



Whitepaper zur Wasserstoff- wirtschaft

VDE FINANCIAL DIALOGUE HYDROGEN 2023

Empfohlene Zitierweise

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.:
Whitepaper zur Wasserstoffwirtschaft, Whitepaper, Frankfurt am Main (Januar 2024)

Dieses VDE Whitepaper ist Arbeitsergebnis des VDE FINANCIAL DIALOGUE HYDROGEN 2023, welcher im Rahmen des HYDROGEN DIALOGUE Summit & Expo am 06. und 07.12.2023 in Nürnberg stattgefunden hat.

Editor in Chief

Prof. Werner Tillmetz, Universität Ulm

Co-Autoren (in alphabetischer Reihenfolge)

Werner Diwald, Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband

Dr. Markus Forstmeier, EIT InnoEnergy

Patrick Hinze, Munich Re

Burkhard Holder, VDE

Dr. Philipp Matthes, Wun H2 GmbH

Iñaki Merkel, Horváth & Partner GmbH

Markus Rosenthal, Clean Air Task Force

Erik Schäfer, SENCO Hydrogen Capital

Reviewer

Sabine Behrmann, VDE Renewables GmbH

Prof. Christopher Hebling, Fraunhofer ISE

Thomas Koller, VDE

Vorbemerkung

Das VDE Whitepaper gibt – entsprechend der Positionierung des VDE als neutraler, technisch-wissenschaftlicher Verband – gemeinsame Erkenntnisse der Referenten des VDE FINANCIAL DIALOGUE HYDROGEN 2023 wieder.

Die Gemeinschaftsergebnisse wurden im konstruktiven Dialog aus unterschiedlichen Positionen erarbeitet. Die Inhalte dieses Dokuments spiegeln daher nicht unbedingt die Meinung der durch ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vertretenen Unternehmen und Institutionen wider.

Herausgeber:

VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.

Merianstraße 28

63069 Offenbach am Main

Tel. +49 69 6308-0

service@vde.com

www.vde.com

Titelbild: © peterschreiber.media / stock.adobe.com

Design: Stefan Mümpfer grafic works, 65934 Frankfurt

Januar 2024

Grußwort zum VDE FINANCIAL DIALOGUE WASSERSTOFF 2023



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Liebe Teilnehmerinnen,
liebe Teilnehmer,

das Erreichen des Ziels der Klimaneutralität bis 2045 hängt maßgeblich davon ab, dass Wirtschaft und Gesellschaft in Bewegung bleiben. Ich setze mich deswegen – auch nach der Entscheidung des Bundesverfassungsgerichts vom 15. November 2023 – energisch dafür ein, den begonnenen Weg kontinuierlich weiterzuverfolgen.

Für Kontinuität steht mit dem Financial Dialogue Hydrogen des VDE auch eine etablierte Initiative zur Weiterentwicklung der Wasserstoffwirtschaft – einem Wirtschaftszweig, dem zum Erreichen der Klimaziele eine wesentliche Rolle zukommt: Der Markthochlauf von grünem Wasserstoff leistet einen entscheidenden Beitrag dazu, dass Deutschland CO₂-neutral wirtschaften kann und wir uns weiterhin als starke Industrienation in der Welt behaupten. Dialog-Formate, die alle Beteiligten zusammenbringen, sind deswegen unverzichtbar, denn Land und Wirtschaft sind mittendrin in einem hochdynamischen Veränderungsprozess. Nur im Wege des beständigen Austauschs werden wir diesen Prozess gemeinsam erfolgreich durchlaufen – und so unseren Wohlstand erneuern.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen anregende Gespräche
und eine gelungene Veranstaltung.
Ihr



© BMWK / Dominik Bulzmann

Dr. Robert Habeck
Bundesminister für Wirtschaft
und Klimaschutz

Inhalt

Executive Summary	6
1. Motivation und Zielsetzung des Whitepapers 2023	7
2. Das Whitepaper 2022 – eine kurze Zusammenfassung	8
3. Marktentwicklung – wie hat sich die Wasserstoffwelt seit 2022 verändert?	9
4. Klimawandel und Geopolitik forcieren die Energiewende	12
5. Wasserstoff aus Sicht der Finanzwelt	16
Die Schlüsselaussagen und Handlungsempfehlungen	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der geplanten Kapazitäten an Elektrolyseuren für die Erzeugung von grünem Wasserstoff [1]	9
Abbildung 2: Installierte Kapazität an Elektrolyseuren für die Erzeugung von grünem Wasserstoff [1]	10
Abbildung 3: Das Europäische Wasserstoffnetz [10]	13
Abbildung 4: Dezentrales Energiesystem mit optimaler Nutzung aller Stoff- und Energieströme am Beispiel des Projektes WUN H2 in Wunsiedel [5]	14
Abbildung 5: Strategische Unternehmensbeteiligung über die Wertschöpfungskette am Beispiel der klimaneutralen Düngemittel-Produktion der neu gegründeten Firma FertigHy [6]	15
Abbildung 6: Typische Risiken, die von Banken für langfristige Investitionen bewertet werden [2]	16
Abbildung 7: Das aktuelle Wartespiel in der Wasserstoffwirtschaft [2]	17
Abbildung 8: Der Zusammenhang zwischen technischen und finanziellen Risiken [3]	20

Executive Summary

Deutlich sichtbare Auswirkungen des Klimawandels und dramatische geopolitische Ereignisse beschleunigen die Notwendigkeit der Abkehr von fossilen Energien und damit den Transformationsprozess hin zu einer klimaneutralen Energieversorgung. Dabei bildet Wasserstoff im künftigen Energiesystem die Brücke zwischen der stark fluktuierenden und geografisch sehr unterschiedlichen Erzeugung von CO₂-freiem Strom und der bedarfsgerechten Bereitstellung klimaneutraler Energieträger in allen Sektoren. Wasserstoff ist somit das fehlende Puzzleteil der Energiewende und die ideale Ergänzung und Erweiterung der Kurzzeitspeicherung über Batterien.

Inzwischen werden das weltweit dynamische Wachstum und das riesige Marktpotenzial für Wasserstofftechnologien immer sichtbarer. Nach den aktuellen Trends hat Europa das Potenzial, sich zum Leitmarkt für die Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln. Bei der Elektrolyse, der Schlüsseltechnologie zur Produktion von grünem Wasserstoff, hat allerdings derzeit China die „Pole-Position“ übernommen. Für Europa gilt es, durch ein ambitioniertes politisches und unternehmerisches Handeln die Technologie- und vor allem die Produktionsführerschaft zurückzuholen.

Der riesige Kapitalbedarf für die Transformation des Energiesystems macht die Rolle privater und institutioneller Investoren deutlich. Gleichzeitig fallen bei Wind und Sonne nur geringe Betriebskosten an, ganz im Gegensatz zu der heutigen Situation bei den fossilen Energieträgern. Damit werden die Bereitstellung des Kapitals und das Management der Risiken, die mit der Finanzierung des Aufbaus eines klimaneutralen, versorgungssicheren und wirtschaftlichen Energiesystems verknüpft sind, zum entscheidenden strategischen Element im globalen Wettbewerb der Volkswirtschaften.

Eine langfristig tragfähige Strategie für den Transformationsprozess ist sowohl in der Politik als auch bei Unternehmen von zentraler Bedeutung. Der Abbau der Bürokratie und regulatorischer Hürden beschäftigt die Unternehmen schon seit Jahren, und es wurden bisher nur kleinere Fortschritte erzielt, die zu keiner signifikanten Verbesserung beigetragen haben. Diese sind jedoch essenziell, um den Markthochlauf mit der notwendigen Geschwindigkeit in Europa sicherzustellen und um zu vermeiden, dass zur heutigen Energieabhängigkeit nicht noch eine andere, eine Technologieabhängigkeit, hinzukommt. Dabei sind neue, intelligente Ansätze und Instrumente zur besseren Einschätzung und Reduktion der Risiken in der Finanzwirtschaft entscheidend. Dazu gehören ein umfassendes, faktenbasiertes Verständnis des aktuellen Technologiestandes und dessen weitere Entwicklungspotenziale. Darüber hinaus müssen dringend neue Finanzmöglichkeiten und die Übernahme von Garantien und weiteren Finanzinstrumenten bereitgestellt und umgesetzt werden, die die neuen Geschäftsmodelle und aktuell noch nicht vorhersehbare Risiken absichern. Dies würde der Industrie und insbesondere auch innovativen KMUs und Kommunen bei der Entwicklung neuer Businesspläne zugutekommen und einen entscheidenden Beitrag zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit leisten. Erfolgsgeschichten zur Rolle des Wasserstoffs im künftigen Energiesystem stärken nicht nur das Vertrauen von Finanzinstitutionen, sondern beeinflussen auch politische Entscheidungen und erleichtern die Zustimmung der Gesellschaft zu einem verstärkten Einsatz von Wasserstoff als nachhaltigen Energieträger.

Das beträchtliche Potenzial an Sonnen- und Windenergie in Europa, verbunden mit politischer Stabilität, bietet eine vielversprechende Grundlage für den Aufbau einer europäischen Energiesouveränität. Politik und Unternehmen müssen sich verstärkt auf diese innereuropäischen Ressourcen fokussieren, um ein klimaneutrales und resilientes Energie- und Wirtschaftssystem zu etablieren. Der bereits begonnene Umbau des heutigen europäischen Erdgasnetzes auf Wasserstoff stellt einen unschätzbaren Vorteil für den laufenden Transformationsprozess und im globalen Wettbewerb dar. Keine andere Region weltweit verfügt über so ein umfangreiches und engmaschiges Pipelinennetz, das für eine versorgungssichere erneuerbare Energiewirtschaft unverzichtbar ist.

Dezentrale Energiesysteme, die verschiedene Sektoren miteinander verknüpfen, bieten bedeutende Effizienz- und Kostenvorteile sowie die Möglichkeit zur regionalen Wertschöpfung. Dazu gehört auch eine erfolgreiche unternehmerische Bündelung von Kompetenzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Damit können technische und finanzielle Risiken deutlich reduziert werden.

Regierungen und Unternehmen müssen sich deshalb noch stärker auf den Umbau der Energiewirtschaft fokussieren, um sich im globalen Wettbewerb behaupten zu können. Die Politik muss dringend einfache, effizient umsetzbare regulatorische Leitplanken für eine zukunftsorientierte Wasserstoff-Marktwirtschaft schaffen, die auf erneuerbaren Energien basiert. Dies ist die Voraussetzung, dass die Wirtschaft bzw. Unternehmen die notwendigen Investitionsentscheidungen treffen und schnellstmöglich umsetzen können.

1. Motivation und Zielsetzung des Whitepapers 2023

Dieses Dokument setzt auf dem im Jahr 2022 im Rahmen des VDE Financial Dialogue Hydrogen entwickelten „Whitepaper zur Wasserstoffwirtschaft“¹ auf. Die politischen Verwerfungen mit den daraus resultierenden hohen Preisen und Risiken bei der Energieversorgung haben den VDE gemeinsam mit den im Anhang aufgeführten Kooperationspartnern dazu bewegt, das Thema weiter zu vertiefen. Die weltweit zunehmenden Extremwetterereignisse verstärken den Handlungsdruck, zügig eine klimafreundliche und resiliente Energieversorgung zu realisieren. Angesichts dieser Herausforderungen wird deutlich, dass eine nachhaltige Energieinfrastruktur nicht nur zum Klimaschutz beiträgt, sondern auch die Resilienz gegenüber den Auswirkungen von Naturkatastrophen stärkt. Eine kontinuierliche Investition in dezentrale erneuerbare Energiesysteme mit Sektorenkopplung, die weniger anfällig für Störungen sind, gewährleistet eine zuverlässigere Energieversorgung. Wasserstoff bildet dabei die Brücke zwischen der stark volatilen Erzeugung von Strom aus Sonne und Wind und der bedarfsorientierten Bereitstellung von Energie.



Auch für den Import von Energie aus sonnen- und windreichen Regionen sind Wasserstoff und seine Derivate von zentraler Bedeutung. Rund 15 Monate nach dem Financial Dialogue Hydrogen 2022 wurden in einer Folgeveranstaltung im Dezember 2023 die weltweiten Veränderungen in dieser Zeit analysiert und angepasste Handlungsempfehlungen herausgearbeitet.

In fünf Fachworkshops, Online-Befragungen und individuellen Experten-Interviews zu den Themen Stand der Technik, Standardisierung, Bürokratie & Regulatorik, PFAS-Verbot² und Fachkräftemangel wurden im zweiten Halbjahr 2023 die wesentlichen Aspekte der Wasserstofftechnologien und der notwendigen Maßnahmen erarbeitet. Die Diskussionen und Ergebnisse waren die Grundlage für die Leitveranstaltungen des VDE Financial Dialogue Hydrogen im Dezember 2023 in Nürnberg. Die beteiligten Partner sind am Ende des Dokuments aufgeführt.

Dieses Whitepaper zur Wasserstoffwirtschaft 2023 fasst die Hauptthemen der Präsentationen und die Ergebnisse der Podiumsdiskussionen der diesjährigen Veranstaltung zusammen.

Zunächst werden dabei in Kapitel 2 die Ergebnisse des VDE Financial Dialogue Hydrogen vom September 2022 kurz zusammengefasst, bevor in den Kapiteln 3, 4, und 5 die aktuelle Situation der Wasserstoffwirtschaft analysiert und abschließend in Schlüsselaussagen und Handlungsempfehlungen zusammengestellt wird.

¹ VDE Whitepaper zur Wasserstoffwirtschaft 2022: <https://www.vde.com/hydrogendialogue>

² PFAS: per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen

2. Das Whitepaper 2022 – eine kurze Zusammenfassung

Im Folgenden sind die Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen (Kapitel 9) des Whitepapers aus dem Jahr 2022³ zur Wasserstoffwirtschaft kurz zusammengefasst:

- Klimawandel und geopolitische Verwerfungen zwingen zu einem deutlich schnelleren Ausbau der erneuerbaren Energien. Dabei kann über Wind- und vor allem Sonnenstrom ein Vielfaches der heute benötigten Energie erzeugt werden.
- Angesichts des weltweit immer noch steigenden Verbrauchs an fossilen Energien und deren Anteil von etwa 80 Prozent an der Gesamtenergieversorgung stellt uns die Energiewende vor gigantische Herausforderungen. Die neue Energiewelt basiert nicht auf einer Optimierung der heutigen Energieversorgung, sondern auf deren signifikanter Veränderung.
- Der sekundäre Energieträger Wasserstoff und seine Derivate bilden eine ideale Brücke zwischen der tages- und jahreszeitlichen sowie geografisch stark unterschiedlichen Erzeugung grünen Stroms und der bedarfsgerechten Bereitstellung der notwendigen Energie in allen Sektoren.
- Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft hat weltweit enorm an Fahrt aufgenommen und wird in allen Sektoren als gesetzt angesehen.
- Akquisitionen von Technologiefirmen und strategische Partnerschaften entlang der Wertschöpfungsketten haben massiv zugenommen.
- Die neu entstehenden Märkte rund um das Thema Wasserstoff sind heute noch von großen Unsicherheiten wie Zuverlässigkeit der Produkte oder dem sicheren „Return on Investment“ geprägt – ein typisches Merkmal disruptiver Innovationen.

Die bestehenden Regelwerke, vor allem in den traditionell stark regulierten Energiemärkten, sind die größte Hürde für eine schnelle Markteinführung der neuen Technologien. In Verbindung mit der heute nur eingeschränkt möglichen wirtschaftlichen Bewertung der künftigen Märkte führt dies derzeit zu großen Unsicherheiten bei den wichtigen Investitionsentscheidungen in Industrie und Finanzwelt.



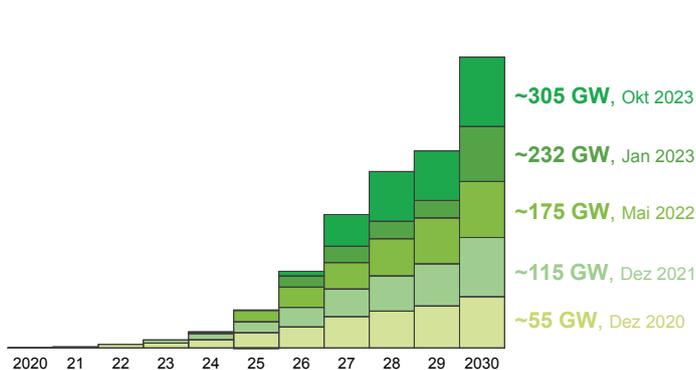
³ VDE Whitepaper zur Wasserstoffwirtschaft 2022: <https://www.vde.com/hydrogendialogue>

3. Marktentwicklung – wie hat sich die Wasserstoffwelt seit 2022 verändert?

Mehr als 300 GW Elektrolyse-Kapazität werden bis 2030 durch die bisher angekündigten Projekte installiert

Kumulative Elektrolyse-Kapazität (angekündigt)¹, GW

Stand: 18. Okt. 2023



1. Die Ankündigungen basieren ausschließlich auf öffentlich zugänglichen Daten; sie umfassen Projekte, die als Wasserstoffproduktionskapazität angekündigt und in Elektrolyseur-Kapazität umgewandelt wurden. Bei Projekten ohne bekannten Einführungszeitplan wurden Kapazitätserweiterungen zwischen bekannten Meilensteinen interpoliert; umfasst Projekte in allen Entwicklungsstufen.

Quelle: Project & Investment tracker, Stand Okt. 2023, McKinsey

+73 GW

Anstieg der angekündigten Elektrolyse-Kapazität bis 2030 in den letzten 9 Monaten

>60 %

Kapazitätsankündigungen in 3 Regionen, d. h. Europa, Lateinamerika und Ozeanien

>90 GW

angekündigte Elektrolyse-Kapazität bis 2030 in Europa, der weltweit größten Region

Abbildung 1:
Entwicklung der geplanten Kapazitäten an Elektrolyseuren für die Erzeugung von grünem Wasserstoff [1]

Das erforderliche Budget, um die bis zum Jahr 2030 weltweit angekündigten Projekte zu Wasserstoff umzusetzen, hat sich auf USD 570 Milliarden erhöht [1]. Das ist mehr als das Doppelte, der im Jahr 2022 ermittelten USD 260 Milliarden. Etwa die Hälfte der Projekte sind in der konkreten Planungsphase. Das Budget für Projekte, die in der finalen Umsetzung sind, hat sich von USD 24 Milliarden auf USD 38 Milliarden erhöht.

Die Dynamik dieser Entwicklung wird auch aus Abbildung 1 ersichtlich: Die Planzahlen für die Kapazität an installierten Elektrolyseuren erhöhten sich in sehr kurzen Abständen markant. Bei der Bewertung der Zahlen ist zu beachten, dass chinesische Unternehmen kaum mittel- und langfristige Ankündigungen vornehmen – meist wird das Projekt dann bekannt gegeben, wenn die finale Investitionsentscheidung gefallen ist.

Um bis 2030 auf den Pfad zu kommen, der zur Erreichung des „Net-Zero-Emission“-Zieles eingeschlagen werden müsste, wären bis dahin weltweit etwa USD 1.000 Milliarden erforderlich, das sind nochmals USD 430 Milliarden mehr, als aktuell an Projekten angekündigt wurde. Dies zeigt eindrucksvoll die enormen Herausforderungen für den Transformationsprozess und die Größe des zu erwartenden Marktes.

Bei der Elektrolyse, der Schlüsseltechnologie einer künftigen Wasserstoffwirtschaft, hat China bereits die weltweite Marktführerschaft übernommen: Mehr als die Hälfte der heute installierten Kapazität befindet sich in China (Abbildung 2). In Europa sind aktuell 220 MW und in Deutschland 50 MW an Kapazitäten installiert [2]. Die Produktionskapazität für Elektrolyseure steigt in China vergleichbar mit anderen Industriebereichen ebenfalls schnell an [8][12], wobei auffällt, dass einige der führenden Hersteller aus der Photovoltaik-Industrie auch zu den führenden Herstellern von Elektrolyseuren gehören. Diese Unternehmen haben offensichtlich erkannt, dass der weitere Ausbau der Photovoltaik eng mit der Wasserstoffwirtschaft verknüpft ist.

Mit dem zügigen Ausbau der Produktionskapazitäten schaffen sich die chinesischen Hersteller Kostenvorteile für den dynamisch wachsenden Markt (Abbildung 1). Von heute 1 GW installierter Elektrolyse-Kapazität soll diese in nur sechs Jahren um den Faktor 300 auf 305 GW steigen. Die Analysen der International Energy Agency (IEA) lassen eine Kapazität

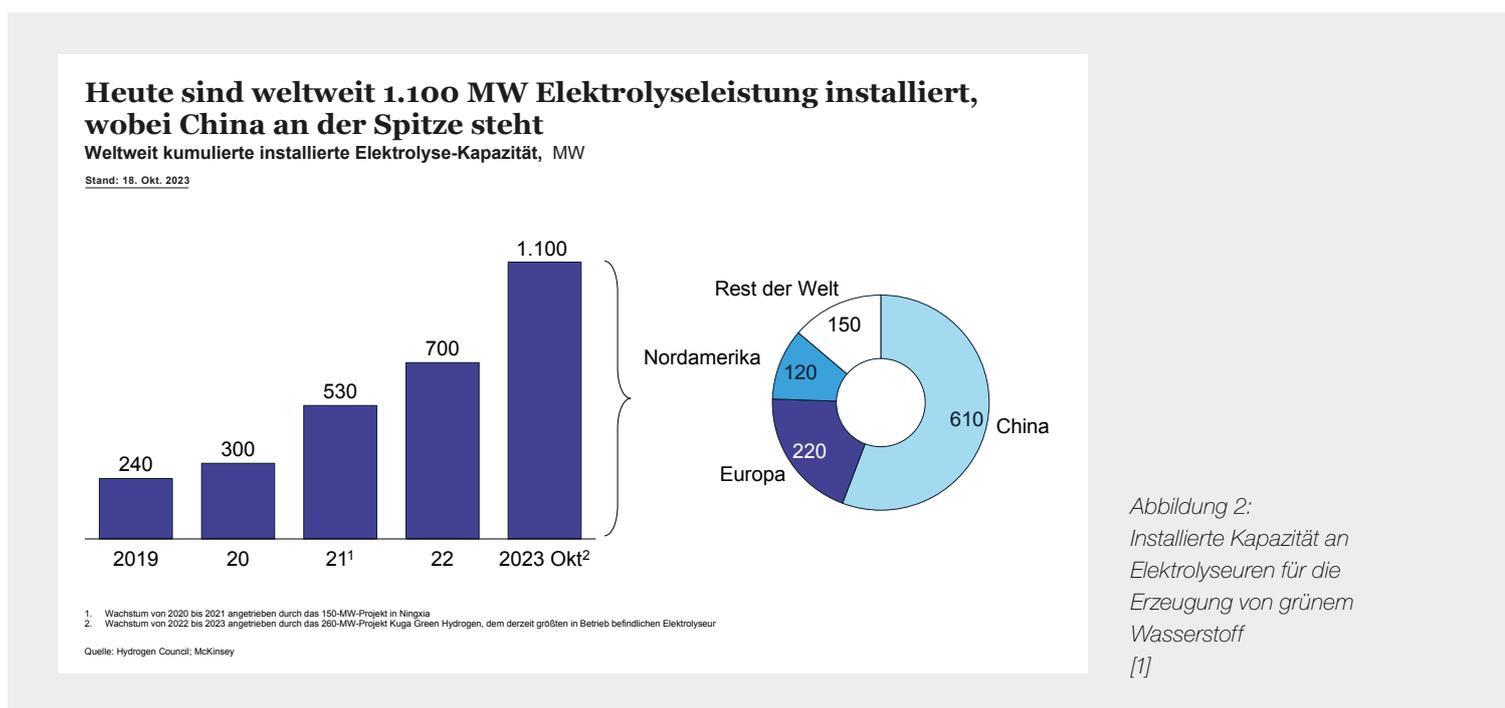
von 3.500 GW im Jahr 2050 erwarten [3]. Das größte Marktpotenzial für Elektrolyseure bis zum Jahr 2030 bietet aktuell Europa mit mehr als 90 GW geplanter Kapazität. Zum Vergleich: Die deutsche Bundesregierung plant eine Kapazität von 10 GW bis 2030.

Eine Studie der IRENA von 2022 [13] hat ergeben, dass global über 2 Millionen TWh pro Jahr an grünem Wasserstoff mittelfristig für unter 1,50 USD/kg (0,045 USD/kWh) produziert werden könnten. In der EU beträgt das Potenzial über 24.000 TWh pro Jahr und übersteigt damit den heutigen europäischen Energiebedarf um 50%. Grüner Wasserstoff und erneuerbare Energien sind im Verbund somit in der Lage, volkswirtschaftlich effizient die europäische Energieversorgung zu gewährleisten. Ein Erreichen der Klimaziele ist somit keine Frage der Ressourcen- und Technologieverfügbarkeit, sondern eine Frage des politischen und unternehmerischen Handelns.

Die heutigen Zahlen zu den installierten Elektrolyseuren (Abbildung 2) lassen auch künftig eine Dominanz chinesischer Hersteller erwarten. Es zeichnet sich das realistische Szenario ab, dass sich die Entwicklung, wie Deutschland sie bei der Photovoltaik erlebt hat und wie sie sich aktuell auch bei der Lithium-Ionen-Batterie darstellt, wiederholt. In der „EU-China Energy Cooperation Platform“ [15] wird sogar der Fokus Chinas auf die Produktion von Wasserstofftechnologien politisch bestätigt.

Die Gefahr, dass die heutige Abhängigkeit Europas vom Energieimport durch eine Technologieabhängigkeit abgelöst wird, ist groß. Der Abgleich der aktuell in Deutschland bzw. Europa installierten Elektrolyse-Kapazität mit der in sechs Jahren erwarteten Kapazität erfordert eine detaillierte und kohärente Strategie zur Industrialisierung der Wasserstofftechnologien und deren schnelle Umsetzung. Dabei kommt – auch aufgrund begrenzt vorhandener öffentlicher Mittel – privaten Investoren eine Schlüsselrolle zu.

Das globale Rennen um die Technologieführerschaft hat längst begonnen, und auch die deutsche Bundesregierung muss dringend handeln, um ihrem Ziel „Deutschland wird bis 2030 Leitanbieter für Wasserstofftechnologien“ aus dem Koalitionsvertrag sowie der Nationalen Wasserstoffstrategie gerecht zu werden.



Bei den aktuellen Kosten für Wasserstoff war im letzten Jahr eine nicht vorhergesehene Verteuerung zu beobachten. Die deutlich gestiegenen Kosten für Strom und Bauteile sowie die höheren Finanzierungskosten (Zinsen) führten zu deutlich gestiegenen Wasserstoff-Herstellkosten (LCOH). Die Kostenschätzungen sind von USD 2,90 im letzten Jahr auf heute USD 5,00 pro Kilogramm Wasserstoff gestiegen [1]. Die Prognosen für die langfristige Kostenentwicklung ergeben allerdings weiterhin einen Zielkorridor zwischen USD 2,00 und USD 3,00 pro Kilogramm Wasserstoff. Dies liegt u. a. an den schnell wachsenden Produktionskapazitäten für Photovoltaik und Windkraftanlagen und den damit weiter fallenden Kosten für die Erzeugung von Strom in sonnen- und windreichen Regionen.

- **Die dynamische Marktentwicklung und das riesige Marktpotenzial für Wasserstofftechnologien werden zunehmend sichtbar**
- **China hat die „Pole-Position“ bei der Produktion von Elektrolyseuren übernommen**
- **Die aktuelle Verteuerung bei den Kosten für Wasserstoff hat für die langfristige Strategie keine Relevanz**

4. Klimawandel und Geopolitik forcieren die Energiewende

Die beiden mit der Energiewende verknüpften Themen Klimawandel und Geopolitik haben im Jahr 2023 weltweit zu enormen Turbulenzen und Verunsicherungen geführt. Extremwetterereignisse als eine Folge der weltweit rasch steigenden Temperaturen werden immer häufiger. In den Monaten September und Oktober 2023 wurde bereits ein globaler Temperaturanstieg von mehr als 1,5 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter registriert. Dies entspricht dem erst für das Ende des Jahrhunderts angestrebten Ziel, den menschengemachten globalen Temperaturanstieg durch den Treibhauseffekt auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen.

Gleichzeitig geht der Ausstoß an Klimagasen unvermindert weiter und die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre nimmt weiter kontinuierlich zu. Aus diesem Grund ist es dringend erforderlich, dass sowohl die Regierungen als auch Unternehmen und Gesellschaft global noch deutlich stärker als bisher Maßnahmen ergreifen, um dieser Entwicklung entgegenzuwirken.

Es wird künftig nicht weniger Schiffe, Flugzeuge oder Fahrzeuge geben, so die Feststellung einer Analyse zur Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft [4]. Daraus folgt, dass die Dekarbonisierung der Energieträger und der industriellen Prozesse der alles entscheidende Pfad hin zur Klimaneutralität ist.

Nachdem die Energieversorgung heute weltweit zu 80 % auf fossilen Energieträgern basiert, ist dieser Wandel ein sehr komplexer Prozess mit zahlreichen Herausforderungen, der sich nicht so schnell wie von vielen erwartet umsetzen lässt. Unser global vernetztes Energiesystem hat sich über mehr als 100 Jahre zu dem entwickelt, was wir heute im Alltag erleben. Unter Berücksichtigung dieser Erfahrungen und Fakten ist bei den Diskussionen während des VDE Financial Dialogue deutlich geworden: Das Ziel der Klimaneutralität 2050 lässt sich nur über eine ganzheitlich durchdachte Strategie mit zügiger und konsequenter Umsetzung erreichen.

Mit der Vereinbarung auf der COP 28 im Dezember 2023 wird sich der weltweite Trend der Energiewende beschleunigen: Die mittelfristige Abkehr von fossilen Energieträgern und ein massiver Ausbau der erneuerbaren Energien wurden im Abschlusspapier gewürdigt. Wichtig zu erwähnen ist, dass Europa schon vor einigen Jahren mit dem European Green Deal und der Verpflichtung zur Klimaneutralität bis 2050 eine weltweite Vorreiterrolle bei der Energiewende eingenommen hat [9].

Neben dem Temperaturanstieg sind die stark zunehmenden geopolitischen Spannungen, die sich in Europa durch den Stopp der Erdgasversorgung aus Russland bemerkbar gemacht haben, von zentraler Bedeutung. Gestiegene Energiepreise und in Folge auch deutlich höhere Preise für alle Konsum- und Investitionsgüter führen bis heute zu großen wirtschaftlichen und sozialen Herausforderungen. Die vielen aktuellen geopolitischen Auseinandersetzungen, wie z. B. im mittleren Osten oder zwischen den Großmächten China und den Vereinigten Staaten von Amerika, bergen Risiken und haben einen wesentlichen Einfluss auf die zukünftige Energieversorgung.

Als Folge der hohen Energiepreise ist die Stromerzeugung über Photovoltaik noch attraktiver geworden und der Ausbau hat sich weltweit nochmals deutlich beschleunigt. Unterstützt wird das starke Wachstum bei der Photovoltaik durch die stark gefallen Preise für die Photovoltaikmodule, ausgelöst durch hohe Überkapazitäten bei den chinesischen Herstellern. In sonnenreichen Regionen sind heute Stromgestehungskosten von unter 1 ct/kWh möglich. Die Umwandlung des sehr kostengünstigen Sonnenstroms in dann jederzeit verfügbaren Wasserstoff oder seine Derivate erhöht die Kosten auf 5 bis 10 ct/kWh [17]. Der Vergleich zum Preis für Rohöl, der heute bei etwa 5 ct/kWh liegt (ohne die Kosten für die Raffination des Rohöls und den weiter steigenden CO₂-Preis von aktuell ca. 0,8 ct/kWh für Kraftstoff in

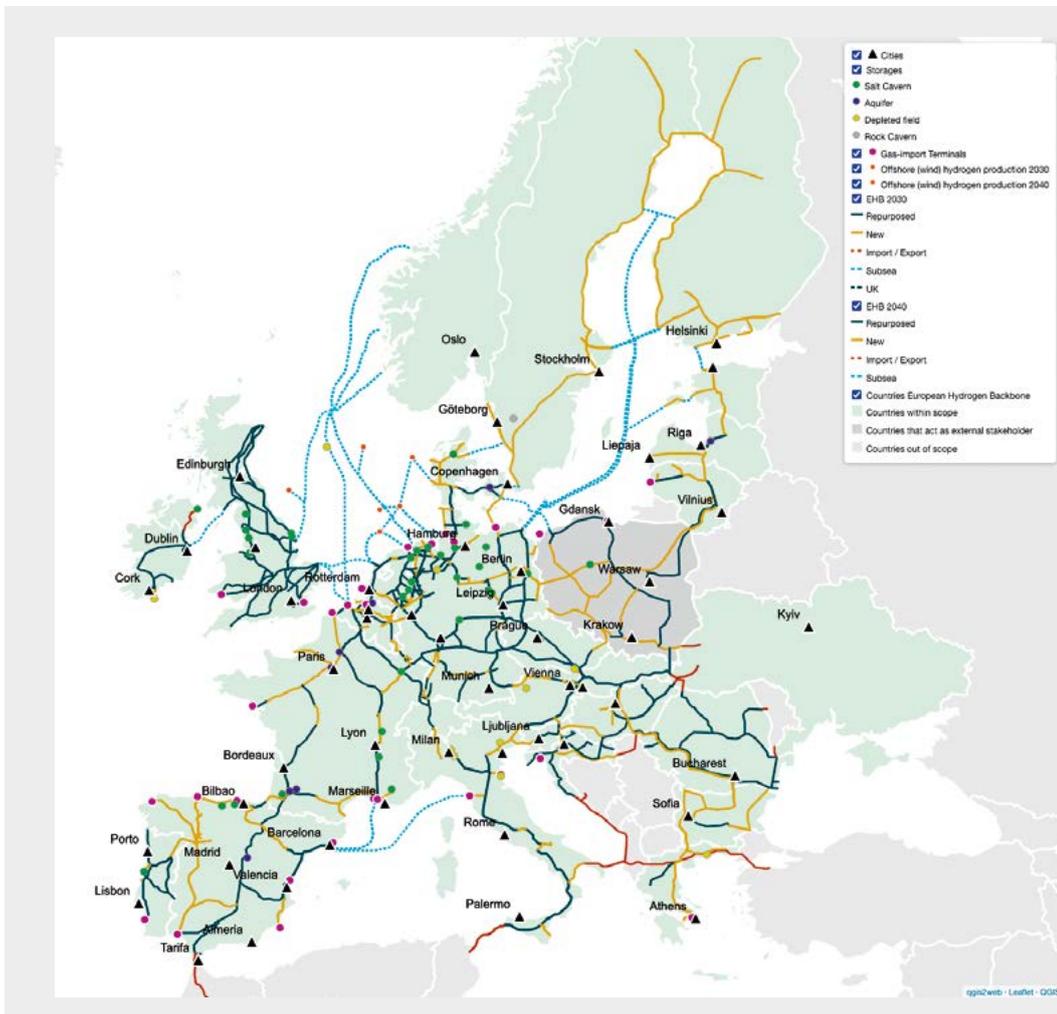


Abbildung 3:
Das Europäische
Wasserstoffnetz [10]

Deutschland), gibt einen guten Hinweis auf die erreichbaren wettbewerbsfähigen Kosten für klimaneutralen Wasserstoff bei einer breiten Industrialisierung der relevanten Technologien.

Diese niedrigen Stromgestehungskosten für grünen Strom spielen auch eine zunehmende Rolle beim Aufbau des Europäischen Wasserstofftransportnetzes (European Hydrogen Backbone) [7][10]. Im Bereich der Atlantikküsten sowie der Nord- und Ostsee schreitet der Ausbau der Windenergie schon seit Jahren massiv voran. Damit verbunden sind temporär große Mengen an vor Ort nicht nutzbarem Strom, der aktuell abgeregelt werden muss. Diesen Strom in Wasserstoff umzuwandeln und dann per Pipeline an entfernte Verbraucher zu transportieren, wird zunehmend zu einem attraktiven Geschäftsfeld, das Europa unabhängiger von Energieimporten macht. Eine Versorgung der industriellen europäischen Zentren mit ausreichend erneuerbaren Energien wird auch bei einem ambitionierten Ausbau der Stromnetze nicht möglich sein, da selbst die moderne Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) maximal 3 GW Leistung übertragen kann. Im Vergleich dazu kann eine einzige Gaspipeline bis zu 20 GW an Leistung aufnehmen. Der Wasserstoff kann dabei gleichzeitig die essenzielle Funktion der Energiespeicherung übernehmen. Damit wird es möglich, eine bedarfsgerechte Energieversorgung sicherzustellen, die nicht davon abhängt, ob die Sonne scheint oder der Wind weht. Auch die Regionen um das Mittel- und Schwarzmeer bieten mit ihrer hohen Sonneneinstrahlung und -dauer und dem oftmals hohen Windpotenzial weitere wichtige Erzeugungsregionen für eine gesicherte und wirtschaftliche Energieversorgung Europas auf Basis klimaneutraler Energien.

Mit der Nutzung des bestehenden Erdgasnetzes für den Wasserstofftransport und dessen Verteilung kann Europa ohne Verlust in Richtung Energiesouveränität einen großen Schritt der Versorgungssicherheit gehen. Die Absicht vieler Gasnetzbetreiber, bis zum Jahr 2040 kein Erdgas mehr durch die Pipelines zu transportieren, ist ein starkes Signal für den Transformationsprozess hin zu einer vernetzten Wasserstoffwirtschaft. Mit einer Wasserstoffherzeugung in Europa und dem Transport über existierende Pipelines kann die heutige Abhängigkeit von Energieimporten aus politisch instabilen Regionen deutlich reduziert werden [4]. Gleichzeitig kann damit der sehr teure und langwierige Ausbau der Übertragungsstromnetze reduziert werden. Der Energietransport über das Gasnetz bietet gleichzeitig die so notwendige Möglichkeit der Energiespeicherung, vor allem über lange Zeiträume (saisonale Speicher). Zum Beispiel verfügt Deutschland mit seinen Salzkavernen und dem möglichen Ausbaupotenzial über ein sehr gutes Speicherpotenzial, das für die Lagerung von Wasserstoff hervorragend geeignet ist.

Die bisherige Stromversorgung basiert auf zentralen Kraftwerken und dem kontinuierlichen Import von einfach speicherbaren fossilen Energieträgern. Der schnelle und dezentrale Ausbau der Photovoltaik und Windenergie ist ausgesprochen positiv zu bewerten, erfordert aber die Realisierung von deutlich verbesserten Speicherlösungen, verbunden mit einem intelligenten Energiemanagement. In Europa wurden dazu im Jahr 2023 56 GW an Photovoltaik- und 15 GW an Windenergie-Kapazität neu installiert. In den 27 EU-Staaten konnten im Vergleich zu den Vorjahren deutlich mehr Windräder aufgestellt werden. In Deutschland wurden 2023 im Vergleich jeden Monat 1 GW an Photovoltaikmodulen neu installiert. An sonnigen Tagen stehen damit zur Mittagszeit zunehmend sehr große Mengen an Sonnenstrom zur Verfügung. In Verbindung mit anderen, nur sehr begrenzt regelbaren Stromerzeugern (z. B. Biogas, Laufwasserkraftwerke, Kernkraftwerke) führt das zu einem temporären Überangebot an Strom, verbunden mit dem Abschalten der Stromerzeugung aus Sonnenenergie – so wie wir das im Windbereich schon seit Jahren kennen.

Die daraus resultierenden Re-Dispatch-Maßnahmen haben sehr hohe Kosten für die Stromverbraucher zur Folge. Im Jahr 2022 waren das z. B. in Deutschland bereits 4 Milliarden Euro. Diese können durch Speichertechnologien und integrierte regionale Energiesysteme (Sektorenkopplung, Power-to-X) deutlich verringert oder ganz vermieden werden. Wasserstoff und Batteriespeicher spielen hier eine zentrale Rolle und tragen gleichzeitig zur Netzstabilisierung bei. Dies ermöglicht auch völlig neue und resiliente Energieversorgungssysteme [5].



Abbildung 4:
Dezentrales Energiesystem mit optimaler Nutzung aller Stoff- und Energieströme am Beispiel des Projektes WUN H2 in Wunsiedel [5]

FertigHy: Düngemittelproduktion zur Dekarbonisierung der Lebensmittelproduktion

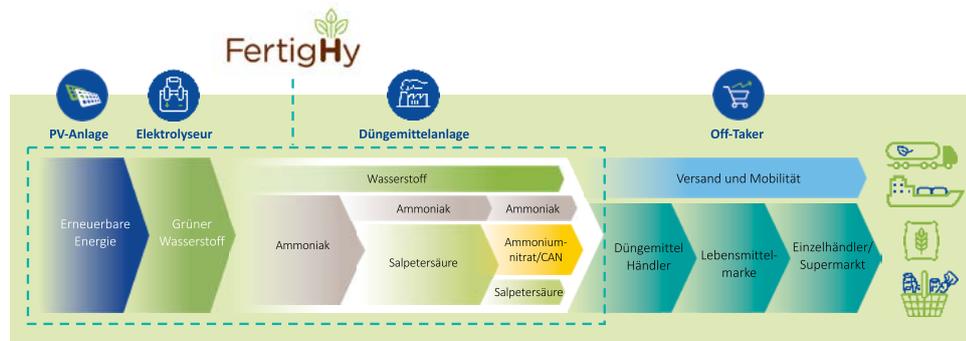


Abbildung 5: Strategische Unternehmensbeteiligung über die Wertschöpfungskette am Beispiel der klimaneutralen Düngemittelproduktion der neu gegründeten Firma FertigHy [6]

Ein Best-Practice-Beispiel für ein zukunftsweisendes dezentrales Energieversorgungssystem hat die Stadt Wunsiedel im Fichtelgebirge mit dem Projekt WUN H2 realisiert: Der mit Strom aus regionalen Wind- und Photovoltaikanlagen gespeiste Elektrolyseur versorgt Fahrzeuge und Produktionsanlagen mit Wasserstoff. Die Abwärme des Elektrolyseurs wird in ein Wärmenetz eingespeist. Zusätzlich kann in einem nächsten Schritt der Sauerstoff aus der Elektrolyse in der nahe gelegenen Kläranlage genutzt werden. Damit wird die Energieversorgung insgesamt effizienter und kostengünstiger. Ein solches Projekt kann eine Blaupause für zukünftige dezentrale Energiesysteme auch an anderen Standorten werden.

Die Industrie und die Investoren arbeiten auch an der Konzeption und Umsetzung zur Verlagerung von Produktionskapazitäten energieintensiver Produkte in Länder, die über große Mengen an kostengünstiger grüner Energie verfügen. Wie oben beschrieben hat Europa entlang der Atlantikküsten sowie im Schwarz- und Mittelmeerraum viele solcher Regionen. Die lokale Produktion in solchen Regionen wird immer günstiger sein als zum Beispiel Ammoniak aus Übersee zu importieren.

Ein gutes Beispiel für solche neuen Ansätze ist die Produktion von grünen Kunstdüngern in Spanien z. B. durch die Firma FertigHy (Abbildung 5). Das Unternehmen FertigHy wurde von mehreren Industriepartnern gegründet, die gleichzeitig einen Großteil der Wertschöpfungskette abdecken: von der Erzeugung grünen Wasserstoffs bis zur Vermarktung der mit CO₂-freiem Dünger hergestellten Lebensmittel. Durch die gemeinsame unternehmerische Verantwortung entstehen die notwendige Transparenz und das Verständnis für die oft sehr komplexen Schnittstellen der einzelnen Bausteine eines neuen Produktes. Auch die kommerziellen Risiken können gemeinsam getragen werden. Damit lässt sich eine Vielzahl der typischen Risiken der Markteinführung völlig neuer Technologien reduzieren.

- Klimawandel und geopolitische Verwerfungen beschleunigen die Energiewende
- Europa kann zum Leitmarkt für die Wasserstoffwirtschaft werden
- Dezentrale Lösungen mit Sektorenkopplung ermöglichen eine effiziente und kostengünstige Energieversorgung mit hoher regionaler Wertschöpfung

5. Wasserstoff aus Sicht der Finanzwelt

Der notwendige Umbau der globalen Energieversorgung auf neue CO₂-freie Energieträger erfordert sehr hohe Investitionen. Der Vergleich mit den heutigen jährlichen Investitionen bei den fossilen Energien, die alleine bei den fünf großen internationalen Öl- und Gaskonzernen im dreistelligen Milliardenbereich liegen, gibt einen Hinweis auf die Größenordnung. Dabei liefern diese fünf internationalen Konzerne nur etwa 10% des weltweiten Bedarfs an Öl und Gas. Etwa 90 % liegen in der Hand der nationalen Öl- und Gasorganisationen.

Um das heutige, über mehr als einhundert Jahre gewachsene Energiesystem auf erneuerbare Energien umzustellen, sind daher enorme Neuinvestitionen notwendig. Dabei ist zu beachten, dass sich bei den fossilen Energiesystemen die Investitionszyklen in Anlagen (Raffinerien, Förderplattformen) und Infrastruktur (Tanker, Pipelines) über Jahrzehnte erstrecken. Auch bei den erneuerbaren Energien sind es vergleichbare Zeiträume. Diese Jahrzehnte für die Abschreibung der Investitionen müssen im Lichte der noch zur Verfügung stehenden Zeit bis zum Erreichen der Klimaneutralität (2050 für Europa) betrachtet werden.

„Wir ersetzen fossile Kraftstoffe durch Kapital“, so die Aussage des französischen Industrieministers, Roland Lescure. [2]. Damit meint er, dass wir heute für die Lieferung der fossilen Energien kontinuierlich an die Unternehmen und Länder bezahlen, die die Förderung und Verarbeitung der Energieträger durchführen. Bei Wind und Sonne fallen dagegen nur geringe Betriebskosten an. Der größte Anteil der Kosten für die Erzeugung von erneuerbaren Energien resultiert aus den notwendigen sehr hohen Anfangsinvestitionen, die für den Bau der Anlagen erforderlich sind.

Dazu ein vereinfachtes Beispiel: Bei einer Produktion von heute 100 Millionen Barrel pro Tag und einem Preis von USD 80 pro Barrel werden täglich 8 Milliarden USD an Einnahmen durch den Verkauf von Rohöl – das sind jährlich etwa USD 3.000 Milliarden – erzielt, die u. a. teilweise auch wieder für Erhaltungs- und Neuinvestitionen eingesetzt werden können. Das war bis heute eine attraktive und risikoarme Investition, was sich durch die Vereinbarungen der COP 28 allerdings ändern könnte.

Bei den erforderlichen enormen Investitionen in erneuerbare Energien erfolgt der Return on Investment erst in vielen Jahren und hängt entscheidend von der Lebensdauer und

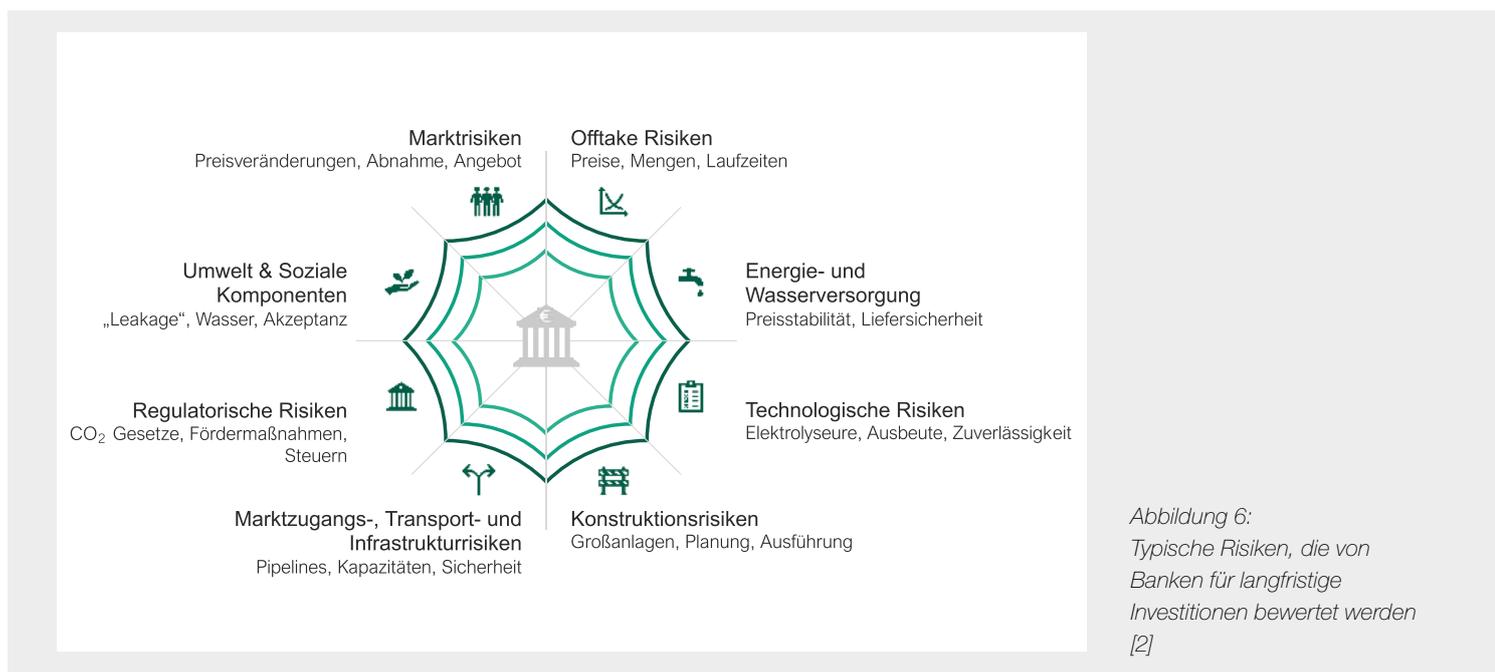


Abbildung 6:
Typische Risiken, die von
Banken für langfristige
Investitionen bewertet werden
[2]

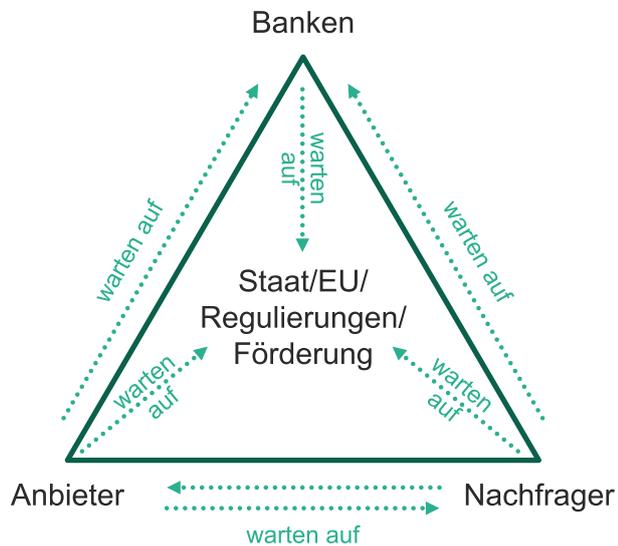


Abbildung 7:
Das aktuelle Wartespiel
in der Wasserstoffwirtschaft
[2]

Zuverlässigkeit der Anlagen und den erzielbaren Preisen für grünen Strom und Wasserstoff ab. Die aktuell hohen Zinsen machen Investitionen in erneuerbare Energien in vielen Fällen unattraktiv.

Die notwendigen Investitionen übersteigen bei Weitem die Möglichkeiten, die Regierungen in Form von Fördermitteln bereitstellen können. Aus diesem Grund müssen Anreize und verbesserte Rahmenbedingungen für private und institutionelle Investoren geschaffen werden, um die damit verbundenen Risiken zu begrenzen. Mit einer weitsichtigen Risikoverteilung können zudem die Energiekosten für die Verbraucher reduziert und sozial gerecht verteilt werden.

Risiken aus Sicht der Finanzwelt

Die Risiken für diese langfristigen Investments müssen primär durch eine zukunftsorientierte und stabile Gesetzgebung und daraus resultierende Regelwerke minimiert werden. Neue Finanzinstrumente, die von der Finanzwirtschaft und den Regierungen gemeinsam weiterentwickelt werden müssen, sind weitere wichtige Bausteine für solche Investments. Gute Beispiele sind die Garantien der Europäischen Investitionsbank (EIB), wie sie aktuell für den Ausbau der Windenergie beschlossen wurden [11], aber auch das deutsche EEG-System, das inzwischen weltweit kopiert worden ist.

Abbildung 6 fasst die typischen Risiken, die von Banken in Zusammenhang mit Investitionsentscheidungen bewertet werden, anschaulich zusammen.

Ein deutlicher Anteil der Risiken in Zusammenhang mit langfristigen Investitionen in die Wasserstoffwirtschaft kann mit dauerhaft stabilen politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen abgefedert werden. Sind diese nicht oder nur unzureichend gegeben, führt das zu einer lähmenden Situation, die den notwendigen Hochlauf stark be- oder sogar verhindert (Abbildung 7 [2]).

Wo stehen wir bei effektiven Regelwerken und dem Bürokratieabbau?

Die aktuellen Rahmenbedingungen, Herausforderungen und Risiken für die Wasserstoffwirtschaft in Europa stellen sich auf Basis der Aussagen und der Diskussionen des Financial Dialogue wie folgt dar:

Wesentlicher Treiber für die bereits stattfindende Neuorientierung der Investoren und der Finanzwirtschaft im Energiesektor ist die Abschlusserklärung der letzten Weltklimakonferenz COP 28. Das Dokument formuliert deutlich eine Abkehr von fossilen Energien und den beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien.

Der European Green Deal und die Gesetzgebung zur Klimaneutralität bis 2050 in der Europäischen Union bilden einen maßgeblichen Rahmen und tragen dazu bei, dass Europa attraktiv für Investitionen in grüne Technologien ist. Aus der Strategie des European Green Deal folgt eine Vielzahl von Gesetzen und Regelwerken, die den Transformationsprozess vorantreiben sollen. Die Regelwerke zur Reduktion der CO₂-Emissionen und zum Aufbau der Infrastruktur für klimaneutrale Energieträger werden begleitet von umfangreichen Fördermaßnahmen, wie beispielsweise den Hydrogen Valleys, die wichtige regionale Kooperationen vorantreiben.

Der Umbau des europäischen Gasnetzes auf Wasserstoff (Abbildung 3) und der dazugehörige, gerade entstehende regulatorische Rahmen (Beispiel Marktdesign für Wasserstoff analog zu denen für Erdgas und Strom) sowie die bereits getroffenen politischen Vereinbarungen rund um das Europäische Wasserstofftransportnetz zwischen den beteiligten Ländern schaffen ein Alleinstellungsmerkmal für Europa. Erste wichtige Finanzinstrumente für den Markthochlauf wie die European Hydrogen Bank [4][14] wurden ebenfalls geschaffen. Es kommt jetzt entscheidend darauf an, dass dieser Rahmen in der Praxis ausgefüllt wird und eine zeitnahe Umsetzung erfolgt.

Durch das Setzen regulatorischer Leitplanken gilt es nun aus dem Status der Forschung, Entwicklung und Demonstration den Übergang in den Hochlauf einer grünen Wasserstoff-Marktwirtschaft abzusichern, denn nur dann zahlen sich die Investitionen der Vergangenheit für die europäische und deutsche Volkswirtschaft aus. Die Ansätze der Finanzierungsinstrumente H2Global oder der Hydrogen Bank sind ein wichtiger Schritt, aber bei Weitem nicht ausreichend. Die Bundesregierung muss ihr H2Global-Instrument mit dem notwendigen Kapital für die Absicherung des angestrebten Ziels von 10 GW Elektrolyseleistung zur Produktion von 28 TWh pro Jahr in Deutschland bis 2030 ausstatten. Zusätzlich muss sie zur Sicherung des prognostizierten Wasserstoffimports (bis zu 47 TWh pro Jahr) kurzfristig die entsprechenden europäischen Ausschreibungen vornehmen. Das sind mindestens 15 GW für die Erzeugung von erneuerbarem Strom, der über das bestehende europäische Gasnetz als grüner Wasserstoff importiert werden soll.

Bei der Prioritätensetzung für die Wasserstoffproduktion sollten die sonnen- und windreichen Regionen Europas stärker genutzt werden. Aufgrund der Erfahrungen zu Abhängigkeiten bei der Versorgung mit Energie bietet der Europäische Wirtschaftsraum durch seine politische Stabilität und die vorhandenen Transportwege signifikante Vorteile. Dazu kommt eine Stärkung der europäischen Industrie mit Schaffung von zukunftsweisenden Arbeitsplätzen. Der Import von Wasserstoff und seiner Derivate aus Übersee ist technisch anspruchsvoller und häufig mit hohen politischen Risiken verbunden. Deshalb sollten europäische Lösungen von der Politik noch viel stärker vorangetrieben werden. Bei Umgebungstemperatur flüssige E-Fuels wie E-Methanol oder E-Kerosin, die sehr einfach in den Sonnengürteln der Erde erzeugt und ohne Umwandlung direkt zum Verbraucher gebracht werden können, haben das Potenzial, die dritte Säule einer künftigen Energieversorgung dazustellen.

Bei den Details der europäischen Regelwerke zu Wasserstoff und der Transformation des Energiesystems und deren nationaler Umsetzung gibt es noch ein hohes Verbesserungspotenzial. Beispielsweise ist der Delegated Act zu grünem Wasserstoff aufgrund zu komplexer Details in der Praxis kaum umsetzbar und führt zu signifikanten Verzögerungen, Kostensteigerungen und Verunsicherungen [4].

Viele der heutigen wenig hilfreichen Regulierungen resultieren auch aus einem falschen Verständnis der Rolle des Wasserstoffs im künftigen Energiesystem. Bei der tages- und jahreszeitlich sowie geografisch stark unterschiedlichen Erzeugung grünen Stroms und der bedarfsgerechten Bereitstellung der notwendigen Energie in allen Sektoren haben Wasserstoff und seine Derivate eine essenzielle Brückenfunktion.

Für die Förderung des sehr teuren Aufbaus von großen Stückzahlen, um damit die Kosten der neuen Produkte zu reduzieren, wurde das europäische Förderinstrument IPCEI (Important Projects of Common European Interest) geschaffen, um die Begrenzungen des europäischen Beihilferechts aufzuheben. Mit diesem Instrument sollen die Nachteile Europas im Vergleich zu den Vereinigten Staaten von Amerika und asiatischen Ländern, die diese Förderbeschränkungen nicht haben, reduziert werden. Leider bestehen trotz des oben genannten Anspruchs auf ein effizientes und beschleunigtes Verfahren in vielen Fällen langwierige und bürokratische Genehmigungsprozesse, die zum Teil mehr als drei Jahre dauern. Dies führt auch in der Wasserstoffwirtschaft zu hoher Frustration bei den Antragstellern und verbessert aktuell nicht die internationale Wettbewerbsfähigkeit europäischer Unternehmer. Das dagegen sehr einfach konzipierte, auf einem Steuermodell basierende Förderinstrument der USA mit dem Inflation Reduction Act (IRA) hat eine Bearbeitungszeit von nur wenigen Wochen [4]. Daraus resultiert, dass eine steigende Anzahl von europäischen Unternehmen den Ausbau ihrer Produktion in den USA planen und teilweise auch die Aufgabe des Produktionsstandorts Europa in Erwägung ziehen. Eine weitere unnötige politische Aktion sind die Erklärungen der „EU-China Energy Cooperation Platform“ [15], in denen der Fokus Chinas auf die Produktion von Wasserstofftechnologien bestätigt wird. Das ist für die geplanten Investitionen von europäischen Herstellern von Wasserstofftechnologien nicht hilfreich und kostet am Ende viele Arbeitsplätze in Europa.

Dies sind weitere Gründe dafür, dass die wichtige Skalierung bei der Produktion der Schlüsselkomponenten Elektrolyseur und Brennstoffzelle in Europa nur schleppend vorankommt.

Das geplante PFAS⁴-Verbot in Europa – Auswirkungen und Lösungsvorschläge

Eine weitere Marktverunsicherung, die den Hochlauf der Produktion in Europa signifikant abbremsst, ist das geplante Verbot der per- und polyfluorierten Chemikalien (PFAS) in Europa. Die Diskussionen in Europa sorgen sowohl bei Unternehmen als auch bei Investoren und Versicherungen zu Verunsicherungen. Das hängt damit zusammen, dass Schlüsseltechnologien wie die Brennstoffzelle und der Elektrolyseur Membranen nutzen, die aufgrund der notwendigen Lebensdauer auf fluorierten Polymeren (PFAS) basieren. Der Umstieg auf fluorfreie Werkstoffe erfordert viele Jahre an intensiver Entwicklungsarbeit, und es ist derzeit noch unklar, ob überhaupt vergleichbare Ersatzstoffe in absehbarer Zeit zur Verfügung stehen. Der Vorschlag der Experten aus den durchgeführten Workshops und Podiumsdiskussionen ist, dass der Gesetzgeber eine klare Differenzierung und Kategorisierung zwischen Konsumgütern (Kleidung, Verpackung) und langlebigen Investitionsgütern schafft. Bei den Investitionsgütern kann eine grüne und nachhaltige Produktion verbunden mit einem chemischen Recyclingprozess für PFAS-Materialien und einem gesetzlich festgelegten Rücknahmesystem sichergestellt werden.

4 PFAS: per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen

Zusammenfassung der technischen Risiken in einer Elektrolyseur-Anlage und deren Auswirkungen

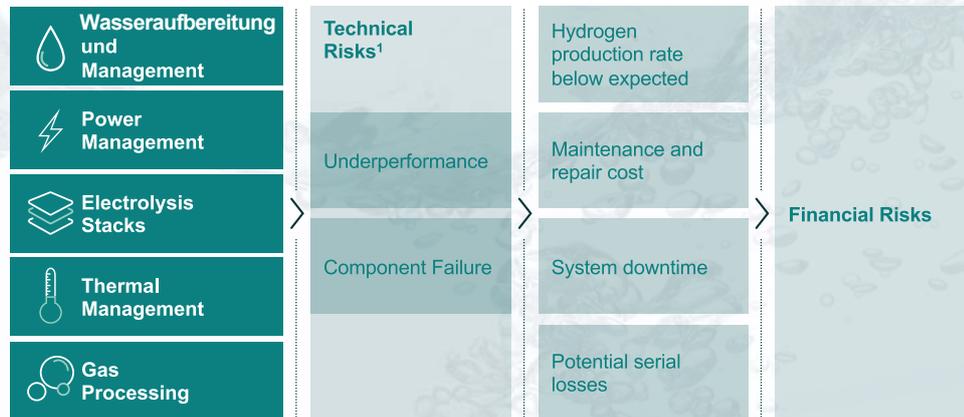


Abbildung 8:
Der Zusammenhang
zwischen technischen
und finanziellen Risiken
[3]

Neue Ansätze zur Vertrauensbildung

Das bisherige Erfolgsmodell der europäischen und deutschen Wirtschaft basiert auf einem hochspezialisierten, sehr feingliedrigem Netzwerk an Zulieferern, die meist für große Konzerne wie die Automobilindustrie tätig sind. Dabei kommen heute Innovationen sehr häufig aus kleinen und mittelständischen Unternehmen. Die bestehende, sehr umfassende internationale Standardisierung der technischen Schnittstellen und Methoden zur Qualitätssicherung bei den klassischen Technologien hat stets ein reibungsloses und transparentes Zusammenspiel der Akteure geschaffen. Die Standards enthalten auch Kriterien zu Leistung, Nachhaltigkeit, Service und Installationsqualität. Im Bereich der neuen Wasserstofftechnologien sind diese Standards häufig noch nicht ausreichend detailliert. Daraus folgt eine höhere Risikobewertung aus der Sicht der Banken und Versicherungen (Abbildung 6).

Die Munich Re hat eine wegweisende Initiative begonnen, die sie gemeinsam mit der Industrie und den zuständigen Standardisierungs- und Zertifizierungsorganisationen weiterentwickeln möchte. Bei diesem Ansatz geht es darum, sich intensiv mit den technischen Details von Wasserstoffsystemen und den dazugehörigen Schnittstellen zu beschäftigen und das gemeinsame Verständnis bei allen beteiligten Stakeholdern zu verbessern [3], denn Banken und Versicherungen sprechen andere Fachsprachen als Techniker, Ingenieure und Wissenschaftler. Mit diesem Ansatz kann das notwendige Vertrauen in die Zukunftstechnologien geschaffen und dazu beigetragen werden, dass das von Banken und Versicherungen erstellte Risikoprofil reduziert werden kann und entscheidende Investitionen in der frühen Phase der Marktentwicklung schneller erfolgen können [2]. Die Initiative der Munich Re hilft dabei, die Diskussionen zur Sicherheit, Bankability und Versicherbarkeit von Wasserstoffsystemen zu versachlichen.

Innovation besteht nur zu einem Teil aus den Aktivitäten in der Wissenschaft und Forschung. Um neue Technologien zur Marktreife zu bringen, werden Unternehmer benötigt, die einerseits die Kommerzialisierung vorantreiben und andererseits das notwendige Kapital aufbringen. Dies ist für den innovativen Mittelstand aufgrund der limitierten finanziellen eigenen Mittel häufig nur schwer möglich. Zusätzlich ist auch die Risikobewertung der Investoren bei den neuen Wasserstoffsystemen deutlich höher als in anderen, traditionellen Industriebereichen und erschwert in vielen Fällen die Bereitstellung des notwendigen Kapitals. Auch

hier ist der zuvor genannte Ansatz der Munich Re, Unternehmen bei der Zertifizierung und Banken bei der Finanzierung mit dem notwendigen Wissen zu unterstützen, sehr hilfreich. Die vor einiger Zeit etablierte RCS-Webseite der Nationalen Organisation Wasserstoff Brennstoffzelle [16] ist ein hilfreiches Instrument für dieses Thema.

Der VDE Financial Dialogue hat gezeigt, dass es auch ganz neue, vielversprechende Modelle der Zusammenarbeit gibt. In Kapitel 4, Abbildung 5 wird dies an einem Beispiel für die Produktion eines CO₂-freien Kunstdüngers durch das Unternehmen FertigHy erläutert [6]. Die wichtigsten Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette – hier von der Erzeugung von Wasserstoff bis zum Lebensmittel – gründen gemeinsam eine Firma, die die Umsetzung der neuen Technologie (klimaneutraler Kunstdünger) übernimmt. Durch die gemeinsame unternehmerische Verantwortung entstehen die notwendige Transparenz und das Verständnis für die oft sehr komplexen Schnittstellen zwischen den einzelnen Elementen eines neuen Produktes oder Produktionsprozesses. Auch die kommerziellen Risiken können nur gemeinsam getragen werden. Damit lässt sich eine Vielzahl der typischen Risiken einer frühen Industrialisierungsphase reduzieren. Dieses Geschäftsmodell reduziert auch die Entwicklungszeiten und verteilt das Marktrisiko auf mehrere Akteure.

Status Arbeitsmarkt und Fachkräfte

Der Financial Dialogue hat den möglichen Fachkräftemangel in der Wasserstoffwirtschaft im Rahmen eines Leitworkshops und den Podiumsdiskussionen intensiv analysiert.

Erste wichtige Feststellung der Experten ist, dass es heute noch keinen etablierten Markt für Wasserstofftechnologien in Europa gibt. Der Wasserstoffmarkt ist, wie in den vorherigen Teilen dieses Dokuments herausgearbeitet wurde, noch in der frühen Phase der Industrialisierung. Das Thema Wasserstoff ist zwar ein omnipräsentes Zukunftsthema. Solange es aber keine Klarheit gibt, wie genau der Wasserstoffmarkt und die Beschäftigungsmöglichkeiten aussehen sollen und welche gesellschaftliche und wirtschaftliche Perspektive Wasserstoff haben wird, sind die Themen Ausbildung und Recruiting noch schwierig zu gestalten und Arbeitsmarktpotenziale kaum abzuschätzen. Wo kein etablierter Markt ist, kann auch nur begrenzt Interesse erzeugt werden, damit Menschen sich in das Thema einarbeiten und die Ausbildung gestalten.

Eine weitere Erkenntnis der Diskussionen auf Experten- und Managementebene ist, dass einzelne Technologien einer Wasserstoffwirtschaft seit Langem bekannt sind. Der Umgang mit Wasserstoff gehört in der Chemieindustrie oder in Raffinerien schon immer zum Alltagsgeschäft. So sind Wasserstoffpipelines über Hunderte von Kilometern seit Jahrzehnten in Betrieb.

Europa verfügt grundsätzlich auch über die für den Markthochlauf und den damit verbundenen Personal- und Kompetenzaufbau notwendigen Aus- und Weiterbildungsstrukturen. Das gilt sowohl für den universitären und Fachhochschulbereich als auch für Ausbildungsprogramme von Kammern und Schulungsorganisationen für das Handwerk und den Service-/Maintenance-Bereich. Traditionelle Studiengänge wie die Chemische Verfahrenstechnik oder die Werkstoffwissenschaften decken einen großen Teil der für Wasserstofftechnologien notwendigen Expertisen ab. Neue internationale Studiengänge sorgen für das notwendige Expertenwissen bei den neueren Technologien wie Brennstoffzelle oder Elektrolyse. Hinzu kommen professionell ausgearbeitete Weiterbildungsangebote in Form von individuell gestaltbaren Ausbildungsmodulen, wie z. B. bei der Fraunhofer Academy, den Industrie- und Handelskammern (IHK) zum Thema Wasserstoffsicherheit oder beim Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) zu Werkstoffen für Wasserstoff in Gasleitungen.

Auch wenn es heute noch keinen signifikanten Bedarf für Arbeitsplätze im Wasserstoffbereich europaweit gibt und noch zahlreiche Puzzlesteine zur Etablierung eines Marktes zusammengefügt werden müssen, raten die Arbeitsmarktexperten dringend dazu, die Voraussetzungen für den notwendigen Kompetenzaufbau und die Entwicklung von Fachkräften voranzutreiben. Die Unternehmensberatung McKinsey ist im Auftrag des Hydrogen Council in ihrer Studie von 2018 zu dem Ergebnis gekommen, dass bis 2050 insgesamt über 30 Millionen neue Arbeitsplätze in der grünen Wasserstoffindustrie entstehen werden. Es gilt daher grundsätzlich, die in zahlreichen Studien zum Fachkräftemangel genannten Herausforderungen und notwendigen Maßnahmen mit Priorität anzugehen und im Besonderen auch die junge Generation für Zukunftsthemen wie Wasserstoff zu begeistern und über Mentoren-Konzepte zu begleiten. Zahlreiche Anregungen und Empfehlungen zur Imageverbesserung für den Arbeitsmarkt der Elektroingenieurinnen und Elektroingenieure gibt es zum Beispiel in der aktuellen Studie des VDE⁵, die auch für die Wasserstoffwirtschaft genutzt werden können.

Als weitere Empfehlung haben die Experten beim VDE Financial Dialogue auf die in Zukunft stark steigenden Potenziale für Umschulungsmaßnahmen von Fachkräften in bestimmten Sektoren hingewiesen. Die Industriegesellschaft in Europa befindet sich in einem sich weiter beschleunigenden Veränderungsprozess, bei dem etablierte Bereiche in der jetzigen Form in Zukunft nicht mehr existieren werden und andererseits neue Beschäftigungspotenziale entstehen. Dieser „Change“-Prozess eröffnet sehr gute Potentiale, Fachkräfte für den Wasserstoffbereich auszubilden und damit den Bedarf mit abzudecken. Es gibt heute bereits gut strukturierte Umschulungsprogramme, die aus Sicht des VDE weiter gezielt ausgebaut und an den Marktbedarf angepasst werden sollten.

Der Einfluss der Veränderungen auf Gesellschaft und Geschäftsmodelle

Die Diskussion zu Wasserstoff in Politik und Gesellschaft ist heute leider nicht immer faktenbasiert und entbehrt oftmals einer Betrachtung des gesamten und extrem komplexen Energiesystems. Sehr häufig werden falsche oder unvollständige Informationen teilweise bewusst von bestimmten Interessengruppen oder auch aus mangelhaftem Wissen verbreitet. Manche wissenschaftliche Studien verwenden stark vereinfachte Annahmen, die dann zu falschen Aussagen führen. So wird die tages- und jahreszeitliche Abhängigkeit der Erzeugung von Strom aus Sonne und Wind gerne vernachlässigt. Die Modellrechnung des DIW [18] zeigt sehr eindrucksvoll die enorme Bedeutung von Wasserstoff in einem künftigen Energiesystem. Bei der so entscheidenden Nutzung des kostengünstigen Sonnenstroms wird in der öffentlichen Debatte gerne vergessen, dass große Teile Europas wie Afrikas in der gleichen Zeitzone liegen: Nachts gibt es keinen Strom aus der Photovoltaik und tagsüber zunehmend zu viel.

Entsprechend hoch ist die Verunsicherung und die Skepsis in der Gesellschaft, bei privaten und institutionellen Investoren und in der Politik. Daraus resultiert auch die Zurückhaltung bei der finalen Freigabe von Finanzierungen. Diese Situation ist ein wesentlicher Punkt dafür, dass viele Projekte nach wie vor im Stadium der Ankündigung bleiben und aktuell nicht umgesetzt werden.

Die Wasserstoffwirtschaft braucht Erfolgsgeschichten, die alltagstauglich sind und sich auch perspektivisch wirtschaftlich rechnen. Als Beispiel dafür kann man die bisherige Erfolgsgeschichte von Tesla bei der batterie-elektrischen Mobilität ansehen. Verknüpft mit der Gesetzgebung zur Begrenzung von CO₂-Emissionen und begleitenden Förderinstrumenten zahlreicher Regierungen führte dies zum Aufbau des Marktes der Elektromobilität im

5 VDE Studie zum Arbeitsmarkt für Elektroingenieur*innen <https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/02-09-2022-studie-et-arbeitsmarkt>

KfZ-Bereich – analog zum Energie-Einspeisegesetz bei der Entstehung der Photovoltaik-Industrie.

Erste Erfolgsmodelle entstehen gerade auch bei den Wasserstofftechnologien, wenn auch noch auf niedrigem Niveau. Hervorzuheben sind hier regionale Aktivitäten, die nicht nur Akzeptanz vor Ort, sondern auch die so wichtige regionale Wertschöpfung ermöglichen. Das Projekt WUN H2 (Abbildung 4, [5]), bei dem die Stadtwerke Wunsiedel mit einem Industriegase-Unternehmen und einem Hersteller von Elektrolyseuren kooperieren, ist ein gelungenes Beispiel. Bürger und Kommunen profitieren nicht nur von zukunftssträchtigen Arbeitsplätzen, sondern auch von einer effizienten und damit kostengünstigen Energieversorgung. Die regionale Stromerzeugung reduziert so auch deutlich die Stromnebenkosten. Die Finanzierung durch regionale Banken wird bei solchen Projekten von entscheidender Bedeutung sein. Der Aufbau von Know-how zu den technischen Risiken der Munich Re [3] oder die Schaffung von Betreibergesellschaften mit Beteiligung nationaler oder europäischer Organisationen [6] unterstützen dabei den komplexen Transformationsprozess.

- **Investitionen der Finanzwirtschaft sind essenziell für das Gelingen der Energiewende, setzen aber eine langfristig tragfähige Strategie der Politik und Unternehmen voraus**
- **Bürokratieabbau und effizient umsetzbare Regelwerke sind essenziell, um im globalen Wettbewerb zu bestehen**
- **Neue Geschäftsmodelle helfen, Europa als Wasserstoff-Produktionsstandort zu etablieren**

Die Schlüsselaussagen und Handlungsempfehlungen

1. Klimawandel und geopolitische Verwerfungen beschleunigen die Abkehr von fossilen Energieträgern und damit den Transformationsprozess hin zu einer klimaneutralen Energieversorgung. Inzwischen werden auch das weltweit dynamische Wachstum und das riesige Marktpotenzial für Wasserstofftechnologien sichtbar.
2. Europa hat nach wie vor das Potenzial, sich zum Leitmarkt für die Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln. Es gilt jetzt, die Rahmenbedingungen dafür zügig und mutig zu gestalten.
3. Der konsequente Abbau der immer komplexer werdenden Bürokratie und Regulatorik in Europa ist essenziell, damit der Markthochlauf mit der notwendigen Geschwindigkeit gelingt. Nur so wird es möglich, die heutige Energieabhängigkeit und zunehmende Abhängigkeit bei den Zukunftstechnologien zu reduzieren.
4. Der riesige Kapitalbedarf für die Transformation des Energiesystems macht die Rolle privater und institutioneller Investoren deutlich. Die richtige Einordnung der finanziellen Risiken bei der Industrialisierung der neuen Technologien wird zum entscheidenden strategischen Element im globalen Wettbewerb der Volkswirtschaften.
5. Neue Instrumente zur besseren Einschätzung und Reduktion der Risiken in der Finanzwirtschaft sind von großer Bedeutung. Dazu gehören ein vertieftes, faktenbasiertes Verständnis von Wasserstofftechnologien sowie notwendige Ansätze für die Übernahme von Garantien und die Einführung von flankierenden Finanzierungsinstrumenten. Nur so können auch die innovativen KMUs und die Kommunen bei ihren Geschäftsmodellen unterstützt und vor unvorhersehbaren Entwicklungen abgesichert werden.
6. Wasserstoff-Erfolgsgeschichten mit nachhaltigen technologischen Lösungen und wirtschaftlich tragfähigen Modellen helfen, Vertrauen bei Banken, Politik und Gesellschaft zu schaffen.
7. Das große Potenzial an Sonnen- und Windenergie innerhalb Europas in Verbindung mit der politischen Stabilität hilft beim Aufbau einer Energiesouveränität und sollte stärker in den Fokus von Politik und Unternehmen treten. Der Import von Wasserstoff und seiner Derivate aus Übersee ist technisch anspruchsvoller, oftmals nur auf den ersten Blick wirtschaftlich und vielfach mit hohen politischen Risiken verbunden. Deshalb sollten europäische Lösungen von der Politik noch viel stärker vorangetrieben werden.
8. Der bereits gestartete Umbau des sehr umfangreichen europäischen Erdgasnetzes auf Wasserstoff ist ein wesentlicher, globaler Wettbewerbsvorteil auf dem Weg zu einem nachhaltigen Energiesystem. Damit weiterhin energieintensive Produkte an den heutigen Standorten wettbewerbsfähig produziert werden können, ist der schnelle und umfassende Ausbau des Wasserstoffnetzes und der grünen Wasserstoff-Marktwirtschaft entscheidend. Mit einer gezielten Kampagne zum Aufbau einer europäischen Wasserstoffunion kann dem Grundgedanken einer starken europäischen Wirtschaftsgemeinschaft neues Leben eingehaucht werden.
9. Dezentrale Energiesysteme mit allen Facetten der Sektorenkopplung ermöglichen sowohl hohe Effizienz- und Kostenvorteile als auch regionale Wertschöpfung. Dabei spielt eine unternehmerische Bündelung der Kompetenzen über die gesamte Wertschöpfungskette eine entscheidende Rolle, um technische und finanzielle Risiken zu minimieren.
10. Durch das Setzen regulatorischer Leitplanken gilt es nun, aus dem Status der Forschung, Entwicklung und Demonstration den Übergang in den Hochlauf einer grünen Wasserstoff-Marktwirtschaft abzusichern. Nur dann zahlen sich die Investitionen der Vergangenheit für die europäische und deutsche Volkswirtschaft aus.

Unsere Partner und Sponsoren

Der Erfolg der Plattform VDE Financial Dialogue ist nur mit einem professionellen und leidenschaftlichen Team möglich. Die enge Zusammenarbeit, die intensiven Vorbereitungen und die strukturierten Diskussionen haben maßgeblich dazu beigetragen, dass wir in diesem Dokument die wesentlichen Herausforderungen und Lösungsansätze zusammenstellen konnten. Deshalb geht ein besonderer Dank an alle beteiligten Partner, Sponsoren und Teilnehmenden.

Kooperationspartner

NÜRNBERG MESSE



Element Ihres Erfolgs.



Sponsoren



McKinsey
& Company



Literaturverzeichnis

- [1] McKinsey & Company, „Der Markt der globalen Wasserstoffwirtschaft im Überblick“ in <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/12/Hydrogen-Insights-Dec-2023-Update.pdf>
- [2] Green Investors, Schäfer, Erik, „Die Finanzierung schläft, während unsere Welt brennt“ in www.vde.com/Financial_Dialogue_23
- [3] Munich Re, Hinze, Patrick, „Financing & Insuring Green Hydrogen Risks and the Role of Risk Transfer“ in www.vde.com/Financial_Dialogue_23
- [4] Clean Air Task Force, Rosenthal, Markus, „Fast Track Low Carbon Hydrogen – Creating investment security with smart regulation and permitting“ in www.vde.com/Financial_Dialogue_23
- [5] WUN H2, Matthes, Philipp, „Lessons Learned“ von aktuellen Geschäftsmodellen – Was lief gut? Wo gibt es Hürden für Unternehmer und Investoren?“ in www.vde.com/Financial_Dialogue_23
- [6] EIT Inno Energy, Forstmeier, Markus, „Investments in industrielle Wertschöpfungsketten – Entscheidungskriterien und Risikobewertung aus der Sicht eines Eigenkapitalgebers“ in www.vde.com/Financial_Dialogue_23
- [7] Horváth, „Unverzichtbarer Wasserstoff“ in <https://www.horvath-partners.com/de/media-center/artikel/unverzichtbarer-wasserstoff>
- [8] Trina Hydrogen in China Hydrogen Bulletin: <https://chinahydrogen.substack.com/p/trina-broke-group-for-15gw-alk-electrolyser>
- [9] Europäische Kommission, „Der Europäische Green Deal“: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de
- [10] European Hydrogen Backbone, <https://ehb.eu/>
- [11] IWR, „Europäische Investitionsbank EIB sagt Milliarden Bürgschaften für Windindustrie zu“ in <https://www.iwr.de/news/europaeische-investitionsbank-eib-sagt-milliarden-buergschaften-fuer-windindustrie-zu-news38513>
- [12] „Progresses and Challenges of Chinas Hydrogen Sector in 2023“ in China Hydrogen Bulletin: https://chinahydrogen.substack.com/p/progresses-and-challenges-of-chinas?utm_source=post-email-title&publication_id=552301&post_id=140148497&utm_campaign=email-post-title&isFreemail=true&r=18e5es&utm_medium=email
- [13] IRENA Hydrogen: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>
- [14] „Replenishment of Green Hydrogen Fund: EIB and Germany Accelerate Global Ramp-up if Clean Hydrogen“, in FuelCellWorks: <https://fuelcellworks.com/news/replenishment-of-green-hydrogen-fund-eib-and-germany-accelerate-global-ramp-up-of-clean-hydrogen/>
- [15] EU-China Energy Cooperation Platform, „Opportunities in LNG, CCUS and Green Hydrogen sector in China for EU Business: enabling policies and financing needs“ in <http://www.ececp.eu/en/lng-green-h2-ccus-en/>
- [16] Regulations, Codes and Standards, RCS-Plattform der NOW: <https://rcs.now-gmbh.de>
- [17] Concawe-Studie E-Fuels: <https://www.concawe.eu/publication/e-fuels-a-techno-economic-assessment-of-european-domestic-production-and-imports-towards-2050/>
- [18] DIW, „DIW Wochenbericht 29/30“, 2021. https://www.diw.de/de/diw_01.c.821878.de/publikationen/wochenberichte/2021_29_1/100_prozent_erneuerbare_energien_fuer_deutschland_koordinierte_ausbauplanung_notwendig.html



HYDROGEN DIALOGUE SUMMIT & EXPO

DER ZENTRALE TREFFPUNKT DER WASSERSTOFFWIRTSCHAFT

Auf dem **HYDROGEN DIALOGUE – Summit & Expo** kommen nationale und internationale Entscheider:innen und Expert:innen aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft zusammen.

Die Veranstaltung fördert den Dialog, den Wissensaustausch und die Vernetzung zwischen Wirtschaft, Politik und Wissenschaft, um den erfolgreichen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Europa zu unterstützen.

Während im Konferenzbereich (Summit) durch nationale und internationale Entscheider:innen und Expert:innen durch Vorträge, Podiumsdiskussionen und KeyNotes die Weichen für eine erfolgreiche Wasserstoffwirtschaft diskutiert werden, bietet die Messehalle (Expo) mit umfassenden Firmen- und Projektpräsentationen renommierter Unternehmen und Forschungseinrichtungen Raum für Innovationen, Technologien und StartUps.

Der nächste **HYDROGEN DIALOGUE – Summit & Expo** findet am **4.–5. Dezember 2024** im Messezentrum Nürnberg statt. Veranstalter ist die NürnbergMesse.

Der VDE Financial Dialogue Hydrogen, der 2023 zum zweiten Mal im Zuge des HYDROGEN DIALOGUE stattgefunden hat, komplettiert mit spannenden Impulsvorträgen und Diskussionsrunden, mit führenden Entscheider:innen aus Forschung und Entwicklung, Industrie, Finanz- und Versicherungswirtschaft sowie Rechtswesen und Politik das Veranstaltungsprogramm und trägt zur Qualität der Veranstaltung bei.

Wir danken dem VDE für diese erfolgreiche Kooperation.



VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.

Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel. +49 69 6308-0
service@vde.com
www.vde.com

VDE Renewables GmbH

Siemensstr. 30
63755 Alzenau
Tel. +49 69 6308-5300
renewables@vde.com
www.vde.com/renewables

VDE