Wasserstoff als industrieller Energieträger

Status und Entwicklungspfade der Wasserstofftechnologie, industrielle Einsatzfelder, strategische Rahmenbedingungen & Entwicklung des internationalen und nationalen Wasserstoffmarkts

INDUSTRIELLENVEREINIGUNG
OBERÖSTERREICH

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber

Industriellenvereinigung Oberösterreich

Eisenhandstraße 15

4020 Linz

Rechtsform

Verein, ZVR-Zahl: 722338868

Vereinsbehörde: Bundespolizeidirektion Linz, Vereinsreferat

UVR 00160, EU-Transparenzregister NR. 89093924456-06

Für den Inhalt verantwortlich

DI Dr. Joachim Haindl-Grutsch

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

VORWORT

Das Ziel der CO2-Neutralität erfordert eine Vielzahl an Anstrengungen, Wasserstoff könnte dabei eine Schlüsselrolle einnehmen. Der Transformationsprozess des Energiesystems in Richtung Wasserstoff beinhaltet enorm komplexe Herausforderungen von der Produktion über die Speicherung und den Transport des Energieträgers bis zu Anwendungsmöglichkeiten in der Industrie, der Mobilität oder der Energieversorgung. Wasserstoff bietet vielseitige Einsatzbereiche in der chemischen oder metallurgischen Industrie, als emissionsfreier Brennstoff für die Zement- und Kalkherstellung, als Treibstoff für alternative Antriebe oder zum Betrieb von Gasturbinen in der Stromerzeugung.

Eine signifikante Reduktion von CO2-Emissionen und der Ersatz von fossilen Energieträgern ist erforderlich. Technologien, Infrastruktur, Wirtschaftlichkeit und politische Rahmenbedingungen spielen beim Einsatz von Wasserstoff eine entscheidende Rolle. Ziel dieser Studie der Industriellenvereinigung Oberösterreich ist es, einen Ein- und Überblick in die „Wasserstoff-Welt“ zu geben und damit für die vertiefte Beschäftigung auf betrieblicher Ebene eine Diskussionsgrundlage zu bieten.

DI Dr. Joachim Haindl-Grutsch
Geschäftsführer

INHALTSVERZEICHNIS

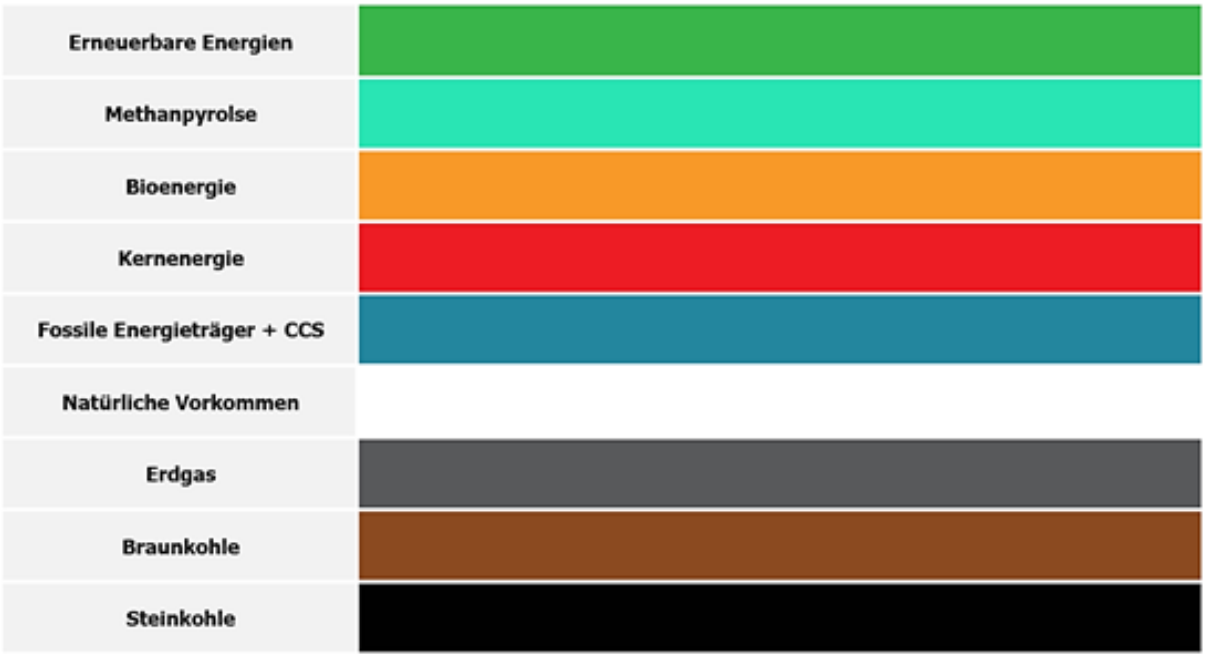
	Vorwort	3
	Inhaltsverzeichnis	5
	Executive Summary	7
1	**Einleitung**	13
2	**Wasserstoff als zentrale Säule der Transformation des Energiesystems**	15
	2.1 Charakterisierung und Wirkungsweise der Wasserstofftechnologie	16
	2.2 Multidimensionale Rolle der Wasserstofftechnologie bei der Umstellung des Energiesystems	17
	2.3 Darstellung der verschiedenen Herstellungsverfahren von Wasserstoff („H2-Farben-Lehre“)	20
	2.4 Carbon Capture Utilization & Storage (CCU & CCS)	24
	2.5 Forschungs- und Innovationspfade zum Rollout der Wasserstofftechnologie	25
3	**Wasserstoff in der industriellen Anwendung**	31
	3.1 Energieintensive Industrie	32
	3.2 Stromerzeugung	40
	3.3 Mobilität	44
	3.4 Wasserstoff-Versorgung im industriellen Betrieb	52
4	**Politische Rahmenbedingungen und Prognosen**	63
	4.1 Politische Zielsetzungen und Strategien zur Wasserstoffthematik auf internationaler, europäischer und österreichischer Ebene	63
	4.2 Prognosen und Herausforderungen bis 2030 und darüber hinaus	73
5	**Status und Entwicklung der Wasserstoffversorgung**	79
	5.1 Entwicklung der Infrastruktur für die Wasserstoffversorgung	79
	5.2 Verfügbarkeit von H2 durch Erzeugung und Importe in Europa	90
	5.3 Rolle der EU Hydrogen Bank und weiterer Förderinstrumente	93
	5.4 Darstellung aktueller und geplanter Großprojekte	96
	Literatur- und Quellenverzeichnis	99
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	105

EXECUTIVE SUMMARY

Wasserstoff (H2) hat das Potenzial, eine technologische und gesellschaftliche Transformation zu initiieren, die sowohl industrielle Produktionen, die Mobilitätsfragen und die Energieerzeugung grundlegend verändert und somit entscheidend zur Erreichung der europäischen Klimaziele für 2050 beiträgt.

Hinsichtlich Klimaneutralität und Reduktion von CO2-Emissionen steht die Produktion von grünem Wasserstoff mittels erneuerbarer Energien im Mittelpunkt. Durch den Einsatz von Solar- oder Windenergie kann die Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff ohne Generierung von Treibhausgasen erreicht werden. Eine weitere CO2-reduzierte Variante stellt die Produktion von blauem H2 dar. Dabei wird mittels Carbon Capture and Utilization (CCU) bzw. Storage (CCS) das entstehende CO2 eingefangen und weiterverwertet. Neben der Elektrolyse kommen Prozesse wie die Dampfreformation und die Pyrolyse von fossilem Erdgas zum Einsatz – diese Methoden beeinflussen die CO2-Bilanz allerdings negativ und werden basierend auf deren CO2-Fußabdruck im sogenannten „H2-Regenbogen“ gelistet.

Abbildung 1: Wasserstoff-Regenbogen: Herstellungsverfahren und Umweltauswirkungen



Als Energieträger zur Stromerzeugung oder Wärmeerzeugung stellt H2 eine Alternative zu fossilen Rohstoffen dar. Wasserstoff und Derivate (v.a. Ammoniak) sind zentrale Bausteine für Produkte von gesellschaftlichem Interesse (u.a. Pharma, Düngemittel etc.).

Oftmals werden Wasserstoff und die dafür notwendigen technologischen Schritte zum Einsatz hinsichtlich des Wirkungsgrades und der Kosten kontrovers betrachtet – beide Faktoren sollten jedoch auch bei der Beurteilung von fossilen Energieträgern erfolgen. Der Ausbau erneuerbarer Energien und eine stabile Wasserstoffwirtschaft stehen in einer gewissen Symbiose, da Stromüberschüsse bei Spitzenlasten (Sommer, Wochenende) in H2 umgewandelt und somit langfristig gespeichert werden können. Dieser Aspekt wird in

zahlreichen Strategien auf EU-Ebene bzw. in Nationalstaaten adressiert und benötigt weitere innovative Konzepte und Ansätze in den kommenden Jahrzehnten. Neben der Förderung von Innovationen sind sowohl staatliche Unterstützungen für Investitionen (CAPEX) und Betriebskosten (OPEX) notwendig, damit eine Wettbewerbsfähigkeit des Preises von H2 im Vergleich zu fossilen Energieträgern erreicht werden kann.

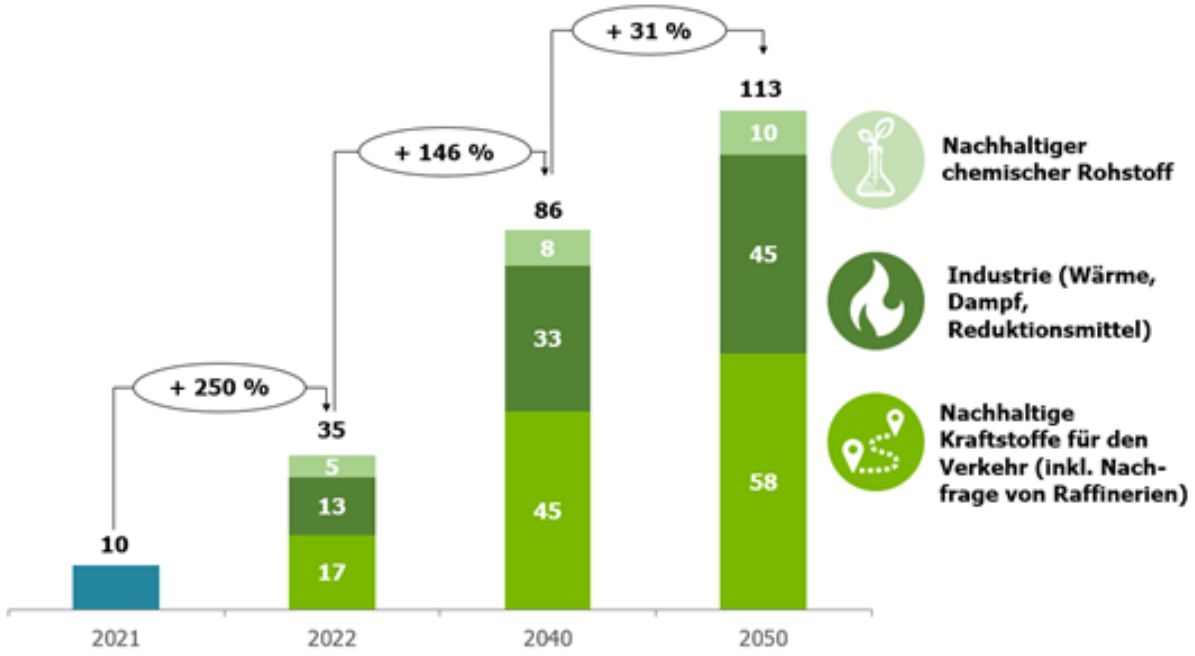
Sowohl in der europäischen als auch in der österreichischen Wasserstoff-Strategie werden die Bereiche „Energieintensive Industrie, Mobilität und Stromerzeugung" mit den größten Potenzialen in der H2-Anwendung genannt und können langfristig aufgrund der Innovationschancen zur Standortsicherung beitragen.

Abbildung 2: Industrielle Anwendungsbereiche und Potenziale von H2

Quelle: P-IC eigene Darstellung

Für die angeführten Industrien bietet grüner Wasserstoff vielseitige Vorteile und Einsatzbereiche: (1) Ausgangsstoff in der chemischen Industrie, (2) emissionsfreier Brennstoff für die Zement- und Kalkherstellung, (3) Treibstoff für alternative Antriebe (Brennstoffzelle, H2-Verbrenner), (4) Back-up Kraftwerk für erneuerbare Energien zum Betrieb von Gasturbinen und für viele weitere Anwendungen. Angesichts dieses breiten Anwendungsportfolios von H2 ist dieser insbesondere in energieintensiven Wirtschaftssektoren von Relevanz. In diesen Bereichen, in denen eine vollständige Elektrifizierung nicht möglich ist, stellt H2 die einzige Möglichkeit für eine CO2-arme/-freie Produktion dar. Diese Situation korreliert unmittelbar mit der prognostizierten steigenden Nachfrage nach H2 in den nächsten Jahrzehnten – diese soll in der EU von 35 Mio. Tonnen H2 in 2022 auf 113 Mio. Tonnen in 2050 ansteigen.

Abbildung 3: H2-Anwendung und prognostizierte Nachfrage in der EU nach industriellen Anwendungen in Mio. Tonnen (EU)

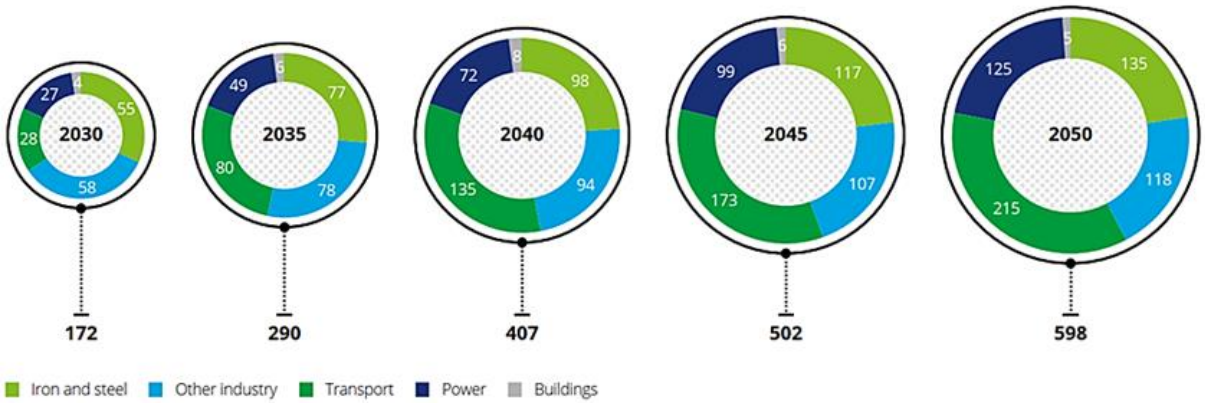


Quelle: (Energies, 2022), P-IC eigene Darstellung

Bis 2050 bedeutet dies eine Vervielfachung (Faktor 3,5) in den Sektoren Industrie und Kraftstoffe (Mobilität). Als nachhaltiger Chemierohstoff wird H2 ebenfalls an Bedeutung gewinnen (Verdoppelung von 2022 bis 2050) steht in Zukunft allerdings in Konkurrenz zu (1) biobasierten Feedstock-Chemikalien, (2) Ressourcenschonung und -reduktion sowie (3) dem Konzept der Kreislaufwirtschaft.

Weitere Prognosen auf globaler Ebene kommen zu einem ähnlichen Resümee hinsichtlich der H2-Nachfrage – zwischen 2030 und 2050 wird der Gesamtanstieg (u.a. Stahlindustrie, Mobilität, Energie) ebenfalls um etwa einen Faktor 3 erwartet.

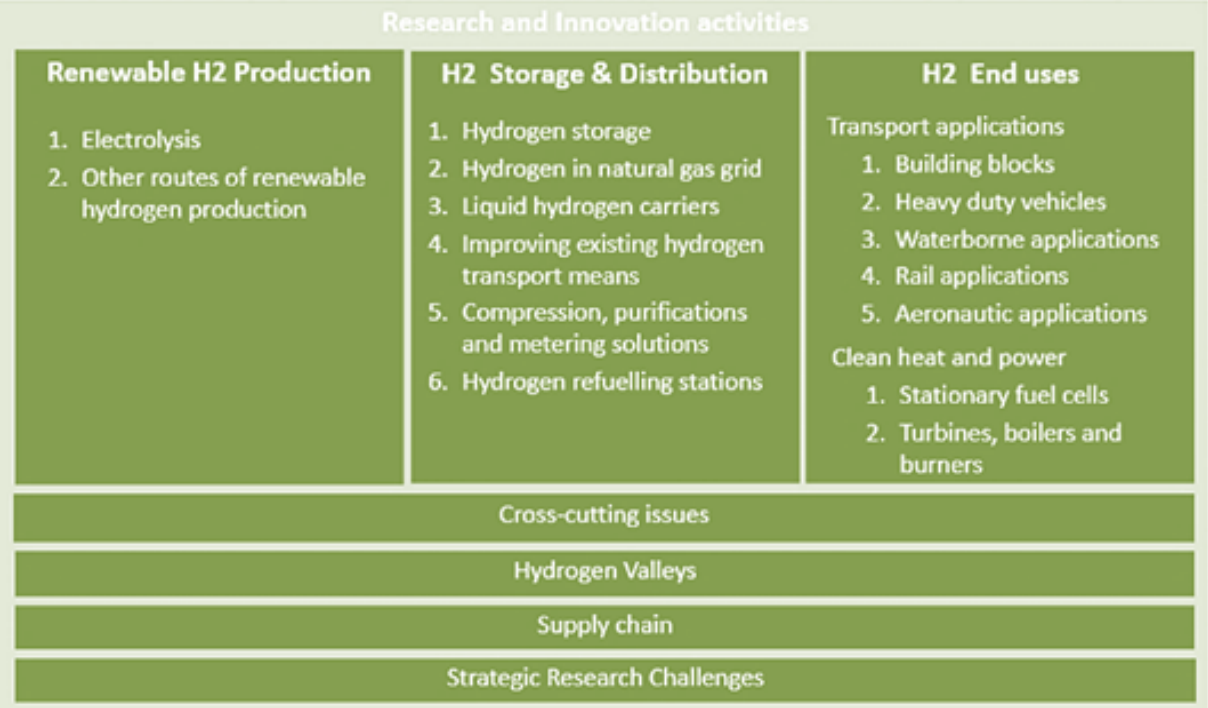
Abbildung 4: Globale Prognose der grünen H2-Nachfrage aufgeteilt nach Anwendungssektoren in Mio. Tonnen



Quelle: (Deloitte, 2023)

Damit der prognostizierte Anwendungsbedarf von Wasserstoff auf einem industriellen Niveau gedeckt werden kann, muss neben technischen Innovationen eine flächendeckende Wasserstoff-Versorgung zu marktfähigen Preisen aufgebaut werden. Mit dem Clean Hydrogen Joint Undertaking Programm adressiert die EU die Notwendigkeit von innovativen Lösungen und deren Markteinführung, um die Transformation von fossilen Energieträgern zu beschleunigen (Clean Hydrogen JU).

Abbildung 5: Überblick über das Forschungs- und Innovationskonzept von Clean Hydrogen Joint Undertaking der EU



Quelle: (Hydrogen, 2022)

Dieses Programm bildet die Grundlage für die Stärkung der europäischen Wettbewerbsfähigkeit durch innovative Ansätze entlang der gesamten Wertschöpfungskette – von der Entwicklung effizienterer Elektrolyseure über die H2-Speicherung und -Verteilung bis hin zu End-User Anwendungen. Die Programminhalte und Ziele finden sich in europäischen F&E Förderprogrammen wie „Horizon Europe“ sowie im Kooperationsprogramm „Hydrogen Valley“ wieder.

Aus dem Blickwinkel der H2-Versorgung müssen Unternehmen und Politik gemeinsam an der Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft arbeiten, um langfristig die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie zu sichern. Durch einen europäischen bzw. internationalen Wasserstoffmarkt können Preis und Kosten, verglichen zu fossilen Energieträgern, attraktiver gestaltet werden. Weitere Faktoren neben dem Preis, die derzeit die breite Anwendung von Wasserstoff limitieren, sind (1) die hohen Investitionskosten, (2) regulatorische Aspekte, (3) die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien sowie (4) die Speicherung und der Transport.

Das Zusammenspiel dieser Faktoren ist essenziell, um die gewaltigen Mengen an benötigter Energie zB in der energieintensiven Industrie oder zur Transformation des Mobilitätssystems

zu decken. Diesen Sektoren wird 2045 ein Bedarf von rund 250 TWh in Europa prognostiziert, dies entspricht ca. 10 % des heutigen europäischen Endenergiebedarfs.

Abbildung 6: Herausforderungen für die Etablierung einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Quelle: (PwC, 2024), eigene Darstellung

Um die Mobilitätswende realisieren zu können, muss der Einsatz von H2 systematisch und gezielt erfolgen – der Individualverkehr hat mit der Elektrifizierung von Fahrzeugen eine Alternative – andere Fahrzeugtypen wie Flugzeuge, Baumaschinen oder auch Motorräder sind auf H2 bzw. dessen Derivate wie etwa „e-Fuels" angewiesen. Angesichts der Anforderungen an diese Fahrzeuge (v.a. lange Reichweiten und kurze Betankungszeiten etc.) ist H2 von fundamentaler Bedeutung. Im Bereich der Nutz- und Sonderfahrzeuge konnten erste positive Erkenntnisse durch den Einsatz von Brennstoffzellen erzielt werden – Anwendungen im Luft- und Schiffsverkehr sind derzeit noch in einem Entwicklungsstadium. Mit Fokus auf den österreichischen Industriestandort und die heimische Automotivbranche sind weitere innovative Lösungen in der Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellentechnologie essenziell.

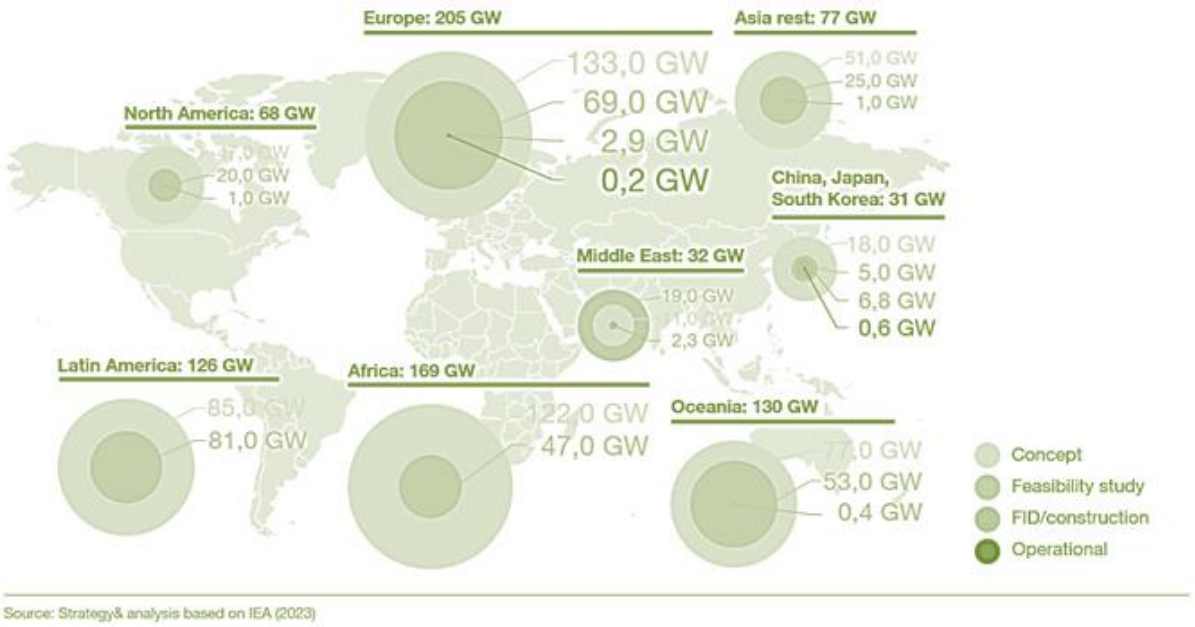
Zusammenfassend betrachtet wird eine stabile H2-Logistik (Transport und Speicherung) benötigt, damit die Transformation in den angesprochenen Wirtschaftssektoren erfolgen kann. Daher sind zusätzlich zu regulatorischen Bedingungen markante finanzielle Unterstützungen notwendig. Die entsprechenden Maßnahmen wurden in Strategiepapieren auf EU- und nationaler Ebene veröffentlicht und befinden sich bereits zum Teil in Umsetzung. Dazu zählen unter anderem die erste Auktion der EU Hydrogen Bank, die Entwicklung der europäischen H2-Infrastruktur sowie europäische und nationale Förderprogramme. Die strategische Planung und Umsetzung zu einer europäischen bzw. internationalen Wasserstoffwirtschaft sind eine wesentliche Grundvoraussetzung, um den Preis pro Kilo Wasserstoff wettbewerbsfähig zu gestalten. Aufgrund prognostizierter Marktsituationen ist 2045 eine breite Anwendung (zB im Gebäudebereich) ab einem Preis von unter € 90/MWh möglich, aktuell ist dies jedoch aufgrund von Transportkosten, Gewinnmargen, Kapitalkosten, Vertriebskosten etc. nicht denkbar.

Grundsätzlich ist der Preis von klimaneutralem Wasserstoff – grünem oder blauen H2 – von Bedeutung. Basierend auf aktuellen Prognosen wird sich die globale Nachfrage mehr als verdreifachen – von 170 Mio. Tonnen im Jahr 2030 auf 600 Mio. Tonnen im Jahr 2050. Damit dieser Bedarf gedeckt werden kann, sind Wasserstoffimporte in den mitteleuropäischen Raum notwendig. Diese Thematik wurde 2023 im European Hydrogen Backbone beleuchtet und es wird mit einer Importrate von ca. 50 % aus europäischen Nachbarregionen gerechnet.

Die Erreichung dieser Prognosen setzt einen erheblichen Ausbau der Elektrolyseur-Kapazitäten voraus. Derzeit gibt es eine Vielzahl von Projekten zur Steigerung der grünen Wasserstoffkapazität – in Europa sollen 205 GW, in Afrika 169 GW und in Ozeanien 130 GW realisiert werden. Diese Kapazitäten basieren auf postulierten Daten, in Europa sind derzeit

0,2 GW der zugrunde liegenden Kapazitäten als „operational“ eingestuft. Die Mehrzahl der Projekte, die zur Erreichung der erforderlichen H2-Produktionsmengen notwendig sind, befindet sich in der Konzeptphase (EU: 133 GW der 205 GW).

Abbildung 7: Projektstatus von grünen Wasserstoffprojekten



Quelle: (Strategy & PwC, 2024)

Um den Einsatz von H2 im ambitionierten Umfang des EU Green Deal zu realisieren, sind entschlossene Maßnahmen erforderlich. Diese Studie soll aufzeigen, dass diese Ziele nur durch ein Zusammenspiel von Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Industrie erreicht werden können. Neben der finanziellen Weichenstellung für die Infrastruktur und konkreten Fördermaßnahmen benötigt die EU die Etablierung einer H2-Wertschöpfungskette. Die daraus entstehende Wasserstoffwirtschaft kann die Dekarbonisierung von Industrie und Mobilität entscheidend vorantreiben.