegipfel/AG_3/Impulsvortrag_Fr._Dr._Kirchner_Prognos_AG_Sitzung_2_AG_3.pdf), zulezt abgerufen am 11.06.2021

QUARTON, Christopher J. & SAMSATLI, Sheila: Should we inject hydrogen into gas networks? Practicalities and whole-system value optimisation (2020)

<https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/should-we-inject-hydrogen-into-gas-grids-practicalities-and-whole>, zulezt abgerufen am 17.06.2021

REN: Armazenamento subterrâneo (2021)

<https://www.ign.ren.pt/armazenamento-subterraneo3>, zulezt abgerufen am 11.06.2021

REN: Portgás única empresa portuguesa a integrar duas mesas redondas da “European Clean Hydrogen Alliance” (2021)

[https://www.ren.pt/pt-PT/media/comunicados/detalhe/portgas\\_unica\\_empresa\\_portuguesa\\_a\\_integrar\\_duas\\_mesas\\_redondas\\_da\\_european\\_clean\\_hydrogen\\_alliance](https://www.ren.pt/pt-PT/media/comunicados/detalhe/portgas_unica_empresa_portuguesa_a_integrar_duas_mesas_redondas_da_european_clean_hydrogen_alliance), zulezt abgerufen am 11.05.2021

República Portuguesa | XXII Governo: Leilão português regista preço de energia solar mais baixo do mundo (2020)

<https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/comunicado?i=leilao-portugues-regista-preco-de-energia-solar-mais-baixo-do-mundo>, zulezt abgerufen am 11.06.2021

República Portuguesa | XXII Governo: PNEC 2030 aprovado em Conselho de Ministros (2020)

<https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/comunicado?i=plano-nacional-energia-e-clima-2030-aprovado-em-conselho-de-ministros>, zulezt abgerufen am 11.06.2021

Revista Cargo: Gasnam saúda EN-H2 e a sua aplicação na mobilidade (2020)

<https://revistacargo.pt/gasnam-sauda-estrategia-nacional-para-o-hidrogenio-e-sua-aplicacao-na-mobilidade/>, zulezt abgerufen am 11.05.2021

RTP: PRR prevê 186 ME para atingir 120 MW de produção de gases renováveis (2021)

[https://www.rtp.pt/noticias/economia/prr-preve-186-me-para-atingir-120-mw-de-producao-de-gases-renovaveis\\_n1297877](https://www.rtp.pt/noticias/economia/prr-preve-186-me-para-atingir-120-mw-de-producao-de-gases-renovaveis_n1297877), zuletzt abgerufen am 16.06.2021

Save Water: Reduce Solar PV module cleaning water consumption by 28 times (2018)

<https://www.thegreenage.co.uk/solar-panel-maintenance/>, zuletzt abgerufen am 11.06.2021

Springer Professional: Woher kommt der Wasserstoff? (2020)

<https://www.springerprofessional.de/betriebsstoffe/verfahrenstechnik/woher-kommt-der-wasserstoff-/17201618>, zuletzt abgerufen am 11.06.2021

SWLB: Ermittlung des Abrechnungsvolumens (2017)

<https://www.swlb.de/de/Kopfnavigation/Netze/Netzinfos1/Gasnetz/Netzbeschreibung/Ermittlung-des-Abrechnungsvolumens-2017-11-07.pdf>, zuletzt abgerufen am 13.06.2021

ThyssenKrupp: Wasserelektrolyse: Strom zu Gas (2021)

<https://www.thyssenkrupp.com/de/unternehmen/innovation/technologien-fuer-die-energiewende/wasserelektrolyse.html>, zuletzt abgerufen am 14.06.2021

TSF: Governo quer „fábrica gigante de hidrogénio” em Portugal (2020)

<https://www.tsf.pt/portugal/economia/governo-quer-fabrica-gigante-de-hidrogenio-em-portugal-11528752.html>, zuletzt abgerufen am 09.05.2021

World Bank: Doing Business Report 2020 (2020)

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/688761571934946384/pdf/Doing-Business-2020-Comparing-Business-Regulation-in-190-Economies.pdf>, zuletzt abgerufen am 09.05.2021

Zero: Apenas 1,2 % da água residual das estações de tratamento é reutilizada (2017)

<https://zero.org/apenas-12-da-agua-residual-das-estacoes-de-tratamento-e-reutilizada/>, zuletzt abgerufen am 17.06.2021

## 9. Anhang

### 9.1. Anhang 1: 37 ausgewählte IPCEI-Projekte im Rahmen der EN-H2 (Stand: Juni 2021)

**Tabelle 4 – Die 37 ausgewählten IPCEI-Projekte im Rahmen der EN-H2 (Stand: Juni 2021)**

Nr.	Cluster	Projektbezeichnung (auf Deutsch)	Institution/Unternehmen
1	F&E	Akademie für Wasserstoff (A4H2)	Instituto Politécnico de Portalegre
2	F&E	Entwicklung eines <i>Green Hydrogen Cluster</i> in Portugal zur Unterstützung der nationalen und europäischen Energiewende	EDP   GALP   Martifer   REN   Vestas
3	Industrie	Dekarbonisierung des Zellstoffproduktionssektors - Grüner Wasserstoff für die industrielle Nutzung	ALTRI, SGPS, S.A.
4	Industrie	Gemischte Verbrennung mit grünem Wasserstoff	The Navigator Company, S.A.
5	Infrastruktur	Entscheidungshilfe für den Betrieb von Speicher-, Transport- und Verteilungsinfrastrukturen für Wasserstoff und Gemische aus Erdgas und Wasserstoff - DSTHIDROGÉNIO	Instituto de Soldadura e Qualidade   Centro de Recursos Naturais e Ambiente / Associação do Instituto Superior Técnico para a Investigação e Desenvolvimento
6	Infrastruktur	Entwicklung einer digitalen Plattform zur Sammlung von Echtzeitdaten über H2-Produktion und -Verbrauch	EGS – Gestão de Participações Sociais, SGPS, S.A.
7	Infrastruktur	Neue Lösungen zur Förderung der H2-Wertschöpfungskette	PRF – Gás, Tecnologia e Construção, S.A.
8	Infrastruktur	Technische Unterstützung bei der Errichtung, dem Betrieb und der Umrüstung von Infrastrukturen für die Produktion, den Transport und die Versorgung von H2 unter Einsatz fortschrittlicher Inspektions- und Überwachungstechniken	EGS – Gestão de Participações Sociais, SGPS, S.A.
9	Mobilität	H2Rail – Dekarbonisierung des Schienenpersonenverkehrs	CP – Comboios de Portugal, E.P.E.   CaetanoBus   Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP)   Nomad Tech   Associação Portuguesa para a Promoção do Hidrogénio
10	Nicht bekannt	Nicht spezifiziert bzw. keine Projektbezeichnung	CIM Médio Tejo
11	Nicht bekannt	Nicht spezifiziert bzw. keine Projektbezeichnung	Águas de Portugal
12	Produktion	Carreira – Leiria	VoltaIa Portugal, S.A.   Ecobie – Engenharia, Lda.
13	Produktion	CER Sines & Export UK	EnergyKeme, Lda.   Self Energy Ltd.
14	Produktion	Das Projekt Mogadouro & Betty: Grüne Wasserstoffproduktion für Mobilitäts-Cluster	Smartenergy Invest AG
15	Produktion	Dezentrale IT2 für Mobilität und CoLAB	CaetanoBus – Fabricação de Carroçarias, S.A.   Toyota Caetano Portugal, S.A.   Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia (FEUP)
16	Produktion	Erneuerbare Stromerzeugung für Elektrolyse durch schwimmendes Solarkraftwerk und grüne Wasserstoffproduktion	Euro FPV Holdings, Lda.

17	Produktion	Floating wind to green hydrogen (FW2GH)	Hexicon AB   WunderHexicon, S.L.   WunderOcean   Innovakerna, Lda.
18	Produktion	Fusion Fuel	Fusion Welcome Fuel, S.A.
19	Produktion	H2 Mangualde	JLS – Transportes Internacionais, S.A.
20	Produktion	H2CS – Grüner Wasserstoff im <i>Corredor Ferroviário Internacional Sul</i>	Iberis   GESTO Energia, S.A.   PRF   CETIL Dispensing Technology St.   Dourogás Renovável
21	Produktion	H2Enable – Der Wasserstoff-Weg für unsere chemische Zukunft	Bondalti Chemicals, S.A.
22	Produktion	H2HVO – HVO-Produktion aus grünem Wasserstoff und Produkten der Kreislaufwirtschaft	PRIO Energy, S.A.   Akuo Renováveis Portugal
23	Produktion	Herstellung von grünem Wasserstoff durch Abwasser-elektrolyse	Enforce – Engenharia da Energia, S.A.   PRIO Energy, S.A.
24	Produktion	HG 6&3D	Semural Waste & Energy, S.A.   Circlemolecule, Lda.   Recivalongo, Lda.   Mestricubo, S.A.
25	Produktion	Hplus2	Voltalia
26	Produktion	Hybrid-Kraftwerk Alandroal	Hyperion II Renewable Services, Unipessoal, Lda.
27	Produktion	Induzierte Elektrolyse durch PEF - Prototyp zur H2-Produktion durch Elektrolyse mit gepulsten elektrischen Feldern	EnergyPulse Systems, Lda.   GIAAPP-ISEL   Laboratório de Nanofísica/Nanotecnologia e Energie (N2E), Centro de Tecnologia e Sistemas – Uninova, FCT-UNL
28	Produktion	JAF H2 Verde	JAF – Energias Renováveis   JAFPLUS, Lda.
29	Produktion	Power-to-Liquid Flugzeugtreibstoffanlage	Akuo Energy, Solarbelt
30	Produktion	Produktion von Equipment für Wasserelektrolyseure	1&1 Energy Portugal
31	Produktion	Produktion von trockenem Wasserstoff zur Mitverbrennung mit Erdgas in Tapada do Outeiro und Lieferung von Wasserstoff an den lokalen Industrie- und Mobilitätssektor	Turbogás – Produtora Energética, S.A.   Portugal – Energia, S.A.   TrustWind Services, Lda.
32	Produktion	Projekt Cadaval: Grüne Wasserstoffproduktion zur Einspeisung in das Erdgasnetz	Smartenergy Invest AG
33	Produktion	Projekt Muge: Grüne Wasserstoffproduktion für Industrie und Gasnetzeinspeisung	Smartenergy Invest AG
34	Produktion	Projekt Pinhal Novo: Grüne Wasserstoffproduktion für Industrie und Gasnetzeinspeisung	Smartenergy Invest AG
35	Produktion	PVH2-Werk Setúbal	Hyperion II Renewable Services, Unipessoal, Lda.
36	Produktion	Sines PtX	MAN Energy Solutions SE   WinPower, S.A.
37	Speicherung	H2Battery – Entwicklung einer hocheffizienten Wasserstoffbatterie	Amnis Pura, Lda.   Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP)   INL – International Iberian Nanotechnology Laboratory

Quelle: Eigene Darstellung nach ECO/Capital Verde: Estes são os 37 projetos para o hidrogénio eleitos pelo Governo.” (2020)

## 9.2. Anhang 2: Nationales (Erdgas-) Transportnetzwerk, Speicherinfrastrukturen und LNG-Terminal (Sines)

Abbildung 16 – Nationales (Erdgas-) Transportnetzwerk, Speicherinfrastrukturen und LNG-Terminal (Sines)



Quelle: REN – Mapa RNTGN (2021)

### 9.3. Anhang 3: Der portugiesische Energiemarkt im Überblick

Der portugiesische Energiemarkt hängt aufgrund mangelnder lokaler Vorkommen fossiler Energieträger stark vom Ausland ab. Den größten Anteil am Import fossiler Energieträger in Portugal stellten dabei im Jahr 2020 Erdöl und Erdgas (ca. 95,5 % der Ausgaben) dar.<sup>80</sup> Die Energieabhängigkeit des Landes liegt nach den letzten verfügbaren Zahlen (2019) bei 73,8 %, womit Portugal schlechter als der EU-Durchschnitt (60,7 %) abschneidet.<sup>81</sup> Um diese Abhängigkeit zu verringern und eine nachhaltige energetische Entwicklung Portugals zu ermöglichen, sind konkrete Maßnahmen im bereits vorgestellten PNEC 2030 vorgesehen mit dem übergeordneten Ziel der Klimaneutralität bis 2050. Bis 2030 sind dabei u.a. die Emissionsreduktion von Treibhausgasen um die Hälfte vorgesehen, die Steigerung der Energieeffizienz und des Anteils erneuerbarer Energien am Stromverbrauch, wobei auf den Einsatz von Kohle vollständig verzichtet werden soll.<sup>82</sup> Vor allem soll aber der neu entstehende Wasserstoffmarkt den Dreh- und Angelpunkt bilden für eine Neuausrichtung des portugiesischen Energiemarktes und einer höheren Energieunabhängigkeit des Landes.

Portugal emittiert jährlich mehr als 70 Mio. Tonnen Treibhausgase, während die Menge der Emissionen bis 2030 auf etwa 40 Mio. sinken soll. Auch deshalb diktierte der PNEC 2030 einen konkreten Reduktionspfad der portugiesischen Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen), der im Jahr 2020 einen Rückgang um 18 % (auf 68-72 Mio. Tonnen CO<sub>2e</sub>) bzw. im Jahr 2030 auf 52,7-61,5 Mio. Tonnen CO<sub>2e</sub> definierte, mit dem Jahr 2005 als Basis.<sup>83</sup> Für 2020 wird dieses Ziel höchstwahrscheinlich übertroffen; laut den neuesten Zahlen der portugiesischen Umweltagentur, *Agência Portuguesa do Ambiente* (APA), emittierte Portugal im Jahr 2019 ca. 63,6 Mio. Tonnen CO<sub>2e</sub>, was eine Reduktion um 25,8 % im Vergleich zum Basisjahr 2005 darstellt und damit im Einklang mit dem PNEC 2030 und den EU-Vorgaben steht.<sup>84</sup> Kritik ernten nach wie vor der industrielle, der landwirtschaftliche und der Verkehrssektor, wo ein Anstieg des Endenergieverbrauchs registriert wurde, der einen besonders wichtigen Bedarf an Energieeffizienzlösungen kreiert, was u.a. Projekte zur Einspeisung von Wasserstoff in die Produktionsprozesse motivierte, um eine bessere Klimabilanz zu erzielen. Das portugiesische Unternehmen The Navigator Company, europäischer Marktführer in der Produktion von Druck- und Schreibfeinpapier sowie von gebleichtem Zellstoff, bewarb sich beispielsweise für die IPCEI-Projekte mit seinem Vorhaben eine umweltfreundlichere Mischverbrennung im Verarbeitungsprozess mit dem Einsatz von grünem Wasserstoff zu erreichen.<sup>85</sup>

Die Energiepreise in Portugal hielten sich im europäischen Vergleich jahrelang auf einem relativ hohen Niveau und sorgen nach wie vor für hohe Energiekosten in Industrieunternehmen. Aus diesem Grund bietet es sich an, einerseits Energieeffizienzmaßnahmen umzusetzen, die sowohl Quick-Wins als auch langfristige Kosteneinsparungen mit sich bringen, und andererseits auf Alternativen, die auf erneuerbaren Energien basieren, zu setzen, um die Abhängigkeit von diesen Energiepreisen zu verringern. Das Gesetzesdekret 172/2006<sup>86</sup> aus dem Jahr 2006 regelt die Ausübung von Tätigkeiten der Produktion, des Transports, Vertriebs und Handels von Strom sowie die Organisation des Strommarktes. Nun wurde es überarbeitet und an die Technologieentwicklungen in der Stromproduktion angepasst. Das Anfang Juni 2019 neu veröffentlichte Gesetzesdekret 76/2019<sup>87</sup> vereinfacht die Lizenzvergabe in der Energieproduktion deutlich. Seit 2019 ist es offiziell erlaubt, für alle Arten der Stromproduktion Auktionen durchzuführen.

Im Juni 2019 fanden die ersten Auktionen im Solarbereich statt. Die Auktionen führten zwei Mal zu Rekorden: Neben Abu Dhabi und Katar, deren Sonneneinstrahlung nicht mit der Portugals vergleichbar ist, wurde ein Weltrekordtief beim Gebot erzielt: 20,4 Euro/MWh – zum Vergleich: Vor der COVID-19-Pandemie wurde ein Preis von rund 45-52 Euro/MWh gehandelt. Das bedeutet, dass der Staat innerhalb von zwei Jahren den Strom, verglichen mit dem durchschnittlichen Strompreis der Großhändler der iberischen Halbinsel, um mehr als 50 % billiger einkauft. Die Auktionen werden über die nachfolgende Website veröffentlicht: <https://leiloes-renovaveis.gov.pt/>.

<sup>80</sup> Fatura Energética Portuguesa 2020 (2021)

<sup>81</sup> Eurostat: Energy imports dependency (2019)

<sup>82</sup> República Portuguesa | XXII Governo: PNEC 2030 aprovado em Conselho de Ministros (2020)

<sup>83</sup> Portal do Estado do Ambiente: Emissões de Gases com Efeito de Estufa (2020)

<sup>84</sup> TSF: Portugal está a cumprir metas de redução de emissão de gases com efeito de estufa (2021)

<sup>85</sup> Jornal Económico: Conheça os 37 projetos já aprovados pelo Governo no âmbito do hidrogénio verde (2020)

<sup>86</sup> Diário da República: Decreto-Lei n.º 172/2006 (2006)

<sup>87</sup> Diário da República: Decreto-Lei n.º 76/2019 (2019)

Im Industriebereich lagen die Strom- und Gaspreise grundsätzlich unter den deutschen Preisen. Jedoch war in den Jahren seit 2009 eine deutliche Preissteigerung der Gaspreise zu beobachten, was dazu führte, dass die Gaspreise seit 2012 in etwa den deutschen Werten entsprechen und somit leicht über dem EU-Durchschnitt liegen. Im Jahr 2016 sanken die Gaspreise in beiden Ländern und halten sich seither auf einem ähnlichen Niveau (Deutschland im 1. Halbjahr 2020: 0,0245 Euro/kWh, Portugal in 1. Halbjahr 2020: 0,0263 Euro/kWh, EU-Durchschnitt im 1. Halbjahr 2020: 0,0250).<sup>88</sup> Die Strompreise für Industrieunternehmen lagen im 1. Halbjahr 2020 leicht unter dem europäischen Durchschnitt bei 0,0794 Euro/kWh (EU-Durchschnitt 0,0811).<sup>89</sup>

Für private Verbraucher liegen die Preise für Strom in Portugal (1. Halbjahr 2020: 0,2120 Euro/kWh) knapp unter dem europäischen Durchschnitt (1. Halbjahr 2020: 0,2126 Euro/kWh).<sup>90</sup> Im Gegensatz dazu waren die Gaspreise in Portugal im ersten Halbjahr 2020 (0,0564 Euro/kWh) höher als im EU-Schnitt (0,0437 Euro/kWh).<sup>91</sup> Insbesondere die Mehrwertsteuererhöhung von 7 % auf 23 % hat einen großen Preissprung und ein hohes Bewusstsein und Sensibilität für steigende Energiepreise verursacht. Der Bevölkerung und der Regierung sind die hohe Abhängigkeit von Energieimporten und die Volatilität der Preise durchaus bewusst und es wird von Preissteigerungen in der Zukunft ausgegangen, die durch die Liberalisierung des Marktes die Verbraucher schneller treffen werden. Die Regierung hat ein besonderes Interesse an der Verringerung von Energieimporten, weil die Energieabhängigkeit deutlich über dem europäischen Durchschnitt liegt und den Handelsbilanzsaldo negativ beeinflusst. All diese Einflussfaktoren verdeutlichen, wie stark der (energie-)politische Handlungswille der Regierung ist, die erneuerbaren Energien und – damit einhergehend – die Energieeffizienz zu forcieren.

#### 9.4. Anhang 4: Investitionsklima in Portugal

Die Investitionsmöglichkeiten in Portugal sind für Deutschland, als Mitglied der EU, praktisch hürdenfrei möglich. Für die Förderung von ausländischen Investitionen und des Exports sowie die Internationalisierung der portugiesischen Unternehmen ist in Portugal die staatliche Agentur für Investitionen und Außenhandel Portugals, *Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal* (AICEP), zuständig.<sup>92</sup> Das positive Investitionsklima in Portugal wird von verschiedenen Indikatoren belegt. Im *Doing Business 2020*-Report der Weltbank belegte Portugal unter 190 Volkswirtschaften den 39. Platz; in der EU den 14. Platz.<sup>93</sup> Beide Ergebnisse sprechen für die Offenheit der portugiesischen Wirtschaft für finanzielle bzw. unternehmerische Investitionen. AICEP verzeichnete beispielsweise 2019 eine Rekordzahl von 80 neuen ausländischen Investitionsverträgen, im Wert von insgesamt über 1 Mrd. Euro, die zur Schaffung von 7.000 neuen Arbeitsplätzen und zur Erhaltung von 20.000 Arbeitsplätzen führten.<sup>94</sup> Des Weiteren erreichten die ausländischen Direktinvestitionen (ADI) 2019 mit 7,4 Mrd. Euro den höchsten Wert der vorangegangenen fünf Jahre, laut dem UNCTAD World Investment Report der Konferenz der Vereinten Nationen für Handel und Entwicklung, *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD).<sup>95</sup> Im ersten Halbjahr 2020 machte sich jedoch der Einfluss der COVID-19-Pandemie wirtschaftlich bemerkbar; der Wert der ADI sank auf 2,8 Mrd. Euro und war damit 22,4 % niedriger als im ersten Halbjahr 2019. Gemessen am Anteil an den ADI ist Deutschland mit 4,1 % drittstärkster Wirtschaftspartner Portugals, direkt hinter Spanien und dem Vereinigten Königreich.<sup>96</sup> Auch der Index der Beschränkung ausländischer Direktinvestitionen, *Foreign Direct Investment Regulatory Restrictiveness Index*, der von der OECD ermittelt wird, unterstreicht die Offenheit Portugals für Investitionen. Mit seiner hohen sozialen und politischen Stabilität sowie niedrigen Lohnkosten sticht Portugal mit einem Indexwert von 0,007 (0 = offen für Investitionen, 1 = geschlossen) besonders positiv hervor und belegt in der EU den zweiten Platz hinter Luxemburg.<sup>97</sup>

<sup>88</sup> Eurostat: Gas prices for non-household consumers (2021)

<sup>89</sup> Eurostat: Electricity prices for non-household consumers (2021)

<sup>90</sup> Eurostat: Electricity prices for household consumers (2021)

<sup>91</sup> Eurostat: Gas prices for household consumers (2021)

<sup>92</sup> AICEP Portugal Global: Alemanha – Síntese País (2018)

<sup>93</sup> World Bank: Doing Business 2020 (2020)

<sup>94</sup> AICEP Portugal Global: Portugal – Síntese País 2019 (2020)

<sup>95</sup> UNCTAD: World Investment Report (2020)

<sup>96</sup> Banco de Portugal: BPStat – Quadros (2020)

<sup>97</sup> OECD: Foreign Direct Investment Regulatory Restrictiveness Index (2018)

## 9.5. Anhang 5: Arbeitsmarkt in Portugal

Nach den neuesten Statistiken des portugiesischen Nationalen Instituts für Statistik, *Instituto Nacional de Estatística* (INE), zählten im ersten Vierteljahr 2021 in Portugal 5,04 Mio. Personen als Erwerbstätige, also etwa 4,8 % mehr als im Jahr 2020 (4,81 Mio.) und etwa 0,36 Mio. als Arbeitslose, was einer Arbeitslosenquote von 7,1 % entspricht.<sup>98</sup> Die deutliche Mehrheit (69,9 %) der Erwerbstätigen ist im tertiären bzw. Dienstleistungssektor tätig. Im sekundären Sektor ist etwa ein Viertel (24,7 %) der Bevölkerung beschäftigt, während die restlichen 5,4 % im primären Sektor arbeiten.<sup>99</sup> Es ist jedoch anzumerken, dass pandemiebedingt etwa 1,3 Mio. Arbeitnehmer in Zeitarbeit versetzt worden sind; es wird erwartet, dass ein Teil dieser Arbeitnehmer noch im Jahr 2021 in die Arbeitslosigkeit fallen könnte.

Die Pandemie machte sich auf unterschiedliche Weise in den Wirtschaftszweigen bemerkbar. So war das Hotel- und Gaststättengewerbe am stärksten betroffen und verlor etwa 40.500 Arbeitsplätze allein im Jahr 2020. Erhebliche Verluste im Vergleich zu 2019 verzeichnete ebenfalls der sekundäre Sektor – Industrie, Bau, Energie und Wasser –, der sich eigentlich seit 2014 im Aufwärtstrend befand. Im verarbeitenden und im Baugewerbe wurden zusammen insgesamt etwa 50.000 Arbeitsplätze im Jahr 2020 abgebaut. Andererseits war im Bereich Transport und Logistik eine Stabilität zu erkennen, sodass dieser Zweig nun 6,5 % der Beschäftigten im Dienstleistungssektor ausmacht. Ein starkes Wachstum erlebt das Segment der IT-Unternehmen, insbesondere in den Bereichen der Softwareentwicklung, des Webdesigns und des digitalen Marketings, mit einem Anstieg von fast 7 % im Vergleich zu 2019 und der Entstehung von über 9.000 Arbeitsplätzen.<sup>100</sup>

Im Jahr 2019 lagen die durchschnittlichen Monatslöhne der Arbeitnehmer, gemessen am Grundlohn allein, bei Männern etwa 16,4 % höher (1.073,80 Euro) als bei Frauen (922,60 Euro),<sup>101</sup> wobei das Grundgehalt sektorabhängig stark variieren kann. Laut dem Büro für Strategie und Planung des portugiesischen Ministeriums für Arbeit, Solidarität und soziale Sicherheit (*Ministério do Trabalho, Solidariedade e Segurança Social*) erhielten Arbeitnehmer in internationalen Organisationen in Portugal das höchste durchschnittliche Monatsgehalt (2.160,40 Euro), während die Tourismusbranche allgemein (Hotels, Restaurants und andere Unterkünfte) das geringste Monatsgehalt (764,10 Euro) zahlte.<sup>102</sup> Der Mindestlohn wurde infolge der Gesetzesverordnung 109-A/2020 zum 01.01.2021 auf 665,00 Euro (2019: 635,00 Euro) angehoben.<sup>103</sup>

Des Weiteren gibt es Unterschiede in der Anzahl der durchschnittlichen Wochenarbeitsstunden für Arbeitnehmer nach Wirtschaftszweigen. Der portugiesische Durchschnitt liegt bei 34,1 Arbeitsstunden pro Woche; die öffentliche Verwaltung, der Bildungs- und der Gesundheitssektor kommen auf etwa 31,9 Arbeitsstunden pro Woche, während Banken und Versicherungsunternehmen mit 36,2 Arbeitsstunden pro Woche das höchste Arbeitspensum aufweisen.<sup>104</sup>

<sup>98</sup> INE: Estatísticas do Mercado de Trabalho (2021)

<sup>99</sup> PORDATA: População empregada: total e por grandes setores de atividade económica (2021)

<sup>100</sup> Comissão Europeia - EURES: Informações sobre o mercado de trabalho (2020)

<sup>101</sup> PORDATA: Salário médio mensal dos trabalhadores por conta de outrem (2019)

<sup>102</sup> PORDATA: Remuneração base média mensal dos trabalhadores por conta de outrem: total e por setor de atividade (2019)

<sup>103</sup> DGERT: Evolução da Remuneração Mínima Mensal Garantida (RMMG) (2021)

<sup>104</sup> PORDATA: Duração média semanal do trabalho efetivo dos trabalhadores por conta de outrem (2019)

