

Im Dickicht der Wasserstoffförderung: Wie komplexe Instrumente den Markt- hochlauf prägen

Policy Brief Q1/2025

Markus Albuscheit¹, Florian Biniosek¹, Veronika Grimm¹[✉], Stefan Rahim²,
Timo Schneider¹, Dennis Strempler¹, Johannes Wirth¹

¹ Technische Universität Nürnberg (UTN), Energy Systems and Market Design Lab, Dr.-Luise-Herzberg-Straße 4, 90461 Nürnberg, Kontakt: veronika.grimm@utn.de

² Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg (OTH), Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES), Seybothstraße 2, 93053 Regensburg, Kontakt: stefan.rahim@oth-regensburg.de

[✉] Korrespondierender Autor: Prof. Dr. Veronika Grimm, Kontakt: veronika.grimm@utn.de, ORCID-ID: 0000-0002-9025-9731

Zusammenfassung

Der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft ist ein zentraler Baustein der Energiewende und essenziell für die Dekarbonisierung der Industrie sowie die Erreichung der Klimaziele. Die bestehende Förderlandschaft in Deutschland und Europa umfasst eine Vielzahl an Instrumenten, darunter direkte Projektsubventionen wie die Important Projects of Common European Interest Wasserstoff, auktionenbasierte Fördermechanismen wie die European Hydrogen Bank und H2Global, Carbon Contracts for Difference wie die Klimaschutzverträge, indirekte Förderinstrumente wie das europäische und nationale Emissionshandelssystem, sowie regulatorische Maßnahmen wie sektorale Nutzungsquoten und Nachhaltigkeitszertifizierungsverpflichtungen. Diese Instrumente sollen Investitionsanreize schaffen und die Marktintegration erneuerbarer und kohlenstoffarmer Wasserstofftechnologien unterstützen.

Allerdings zeigt die Analyse erhebliche Herausforderungen auf. Die Vielzahl an Instrumenten und bürokratischen Prozessen führt zu einer hohen Komplexität, was insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen eine Teilnahme erschweren kann. Zudem bestehen Zielkonflikte zwischen dem politisch angestrebten schnellen Markthochlauf und den strengen Nachhaltigkeitsanforderungen für erneuerbaren Wasserstoff und dessen Derivate. Die mangelnde Investitionssicherheit, bedingt durch fehlende langfristige Verträge, unsichere politische und schwer einhaltbare regulatorische Rahmenbedingungen, hemmt den Kapitalfluss und bremst die Entwicklung eines stabilen Wasserstoffmarktes.

Zur Beschleunigung des Hochlaufs sind eine Vereinfachung und bessere Abstimmung bestehender Fördermechanismen erforderlich. Die Unterstützung langfristiger Abnahmeverträge sowie eine gezielte und effektive Nutzung der finanziellen und personellen Kapazitäten können dazu beitragen, Investitionen zu erleichtern und eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa zu etablieren.

Schlüsselwörter: Wasserstoff · Förderinstrumente · Regulatorik · H2Global · European Hydrogen Bank · Klimaschutzverträge · IPCEI Wasserstoff

In the jungle of public hydrogen funding:

How complex instruments shape the market ramp-up

Policy Brief Q1/2025

Abstract

The ramp-up of the hydrogen economy is a central component of the energy transition and essential for the decarbonisation of industry and the achievement of climate targets. The existing support landscape in Germany and Europe comprises a variety of instruments, including direct project subsidies such as the Important Projects of Common European Interest Hydrogen, auction-based support mechanisms such as the European Hydrogen Bank and H2Global, carbon contracts for difference, indirect support instruments such as the European and the German emissions trading system, as well as regulatory measures such as sectoral utilisation quotas and sustainability certification obligations. These instruments are intended to incentivise investment and support the market integration of renewable and low-carbon hydrogen technologies.

However, the analysis reveals considerable challenges. The large number of instruments and bureaucratic processes leads to a high level of complexity, which can make it difficult in particular for small and medium-sized companies to participate. There are also conflicting objectives between the politically desired rapid market ramp-up and the strict sustainability requirements for renewable hydrogen and its derivatives. The lack of investment security due to the lack of long-term contracts, uncertain political conditions and a regulatory framework that is difficult to comply with, hinders the flow of capital and slows down the development of a stable hydrogen market.

To accelerate the ramp-up, existing support mechanisms need to be simplified and better harmonised. Support for long-term purchase agreements and the targeted and effective utilisation of financial and personnel capacities can help to facilitate investments and establish a sustainable hydrogen economy in Germany and Europe.

Keywords: Hydrogen · Funding instruments · Regulation · H2Global · European Hydrogen Bank · Carbon Contracts for Difference · IPCEI Hydrogen

Abkürzungsverzeichnis

AaaS	Auction as a Service
AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism / CO ₂ Grenzausgleichsmechanismus
CEEAG	Climate, Energy and Environmental State Aid Guidelines/ Leitlinien für staatliche Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen
CCUS	Carbon Capture, Utilisation and Storage
CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalente
DV	Delegierte Verordnung
EHB	European Hydrogen Bank
Energie-Stg	Energiesteuergesetz
eSAF	Electric Sustainable Aviation Fuel / nachhaltige Flugkraftstoffe nicht biogenen Ursprungs
ETS	Emission Trading System / Emissionshandelssystem
H ₂	Wasserstoff
HPA	Hydrogen Purchasing Agreement
HSA	Hydrogen Sales Agreement
IEA	International Energy Agency / Internationale Energieagentur
IF	Innovation Fund / Innovationsfond
ILO	International Labor Organisation / Internationale Arbeitsorganisation
IMA-GH2	Instrumente zur Beschleunigung des Markthochlaufs grünen Wasserstoffs und seiner Derivate (Projektname)
IPCEI	Important Projects of Common European Interest
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
KSV	Klimaschutzvertrag
KTF	Klima- und Transformationsfond
LCF	Low Carbon Fuel
NEHS	Nationales Emissionshandelssystem
NZIA	Net Zero Industry Act
RCF	Recycled Carbon Fuels
RED	Renewable Energy Directive / Erneuerbare Energien Richtlinie
RFNBO	Renewable Fuel of Non Biological Origin
TEHG	Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
THG	Treibhausgas
VgV	Vergabeverordnung

1. Einleitung

Wasserstoff und seine Derivate – darunter insbesondere Ammoniak und Methanol – sind zentrale Elemente einer klimaneutralen Energieversorgung in Deutschland und essenziell für die Erreichung der europäischen Klimaziele. Neben ihrer Bedeutung für die Dekarbonisierung industrieller Prozesse kommt ihnen eine Schlüsselrolle bei der langfristigen Energiespeicherung sowie im Schwerlastverkehr zu. Die strategische Relevanz von Wasserstoff für die Transformation des Energiesystems spiegelt sich in den politischen Zielsetzungen Deutschlands und der Europäischen Union wider: Laut der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung soll in Deutschland bis 2030 eine Elektrolysekapazität von mehr als 10 GW installiert werden [1]. Parallel dazu sieht die Erneuerbare-Energien-Verordnung der EU vor, dass mindestens 42 % des industriellen Wasserstoffbedarfs durch *Renewable Fuels of Non-Biological Origin* (RFNBOs) gedeckt werden müssen [2].

Ein Abgleich der prognostizierten Wasserstoffnachfrage mit den dafür erforderlichen Strommengen – für die Jahre 2030 und 2045 in Abbildung 1 dargestellt – verdeutlicht, dass ein erheblicher Teil des Bedarfs aus Importen gedeckt werden muss, was den Aufbau internationaler Wasserstofflieferketten notwendig macht. Die Bundesregierung rechnet hier ebenso wie verschiedene unabhängige Abschätzungen mit einem Anteil von 50-70 % an Importen [1], [3], [4], [5], [6]. Die aktuelle Entwicklung zeigt jedoch eine beträchtliche Diskrepanz zwischen den angestrebten Zielen und der realen Umsetzung. Bisher wurden finale Investitionsentscheidungen nur für etwa 1 GW an Elektrolysekapazität getroffen und von den für 2030 geplanten 10 GW sind bislang lediglich knapp über 100 MW in Betrieb [7], [8]. Auch wenn das geplante Wasserstoffkernnetz eine Importkapazität von 60 GW vorsieht [7], fehlen bislang nennenswerte Lieferverträge und Handelsbeziehungen mit internationalen Partnern für (außer-)europäische Importe.

Eine positive Ausnahme bildet der jüngst abgeschlossene Vertrag zwischen dem H2Global-Intermediär Hintco und dem Ägyptischen Unternehmen Fertiglobe über die Lieferung von maximal 397 kt Ammoniak bis 2033 zum Hafen von Rotterdam [9]. Darüber hinaus bestehen bisher nur Absichtserklärungen, wie die Partnerschaft zwischen ACWA Power (Saudi-Arabien) und dem deutschen Energiekonzern SEFE zur Lieferung von 200.000 t grünem Wasserstoff pro Jahr, allerdings stoßen auch diese immer wieder auf Schwierigkeiten [10]. So wurde die 2022 unterzeichnete Absichtserklärung zwischen Equinor (Norwegen) und RWE (Deutschland) für eine Lieferkette für blauen Wasserstoff im September 2024 auf Eis gelegt. Equinor betonte, dass es ohne langfristige Verträge und klare Märkte nicht investieren könne, während RWE erklärte, dass das Projekt ohne die staatliche Unterstützung von Norwegen und Deutschland nicht realisierbar sei [11], [12].

Die skizzierte Diskrepanz zwischen den ambitionierten Zielvorgaben und der tatsächlichen Entwicklung ist auf eine Vielzahl von Faktoren zurückzuführen. Neben technischen Herausforderungen und hohen Kapitalkosten bestehen erhebliche Marktrisiken, die durch volatile Preisentwicklungen zusätzlich verschärft werden.

Abbildung 1: Wasserstoffbedarf für Deutschland und resultierender Strombedarf bei Erzeugung mittels Elektrolyse

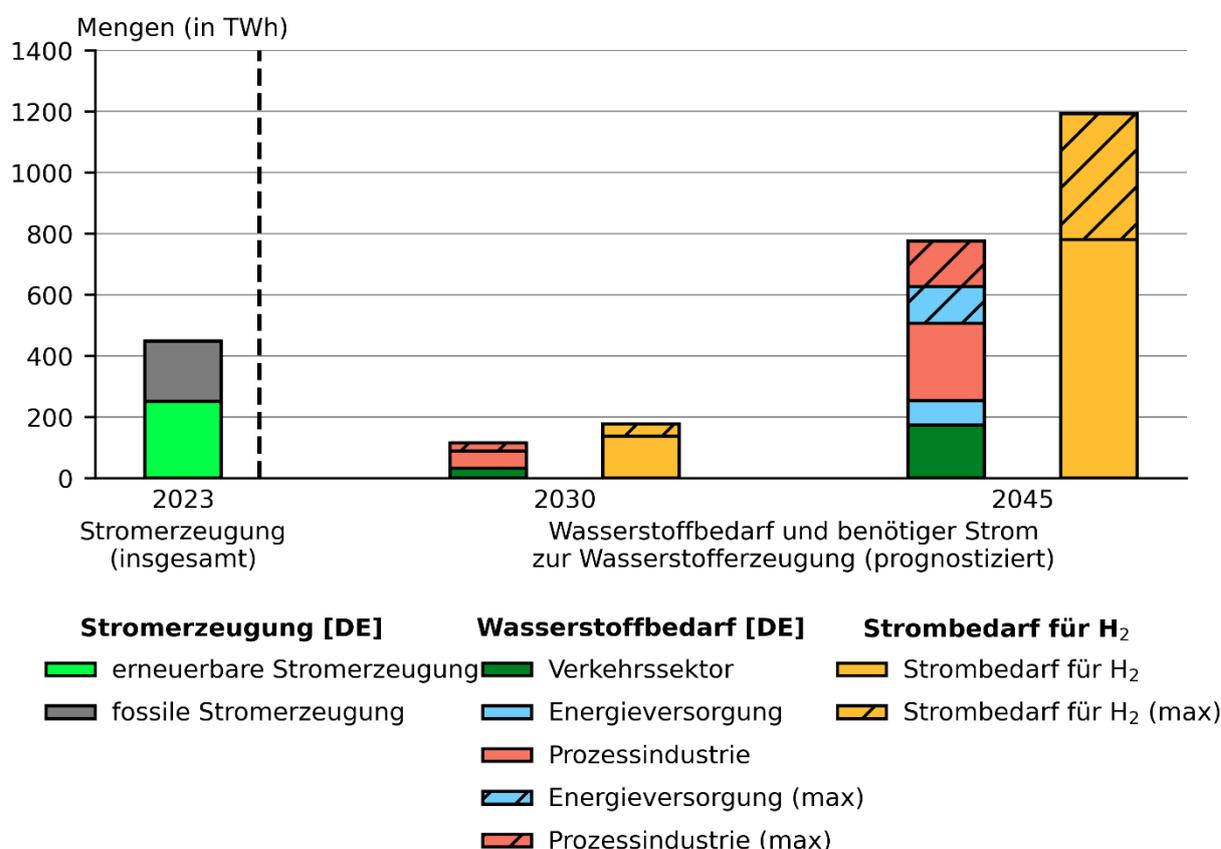


Abb. 1 Anmerkungen: Wärmeerzeugung ist nicht inkludiert. Zahlen der Bundesregierung für den gesamten Wasserstoff- und Derivatebereich liegen leicht über den aufgeführten Zahlen. Elektrolyse-Effizienz: 65 %.

Abb. 1 Quelle: [13]

Prognosen wie die der Internationalen Energieagentur (IEA) – dargestellt in Abbildung 2 – zeigen eine Tendenz zu steigenden Gestehungskosten und eine hohe Unsicherheit hinsichtlich der Produktionskosten von Wasserstoff im Jahr 2030, was Investitionsbereitschaft hemmt.

Bereits existierende Fördermechanismen – darunter Investitions- und Produktionszuschüsse, Differenzkostenmechanismen, und regulatorische Maßnahmen – sollen diese Herausforderungen adressieren, erzielen jedoch bislang keine ausreichende Wirkung. Trotz dieser Instrumente bleibt die Lücke zwischen den tatsächlichen Produktionskosten und den Zahlungsbereitschaften zu groß, um die notwendigen Mengen zu erreichen. Es stellt sich somit die Frage, woran die Instrumente aktuell scheitern und wie sie optimiert werden können, um bessere Ergebnisse zu produzieren. Das ist entscheidend, um die zeitnahe Bereitstellung von nicht nur erneuerbarem, sondern auch kohlenstoffarmen Wasserstoff in Deutschland sicherzustellen und den Wasserstoffhochlauf zu beschleunigen, damit der Markt langfristig stabilisiert werden kann.

Abbildung 2: Entwicklung der im Net-Zero Szenario der IEA prognostizierten Wasserstoffgestehungskosten für das Jahr 2030

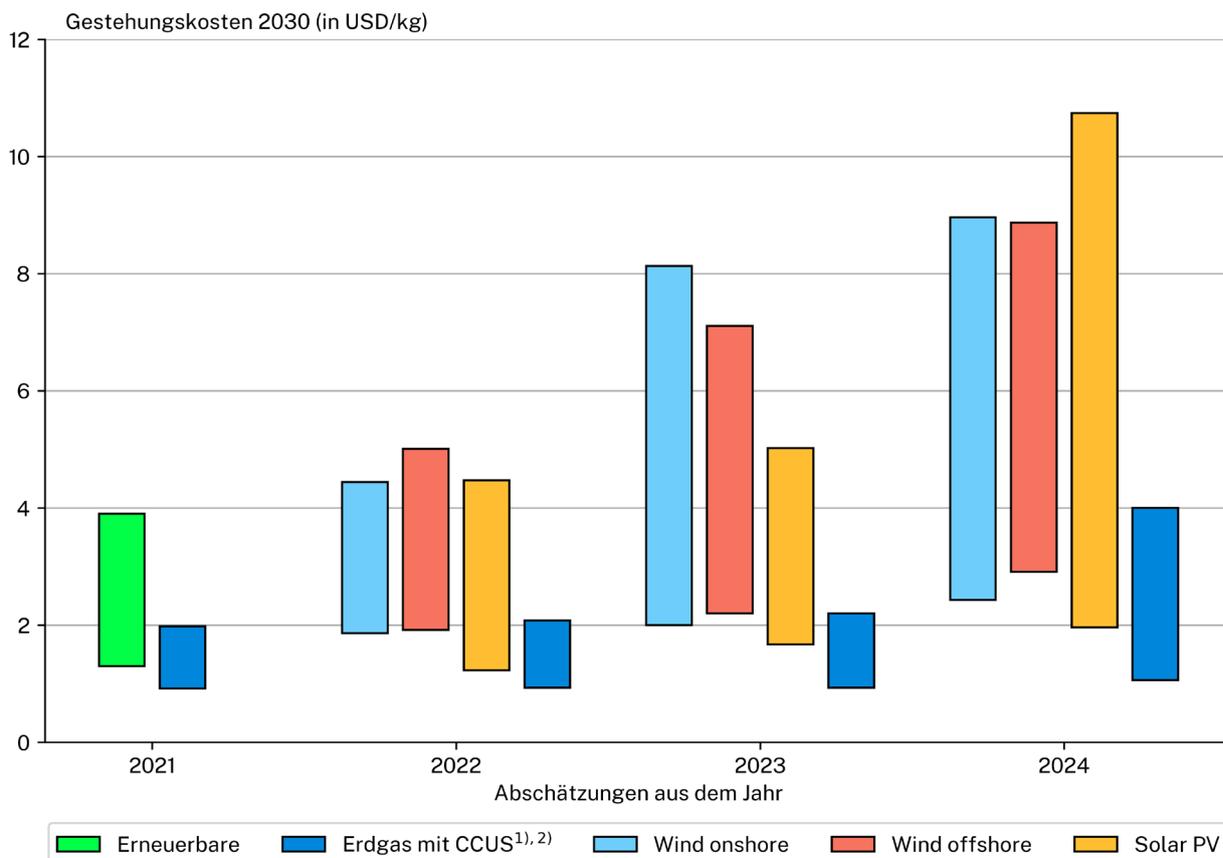


Abb. 2 Anmerkungen: Bandbreiten der Kosten geben regionale Unterschiede in (Investitions-)Kosten sowie der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien an. ¹⁾ CCUS: Carbon Capture, Utilisation and Storage. ²⁾ Angenommene Erdgaspreise für 2030 sind 3,5 - 27,6 USD/MWh (2023) und 3,5 - 51,7 USD/MWh (2024).

Abb. 2 Quelle: Eigene Abbildung basierend auf [14], [15], [16], [17]

Dieser Policy Brief soll einen Überblick über die derzeitige Förder- und Regulierungslandschaft im Bereich des Wasserstoffhochlaufs geben sowie eine erste Analyse liefern, wie die einzelnen Instrumente in ein Gesamtkonzept einzuordnen sind. Die hier erarbeiteten Inhalte basieren auf Analysen aus dem Forschungsprojekt „Instrumente zur Beschleunigung des Markthochlaufs grünen Wasserstoffs und seiner Derivate“ (IMA-GH2), gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03EI1078A. Das Forschungsprojekt, welches das Energy Systems and Market Design Lab der Technischen Universität Nürnberg zusammen mit der Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg durchführt, hat zum Ziel, bestehende Instrumente zum Hochlauf grüner Wasserstoffmärkte umfassend zu analysieren und zu bewerten. Im Rahmen des Projekts erfolgt eine Gegenüberstellung der Instrumentenergebnisse mit theoretischen Modellierungen sowohl auf der Angebots- als auch der Nachfrageseite grünen Wasserstoffs, um die Wirkung der Instrumente zu erfassen, deren Effizienz zu erhöhen und insgesamt den Markthochlauf zu beschleunigen.

2. Analyse der Förderlandschaft

2.1. Überblick über Förderinstrumente

Der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft wird durch zahlreiche Förderinstrumente auf europäischer und nationaler Ebene unterstützt. Im Folgenden Text werden die wichtigsten Fördermechanismen vorgestellt, gegliedert nach ihrer Wirkung auf den Bundes- bzw. EU-Haushalt – in ausgaben- und einnahmewirksame Maßnahmen – sowie nach regulatorischen Vorgaben. Tabelle 1 bietet zudem eine kompakte Übersicht der betrachteten Instrumente und verdeutlicht deren Vielfalt hinsichtlich Wirkungsebene, Typologie, Zielsetzungen und rechtlicher Grundlagen.

Ausgabewirksam

Die klassischen Förderinstrumente im engeren Sinne sind die ausgabewirksamen Maßnahmen, die als direkte Subventionen für Unternehmen konzipiert sind. In der Wasserstoffwirtschaft umfasst dies insbesondere die *Important Projects of Common European Interest* Wasserstoff, die Unterstützung durch die European Hydrogen Bank, die Klimaschutzverträge sowie die Initiative H2Global.

Die *Important Projects of Common European Interest (IPCEI) Wasserstoff* nutzen eine Möglichkeit im Rahmen der europäischen Beihilferegulung, um eine projektspezifische Förderung von Vorhaben entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette zu ermöglichen. Das Programm ermöglicht den Mitgliedstaaten die finanzielle Unterstützung von Vorhaben, die einen wesentlichen Beitrag zu den strategischen Zielen der EU leisten, aber ohne Förderung nicht realisierbar wären [18], [19].

Dabei geht es insbesondere um die Entwicklung und Nutzung von Wasserstofftechnologien zur Erfüllung der Europäischen Energie- und Klimaziele sowie zur Schaffung von nachhaltigen Arbeitsplätzen [20]. Die Fördermittel stammen aus den nationalen Haushalten der Mitgliedstaaten, wobei diese auch teilweise EU-Mittel nutzen, etwa über das kreditfinanzierte Programm *Next Generation EU* [21], [22]. Die IPCEIs wurden gesammelt in vier Projektwellen (*Hy2Tech*, *Hy2Use*, *Hy2Infra*, *Hy2Move*) beihilferechtlich von der EU-Kommission geprüft [23], [24], [25], [26].

Die *European Hydrogen Bank (EHB)* ist eine Initiative der Europäischen Kommission mit dem Ziel, einen heimischen Markt für erneuerbaren Wasserstoff in der EU zu etablieren und die Transparenz und Koordination in der Wasserstoffwertschöpfungskette zu verbessern [27]. Die Subvention erfolgt über fixe Zuschüsse pro Kilogramm Wasserstoff, die durch einen Auktionsmechanismus ermittelt werden. Wasserstoffproduzenten mit Sitz im europäischen Wirtschaftsraum können sich bewerben, sofern ihre Projekte die EU-Standards für erneuerbaren Wasserstoff (siehe Regulierungen zu RFNBOs) einhalten und mindestens 5 MW_e an neu installierter Elektrolysekapazität aufweisen [28].

Die Resultate der ersten Auktion (IF23) zu Beginn des Jahres 2024 demonstrierten eine hohe Wettbewerbsintensität innerhalb der Auktionen, wobei sich für sechs Projekte Zuschüsse zwischen 0,37 und 0,48 €/kgH₂ ergaben. Die Projekte werden in den kommenden zehn Jahren voraussichtlich 1,52 Mio. t (50,66 TWh) erneuerbaren Wasserstoff produzieren [29]. Zusätzlich ist es für die Mitgliedsstaaten über das *Auctions-as-a-Service*-Programm (AaaS) möglich, nationale Mittel für Projekte in ihrem Land bereitzustellen, die in der Auktion keinen Zuschlag erhalten haben. Dabei werden alle nicht bezuschlagten Projekte des jeweiligen Landes in aufsteigender Reihenfolge nach ihrem Gebot für die Prämienzahlung sortiert und bis zum Erreichen der nationalen Budgetobergrenze gefördert [30], [31].

Tabelle 1: Übersicht Wasserstoffförderinstrumente

Instrument		Wirkungsebene	Typ	Finanzierung	Finanzvolumina	Zielsetzung	Regulatorische Bedingungen	Rechtsgrundlagen
Ausgabewirksam	IPCEI Wasserstoff	EU	Beihilferegelung	EU-Mitgliedsstaaten	DE: 5.879 M€ EU: 18.905 M€	Finanzierung strategischer H ₂ -Projekte	EU-Taxonomie	o Art. 107 (3) b AEUV ^{a)} o Mitteilung (2021/C 528/02)
	European Hydrogen Bank	EU (DE mit AaaS ^{b)})	Auktion um feste Prämien	EU Innovationsfonds DE AaaS: KTF ^{c)}	DE: ~350 M€ EU: ~2245 M€	Beschleunigung des Ausbaus von H ₂ -Produktionskapazitäten in der EU	o RFNBO ^{d)} o <25 % Elektrolyse-Stacks aus China	o Mitteilung C/2024/4185 o NZIA ^{e)} o RED II
	Klimaschutzverträge	DE	Contracts for Difference	KTF	DE: ~11.157 M€	Anreiz zur Dekarbonisierung der Industrie	o EU-Taxonomie o CO ₂ -Limit (DV ^{f)} EU 2023/1185)	o Förderrichtlinien KSV o CEEAG ^{g)}
	H2Global	Weltweit	Doppelseitige Auktion	1. Ausschreibung: KTF, grds. offen	DE: ~3.100 M€ NL: ~300 M€	Förderung des globalen Handels mit erneuerbarem H ₂ und insb. H ₂ -Derivaten	o RFNBO	o CEEAG o VgV ^{h)} o RED ⁱ⁾ II
Einnahmewirksam	EU-Emissionshandel	EU	Cap-and-Trade-System	CO ₂ -Emittenten	2023: DE: ~7.700M€ EU: ~33.000 M€	Reduktion von EU-THG ^{j)} -Emissionen im Industrie- & Energiesektor sowie Luft- & Seeverkehr		o European Climate Law o ETS ^{k)} -Richtlinien
	Nationaler Emissionshandel	DE	Festpreis ab 2026 Cap-and-Trade-System	Inverkehrbringer von Brennstoffen	2024: ~13.000 M€	Reduktion von DE-Emissionen im Heiz- & Verkehrssektor		o BEHG ^{l)} o EnergieStG ^{m)} o TEHG ⁿ⁾
Regulierung	Erneuerbarkeit RFNBO	EU	Kriterium	/	/	Sicherstellung Erzeugung von RFNBOs aus erneuerbaren Energien	o Zusätzlichkeit o zeitliche Korrelation o geographische Korr.	DV (EU) 2023/1184
	CO ₂ -Limit RFNBO/LCF ^{o)}	EU	Kriterium	/	/	Begrenzung des THG-Ausstoßes bei RFNBO-Produktion	o Emissionen < 3.38 kgCO ₂ eq/kgH ₂	DV (EU) 2023/1185
	Sektorale RFNBO Quoten	DE	Quote	/	/	Sicherstellung Mindestanteils RFNBOs in Transport & Industrie	RFNBO (DV EU 2023/1184)	Richtlinie (EU) 2023/2413 (RED III)
	EU-Taxonomie	EU	Kriteriensystem	/	/	Klassifizierung von nachhaltigen Wirtschaftstätigkeiten	Wesentlicher Beitrag zu min. 1 von 6 Zielen	Verordnung (EU) 2020/852

Tab. 1 Anmerkungen:

- a) Vertrag über die Arbeitsweise der EU
- b) Auction as a Service
- c) Klima- und Transformationsfonds
- d) Renewable Fuel of Non Biological Origin
- e) Net Zero Industry Act

- f) Delegierte Verordnung (EU)
- g) EU Climate, Energy and Environmental State Aid Guidelines
- h) Vergabeverordnung
- i) Renewable Energy Directive
- j) Treibhausgase (gemessen in CO₂-Äquivalenten, CO₂e)

- k) Emission Trading System
- l) Brennstoffemissionshandelsgesetz
- m) Energiesteuergesetz
- n) Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
- o) Low Carbon Fuel

Tab. 1 Quelle: Eigene Abbildung im Rahmen des Projekts IMA-GH2 basierend auf [2], [18], [23], [24], [25], [26], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44]

Einen anderen Ansatz verfolgen die **Klimaschutzverträge (KSV)**, die als *Carbon Contracts for Difference* zu einem definierten CO₂-Preis fungieren. Dieses nationale Förderprogramm zielt auf die Dekarbonisierung der deutschen Industrie durch die Förderung emissionsarmer, transformativer Produktionsprozesse ab. Das Instrument basiert auf einem Gebotsverfahren, bei dem Unternehmen den Zuschlag erhalten, die mit den geringsten Fördermitteln die größten CO₂-Einsparungen erreichen können. Die Förderung erfolgt über 15 Jahre und deckt die Differenz zwischen einem dynamisierten Vertragspreis, welcher laufend an die aktuellen Kosten für die CO₂-Einsparungen angepasst wird, und dem effektiven CO₂-Preis aus dem EU ETS ab. Die CO₂-Einsparungskosten für die Wasserstoffnutzung werden anhand des HydexPLUS-Index berechnet und entsprechen der Differenz zwischen grauem und grünem bzw. blauem Wasserstoff. Der HydexPLUS ist ein Vollkostenindex für die Wasserstoffproduktion in Deutschland, der sich aus Investitionskosten basierend auf Werten des European Hydrogen Observatory, umgelegt auf die Volllaststunden, und den Betriebskosten basierend auf Rohstoff- und CO₂-Preisen der letzten 365 Tage zusammensetzt [42], [45], [46], [47].

Sollten CO₂-Preise im ETS den Vertragspreis übersteigen, sind Rückzahlungen vorgesehen. Ziel ist die Reduktion von 60 % der Treibhausgasemissionen ab Jahr drei und 90 % im letzten Vertragsjahr im Vergleich zu einem definierten Referenzsystem. Förderfähig sind Projekte in Deutschland mit einem Mindestfördervolumen von 15 Mio. € und Emissionen von mindestens 10 kt CO₂e pro Jahr. Wenn Wasserstoff verwendet wird, muss dieser den EU-Anforderungen für erneuerbaren oder CO₂-armen Wasserstoff entsprechen und somit eine THG-Mindesteinsparung von 70 % gegenüber fossilem Wasserstoff aufweisen (siehe DV zu RFNBO und LCF) [42], [47].

In der ersten Runde wurden 15 Projekte mit einem maximalen Budget von insgesamt 2,8 Mrd. € gefördert, von denen allerdings nur fünf Projekte Wasserstoff als zentralen Energieträger nutzen [48].

H2Global nutzt einen doppelseitigen Auktionsmechanismus, um den Markt für nachhaltige Wasserstoffimporte zu fördern. Hierbei wird die Differenz zwischen den Produktionskosten von erneuerbarem Wasserstoff und der Zahlungsbereitschaft der Abnehmer für einen Zeitraum von maximal zehn Jahren ausgeglichen. H2Global nutzt dafür zwei Arten von Verträgen: Langfristige, über Auktionen vergebene *Hydrogen Purchase Agreements* (HPAs), sichern die Beschaffung von Wasserstoff und dessen Derivaten hauptsächlich aus Nicht-EU-Ländern und schaffen dabei Investitionssicherheit auf der Angebotsseite. Kurzfristige, ebenfalls verauktionierte *Hydrogen Supply Agreements* (HSAs) werden an europäische Abnehmer vergeben. Durch die kürzere Laufzeit der HSAs sollen die dabei offengelegten Zahlungsbereitschaften den zeitnahen Übergang hin zu indexbasierten Verträgen ermöglichen. Die Kostendifferenz zwischen den Liefer- und Abnahmeverträgen wird durch einen Intermediär mithilfe staatlicher, aber auch privater Mittel geschlossen. Ziel ist es, die Lücke zwischen Angebot und Nachfrage zu schließen, den Einsatz emissionsarmer Technologien zu fördern und regulatorische sowie marktbedingte Unsicherheiten zu verringern. Die ersten Ausschreibungen für HPAs, finanziert durch den KTF, setzten dabei die EU-Standards für RFNBOs voraus [32], [44], [49].

Die erste Auktion für Ammoniak auf der Anbieterseite führte zu einem HPA mit dem Produzenten Fertiglobe, einer Tochter des staatlichen Öl- und Gasunternehmens ADNOC in den Vereinigten Arabischen Emiraten, mit einem Volumen von über 397.000 t Ammoniak (70.427 kgH₂). Die Lieferung nach Rotterdam beginnt 2027 zu einem Preis von 1 €/kg Ammoniak (5,64 €/kgH₂). Eine weitere Auktion für nachhaltiges Flugbenzin nicht biogenen Ursprungs (eSAF) wurde allerdings aufgrund zu weniger

Teilnehmer und unzureichender Mengen abgebrochen, und auch die Auktion für Methanol konnte noch nicht abgeschlossen werden [9].

Ende 2024 genehmigte die EU-Kommission eine zweite Ausschreibung zum Ankauf erneuerbarer Wasserstoffprodukte, die im Februar 2024 mit einem Fördervolumen von bis zu 3 Mrd. € (derzeit 2,5 Mrd. € verfügbar) startete [41], [50]. In dieser werden fünf weitere Lots ausgeschrieben, von denen vier auf spezifische Bezugsregionen ausgerichtet (Nordamerika, Südamerika & Ozeanien, Afrika, Asien) und offen für sowohl Wasserstoff als auch Wasserstoffderivate sind. Das fünfte Lot ist regionspezifisch – somit könnte auch aus europäischen Ländern importiert werden – und setzt molekularen Wasserstoff als Endprodukt voraus [51]. Bemerkenswert ist die Zusammenarbeit mit den Niederlanden, die sich mit 300 Mio. € an der Ausschreibung des weltweiten Lots beteiligen [41]. Die zu liefernden Produkte müssen in dieser zweiten Ausschreibungsrunde eine THG-Einsparung von 73 % bis zum Lieferpunkt aufweisen, sodass sie sich nicht durch zusätzliche potenzielle Emissionen, die beim späteren Weitertransport zum Endpunkt entstehen können, für die Erfüllung der RFNBO-Kriterien (70 % THG-Einsparung) disqualifizieren würden [51].

Einnahmewirksam

Die in Deutschland geltenden Emissionshandelssysteme belasten im Gegensatz zu den ausgabewirksamen Instrumenten nicht den Bundeshaushalt, sondern unmittelbar die CO₂-Emittenten. Dadurch schaffen sie indirekte Anreize für den Einsatz CO₂-armer Technologien wie Wasserstoff als Energieträger, allerdings sind die komparativen Vorteile gerade bei Wasserstoff und Derivaten bisher meist nicht ausreichend, um eine Wettbewerbsfähigkeit gegenüber fossilen Alternativen zu schaffen.

Das **EU Emissions Trading System (EU ETS)** stellt ein zentrales Instrument der europäischen Klimapolitik dar. Seit dem Jahr 2005 reguliert es den CO₂-Ausstoß in den Sektoren Industrie und Energie sowie seit dem Jahr 2024 auch im Luft- und Seeverkehr. Als *Cap-and-Trade-System* setzt es eine Obergrenze für Emissionen, die durch handelbare Zertifikate abgedeckt werden. Die Ausgabe dieser Zertifikate erfolgt entweder durch Versteigerung oder kostenlose Zuteilung, wobei die Gesamtzahl der ausgegebenen Zertifikate jährlich reduziert wird, um eine schrittweise Reduktion der Emissionen und die Einhaltung der Obergrenze zu gewährleisten [33], [52].

Die ETS-Teilnehmer können die Zertifikate untereinander handeln (*trading*) oder bei Nichtverwendung die Zertifikate in kommenden Perioden nutzen (*banking*). Außerdem ist es aufgrund der Überschneidung von Zuteilungs- und Abgabefristen der Zertifikate implizit möglich, freie Zuteilungen aus der aktuellen Periode für Emissionen aus der vergangenen Periode zu nutzen (*borrowing*) [52], [53].

Der deutsche Anteil an den Einnahmen aus dem EU-Zertifikatehandel belief sich im Jahr 2024 auf 5,5 Mrd. €. Diese Mittel wurden vollständig zur Finanzierung nationaler Klimaschutzmaßnahmen sowie des Europäischen Innovations- und Modernisierungsfonds und ab 2026 auch des Klima-Sozialfonds verwendet [34], [54].

Bisher deckt das derzeitige EU ETS allerdings nur einen Teil der Emissionen ab. Insbesondere die Sektoren Gebäude und Verkehr sind noch nicht vom ETS erfasst, weshalb in Deutschland im Jahr 2021 das **Nationale Emissionshandelssystem (NEHS)** eingeführt wurde [35]. Der grundsätzlich als *Cap-and-Trade System* implementierte Mechanismus startete mit einer Fixpreisphase bis zum Jahr 2025, gefolgt von einer Phase eines Emissionshandels mit engem Preiskorridor ab 2026 [55]. Die Einnahmen

aus dem NEHS, welche im Jahr 2024 rund 13 Mrd. € betragen, flossen vollständig in den KTF [56]. Ab dem Jahr 2027 soll ein neu eingeführtes Emissionshandelssystem, das sogenannte **EU-ETS II**, die Emissionen aus den Sektoren Gebäude und Verkehr auch auf europäischer Ebene regulieren [55]. Der Übergang des NEHS in den EU ETS II wurde im Februar 2025 durch einen Gesetzesbeschluss des Bundestags geregelt [57].

Ergänzend zum EU-ETS soll durch den **Carbon Border Adjustment Mechanism** (CBAM) verhindert werden, dass emissionsintensive Produktionsprozesse aus der EU in andere Weltregionen verlagert werden [58]. Allerdings dürfte die derzeitige Ausgestaltung diesem Ziel noch nicht gerecht werden. Der CBAM erfordert derzeit eine Berichterstattung über die Emissionen bei Importen bestimmter Produkte, darunter Wasserstoff und Ammoniak, und stellt ab dem Jahr 2026 sicher, dass die zugehörigen CO₂-Emissionen entsprechend dem EU ETS bepreist werden [58], [59]. Allerdings sind Produkte höherer Wertschöpfungsstufen bisher nicht inkludiert, wengleich aktuell Maßnahmen ergriffen werden, den CBAM zu überarbeiten [60].

Regulierungen

Neben finanziellen Instrumenten gibt es auf europäischer und nationaler Ebene auch Regulierungen, die den Hochlauf von erneuerbarem Wasserstoff fördern sollen. Diese können produktspezifische Zahlungsbereitschaften, allerdings auch die Produktionskosten von Wasserstoff und seinen Derivaten erhöhen. Insbesondere die Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU in der aktuellen dritten Novelle, die zugehörigen delegierten Verordnungen sowie die entsprechenden Umsetzungen in nationales Recht sind hier prägend.

Die **Erneuerbare-Energien-Richtlinie III (RED III)** schafft den rechtlichen Rahmen für den Hochlauf erneuerbarer Energien in der EU. Neben umfangreichen Vorgaben und Zielen zum generellen Einsatz erneuerbarer Energien enthält die RED III auch verbindliche Quoten für den Einsatz von RFNBOs, die in der RED II definiert wurden. Sektorspezifische Ziele sehen unter anderem vor, dass bis 2030 mindestens 42 % des in der Industrie verwendeten Wasserstoffs als RFNBO zertifiziert sein muss (60 % bis 2035). Im Transportsektor müssen bis 2030 mindestens 1 %, im Seeverkehr mindestens 1,2 % der eingesetzten Kraftstoffe RFNBOs sein, wobei auch *Recycled Carbon Fuels* (RCFs) optional (je nach nationaler Umsetzung) auf die Ziele angerechnet werden können [2].

Die **Delegierten Verordnungen (DV) zu Artikel 27 und 28** der RED II (2023/1184 & 2023/1185) wurden von der Europäischen Kommission verabschiedet, um klare Anforderungen für die Produktion von RFNBOs, RCFs sowie die Berechnung ihrer THG-Einsparungen zu schaffen. Die Kommission verfolgt hierbei das Ziel, sicherzustellen, dass die Wasserstoffproduktion nachhaltig erfolgt, dass sie den Ausbau erneuerbarer Energien unterstützt und damit nicht die Ziele des Stromsektors konterkariert [38].

RFNBOs sind erneuerbare Brennstoffe aus nicht biogenem Ursprung, darunter Wasserstoff sowie dessen Derivate wie Ammoniak, Methanol oder auch synthetisches Methan, vorausgesetzt der bei der Herstellung benötigte Kohlenstoff stammt aus als erneuerbar definierten Quellen. RCFs dagegen sind kohlenstoffbasierte Kraftstoffe, die aus der Synthese von nicht erneuerbaren CO₂-Abfallströmen und Wasserstoff gewonnen werden [38]. Die DV zu Artikel 27 stellt dabei folgende Anforderungen für die „Erneuerbarkeit“ der Stromerzeugung für die RFNBO-Produktion, wie z. B. die Elektrolyse:

- **Zusätzlichkeit:** Der Strom für die Herstellung von RFNBOs muss aus neuen erneuerbaren Energieanlagen stammen, die speziell zur Deckung der Nachfrage der Anlagen zur Erzeugung der RFNBOs errichtet werden.
- **Zeitliche Korrelation:** Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien muss zeitgleich mit der RFNBO-Produktion erfolgen (zunächst monatlicher Abgleich, ab 2030 stündlich).
- **Geografische Korrelation:** Der Strom muss aus derselben oder einer angrenzenden Gebotszone stammen wie die Produktionsanlage.

Außerdem wird definiert, welche CO₂-Quellen für die Produktion von kohlenstoffhaltigen RFNBOs als erneuerbar gelten. Dazu zählen *Direct Air Capture*, biogenes CO₂ und abgeschiedenes CO₂ von fossilen Stromkraftwerken (allerdings nur bis 2036) sowie anderen industriellen Anlagen (bis 2041). Allerdings müssen CO₂-Emissionen, die in Industrieverfahren oder bei der Verbrennung nicht nachhaltiger Brennstoffe entstehen und für die Produktion von RFNBOs und RCFs genutzt werden sollen, bereits in einem vorgelagerten Schritt durch eine „wirksame CO₂-Bepreisung“ erfasst werden. Damit soll ein Anreiz geschaffen werden, diese Emissionen von vornherein zu vermeiden. Andernfalls gelten diese Emissionen nicht als vermieden und werden auf die THG-Intensität angerechnet [37].

Die DV zu Artikel 28 legt die Methodik zur Bewertung und die zu erreichende Höhe der THG-Einsparungen für RFNBOs und RCFs fest. Die THG-Einsparungen müssen den gesamten Lebenszyklus umfassen, einschließlich Produktion, Transport und Nutzung und dabei mindestens 70 % im Vergleich zu fossilem Wasserstoff betragen. Dies entspricht einem Schwellenwert von maximal 28,2 g CO₂e/MJ, bzw. 3,38 kgCO₂e/kgH₂ [37], [38].

Die sich noch in der Entwurfsphase befindliche **DV zu Artikel 9** der RED III regelt die Berechnung und Bewertung von Treibhausgasemissionseinsparungen für kohlenstoffarme Brennstoffe (Low Carbon Fuels, LCFs). LCFs umfassen Kraftstoffe, die unter Verwendung fossiler Energieträger, Kernenergie oder Netzstrom hergestellt werden und dabei Treibhausgaseinsparung von mindestens 70 % im Vergleich zu fossilen Alternativen aufweisen [61]. Sie sollen kurz- bis mittelfristig den Wasserstoffhochlauf beschleunigen und die Einführung erneuerbarer Brennstoffe ergänzen [62]. Die Verabschiedung und Veröffentlichung der DV war für das vierte Quartal 2024 vorgesehen, steht jedoch zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Policy Briefs noch aus [61].

Die **EU-Taxonomie** aus **Verordnung (EU) 2020/852** ist ebenfalls eine relevante Regulierung für Wasserstoffprojekte. Sie etabliert ein Klassifizierungssystem, das Kriterien für nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten festlegt. Sie soll Investitionen in klimafreundliche Projekte lenken, Investoren vor Greenwashing schützen und so Unternehmen dabei unterstützen, klimafreundlicher zu werden. Die Handreichungen zur Taxonomie sind äußerst umfangreich und umfassen derzeit mehr als 500 Seiten technischer Kriterien und Vorgaben, welche regelmäßig auf Basis neuer technologischer Entwicklungen und wissenschaftlicher Erkenntnisse angepasst werden [39], [63], [64], [65], [66], [67].

2.2. Einordnung in die Wertschöpfungskette

Abbildung 3: Darstellung der Instrumente entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette

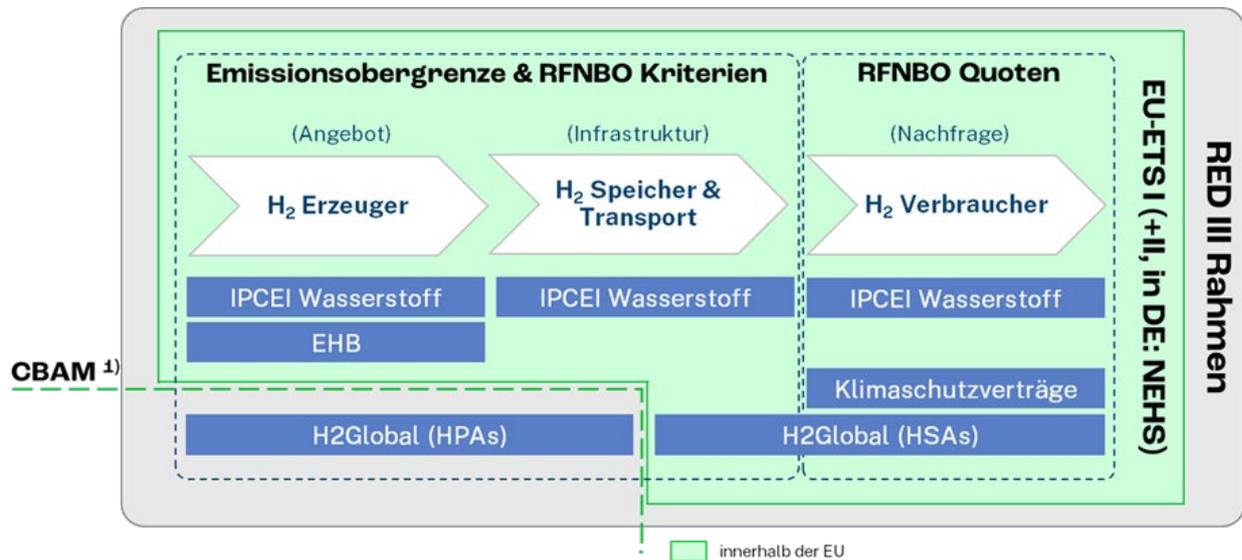


Abb. 3 Anmerkungen: ¹⁾ Übergangsphase von 2023 bis 2025: Reporting von THG-Emissionen (kein Erwerb von Emissionszertifikaten) für bestimmte Produkte: H₂, elektrischer Strom, Düngemittel (inkl. Ammoniak), Aluminium, Eisen und Stahl, Zement.

Abb. 3 Quelle: Eigene Abbildung im Rahmen des Projekts IMA-GH2 basierend auf [2], [19], [42], [42], [55], [58], [59], [68], [69], [70], [70], [71]

Die detaillierte Betrachtung der einzelnen Instrumente zum Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Abschnitt 2.1 illustriert bereits, dass diese ein sehr komplexes System erzeugen. Neben der isolierten Betrachtung der einzelnen Instrumente liefert die gemeinsame Betrachtung über die Wertschöpfungskette in Abbildung 3 ein wertvolles Bild der Förderlandschaft. Deutlich wird hierbei, dass IPCEI als Instrument die gesamte Wertschöpfungskette adressiert, wohingegen sich die EHB auf Erzeuger und die KSV auf Verbraucher fokussieren. H2Global agiert als zweiseitiges Instrument und involviert somit sowohl Erzeuger als auch Verbraucher. Durch die Anlieferung und Abnahme an einem Zielort enthalten die Verträge auf der jeweiligen Seite auch die anteiligen Kosten für die Nutzung oder den Aufbau von Infrastruktur bis und ab dem Zielort [32]. Die einnahmewirksamen Instrumente des ETS und NEHS setzen als emissionsbezogene *Cap- and Trade*-Systeme übergeordnet in der europäischen bzw. nationalen Wertschöpfungskette an. Regulierungen wie die RFNBO-Kriterien und -Quoten oder die RED III schaffen zusätzliche Anforderungen für die gesamte Wertschöpfungskette. Es wird deutlich, dass die Förderinstrumente auf allen Wertschöpfungsstufen mit dem nationalen und dem europäischen Emissionshandel sowie den RED III Kriterien und Quoten interagieren.

Bei den Instrumenten zum Hochlauf spielt zudem der geografische Geltungsbereich eine entscheidende Rolle. Dies zeigt sich beispielsweise bei H2Global, das derzeit gezielt den Import von Wasserstoff aus Regionen außerhalb der EU nach Deutschland fördert. Eine Ausnahme bildet hierbei das weltweite Lot in der zweiten Ausschreibungsrunde [50], [51]. Eine weitere wichtige geografische Differenzierung ergibt sich durch den CBAM. Nach seiner Einführungsphase soll der CBAM als Ausgleichssystem zum innerhalb der EU geltenden ETS dienen [58].

2.3. Zeitschienen-Analyse

Abbildung 4: Darstellung der Zeitabläufe und Budgets der Instrumente

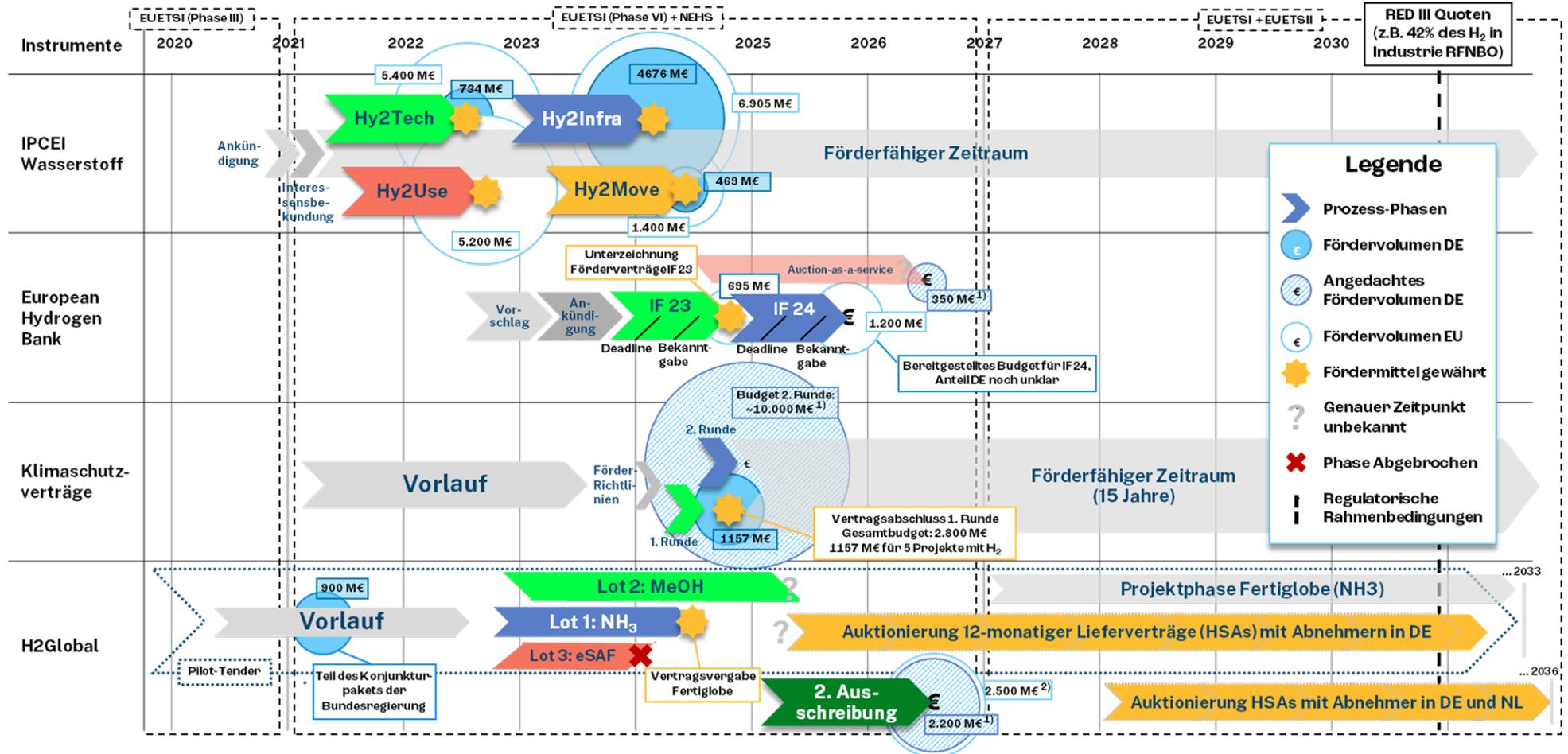


Abb. 4 Anmerkungen: ¹⁾ Kein genaues Budget bekannt, ²⁾ Die Niederland tragen 300 M€ zum Ankaufsvolumen bei

Abb. 4 Quelle: Eigene Abbildung im Rahmen des Projekts IMA-GH2basierend auf [9], [20], [23], [24], [25, S. 20], [26], [32], [42], [43], [48], [71], [72], [73], [74], [75], [76], [77], [78], [79]

Abbildung 4 verdeutlicht die zeitliche Abfolge der verschiedenen Förderinstrumente und deren Budgets. Die hohe Komplexität entsteht dabei vor allem durch die parallele Existenz mehrerer Phasen und die unterschiedlichen Designs der Instrumente. Unternehmen stehen vor der Herausforderung, sich gleichzeitig mit den komplexen Mechanismen, Voraussetzungen und Bewerbungsverfahren dieser Instrumente vertraut zu machen. Zudem erfordert die Vielzahl gleichzeitig verfügbarer Angebote eine genaue Abwägung und fundierte Kenntnisse, um die jeweils passenden Fördermöglichkeiten auszuwählen und erfolgreich daran teilzunehmen. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass einige konkrete Projekte zwar zu Beginn im Rahmen der hier dargestellten Fördermaßnahmen enthalten waren, im Verlauf aber aus unterschiedlichen Gründen aus diesen herausgelöst worden sind. Beispiele hierfür sind die ursprünglich in IPCEI enthaltenen Projekte tkH2steel von Thyssen-Krupp Steel, das mit 2 Mrd. € gefördert wurde, und das Projekt Hy4Chem-El von BASF, welches eine Förderung von 134 Mio. € erhielt [80], [81], [82], [83]. Diese werden nun im Rahmen der Leitlinien für staatliche Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen (CEEAG) durch nationale Mittel gefördert [84], [85].

2.4. Bürokratische Prozessanforderungen für Unternehmen

Die zusammenfassende Darstellung der notwendigen Prozessschritte in Abbildung 5 soll ein grundlegendes Verständnis der bürokratischen Abläufe vermitteln, die Unternehmen für die Teilnahme an den Förderinstrumenten durchlaufen müssen. Im Fall der RED III erfolgt dies über den Zertifizierungsprozess für RFNBOs, der für die Anrechnung auf RFNBO-Quoten notwendig ist.

Besonders bei den ausgabewirksamen Instrumenten zeigt sich, dass die Teilnahme mit einer komplexen, mehrstufigen Prozesskette verbunden ist. Insbesondere IPCEI Wasserstoff erfordert zahlreiche Verfahrensschritte, darunter Kollaborationsmaßnahmen sowie den Pränotifizierungs- und Notifizierungsprozess, um Projekte im entsprechenden Förderrahmen erfolgreich umzusetzen. Im Vergleich dazu erscheinen die Prozessketten für einnahmewirksame Instrumente wie das EU ETS oder das NEHS deutlich kürzer. Dies liegt unter anderem an der verpflichtenden Teilnahme für betroffene Unternehmen, weshalb Ausschreibungs- bzw. (Vor-)Auswahlverfahren nicht extra notwendig sind. Dennoch müssen auch hier wesentliche Mess-, Überwachungs- und Reportingverpflichtungen erfüllt werden, die als Grundlage für diese Systeme dienen.

Die Analyse der erforderlichen Prozessstufen unterliegt mehreren Einschränkungen und kann nicht direkt mit dem bürokratischen Aufwand der Unternehmen gleichgesetzt werden. Sie umfasst keine instrumentenspezifische Bewertung der Aufwandshöhe, die sowohl zwischen den Prozesskategorien als auch instrumentenübergreifend innerhalb einer Prozesskategorie stark variieren kann. Zudem erlaubt die Darstellung keine Aussage über den Mehrwert einzelner Prozessstufen für die Effektivität der Instrumente oder die Umsetzung der Vorhaben. Solche weiterführenden Analysen stellen jedoch ein wichtiges Forschungsfeld für zukünftige Untersuchungen dar.

Abbildung 5: Darstellung der bürokratischen Prozesskategorien der Instrumente aus Unternehmensperspektive

Kategorie Instrument	Öffentliche Ankündigung	Vorbereitendes Verfahren	Kollaborations- maßnahmen	Einreichung von Unterlagen	Prüfungs- bzw. Auswahlprozess	Weiterführender Prüfungs- bzw. Auswahlprozess	Vertrags- vorbereitung und -abschluss	Auszahlung/ Reporting/ Überwachung
IPCEI Wasserstoff	Nationale Bekanntmachung Interessensbekundungsverfahren	Nationale Vorauswahl der eingereichten Projektskizzen	Durchführung „Match Making“ Prozess + Erstellung „Chapeau“ Dokument	Einreichung Projektbeschreibung	Pränotifizierungsprozess auf Basis Projektinformationen + Chapeau Dokument ¹⁾	Ggf. weitere Informationsanforderungen; Notifizierungsprozess ¹⁾	Abschluss Nationaler Fördervertrag Auf Basis beihilferechtlicher Genehmigung	Rückforderungsmechanismen, Reportingverpflichtungen
European Hydrogen Bank	Bekanntmachung der Aufforderung zur Antragseinreichung			Gebotseinreichung (inkl. zugehöriger Unterlagen) ²⁾	Auktionsprozess und Auswahl Auktionsgewinner	→ ³⁾	Abschluss Fördervertrag ³⁾	Mengenbasierte Auszahlung, Reportingverpflichtungen
EHB: „Auction-as-a-service“	Nationale Budgetankündigung			Teilnahmebekundung bezüglich „Auction-as-a-service“ Nutzung	„Nationale“ Weiterführung Auktionsprozess	→ ³⁾	Abschluss Fördervertrag ³⁾	Mengenbasierte Auszahlung, Reportingverpflichtungen
Klimaschutzverträge	Bekanntmachung vorbereitendes Verfahren	Formale Prüfung der eingereichten vorhabenbezogenen Informationen		Gebotseinreichung (inkl. zugehöriger Unterlagen)	Auktionsprozess und Auswahl Auktionsgewinner		Abschluss KSV	Differenzzahlung dyn. Vertragspreis - CO ₂ Preis, Reportingverpflichtungen
H2Global	Bekanntmachung Interessensbekundungsverfahren	(Prä-)qualifizierung		Gebotseinreichung (inkl. zugehöriger Unterlagen) ⁴⁾	Auktionsprozess und Auswahl Auktionsgewinner		Abschluss HPA (bzw. HSA) ⁴⁾	Mengenbasierte Auszahlung, Reportingverpflichtungen
EU Emissionshandel				Einreichung/Anpassung Überwachungsplan ⁵⁾	Überprüfung Überwachungsplan ⁵⁾		Anmeldung im Unionsregister + Erwerb CO ₂ -Zertifikate ⁶⁾	Reporting via Emissionsberichte; Zertifikatsabgabe
Nationaler Emissionshandel				Einreichung/Anpassung Überwachungsplan	Überprüfung Überwachungsplan		Anmeldung im nEHS Register + Erwerb CO ₂ -Zertifikate ⁷⁾	Reporting via Emissionsberichte; Zertifikatsabgabe
Zertifizierung RFNBOs (RED III) ⁸⁾		Abarbeiten und Ausfüllen der Checkliste für RFNBO-Produzenten und Lieferanten		Einreichen der Informationen bezüglich Kraftstoffproduktion und Handel	Durchführung Audit und Erstellung Auditbericht		Ausstellung Zertifikat und/oder Kontrollbescheinigung	Überwachungsaudits und Re-Zertifizierungsaudits

Abb. 5 Anmerkungen: ¹⁾ Pränotifizierung bzw. Notifizierung der geplanten Projektförderung der beteiligten Nationalstaaten gegenüber der EU-Kommission; ²⁾ Einreichung der Qualifizierungs- und Gebotsunterlagen erfolgen gemeinsam; ³⁾ Im Rahmen der Vorbereitung des Fördervertrages weitere Überprüfungsschritte; ⁴⁾ Gebotseinreichung und Vorbereitung von HPA/HSA können sich überschneiden; ⁵⁾ Für stationäre Anlage zudem Emissionsgenehmigung erforderlich. Antrag zur Emissionsgenehmigung und Überwachungsplan sollen im Rahmen des EU ETS II zusammen bearbeitet werden.; ⁶⁾ Erwerb durch kostenlose Zuteilung, Ersteigerung bzw. Handel; ⁷⁾ Erwerb durch Festpreiskauf bzw. Handel, Umstellung des NEHS ab 2026: Ablösung der Einheitspreis- durch Versteigerungsphase; ⁸⁾ Darstellung basierend auf Zertifizierungsschema REDcert EU

Abb. 5 Quelle: Eigene Abbildung im Rahmen des Projekts IMA-GH2 basierend auf [9], [19], [20], [23], [24], [25], [26], [31], [32], [33], [42], [47], [52], [55], [70], [71], [72], [81], [86], [87], [88], [89], [90], [91], [92], [93], [94], [95], [96], [97], [98], [99], [100]

2.5. Kritische Bewertung der Förderlandschaft

2.5.1. Komplexität und Inkohärenz

Die Vielzahl der Instrumente zur Förderung und Ausgestaltung des Wasserstoffhochlaufs führt zu einer erheblichen Komplexität durch das Zusammenspiel unterschiedlicher Mechanismen, Kriterien und Prozesse. Eine derartige Komplexität des Instrumentenmixes kann Zielkonflikte, unerwünschte Wechselwirkungen, Überlappungen oder hohe bürokratische Belastungen zur Folge haben. Derartige negative Effekte können wiederum die Effizienz und die Effektivität des Instrumentenmix negativ beeinträchtigen, welcher daher grundsätzlich kritisch zu hinterfragen ist.

Zielkonflikte werden z. B. deutlich, wenn der anvisierte mengenmäßige Markthochlauf den Anforderungen der Wasserstoffzertifizierung gegenübergestellt wird. Einerseits wird ein schneller Hochlauf angestrebt, andererseits stehen strenge Nachhaltigkeitskriterien für Wasserstoff im Fokus. So stimulieren RFNBO-Quoten die Nachfrage nach klimafreundlichem Wasserstoff, um das „Henne-Ei-Problem“ der Wasserstoffwirtschaft zu adressieren und einen schnellen Hochlauf zu forcieren. Gleichzeitig führen die strengen und spezifischen Anforderungen, die für eine Anerkennung von Wasserstoff und seinen Derivaten als erneuerbar und somit für ihre Anrechenbarkeit auf die Quoten erfüllt sein müssen, zu erheblichen Belastungen für die Produzenten und Verbraucher. Ein wesentlicher Aspekt sind hierbei die Bedingungen in der delegierten Verordnung zu Artikel 27 der RED II bezüglich der Additionalität und der zeitlichen sowie geographischen Korrelation für den Strombezug von RFNBO-Produktion, die gegenwärtig intensiv diskutiert werden [101], [102], [103].

Darüber hinaus macht die Vorgabe, dass die CO₂-Emissionen für die Synthese von RFNBOs und RCFs entweder bereits in einem vorgelagerten Schritt durch eine wirksame CO₂-Bepreisung erfasst oder auf die THG-Intensität angerechnet werden müssen, Produktionsprojekte außerhalb Europas kaum umsetzbar. Außerdem kann der festgelegte CO₂-Grenzwert für RFNBOs, RCFs und LCFs zu signifikanten Verteuerungseffekten oder zum Ausschluss bestimmter Projekte führen, da die letzten Einsparungen überproportional hohe Kosten verursachen, aber zur Einhaltung des Grenzwertes erforderlich sein können.

Bei Betrachtung von H2Global wird zudem deutlich, dass sich Zielkonflikte zwischen der anvisierten Steigerung der Investitionssicherheit auf der Produktionsseite und dem verfügbaren Budgetrahmen ergeben können. So erscheint es fraglich, ob eine Förderlaufzeit von maximal 10 Jahren ausreichend ist, um die notwendige Investitionssicherheit für Projekte zu gewährleisten. Längere Förderzeiträume würden auch zu niedrigeren Preisen und somit geringeren Differenz- bzw. Förderkosten führen, dennoch könnte eine Verlängerung der Abnahmeverpflichtung mit einer insgesamt höheren Budgetbelastung für das Förderinstrument einhergehen.

Neben Zielkonflikten können sich auch unerwünschte Wechselwirkungen zwischen Instrumenten ergeben. Vor diesem Hintergrund ist zum Beispiel der Zusammenhang von KSVs und dem ETS zu betrachten. Wie in Abschnitt 2.1 erläutert sind KSVs an das EU ETS geknüpft und somit die Budgethöhe zur Finanzierung der KSV abhängig vom CO₂ Preis. Hieraus ergibt sich die Schwierigkeit, dass das notwendige Förderbudget für den Staatshaushalt nicht absehbar ist. Darüber hinaus stellt sich die Frage, inwieweit der Staat als Vertragspartner bei einem hohen CO₂-Preis, der den dynamisierten Vertragspreis des jeweiligen KSVs übersteigt, Zahlungen vom Unternehmen an den Staat tatsächlich

durchsetzen wird. Insbesondere könnten energieintensive Unternehmen im internationalen Wettbewerb weiter unter Druck geraten, sodass die Politik davon absehen könnte, ihnen zusätzliche Belastungen durch Rückzahlungen im Sinne der KSVs aufzubürden.

Zusätzlich entsteht bei den KSVs durch die Förderung der Umstellung des Produktionsverfahrens ein preismindernder Effekt im ETS durch das Freiwerden von Emissionszertifikaten [104]. Derartige Wechselwirkungen führen zu einer Steigerung der Kosten der Emissionsreduktion und erschweren es, die Wirkungen einzelner Instrumente einfach abzuschätzen.

In Abbildung 3 wird zudem ersichtlich, dass trotz Unterscheidungen unter anderem bei der geographischen Ausrichtung oder des Auktionsdesigns umfangreiche Überlappungen der Instrumente entlang der Wertschöpfungskette bestehen. Derartige Überschneidungen von Förderinstrumenten entlang der Wertschöpfungskette können es Unternehmen erschweren, den Nutzen einzelner Instrumente zu bewerten oder eine klare Strategie im Hinblick auf eine potenzielle Instrumentenbeteiligung zu entwickeln. Zusätzlich können die komplexen Ausgestaltungen einzelner Instrumente sowie die damit verbundenen bürokratischen Abläufe und Belastungen zu langen Bearbeitungszeiten führen. Dies wird insbesondere am Beispiel der Hy2Infra-Welle deutlich, bei welcher eine Bearbeitungszeit von 22 Monaten benötigt wurde [105].

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass Unternehmen diversen Schwierigkeiten innerhalb der Förderlandschaft ausgesetzt sind. Es stellt sich daher die Frage, in welcher Form insbesondere kleinere Unternehmen mit begrenzten Ressourcen an derartigen Instrumenten teilnehmen können und inwieweit diese von ausgabeorientierten Fördermechanismen profitieren können.

2.5.2. Zugang der Unternehmen zu den Fördermaßnahmen

Die Gegenüberstellung der Unternehmensstrukturen hinsichtlich der Mitarbeiterzahl in der energieintensiven Industrie sowie den geförderten Unternehmen in Abbildung 6 gibt einen groben Überblick über den Zugang zu den betrachteten Förderinstrumenten in Deutschland. Hierbei zeigen sich zwei Herausforderungen: Zum einen erhalten von den etwa 7000 Betrieben der deutschen energieintensiven Industrie nur eine kleine zweistellige Zahl an Betrieben eine Förderung durch IPCEI oder KSVs. Diese Tatsache lässt sich durch die grundsätzlich begrenzte Verfügbarkeit von staatlichen Finanzmitteln begründen, die nicht den gesamten Hochlauf finanzieren können. Deshalb müssen die eingesetzten Mittel eine Hebelwirkung entfalten, um durch erste Ankerprojekte Spillover-Effekte auf weitere Industriebetriebe zu erzeugen. Zum anderen zeigt sich beim Vergleich der Anzahl der geförderten Betriebe je Beschäftigungsgrößenklasse. Von den kleinen Betrieben mit weniger als 50 Mitarbeitern, die mehr als die Hälfte der deutschen energieintensiven Unternehmen ausmachen, erhielt bisher kein einziges Unternehmen eine Förderung durch die hier betrachteten Instrumente. Den größten Anteil der durch die Instrumente geförderten Unternehmen machen Unternehmen über 1000 Mitarbeitern aus, wohingegen deren Anteil an den gesamten energieintensiven Unternehmen nur 1 % beträgt. Einen möglichen Grund für diese Diskrepanz liefert Kapitel 2.4: Die notwendigen Prozessschritte, um an einem Förderinstrument teilzunehmen, sind vielfältig und komplex, sodass insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMUs) nicht die dafür notwendigen Kapazitäten besitzen. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen (vgl. [106]) erscheint es auch seitens der öffentlichen Verwaltung

fragwürdig, ob eine Ausweitung der Instrumente auf eine deutlich höhere Anzahl an Unternehmen personell umsetzbar ist, selbst wenn der Aspekt fehlender finanzieller Mittel hierbei ausblendet wird. Es stellt sich daher insgesamt die Frage, wie insbesondere KMUs bei der Umstellung auf Wasserstoff unterstützt werden können und somit die gesamte Transformation der Industrie erreicht werden kann, ohne, dass die finanziellen Kapazitäten der staatlichen Fördergeber an ihre Grenzen stoßen.

Abbildung 6: Gegenüberstellung der deutschen energieintensiven Industrie mit im Wasserstoffhochlauf geförderten deutschen Unternehmen nach Beschäftigungsgrößenklassen

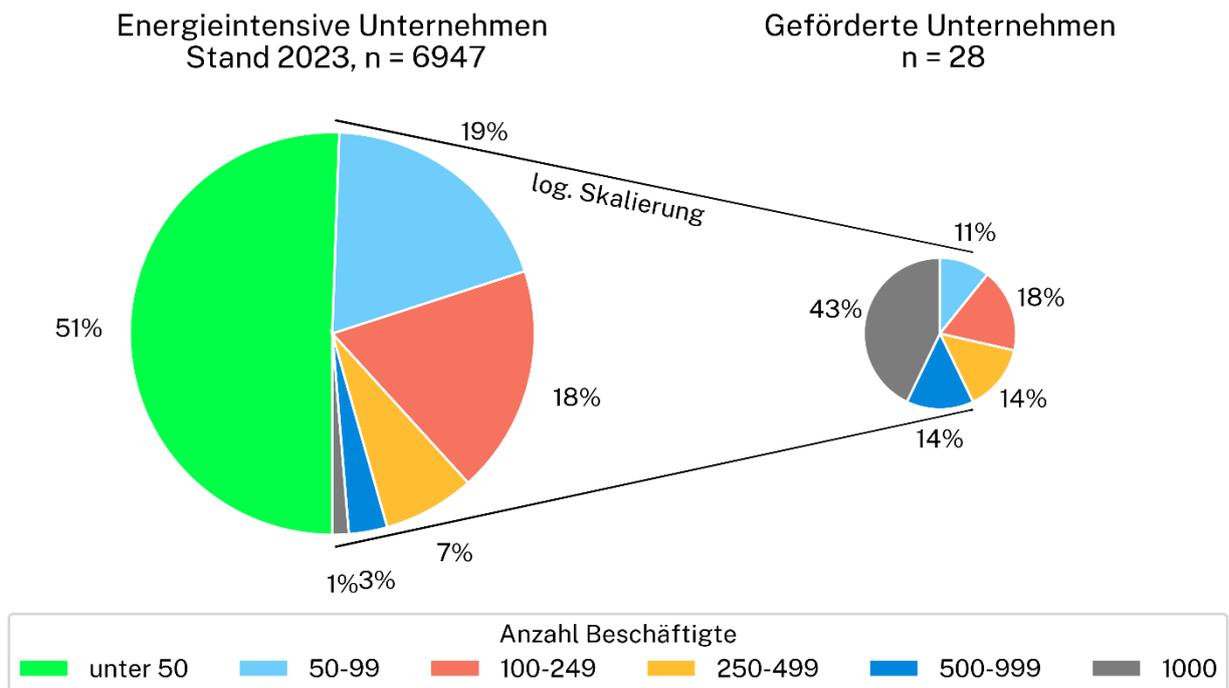


Abb. 6 Anmerkungen: Im Sinne der Vergleichbarkeit wurden alle energieintensiven Unternehmen in Deutschland (Papier, Korkerei & Mineralöl, Chemie, Glas & Keramik sowie Metall) als mögliche Wasserstoffnutzer und damit auch mögliche Empfänger von Fördermitteln zur Umstellung der Produktion in die Abbildung mit aufgenommen. Daten zu Mitarbeiterzahlen geförderter Unternehmen stammen aus Jahresabschlüssen oder Unternehmenswebsites der entsprechenden Unternehmen. Daraus entstehende etwaige Ungenauigkeiten können zu leichten Verschiebungen der betrachteten Beschäftigungsgrößenklassen führen, verursachen aber keine signifikante Veränderung des Gesamtbilds.

Abb. 6 Quelle: Eigene Darstellung basierend auf [23], [24], [25], [26], [48], [74], [107], [108], [109], [110], [111], [112], [113], [114], [115], [116], [117], [118], [119], [120], [121], [122], [123], [124], [125], [126], [127], [128], [129], [130], [131], [132], [133], [134], [135]

3. Fazit

Der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft wird durch zahlreiche Förderinstrumente unterstützt, von denen einige bereits erste Ergebnisse zeigen, wie etwa die Ammoniak-Ausschreibung im Rahmen von H2Global oder die ersten Auktionsrunde der EHB. Dennoch bestehen weiterhin erhebliche Herausforderungen.

Ein zentrales Problem ist die hohe politische Unsicherheit, die mit der Vielfalt an Programmen einhergeht. Für die Verwendung öffentlicher Mittel ist es zwingend notwendig, diese angesichts neuer geopolitischer Herausforderungen effizient und effektiv einzusetzen. Die Erwartungen aller Akteure werden somit unter großer Unsicherheit über die gültigen Rahmenbedingungen gebildet. Insbesondere KMUs sind schon aufgrund der Komplexität der Instrumente oft nicht in der Lage, an den Förderprogrammen teilzunehmen.

Die bestehenden Instrumente führen noch nicht zu den erforderlichen Mengen bei der Bereitstellung und Abnahme von Wasserstoff und seinen Derivaten, da langwierige und komplexe Verfahren und (nicht zuletzt aufgrund der zahlreichen Vorgaben) hohe Investitionskosten die Umsetzung bremsen. Redundanzen und Zielkonflikte zwischen unterschiedlichen Instrumenten können darüber hinaus deren Effektivität und Effizienz schmälern. Bis heute mangelt es an großvolumigen und langfristigen Verträgen, die geeignet sind, Investitionen abzusichern. Privates Kapital dürfte aufgrund dieser widrigen Rahmenbedingungen nur zögerlich fließen.

Hinderlich für einen schnellen Hochlauf dürften auch die strikten Vorgaben für die Zertifizierung von RFNBOs sein. Insbesondere die Bedingungen bezüglich der Additionalität und der zeitlichen sowie geographischen Korrelation für den Strombezug von RFNBO-Produktion, sowie die Voraussetzung einer wirksamen CO₂-Bepreisung sind kritisch zu hinterfragen.

In der Gesamtbetrachtung des derzeitigen Förder- und Regulierungsrahmens erscheint es wichtig, insbesondere den Emissionshandel als zentrales Instrument weiter zu stärken, Preise dort nicht durch komplementäre Maßnahmen zu verzerren und bei der Einführung des EU ETS II nicht hinter bereits gesteckten Zielen zurückzufallen. Bei ausgabewirksamen Instrumenten sollten die Budgets realistisch an die verfügbaren finanziellen und personellen Kapazitäten angepasst und Teilnahmeprozesse so weit wie möglich vereinfacht und vereinheitlicht werden. Dabei sollten die Teilnahme- und Ausschlusskriterien gezielt auf die tatsächliche Emissionsreduktion ausgerichtet sein. Das zentrale Zielbild muss dabei weiterhin eine Ausrichtung der zukünftigen Wasserstoffnutzung auf erneuerbaren sowie kohlenstoffarmen Wasserstoff als Beitrag zur Klimaneutralität sein. Inwiefern hierbei kohlenstoffarmer Wasserstoff nur eine Übergangstechnologie oder auch Teil einer vollständigen Klimaneutralität sein kann, sollte primär unter dem Gesichtspunkt der tatsächlichen Emissionsreduktion bewertet werden. Ausgabewirksame Instrumente sollten stets als Impulsgeber und Hebel für privates Kapital konzipiert werden, da der Großteil der erforderlichen Investitionen aus privaten Mitteln kommen muss. In diesem Zusammenhang ist auch der Abschluss langfristiger Verträge von zentraler Bedeutung, deren Absicherung durch staatliche Garantien oder Finanzierungsinstrumente erfolgen sollte.

Die Transparenz bei der Bewertung des Nutzens der untersuchten Instrumente ist jedoch begrenzt. Die Kosten, der tatsächliche Nutzen und die Hebelwirkungen einzelner Projekte, insbesondere bei den KSVs und IPCEIs, sind oft unklar, was eine fundierte Bewertung der Effizienz erschwert. Zudem fehlen belastbare Daten zur Wirksamkeit der Fördermaßnahmen, was sowohl die strategische Weiterentwicklung als auch den öffentlichen Diskurs behindert. Das Forschungsprojekt IMA-GH2 will einen Beitrag zur Schließung dieser Lücke leisten und die einzelnen Instrumente in detaillierten Analysen evaluieren.

Acknowledgment/Danksagung:

Die Autoren danken dem IMA-GH2 Projektteam für die gute Zusammenarbeit und die wertvollen Beiträge. Neben den bereits genannten Autoren gehören hierzu:

- Kiana Niazmad (UTN)
- Gabriela Panayotova (UTN)
- Andreas Hofrichter (OTH)
- Prof. Dr. Michael Sterner (OTH)

Ein besonderer Dank gilt auch dem Beirat des Forschungsprojektes IMA-GH2, der mit seinen unterschiedlichen Perspektiven aus Forschung, Industrie und Politik und seiner fachlichen Kompetenz die Diskussion enorm bereichert hat.

Funding/Förderung:

Dieser Policy Brief entstand im Rahmen des Forschungsprojektes „IMA-GH2: Instrumente zur Beschleunigung des Markthochlaufs grünen Wasserstoffs und seiner Derivate“ welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert wird.

Conflicts of Interest/Interessenkonflikte:

Die Autoren erklären, dass ihnen keine konkurrierenden finanziellen Interessen oder persönlichen Beziehungen bekannt sind, die die Arbeit in diesem Papier beeinflussen könnten.

Literatur

- [1] Bundesregierung, „Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie“, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/national-hydrogen-strategy-update.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [2] *Directive (EU) 2023/2413*. 2023. Zugegriffen: 23. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413
- [3] Nationaler Wasserstoffrat (NWR), „Stellungnahme zur Erarbeitung der Wasserstoff-Importstrategie der Bundesregierung“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2024/2024-01-19_NWR-Stellungnahme_Importstrategie.pdf
- [4] R. Schmitz *u. a.*, „Implications of hydrogen import prices for the German energy system in a model-comparison experiment“, *Int. J. Hydrog. Energy*, Bd. 63, S. 566–579, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.03.210.
- [5] B. Lux *u. a.*, „The role of hydrogen in a greenhouse gas-neutral energy supply system in Germany“, *Energy Convers. Manag.*, Bd. 270, S. 116188, Okt. 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2022.116188.
- [6] D. Husarek, J. Schmugge, und S. Niessen, „Hydrogen supply chain scenarios for the decarbonisation of a German multi-modal energy system“, *Int. J. Hydrog. Energy*, Bd. 46, Nr. 76, S. 38008–38025, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.09.041.
- [7] T. Sprenger, A.-K. Klaas, F. Schäfer, und C. Schmidt, „Datengrundlage für E.ON H2Bilanz 2024 2. Halbjahr“, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI), Köln, Begleitdokument zur Einordnung der Ergebnisse, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2024/11/EWI_Datengrundlage_Begleitdokument_H2-Bilanz_2024_02.pdf
- [8] International Energy Agency (IEA), „Hydrogen Production and Infrastructure Projects Database“. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database#hydrogen-production-and-infrastructure-projects>
- [9] Hintco, „Pilot auction results“, Hintco, Leipzig, Juli 2024. Zugegriffen: 21. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hintco.eu/lot-1-renewable-ammonia>
- [10] SEFE Securing Energy for Europe, „SEFE und ACWA Power schließen Partnerschaft zur Lieferung von jährlich 200.000 Tonnen grünem Wasserstoff nach Deutschland und Europa“, SEFE. Zugegriffen: 4. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sefe.eu/newsroom/pressemitteilungen/sefe-und-acwa-power-schliessen-partnerschaft-zur-lieferung-von-jaehrlich-200000-tonnen-gruenem-wasserstoff-nach-deutschland-und-europa>
- [11] T. Stahl, „Blauer Wasserstoff für Deutschland: Jetzt schieben Skandinavien den Riegel vor“. Zugegriffen: 4. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://efahrer.chip.de/news/blauer-wasserstoff-fuer-deutschland-jetzt-schieben-skandinavien-den-riegel-vor_1022656

- [12] Handelsblatt, „Equinor exportiert nun doch keinen ‚blauen‘ Wasserstoff nach Deutschland“, Handelsblatt. Zugegriffen: 4. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/equinor-exportiert-nun-doch-keinen-blauenwasserstoff-nach-deutschland-01/100071670.html>
- [13] V. Grimm, C. Sölch, und J. Wirth, „Wachstum und Klimaschutz vereinen“, Studie im Auftrag der Konrad-Adenauer-Stiftung e. V., 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.kas.de/documents/252038/29391852/WEB_KAS_Wachstum+%281%29.pdf/291854bf-6881-34d1-b4f2-144283bb21d5?version=1.1&t=1732616555932
- [14] International Energy Agency (IEA), „Global Hydrogen Review 2021“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5bd46d7b-906a-4429-abda-e9c507a62341/GlobalHydrogenReview2021.pdf>
- [15] International Energy Agency (IEA), „Global Hydrogen Review 2022“, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>
- [16] International Energy Agency (IEA), „Global Hydrogen Review 2023“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf>
- [17] International Energy Agency (IEA), „Global Hydrogen Review 2024“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf>
- [18] European Commission, „Communication from the Commission: Criteria for the analysis of the compatibility with the internal market of State aid to promote the execution of important projects of common European interest“, 2021/C 528/02, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021XC1230\(02\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021XC1230(02))
- [19] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), „Bekanntmachung des Interessenbekundungsverfahrens zur geplanten Förderung im Bereich Wasserstofftechnologien und -systeme“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/I/ipcei-bekanntmachung-interessenbekundungsverfahren.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- [20] EU20, „Manifesto for the development of a European “Hydrogen Technologies and Systems” value chain“, 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/manifesto-for-development-of-european-hydrogen-technologies-systems-value-chain.pdf?__blob=publicationFile&v=10
- [21] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Offizieller Startschuss für die Umsetzung von 23 IPCEI-Wasserstoff-Projekten in Deutschland“. Zugegriffen: 24. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/07/20240715-ipcei-wasserstoff-projekte.html>

- [22] Bundesministerium der Finanzen (BMF), „Deutscher Aufbau- und Resilienzplan (DARP)“. Zugegriffen: 21. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Europa/DARP/deutscher-aufbau-und-resilienzplan.html>
- [23] European Commission, „Important Project of Common European Interest on Hydrogen on Mobility & Transport (IPCEI ‘Hy2Move’) - RRF“, Brussels, Published Decision C(2024) 3631 final, Mai 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202451/SA_104676_649.pdf
- [24] European Commission, „Important Project of Common European Interest on Hydrogen Technology (Hy2Tech)“, Brussels, Published Decision C(2022) 5158 final, Juli 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202414/SA_64647_906AAD8E-0000-C3B8-A321-668C037ED53F_427_1.pdf
- [25] European Commission, „Important Project of Common European Interest on Hydrogen Infrastructure “Hy2Infra” – RRF“, Brussels, Published Decision C(2024) 1053 final, Feb. 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202442/SA_102825_1118.pdf
- [26] European Commission, „Important Project of Common European Interest on Hydrogen Industry (Hy2Use)“, Brussels, Published Decision C(2022) 6847 final, Sep. 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202427/SA_64650_439.pdf
- [27] European Commission, „Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the European Hydrogen Bank“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7601-2023-INIT/en/pdf>
- [28] European Commission, „Innovation Fund Auction: Terms and Conditions“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://climate.ec.europa.eu/document/download/ce-daacd0-6be5-49e6-81a9-adcafdb25e4c_en?filename=innovationfund_pilotauction_termsandconditions_en.pdf
- [29] European Commission, „Winners of first EU-wide renewable hydrogen auction sign grant agreements, paving the way for new European production“. [Online]. Verfügbar unter: https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/winners-first-eu-wide-renewable-hydrogen-auction-sign-grant-agreements-paving-way-new-european-2024-10-07_en
- [30] European Commission, „Joint EU-Germany statement on Germany’s participation in the European Hydrogen Bank “Auctions-as-a-Service” scheme“. 20. Dezember 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/ip_23_5823
- [31] European Commission, „Auctions-as-a-Service for countries in European Economic Area (EEA)“, 2024. Zugegriffen: 19. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://climate.ec.europa.eu/document/download/b0316108-0e2b-402d-8e16-bb46ac813332_en?filename=policy_funding_innovation_concept_paper_aaas_en.pdf

- [32] T. Bollerhey, M. Exenberger, F. Geyer, und K. Westpahl, „H2Global – Idee, Instrument und Intentionen.“, H2Global Stiftung, Policy Brief H2Global Stiftung 01/2022-aktualisierte 2. Fassung Februar 2023, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://files.h2-global.de/H2Global-Stiftung-Policy-Brief-01_2022-DE.pdf
- [33] Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) und Umweltbundesamt, „EU-Emissionshandel verstehen“. Zugegriffen: 24. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dehst.de/DE/Themen/EU-ETS-1/EU-ETS-1-Informationen/EU-ETS-1-verstehen/eu-ets-1-verstehen_artikel.html
- [34] Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) und Umweltbundesamt, „Verwendung der Erlöse“. Zugegriffen: 24. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dehst.de/DE/Themen/EU-ETS-1/EU-ETS-1-Informationen/Reform-Perspektiven/Erloese/erloese_node.html
- [35] S. Ludig, W. Jörß, L. Emele, und C. Nissen, *Das Konzept von Brennstoffemissionen im nationalen Emissionshandel*. in *Climate Change*, no. 42/2022. Umweltbundesamt, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/das-konzept-von-brennstoffemissionen-im-nationalen>
- [36] European Environment Agency, „Use of auctioning revenues generated under the EU Emissions Trading System“. Zugegriffen: 24. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/use-of-auctioning-revenues-generated>
- [37] *Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1185*. 2023. doi: 10.1017/CBO9780511610851.034.
- [38] *Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1184*. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1184>
- [39] European Commission, „EU taxonomy for sustainable activities“. Zugegriffen: 21. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en
- [40] European Environment Agency, „Use of auctioning revenues generated under the EU Emissions Trading System“. Zugegriffen: 11. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/use-of-auctioning-revenues-generated>
- [41] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Wichtiger Schritt vorwärts – EU-Kommission genehmigt zweite Ausschreibung in H2Global zum Ankauf von grünen Wasserstoffprodukten“. Zugegriffen: 11. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/12/20241227-eu-kommission-genehmigt-zweite-ausschreibung-in-h2global.html>
- [42] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Handbuch zum Förderprogramm Klimaschutzverträge (Version 2.0)“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.klimaschutzvertraege.info/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/ewbpublications/a1878f36-614f-11ef-bacd-

a0369fe1b6c9/live/document/240729_Handbuch_Foerderprogramm_Klimaschutzvertraege_V2.0.pdf

- [43] WirtschaftsWoche, „Klimaschutzverträge: Habeck will grüne Industrie mit 10 Milliarden Euro fördern“. Zugegriffen: 18. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/klimaschutzvertraege-habeck-will-gruene-industrie-mit-10-milliarden-euro-foerdern/30040024.html>
- [44] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Bundeskabinett beschließt Wirtschaftsplan des Klima- und Transformationsfonds (KTF)“. Zugegriffen: 28. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/08/20230809-bundeskabinett-beschliesst-wirtschaftsplan-des-ktf.html>
- [45] E-Bridge, „Wasserstoff-Index – E-Bridge“. Zugegriffen: 3. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://e-bridge.de/kompetenzen/wasserstoff/h2index/>
- [46] E-Bridge, „E-Bridge-H2-Index ‚HydexPLUS‘ wird Leitindex in den Klimaschutzverträgen der Bundesregierung – E-Bridge“. Zugegriffen: 3. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://e-bridge.de/portfolio-items/e-bridge-h2-index-hydexplus-wird-leitindex-in-den-klimaschutzvertraegen-der-bundesregierung/>
- [47] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Richtlinie zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in der Industrie durch Klimaschutzverträge“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.klimaschutzvertraege.info/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/ewbpublications/547f289f-6150-11ef-bacd-a0369fe1b6c9/live/document/240311_F%C3%B6derrichtlinie_Klimaschutzvertr%C3%A4ge_vf.pdf
- [48] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Habeck überreicht Klimaschutzverträge“. Zugegriffen: 30. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.klimaschutzvertraege.info/news/habeck_ueberreicht_klimaschutzvertraege
- [49] T. Bollerhey *u. a.*, „The Market Ramp-Up of Renewable Hydrogen and its Derivatives - the Role of H2Global“, Juni 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wirtschaftstheorie.rw.fau.de/files/2023/06/The-Market-Ramp-Up-of-Renewable-Hydrogen-and-its-Derivatives-the-Role-of-H2Global.pdf>
- [50] European Commission, „State Aid SA.108511, SA.110056 - Germany and the Netherlands H2Global Scheme - 2nd Funding Window“. 18. Dezember 2024. Zugegriffen: 3. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/20257/SA_108511_143.pdf
- [51] Hintco, „2nd H2Global Auction Round - Information about the tender design and process“. Februar 2025. Zugegriffen: 3. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hintco.eu/download-registry>
- [52] *Richtlinie 2003/87/EG*. 2024. Zugegriffen: 25. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A02003L0087-20240301>

- [53] Umweltbundesamt, „EU-Emissionshandel: Anpassungsbedarf des Caps als Reaktion auf externe Schocks und unerwartete Entwicklungen“, 17/2012, 2012. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4378.pdf>
- [54] F. Kuhlmeiy, „Einnahmen aus dem Emissionshandel erneut auf Rekordniveau“, Umweltbundesamt. Zugegriffen: 21. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/einnahmen-aus-dem-emissionshandel-erneut-auf>
- [55] Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) und Umweltbundesamt, „Nationalen Emissionshandel verstehen“. Zugegriffen: 17. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dehst.de/DE/Themen/nEHS/nEHS-verstehen/nehs-verstehen_artikel.html?nn=284536#doc284546bodyText3
- [56] Umweltbundesamt, „Einnahmen aus dem Emissionshandel erneut auf Rekordniveau“. Zugegriffen: 4. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/einnahmen-aus-dem-emissionshandel-erneut-auf>
- [57] Deutscher Bundestag, „Gesetz zur Anpassung des Treibhausgas-Emissionshandelsgesetzes an die Änderung der Richtlinie 2003/87/EG (TEHG-Europarechtsanpassungsgesetz 2024)“. Zugegriffen: 19. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://dip.bundestag.de/vorgang/gesetz-zur-anpassung-des-treibhausgas-emissionshandelsgesetzes-an-die-%C3%A4nderung-der/316398>
- [58] *Verordnung (EU) 2023/956*. 2023. Zugegriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02023R0956-20230516>
- [59] *Durchführungsverordnung (EU) 2023/1773*. 2023. Zugegriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1773>
- [60] European Commission, „COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS The Clean Industrial Deal: A joint roadmap for competitiveness and decarbonisation“, Brüssel, Communication COM(2025) 85 final, Feb. 2025. Zugegriffen: 20. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://commission.europa.eu/document/download/9db1c5c8-9e82-467b-ab6a-905feeb4b6b0_en?filename=Communication%20-%20Clean%20Industrial%20Deal_en.pdf
- [61] European Commission, „Draft Delegated Act on Low Carbon Fuels“, European Commission - Have your say. Zugegriffen: 16. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14303-Methodology-to-determine-the-greenhouse-gas-GHG-emission-savings-of-low-carbon-fuels_en
- [62] *Directive (EU) 2024/1788*. 2024. Zugegriffen: 3. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401788

- [63] *Regulation (EU) 2020/852*. 2020. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj>
- [64] *Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2486*. 2023. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/2486/oj/eng
- [65] *Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2485*. 2023. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/2485/oj/eng
- [66] *Commission Delegated Regulation (EU) 2021/2139*. 2021. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2021/2139/oj/eng
- [67] European Commission, „Commission Staff Working Document Accompanying the document Commission Delegated Regulation (EU) supplementing Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council by establishing the technical screening criteria for determining the conditions under which an economic activity qualifies as contributing substantially to the sustainable use and protection of water and marine resources, to the transition to a circular economy, to pollution prevention and control or to the protection and restoration of biodiversity and ecosystems and for determining whether that economic activity causes no significant harm to any of the other environmental objectives and amending Delegated Regulation (EU) 2021/2178 as regards specific public disclosures for those economic activities and the Commission Delegated Regulation (EU) amending Delegated Regulation (EU) 2021/2139 by establishing additional technical screening criteria for determining the conditions under which certain economic activities qualify as contributing substantially to climate change mitigation or climate change adaptation and for determining whether those activities cause no significant harm to any of the other environmental objectives“. 2023. Zugegriffen: 16. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023SC0239>
- [68] M. Kuhn und P. Koop, „Standardizing hydrogen certification: Enhance traceability, transparency, and market access“, H2Global Stiftung, Hydrogen Europe, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2023/09/H2Global-Stiftung-Policy-Brief-05_2023-EN.pdf
- [69] T. Bollerhey, „H2Global’s primary auction results“, gehalten auf der H2Global pilot auction results explained, Leipzig, 24. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://m.youtube.com/watch?feature=shared&v=JqHefd5lmQ8>
- [70] European Commission, „Innovation Fund IF24 Auction Terms and Conditions“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://climate.ec.europa.eu/document/download/b996825e-cd36-44c1-895d-a780062f626d_en?file-name=2024%2009%2025%20Final%20TC_2nd%20Round%20RFNBO%20H2_IF_TCforPUBLICATION_Clean.pdf
- [71] European Commission, „State Aid SA.109550 (2023/N) – Germany European Hydrogen Bank Auctions-as-a-Service 2023“, C(2024) 2090 final, 2024. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202417/SA_109550_B011068F-0100-CB1F-898A-BB15A85366F6_84_1.pdf

- [72] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), „Europäische Kommission genehmigt 41 Wasserstoff-Großprojekte – Rückenwind aus Brüssel für vier erste Projekte aus Deutschland“, [bmwk.de](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/07/20220715-europaeische-kommission-genehmigt-41-wasserstoff-grossprojekte.html). Zugegriffen: 19. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/07/20220715-europaeische-kommission-genehmigt-41-wasserstoff-grossprojekte.html>
- [73] Energienetzwerk Landkreis Meißen, „Schmiedewerke Gröditz GmbH bekommen Klimaschutzvertrag überreicht“, Green Hydrogen. Zugegriffen: 24. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.energie-kreis-meissen.de/index.php?ModID=7&FID=3837.94.1&object=tx%2C3837.5.1>
- [74] tesa, „Nachhaltigere Produktion: tesa setzt auf grünen Wasserstoff für eine klimaneutrale Zukunft“. Zugegriffen: 24. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tesa.com/de-de/ueber-uns/press-insights/presse/nachhaltigere-produktion-tesa-setzt-auf-gruenen-wasserstoff-fuer-eine-klimaneutrale-zukunft.html>
- [75] Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Bauen und Digitalisierung, „Glencore Nordenham erhält rund 360 Millionen Euro im Rahmen des Bundesförderprogramms ‚Klimaschutzverträge‘“. Zugegriffen: 30. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.mw.niedersachsen.de/startseite/uber_uns/presse/presseinformationen/glencore-nordenham-erhalt-rund-360-millionen-euro-im-rahmen-des-bundesforderprogramms-klimaschutzvertraege-236450.html
- [76] Janinhoff GmbH & Co KG - Klinkermanufaktur, „Aus großer Kraft folgt große Verantwortung“. Zugegriffen: 6. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.linkedin.com/posts/janinhoff-gmbh-co-kg_janinhoff-allesandereist-nurfassade-wasserstoff-activity-7267062065473753089-sMrc/?originalSubdomain=de
- [77] Osthessen News, „Papierfabrik Jass soll Ankerkunde fürs Wasserstoff-Kernnetz der Region werden“. Zugegriffen: 6. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://osthessen-news.de/n11767957/papierfabrik-jass-soll-ankerkunde-fuers-wasserstoff-kernnetz-der-region-werden.html>
- [78] European Parliament, „LEGISLATIVE TRAIN 1A EUROPEAN GREEN DEAL“. 20. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-eu-hydrogen-bank?sid=8401>
- [79] European Commission, „IF23 Auction for renewable hydrogen production“. Zugegriffen: 29. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/calls-proposals/if23-auction-renewable-hydrogen-production_en
- [80] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, „Habeck und Neubaur: Förderzusage für 2-Milliarden- Euro für größtes Dekarbonisierungsprojekt in Deutschland“. Zugegriffen: 4. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/07/20230726-habeck-neubaur-2-milliarden-euro-foerderbescheid-fuer-dekarbonisierungsprojekt-in-deutschland.html>

- [81] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „EU-Kommission gibt den Weg frei für die Förderung von 24 deutschen IPCEI Wasserstoffprojekten“. Zugegriffen: 4. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/02/20240215-eu-kommission-gibt-den-weg-frei-fur-die-forderung-von-24-deutschen-ipcei-wasserstoffprojekten.html>
- [82] F. Fabian, „CO2-freier Wasserstoff: BASF erhält Förderzusage für 54 Megawatt-Wasserelektrolyse“, BASF. Zugegriffen: 4. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.basf.com/basf/www/global/de/media/news-releases/2023/11/p-23-367>
- [83] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), „BMDV und BMWi bringen 62 Wasserstoff-Großprojekte auf den Weg“. Zugegriffen: 4. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/62-wasserstoff-grossprojekte.html>
- [84] European Commission, „State Aid SA.103774 (2022/N) – Germany Project Hy4Chem-El - BASF“, European Commission, Brussels, C(2022) 7124 fina, Okt. 2022. Zugegriffen: 21. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202449/SA_103774_62.pdf
- [85] European Commission, „State aid: Commission approves German €550 million direct grant and conditional payment mechanism of up to €1.45 billion to support ThyssenKrupp Steel Europe in decarbonising its steel production and accelerating renewable hydrogen uptake“. 20. Juli 2023. Zugegriffen: 21. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_3928
- [86] European Commission, „State Aid SA.104880 (2024/N) – Germany “Förderprogramm Klimaschutzverträge” – Climate Protection Contracts scheme – RRF“. 16. Februar 2024. Zugegriffen: 30. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202446/SA_104880_359.pdf
- [87] European Commission, „State Aid SA.62619 (2021/N) – Germany H2Global measure for the market ramp-up of green hydrogen and its derivatives in Europe“. 20. Dezember 2021. Zugegriffen: 30. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202248/SA_62619_200A9F84-0800-C037-9802-C687A31844E1_56_1.pdf
- [88] Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie und Bundesministerium Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, „IPCEI Hydrogen: Einladung zur Abgabe detaillierter Projektbeschreibungen“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:1a21b5c4-5a7d-481b-a82e-6c0a7f616a56/ipcei_einladung_hydrogen.pdf&ved=2ahUKEwIU6LK26fyKAX-Wnhv0HHelfKE4QFnoECBcQAQ&usq=A0vVaw2x5R2LaS6ueAKxdRZMLBsq
- [89] EGEN, „European Hydrogen Bank Final Terms & Conditions“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.egen.green/wp-content/uploads/2023/09/European-Hydrogen-Bank_TCs.pdf

- [90] Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) und Umweltbundesamt, „Leitfaden: Anwendungsbereich sowie Überwachung und Berichterstattung von CO₂-Emissionen im nEHS (2023-2030)“, Dez. 2024. Zugriffen: 19. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/nehs/nehs-leitfaden-monitoring-2023-2030.html>
- [91] REDcert, „Systemdokumente RedcertEU“, REDcert Systeme. Zugriffen: 21. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.redcert.org/redcert-systeme/systemdokumente.html>
- [92] European Commission, „Voluntary schemes“. Zugriffen: 19. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bio-energy/voluntary-schemes_en
- [93] *Brennstoffemissionshandelsgesetz*. 2025. Zugriffen: 20. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/behg/BEHG.pdf>
- [94] European Commission, „Competitive bidding“. Zugriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/competitive-bidding_en
- [95] European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA), „Innovation Fund fixed premium auction call 2024 for RFNBO Hydrogen“. 3. Dezember 2024. Zugriffen: 19. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/innovfund/wp-call/2024/call-fiche_innovfund-2024-auc-rfnbo-hydrogen_en.pdf
- [96] Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) und Umweltbundesamt, „Leitfaden zur Erstellung von Überwachungsplänen und Emissionsberichten für stationäre Anlagen - 4. Handelsperiode (2021–2030) des europäischen Emissionshandels“, Jan. 2025. Zugriffen: 19. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/stationaere_anlagen/2021-2030/Ueberwachungsplan-Emissionsbericht_Leitfaden.html
- [97] *Delegierte Verordnung (EU) 2019/1122*. 2023. Zugriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:02019R1122-20250101&qid=1740586415923>
- [98] *Brennstoffemissionshandelsverordnung*. 2023. Zugriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/behv/BEHV.pdf>
- [99] Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt), „Information zu den Vollzugsverfahren Überwachungsplan/Emissionsgenehmigung und Emissionsberichtberichterstattung 2024 im EU-ETS 2“, Information zu den Vollzugsverfahren Überwachungsplan/Emissionsgenehmigung und Emissionsberichtberichterstattung 2024 im EU-ETS 2. Zugriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dehst.de/SharedDocs/Newsletter/DE/2025/07-01-25-nehs-eu-ets-2-emissionsberichte-01.html>
- [100] *Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz*. 2025. Zugriffen: 25. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/tehg_2025/TEHG.pdf

- [101] Nationaler Wasserstoffrat (NWR), „Stellungnahme: Umsetzung RED III in nationales Recht (RFNBO-Quote für die Industrie)“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2024/2024-03-01_NWR-Stellungnahme_Umsetzung_RED_III_Industriequote.pdf
- [102] S. Mohr, „Mindestanteile für grünen Wasserstoff in der Industrie: Die Folgen der RED III“, FfE. Zugegriffen: 13. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/mindestanteile-fuer-gruenen-wasserstoff-in-der-industrie-die-folgen-der-red-iii/>
- [103] Nationaler Wasserstoffrat (NWR), „Zertifizierungskriterien für CO₂-armen Wasserstoff“, NWR, Stellungnahme, Nov. 2024. Zugegriffen: 3. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2024/2024-11-22_NWR-Stellungnahme_CO2-armer-Wasserstoff.pdf
- [104] Expertenrat für Klimafragen (ERK), „Zweijahresgutachten 2024 - Gutachten zu bisherigen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsgesamtmenen und Jahresemissionsmengen sowie Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz)“, Zweijahresgutachten, 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2025/02/ERK2025_Zweijahresgutachten-2024.pdf
- [105] Europäischer Rechnungshof, „Die Industriepolitik der EU im Bereich erneuerbarer Wasserstoff: Rechtsrahmen weitgehend angenommen – Zeit für einen Realitätscheck“, Sonderbericht, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2024-11/SR-2024-11_DE.pdf
- [106] S. Geitmann, „Beschleunigter Ausbau erneuerbarer Energien“, hydrogeit.de. Zugegriffen: 19. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://hydrogeit.de/blog/2024/02/05/beschleunigter-ausbau-erneuerbarer-energien/>
- [107] Statistisches Bundesamt, „Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Beschäftigtengrößenklassen, Wirtschaftszweige (WZ2008 2-/3-/4-Steller)“. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online>
- [108] L. Vogel, M. Neumann, und S. Linz, „Berechnung und Entwicklung des neuen Produktionsindex für energieintensive Industriezweige“, Statistisches Bundesamt, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2023/02/produktionsindex-energieintensive-industriezweige-022023.pdf?__blob=publicationFile
- [109] enertrag, „Jahresabschluss zum 31. März 2024“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://enertrag.com/de/media/downloads/enertrag_se_-_jahresabschluss_und_lagebericht_gj_2023-2024
- [110] Gasnetz Hamburg, „Bericht für das Geschäftsjahr vom 1. Januar bis 31. Dezember 2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://filehub.admiralcloud.com/v5/deliver-File/7416bc37-0afb-491a-aedb-32baa17cec5b?download=true>

- [111] Thyssengas, „Jahresabschluss zum 31. Dezember 2023 und Lagebericht für das Geschäftsjahr vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/53/53/451238/TG-Testat-EA-31-12-2023.pdf>
- [112] Creos Deutschland, „Geschäftsbericht 2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.creos-net.de/fileadmin/dokumente/Creos_Deutschland_Gasnetz/Unternehmen/pdf/Gesch%C3%A4ftsbericht_Creos_Deutschland_2023.pdf
- [113] H2Apex Group, „Annual Report 2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://ir.h2apex.com/fileadmin/downloads/ir/gesch_bericht/H2APEX_Group_SCA_-_Annual_Account_2023.pdf
- [114] Air Liquide, „Über uns“. Zugegriffen: 14. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.airliquide.com/ueber-uns>
- [115] BP Europa, „Lagebericht und Jahresabschluss für das Geschäftsjahr vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2023 sowie Bestätigungsvermerk des unabhängigen Abschlussprüfers“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/20/d6/389475/BP-ESE-Jahresabschlussbericht-2023.pdf>
- [116] Gasunie Deutschland, „Geschäftsbericht für das Geschäftsjahr vom 1. Januar 2022 bis zum 31. Dezember 2022“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/94/89/312144/GB-GUD-Transport-2022.pdf>
- [117] Open Grid Europe, „Geschäftsbericht 2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/e4/92/382333/2023_OGE_Geschaeftsbericht.pdf
- [118] Steag, „Konzernabschluss und zusammengefasster Lagebericht des Konzerns und der Gesellschaft 31. Dezember 2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/07/72/384973/Steag-GmbH_Jahresabschluss_2023.pdf
- [119] Nowega, „Jahresabschluss zum 31. Dezember 2023 und Lagebericht für das Geschäftsjahr vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/56/7d/372331/Nowega_Testat-JAP-2023_SIGNATURE_DEE00104865-1-1.pdf
- [120] Hydrogenious LOHC Technologies, „Jahresabschluss 2022“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/fc/a8/369314/Jahresabschluss_2022_HydrogeniousLOHC.pdf
- [121] Sunfire, „Jahresabschluss zum 31. Dezember 2022 und Lagebericht für das Geschäftsjahr vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2022“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/80/c7/318434/Sunfire-Jahresabschluss-2022.pdf>
- [122] Daimler Truck, „Geschäftsbericht 2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.daimlertruck.com/fileadmin/user_upload/dokumente/investoren/berichte/geschaeftsberichte/2023/daimler-truck-ir-geschaeftsbericht-2023-inkl-zusammengefasster-lagebericht-dth-ag.pdf

- [123] Bosch, „Crossroads: Geschäftsbericht 2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/c5/6a/383225/bosch-geschaeftsbericht-2023.pdf>
- [124] Airbus, „Airbus veröffentlicht Jahresergebnisse 2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2024-02/DE-Press-Release-Airbus-FY2023-Results.pdf>
- [125] BMW Group, „Jahresabschluss der BMW AG“, 2024.
- [126] Glencore Nordenham, „Willkommen bei Glencore Nordenham“. Zugegriffen: 14. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.glencore-nordenham.de/de/>
- [127] Papierfabrik Adolf Jass, „Konzernabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2021 bis zum 31.12.2021“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/start?8>
- [128] Georgsmarienhütte Holding, „Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2021 bis zum 31.12.2021“, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/start?2>
- [129] Ziegel- und Klinkerwerke Janinhoff, „Jahresabschluss zum 31. Dezember 2021“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/start?8>
- [130] EWE Netz, „Fakten & Zahlen über das Unternehmen“. Zugegriffen: 23. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ewe-netz.de/ueber-uns/ewe-netz/fakten-und-zahlen>
- [131] VNG Gasspeicher, „VNG Gasspeicher GmbH“. Zugegriffen: 23. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vng.de/de/vng-gasspeicher-gmbh>
- [132] RWE Gas Storage West, „Jahresabschluss für das Rumpfgeschäftsjahr vom 1. Juli 2020 bis zum 31.12.2020“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/start?8>
- [133] RWE Generation, „Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2021 bis zum 31.12.2021“, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/start?8>
- [134] EWE Gasspeicher GmbH, „Jahres- und Tätigkeitsabschluss nach EnWG zum Geschäftsjahr vom 01.01.2021 bis zum 31.12.2021“, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/start?8>
- [135] ONTRAS Gastransport, „Jahres- und Tätigkeitsabschluss nach EnWG zum Geschäftsjahr vom 01.01.2023 bis zum 31.12.2023“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/2f/ff/378772/JA2023_ONTRAS.pdf

Kontakt UTN

Prof. Dr. Veronika Grimm

Energy Systems and Market Design Lab

Dr.-Luise-Herzberg-Straße 4

90461 Nürnberg

E-Mail: veronika.grimm@utn.de

<https://www.utn.de/departments/department-liberal-arts-and-sciences/energy-systems-and-market-design-lab/>