

Beitrag aus der Forschung zur Wirtschaftspolitik

Markus Albuscheit, Florian Biniosek, Veronika Grimm*, Stefan Rahim, Timo Schneider, Dennis Strempler und Johannes Wirth

Im Dickicht der Wasserstoffförderung: wie komplexe Instrumente den Markthochlauf prägen

<https://doi.org/10.1515/pwp-2025-0017>

Zusammenfassung: Ohne den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft lässt sich Klimaneutralität nicht erreichen. In Deutschland und Europa ist daher eine Vielzahl an Förderinstrumenten geschaffen worden, die diesen Prozess unterstützen sollen. Die große Zahl einander überlappender Instrumente und die daraus entstehende Komplexität schaffen jedoch Zielkonflikte und begrenzte Investitionssicherheit, schreiben Markus Albuscheit, Florian Biniosek, Veronika Grimm, Stefan Rahim, Timo Schneider, Dennis Strempler und Johannes Wirth. Insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen könnte dies den Zugang zu Förderung erschweren. Die Analyse zeigt, dass eine stärkere Fokussierung notwendig ist. Zentrales Element für den Wasserstoffhochlauf ist der europäische Emissionshandel, der als Leitinstrument gestärkt und durch einen doppelseitigen Auktionsmechanismus für die gesamte EU mit Differenzkostendeckung für Wasserstoff und Wasserstoffderivate ergänzt werden sollte, flankiert durch ein Zertifizierungssystem für den CO₂-Fußabdruck und eine steuerliche Förderung von Forschung und Entwicklung.

Markus Albuscheit, Technische Universität Nürnberg (UTN), Energy Systems and Market Design Lab, Dr.-Luise-Herzberg-Straße 4, 90461 Nürnberg, Email: markus.albuscheit@utn.de

Florian Biniosek, Technische Universität Nürnberg (UTN), Energy Systems and Market Design Lab, Dr.-Luise-Herzberg-Straße 4, 90461 Nürnberg, Email: florian.biniosek@utn.de

***Kontaktperson: Veronika Grimm**, Technische Universität Nürnberg (UTN), Energy Systems and Market Design Lab, Dr.-Luise-Herzberg-Straße 4, 90461 Nürnberg, Email: veronika.grimm@utn.de

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

Timo Schneider, Technische Universität Nürnberg (UTN), Energy Systems and Market Design Lab, Dr.-Luise-Herzberg-Straße 4, 90461 Nürnberg, Email: timo.schneider@utn.de

Dennis Strempler, Technische Universität Nürnberg (UTN), Energy Systems and Market Design Lab, Dr.-Luise-Herzberg-Straße 4, 90461 Nürnberg, Email: dennis.strempler@utn.de

Johannes Wirth, Technische Universität Nürnberg (UTN), Energy Systems and Market Design Lab, Dr.-Luise-Herzberg-Straße 4, 90461 Nürnberg, Email: johannes.wirth@utn.de

Abstract: Climate neutrality cannot be achieved without the ramp-up of the hydrogen economy. In Germany and Europe, a large number of support instruments have therefore been created to support this process. However, the large number of overlapping instruments and the resulting complexity lead to conflicting objectives and limited investment security, as Markus Albuscheit, Florian Biniosek, Veronika Grimm, Stefan Rahim, Timo Schneider, Dennis Strempler und Johannes Wirth write. This could make access to funding more difficult, particularly for small and medium-sized enterprises. The analysis shows that a stronger focus is necessary. Key elements for the hydrogen ramp-up are the European emissions trading system, which should be strengthened as a key instrument and supplemented by an EU-wide, double-sided auction mechanism with coverage of cost differences for hydrogen and hydrogen derivatives, flanked by a certification system for the carbon footprint and tax incentives for research and development.

JEL-Klassifikation: L98, O38, Q42, Q48, Q58

Schlüsselwörter: Wasserstoff, Förderinstrumente, Regularien, H2Global, European Hydrogen Bank, Klimaschutzverträge, IPCEI Wasserstoff

1 Die Rolle von Wasserstoff in Deutschland und Europa

Wasserstoff und seine Derivate, insbesondere Ammoniak und Methanol, sind zentrale Elemente einer klimaneutralen Energieversorgung in Deutschland und essenziell für das Erreichen der europäischen Klimaziele. Neben ihrer Bedeutung für die Dekarbonisierung industrieller Prozesse kommt ihnen eine Schlüsselrolle in der langfristigen Energiespeicherung sowie im Schwerlastverkehr zu. Falls es nicht gelingt, klimafreundlichen Wasserstoff möglichst günstig und in ausreichender Menge bereitzustellen, wird es nicht möglich sein, die Produktionsprozesse beispiels-

weise in der Stahl- oder Chemieindustrie zu dekarbonisieren (Egerer et al. 2024). Dies könnte eine Abwanderung der Produktion zur Folge haben, die Europa strategisch schwächen und gleichzeitig zu global steigenden Treibhausgasemissionen beitragen würde (Grimm et al. 2024).

Die strategische Relevanz von Wasserstoff (H_2) für die Transformation des Energiesystems spiegelt sich in den politischen Zielen Deutschlands und der Europäischen Union (EU) wider: Gemäß der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung soll in Deutschland bis 2030 eine Elektrolysekapazität von mehr als 10 Gigawatt (GW) installiert werden (BMWK 2023b). Das ist ein ambitioniertes Ziel, von dem bisher erst 1 Prozent erreicht ist (IEA 2024b). Parallel dazu sieht die Erneuerbare-Energien-Richtlinie der Europäischen Union vor, dass mindestens 42 Prozent des industriellen Wasserstoffbedarfs durch „grünen“ beziehungsweise „erneuerbaren“ Wasserstoff und dessen Derivate (sogenannte Renewable fuels of non-biological origin, RFNBO) gedeckt werden müssen (Richtlinie (EU) 2023/2413).¹

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 Wissenschaftler und Institutionen mit einem Importanteil von 50–70 Prozent (BMWK 2023b, Husarek et al. 2021, Lux et al. 2022, NWR 2024b sowie Schmitz et al. 2024).

Um die ambitionierten Ziele des Wasserstoffhochlaufs zu erreichen, haben Europäische Kommission und Bundesregierung eine Vielzahl unterschiedlicher Förderinstrumente eingeführt. Diese verfolgen teils ergänzende, teils konkurrierende Zielsetzungen und tragen so zur Komplexität des bestehenden Rahmens bei.

In diesem Beitrag geben wir einen Überblick über die Gründe für ein Marktversagen, das staatliche Eingriffe notwendig erscheinen lässt, beschreiben die aktuelle Förder- und Regulierungslandschaft im Bereich Wasserstoff und ordnen zentrale Instrumente in das entstehende Gesamtbild ein, darunter das IPCEI-Wasserstoffprogramm, die Auktionen der European Hydrogen Bank (EHB), Klimaschutzverträge (KSV), H2Global, das EU Emissions Trading System (EU ETS), das nationale Emissionshandelssystem (nEHS) in Deutschland sowie relevante europäische Regulierungen. Der Beitrag gliedert sich wie folgt: In Abschnitt 2 analysieren wir relevante Gründe für ein Marktversagen, beschreiben die politischen Ziele und den Stand des Wasserstoffhochlaufs. In

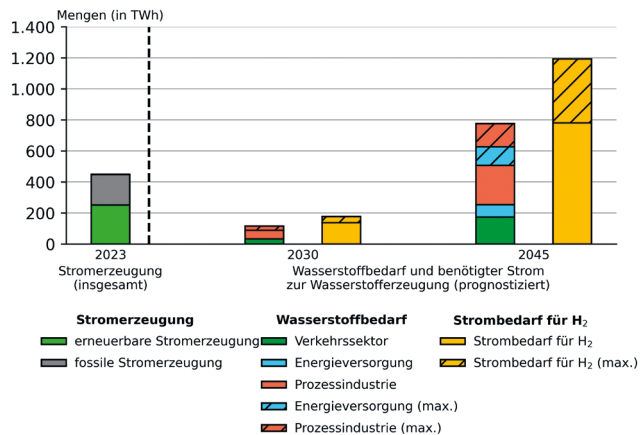


Abbildung 1: Wasserstoff- und resultierender Strombedarf für Deutschland bei Erzeugung mittels Elektrolyse

Anmerkung: Die Wärmeenergie ist nicht eingeschlossen; die Zahlen der Bundesregierung für den gesamten Wasserstoff- und Derivatebereich liegen nicht signifikant über den aufgeführten Zahlen; angenommene Elektrolyse-Effizienz: 65 Prozent.

Quelle: Grimm et al. 2024

Abschnitt 3 stellen wir die Förderlandschaft in Deutschland und Europa dar. In Abschnitt 4 bewerten wir diese kritisch und leiten Handlungsempfehlungen ab. Abschnitt 5 enthält eine abschließende Zusammenfassung der Erkenntnisse.

2 Status quo des Wasserstoffhochlaufs

Die aktuelle Entwicklung des Wasserstoffhochlaufs zeigt eine beträchtliche Diskrepanz zwischen den angestrebten Zielen und der bisherigen Umsetzung. Von den angestrebten 10 GW Elektrolysekapazität für 2030 wurden bisher erst für 1 GW finale Investitionsentscheidungen getroffen und lediglich knapp mehr als 100 Megawatt (MW) in Betrieb genommen (IEA 2024b und Sprenger et al. 2024). Auch wenn das geplante Wasserstoffkernnetz eine Importkapazität von 60 GW vorsieht (Sprenger et al. 2024), fehlen bislang nennenswerte Lieferverträge und Handelsbeziehungen mit internationalen Partnern für (außer-)europäische Importe. Odenweller und Ueckert (2025) zeigen, dass aktuell nur ein sehr geringer Anteil der internationalen Projektankündigungen in eine erfolgreiche Projektrealisierung überführt werden kann, wohingegen eine stark überwiegende Mehrheit in Verspätungen oder sogar Abbrüche mündet.

Eine positive Ausnahme bildet der im Rahmen des Förderinstrumentes H2Global jüngst abgeschlossene Liefervertrag mit dem ägyptischen Unternehmen Fertiglobe über

¹ Im Anhang findet sich ein Abkürzungsverzeichnis.

die Lieferung von maximal 397 Kilotonnen (kt) Ammoniak bis 2033 zum Hafen von Rotterdam (Hintco 2024). Darüber hinaus bestehen bisher nur Absichtserklärungen, beispielsweise die Partnerschaft zwischen ACWA Power (Saudi-Arabien) und dem deutschen Energiekonzern SEFE zur Lieferung von 200.000 Tonnen (t) grünem Wasserstoff pro Jahr, was einer Energie von 6,67 Terawattstunden (TWh) entspricht (SEFE 2025). Allerdings stoßen auch diese Absichtserklärungen bei der Umsetzung immer wieder auf Schwierigkeiten. So konnte die im Jahr 2022 unterzeichnete Absichtserklärung zwischen Equinor (Norwegen) und RWE (Deutschland) zur Entwicklung einer Lieferkette für blauen Wasserstoff nicht in eine konkrete Investitionsentscheidung überführt werden. Equinor betonte, ohne langfristige Verträge und klare Märkte nicht investieren zu können, während RWE erklärte, das Projekt sei ohne staatliche Unterstützung von Norwegen und Deutschland nicht realisierbar (Handelsblatt 2024 und Stahl 2024).

Diese Entwicklung dürfte auch mit der gestiegenen Unsicherheit über die künftigen Produktionskosten von Wasserstoff zusammenhängen. Prognosen wie jene der Internationalen Energieagentur (IEA) für das Jahr 2030 (siehe Abbildung 2) ergaben über die zurückliegenden Jahre hinweg eine immer weniger optimistische Einschätzung und eine immer höhere Unsicherheit hinsichtlich der künftigen Produktionskosten. Diese Entwicklung hemmt die Investitionsbereitschaft und das Tempo der Transformation hin zum großskaligen Einsatz von Wasserstoff.

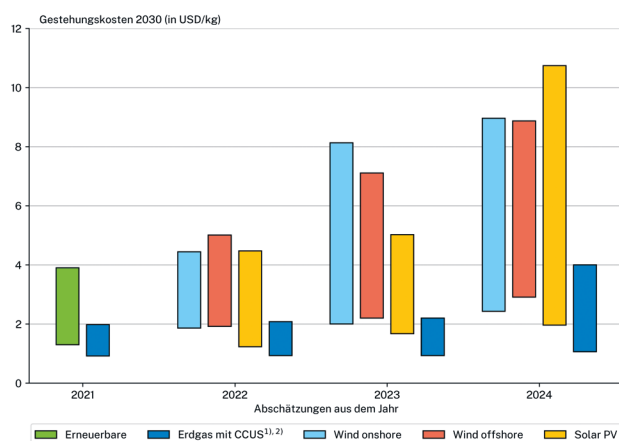


Abbildung 2: Entwicklung der im Net-zero-Szenario der IEA prognostizierten Wasserstoffgestehungskosten für das Jahr 2030

Anmerkung: Die Bandbreiten der Kosten geben regionale Unterschiede in den (Investitions-)Kosten und in der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien an. ¹⁾ CCUS: Carbon capture, utilisation and storage. ²⁾ Angenommene Erdgaspreise für 2030 sind 3,5–27,6 Dollar/MWh (2023) und 3,5–51,7 Dollar/MWh (2024).

Quelle: eigene Abbildung basierend auf IEA 2021, 2022, 2023, 2024a

Die skizzierte Diskrepanz zwischen den ambitionierten Zielvorgaben und der tatsächlichen Entwicklung sowie die volatilen Preisprognosen sind auf eine Vielzahl von Faktoren zurückzuführen. Dabei gibt es insbesondere vier zentrale Gründe für Marktversagen im Bereich der Klimaschutztechnologien (vgl. Europäische Kommission 2022d, S. 23 f.):

1. **Negative externe Effekte:** Fossile Energieträger verursachen Umweltkosten, speziell durch Emissionen von Treibhausgas (THG), deren soziale Kosten durch die Bepreisung von CO₂, beispielsweise im Rahmen des Emissionshandels, bisher nicht vollständig berücksichtigt werden (Rennert et al. 2022). Insbesondere besteht noch immer große Unsicherheit, ob es in der EU gelingt, den Emissionshandel ausreichend zu stärken. Diese bisher unvollständige Internalisierung der sozialen Kosten der Emissionen führt dazu, dass CO₂-arme Energieträger wie erneuerbarer und kohlenstoffarmer Wasserstoff im Vergleich mit ihren fossilen Alternativen nicht wettbewerbsfähig sind. Um die externen Effekte zu internalisieren und Anreize für emissionsarme Innovationen zu schaffen, muss daher entweder der Emissionshandel gestärkt werden (Stern 2007 und EEM 2024, S. 339 ff.) oder es bedarf komplementärer Instrumente wie einer Steuer zur Internalisierung des externen Effekts (Pigou 1920) beziehungsweise Subventionen zur Deckung verbleibender Differenzkosten.
2. **Positive externe Effekte:** Investitionen in Forschung und Entwicklung (F&E) erzeugen Spillover-Effekte, also positive Nebenwirkungen, von denen auch andere Marktteilnehmer profitieren. Da diese positiven Effekte bei privatwirtschaftlichen Investitionen nicht berücksichtigt werden, kommt es aus volkswirtschaftlicher Perspektive zu Unterinvestitionen. Wie Arrow (1962) herausgearbeitet hat, weist Wissen in vielerlei Hinsicht Eigenschaften eines öffentlichen Gutes auf. So ist die Nutzung nicht rivalisierend und der Ausschluss von der Nutzung aufwendig. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist es demnach sinnvoll, den technologischen Wandel zu unterstützen (Acemoglu et al. 2012 und Romer 1990), beispielsweise durch eine (steuerliche) Förderung von Investitionen in F&E.
3. **Informationsasymmetrien:** Unvollständige oder ungleich verteilte Informationen über Technologien, Märkte oder Produkte, insbesondere bei geringem Reifegrad und begrenzter Verfügbarkeit wie im Fall von Wasserstoff, erschweren Investitionsentscheidungen und hemmen die Marktentwicklung. So können fehlende oder unglaubliche Informationen, beispielsweise über den CO₂-Fußabdruck von Wasserstoff, zu einer adversen Selektion (im Sinne von Akerlof 1970)

führen. Das heißt, es könnten aufgrund der fehlenden Unterscheidbarkeit klimafreundliche, aber teurere Wasserstofflösungen durch billigere fossile Alternativen verdrängt werden. Zudem können sich Anreize zu opportunistischem Verhalten im Sinne eines Moral hazard (vgl. Arrow 1963 und Stiglitz 2000) ergeben, beispielsweise wenn Unternehmen Investitionsrisiken auf den Staat übertragen. Zur Reduktion dieser Informationsasymmetrien bieten sich Zertifizierungen, technologische Standards oder glaubwürdige Referenzprojekte als sogenannte Signaling-Mechanismen an (Spence 1973 und Stiglitz 2000). Außerdem könnten Screening-Instrumente (Stiglitz 1975, 2000) wie Prüfprozesse und Anreizsysteme sicherstellen, dass nur tragfähige Wasserstoffprojekte gefördert werden.

4. **Koordinationsversagen:** Koordinationsversagen liegt dann vor, wenn Investitionen ausbleiben, weil deren Erfolg von parallelen Handlungen anderer Akteure abhängt, aber eine Abstimmung mit zentralen Akteuren nicht gelingt (Hausmann und Rodrik 2003 sowie Olson 1971). Selbst wenn eine koordinierte Lösung für alle Beteiligten vorteilhaft wäre, kann die Abhängigkeit vom Zusammenspiel aller notwendigen Akteure also zu Investitionszurückhaltung führen (Kremer 1993). In der Folge könnten sich ineffiziente Technologien dauerhaft festsetzen (Lock-in) (Arthur 1989). In der Wasserstoffwirtschaft manifestiert sich dieses Marktversagen im sogenannten Henne-Ei-Problem: Produktion, Infrastruktur und Nachfrage müssen gleichzeitig aufgebaut werden, doch jeder Akteur zögert, solange unklar ist, ob ausreichende Investitionsanreize für alle Glieder der Wertschöpfungskette gegeben sind, so dass die anderen mitziehen. Ohne erfolgreiche Koordination lohnen sich die Investitionen oft trotz spezifischer Förderprogramme entlang der gesamten Wertschöpfungskette nicht. Rodrik (2004) argumentiert deshalb, dass eine aktive Industriepolitik notwendig ist, um koordinierte Marktdynamiken in Gang zu setzen.

Die vier beschriebenen strukturellen Barrieren behindern private Investitionen. Diese sind jedoch notwendig, um technische Herausforderungen durch F&E zu bewältigen, die hohen Investitionskosten der Wasserstofftechnologien mittels Lern- und Skaleneffekten langfristig zu reduzieren und das Henne-Ei-Problem zu überwinden. Die beschriebenen Erscheinungen können somit eine staatliche Regulierung und Unterstützung, beispielsweise im Rahmen der EU-Beihilferegelungen für Klima, Umweltschutz und Energie, prinzipiell rechtfertigen.

Gemäß dem Tinbergen-Prinzip sollten unterschiedliche Ursachen für ein Marktversagen jeweils mit spezifischen

Instrumenten angegangen werden (Tinbergen 1952). Eine übermäßige Anzahl an Maßnahmen ist jedoch womöglich ebenfalls problematisch, da dies zu Koordinationsproblemen führen kann oder die Instrumente einander neutralisieren könnten. Außerdem kann erhöhte Komplexität zu Fehlsteuerungen oder Vertrauensverlusten führen und die Verwaltung in Behörden und Unternehmen unnötig belasten. Redundanz und Ineffizienz im Instrumenten-Mix sind also zu vermeiden.

Idealerweise sollten diese Herausforderungen mit bereits bestehenden Fördermechanismen angegangen werden. Die bisher etablierte Förderlandschaft erzielt jedoch keine ausreichende Wirkung. Somit stellt sich die Frage, woran die Instrumente aktuell scheitern und wie diese optimiert werden können, um bessere Ergebnisse zu erzielen. Werden bestimmte Gründe für ein Marktversagen gar nicht aufgegriffen oder sind es gar zu viele Instrumente, die einander in ihrer Wirkung neutralisieren? In welchen Fällen sind Instrumente nötig, die spezifisch auf Wasserstoff und seine Derivate zielen, und wann ist es vorteilhaft, auf etablierte Mechanismen der CO₂-Bepreisung zu setzen? Eine Beantwortung dieser Fragen ist entscheidend, um die zeitnahe Bereitstellung von erneuerbarem und kohlenstoffarmem Wasserstoff in Deutschland sicherzustellen, den Wasserstoffhochlauf zu beschleunigen und den Markt langfristig zu stabilisieren.

3 Analyse der Förderlandschaft

3.1 Überblick über die Förderinstrumente

Zahlreiche Förderinstrumente auf europäischer und nationaler Ebene unterstützen den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft. Sie greifen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, von der Erzeugung über Transport und Speicherung bis hin zum Verbrauch, und sollen prinzipiell an den unterschiedlichen Gründen für ein Marktversagen ansetzen. Abbildung 3 zeigt einen Überblick über die wichtigsten Förderinstrumente, eingeordnet entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette. Dazu zählen:

- **IPCEI Wasserstoff:** ein EU-weites Programm, das einen beihilferechtlichen Rahmen für Wasserstoffprojekte von „gemeinsamem europäischen Interesse“ für Investitionszuschüsse durch die EU-Mitgliedstaaten schafft (Europäische Kommission 2021a),
- **EHB-Auktionen:** ein auktionsbasiertes Finanzierungsinstrument der Europäischen Kommission, das Produzenten von erneuerbarem Wasserstoff im Europäischen Wirtschaftsraum mit festen Zuschlägen fördert (CINEA 2024),

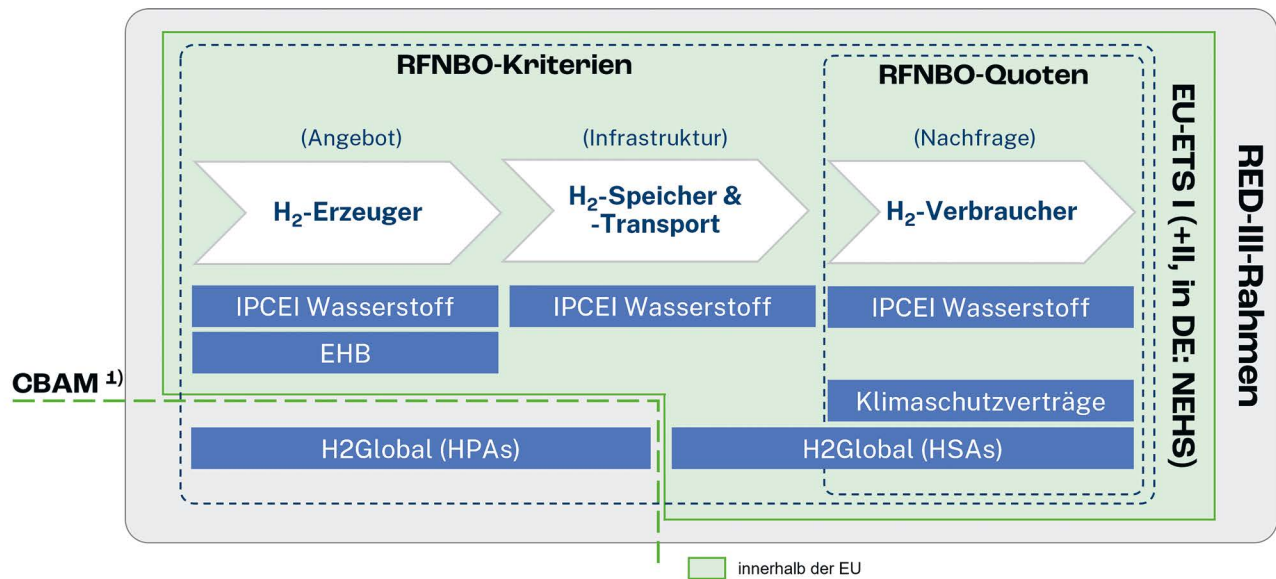


Abbildung 3: Darstellung der Instrumente entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette

Anmerkung: 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.

Quelle: eigene Abbildung im Rahmen des Projekts IMA-GH2, basierend auf Bollerhey 2024, BMWi und BMVI 2021, BMWK 2024a, DEHSt und Umweltbundesamt 2024b, Richtlinie (EU) 2023/2413, Durchführungsverordnung (EU) 2023/1773, Verordnung (EU) 2023/956, Europäische Kommission 2024e, f sowie Kuhn und Koop 2023

- **KSV:** „Carbon Contracts for Difference“ für industrielle Verbraucher in Deutschland. Diese fördern CO₂-arme Technologien, indem sie die Differenz zwischen CO₂-Vermeidungskosten und effektivem CO₂-Preis ausgleichen (BMWK 2024a),
- **H2Global:** ein doppelseitiges Auktionsmodell zur Förderung von Wasserstoffimporten nach Deutschland und Europa. Es gleicht die Differenz zwischen dem Preis des Erzeugers und der Zahlungsbereitschaft des Verbrauchers durch die Auktionierung von Abnahmeverträgen (Hydrogen Purchase Agreements, HPAs) und Lieferverträgen (Hydrogen Supply Agreements, HSAs) aus (vgl. Bollerhey et al. 2023),
- **Emissionshandelssysteme:** setzen Anreize zur Emissionsreduktion durch CO₂-Bepreisung und handelbare Emissionszertifikate. Auf europäischer Ebene sind sie im EU ETS I und seiner geplanten Erweiterung (EU ETS II) verwirklicht. In Deutschland läuft für die Sektoren Mobilität und Wärme bereits das nEHS, das im ETS II aufgehen soll (DEHSt und Umweltbundesamt 2024b, d). Ergänzend soll der CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) eine vergleichbare CO₂-Bepreisung für Importe sicherstellen und gleiche Wettbewerbsbedingungen schaffen (Verordnung (EU) 2023/956), was aber bisher nicht zufriedenstellend gelingt (Grimm und Reuter 2025), und
- **regulatorische Vorgaben:** in der EU-Richtlinie für erneuerbare Energien (Renewable Energy Directive, RED) verankerte Anforderungen, die verbindliche Erneuerbarkeitskriterien, Emissionsobergrenzen und Quoten für den Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff und seinen Derivaten (RFNBO) definieren (Richtlinie (EU) 2018/2001, 2023/2413, Delegierte Verordnung (EU) 2023/1184, 2023/1185).

In Abbildung 3 wird deutlich, dass sich IPCEI als Instrument auf die gesamte Wertschöpfungskette richtet, wohingegen sich die EHB auf Erzeuger und die KSV auf Verbraucher fokussieren. H2Global involviert als zweiseitiges Instrument 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 beziehungsweise ab Zielort (Bollerhey et al. 2023). Die Emissionshandelssysteme setzen übergeordnet in der europäischen beziehungsweise nationalen Wertschöpfungskette an. Regulierungen wie die Kriterien und Quoten für RFNBO schaffen zusätzliche Anforderungen für die gesamte Wertschöpfungskette. Die Förderinstrumente interagieren also auf allen Wertschöpfungsstufen mit den Emissionshandelssystemen sowie den RED-III-Kriterien und -Quoten.

3.2 Ziele und Wirkungsweisen der Förderinstrumente

In diesem Abschnitt stellen wir die wichtigsten Fördermechanismen ausführlicher vor, gegliedert in ausgaben- und einnahmewirksame Maßnahmen sowie regulatorische Vorgaben je nach ihrer Wirkung auf den Bundes- beziehungsweise EU-Haushalt. Tabelle 1 bietet eine kompakte Übersicht über die betrachteten Instrumente und verdeutlicht deren Vielfalt hinsichtlich Wirkungsebene, Typologie, Zielen und rechtlicher Grundlage.

3.2.1 Ausgabenwirksame Maßnahmen

Die klassischen Förderinstrumente in Form von ausgabenwirksamen Maßnahmen, die als direkte Subventionen für Unternehmen konzipiert sind, umfassen im Wasserstoffsektor insbesondere IPCEI Wasserstoff, die Auktionen der EHB, die KSV sowie die Auktionen im Rahmen der Initiative H2Global.

Das **IPCEI-Wasserstoff**-Programm ermöglicht es den EU-Mitgliedstaaten, im Rahmen des europäischen Beihilferechts Projekte zu fördern, die einen bedeutenden Beitrag zu den strategischen Zielen der EU leisten, ohne staatliche Unterstützung jedoch wirtschaftlich nicht realisierbar wären (Europäische Kommission 2021a).

Dabei geht es insbesondere um die Entwicklung und Nutzung von Wasserstofftechnologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette mit dem Ziel, das Koordinationsversagen zu überwinden und positive externe Effekte zu internalisieren. Allgemeiner werden Beiträge zur Erfüllung der europäischen Energie- und Klimaziele sowie zur Schaffung nachhaltiger Industriearbeitsplätze als Ziele des Programms hervorgehoben (BMW und BMVI 2021, EU20, 2020 sowie Europäische Kommission 2021a).

Neben den Subventionen sind auch kollaborative Maßnahmen wie „Match-Making“-Prozesse, die Zusammenarbeit zwischen einzelnen Projektvorhaben und die Gestaltung von Verbundprojekten vorgesehen. Das soll positive Spillover-Effekte in Europa (zum Beispiel durch Wissensweitergabe) auslösen, wovon auch nichtgeförderte Marktteilnehmer profitieren sollen (Europäische Kommission 2021a, 2022b, 2025d).

Die Fördermittel stammen aus den nationalen Haushalten der Mitgliedstaaten, wobei diese auch teilweise EU-Mittel nutzen, zum Beispiel über das kreditfinanzierte Programm Next Generation EU (BMF 2021 und BMWK 2024b). Für die beihilferechtliche Prüfung der EU-Kommission wurden die ausgewählten Projekte in vier Wellen (Hy2Tech, Hy2Use, Hy2Infra, Hy2Move) aufgeteilt (Europäische Kommission 2022a, b, 2024c, d).

Die Auktionen des Innovation Fund (IF) im Rahmen der **EHB** sind eine Initiative der Europäischen Kommission mit dem Ziel, einen heimischen Markt für erneuerbaren Wasserstoff in der EU einzurichten sowie Transparenz und Koordination in der Wasserstoffwertschöpfungskette zu verbessern (Europäische Kommission 2023a, S. 2 f.). Ebenso sollen Offenlegungspflichten die öffentliche Wissensweitergabe und die damit verbundenen positiven Effekte auf die Entwicklung des Wasserstoffhochlaufes unterstützen (CINEA 2024 sowie Prządka et al. 2024).

Die Subvention erfolgt über fixe Zuschüsse pro Kilogramm Wasserstoff, ermittelt durch einen Auktionsmechanismus. Wasserstoffproduzenten mit Sitz im Europäischen Wirtschaftsraum können sich bewerben, sofern ihre Projekte die EU-Standards für erneuerbaren Wasserstoff (siehe Regulierungen zu RFNBO) einhalten, mindestens 5 MW_e an neu installierter Elektrolysekapazität bieten und Nachweise für eine Abnahme von 60 Prozent des während des Förderzeitraums produzierten Wasserstoffs haben (CINEA 2024, S. 7 ff. und Europäische Kommission 2023b).

Die Ergebnisse der ersten Auktion (IF23) zu Beginn des Jahres 2024 zeigten eine hohe Wettbewerbsintensität. Sechs Projekte mit relativ niedrigen Zuschüssen zwischen 0,37 und 0,48 Euro/kg Wasserstoff erhielten den Zuschlag. Die Projekte werden in den kommenden zehn Jahren voraussichtlich 1,52 Millionen t (50,66 TWh) erneuerbaren Wasserstoff produzieren (Europäische Kommission 2024i).

Zusätzlich ist es den Mitgliedstaaten über das Auktions-as-a-service-Programm (AaaS) möglich, in ihrem Land nationale Mittel für Projekte bereitzustellen, die in der Auktion keinen Zuschlag erhalten haben. Dabei werden die wettbewerbsfähigsten Gebote, die leer ausgegangen waren, bis zum Erreichen der nationalen Budgetobergrenze gefördert (Europäische Kommission 2023d, 2024a).

Einem anderen Ansatz folgen die **KSV**, die als „Carbon Contracts for Difference“ einen vereinbarten CO₂-Preis absichern. Mit diesem nationalen Förderprogramm soll die Dekarbonisierung der deutschen Industrie vorangetrieben werden. Gefördert wird der Einsatz von emissionsarmen transformativen Produktionsprozessen wie die Nutzung von klimafreundlichem Wasserstoff. Das Instrument basiert auf einem Gebotsverfahren, in dem jene 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, der laufend an die aktuellen Kosten der CO₂-Einsparungen angepasst wird, und dem effektiven CO₂-Preis aus dem EU ETS. Für den Fall, dass die CO₂-Preise im ETS den Vertragspreis übersteigen, sind Rückzahlungen vorgesehen.

Tabelle 1: Übersicht Förderinstrumente Wasserstoff

Instrument	Wirkungsebene	Typ	Finanzierung	Finanzvolumina (Mio. Euro)	Ziel	regulatorische Bedingungen	Rechtsgrundlagen
IPCEI Wasserstoff	EU	Beihilferegulung	EU-Mitgliedstaaten	DE: 5.879 EU: 18.905	Finanzierung strategischer H ₂ -Projekte	EU-Taxonomie	Art. 107 (3) b AEUV ^{a)} Mittelung (2021/C 528/02)
	EU (DE mit AaaS ^{b)})	Auktion um feste Prämien	EU Innovationsfonds DE AaaS: KTF ^{c)}	DE: ~350 EU: ~2245	Beschleunigung des Ausbaus von H ₂ -Produktionskapazitäten in der EU	RFNBO ^{d)} <25 % Elektrolyse-Stacks aus China	Mittelung C/2024/4185 NZIA ^{e)} RED II
	DE	Contracts for Difference	KTF	DE: ~11.157	Anreiz zur Dekarbonisierung der Industrie	EU-Taxonomie CO ₂ -Limit (DV ^{f)} EU 2023/1185)	Förderrichtlinien KSV CEEAG ^{g)}
H2Global	in aller Welt	Doppelseitige Auktion	1. Ausschreibung: KTF, grds. offen	DE: ~3.100 NL: ~300	Förderung des globalen Handels mit erneuerbarem H ₂ und insb. H ₂ -Derivaten	RFNBO	CEEAG VgV ^{h)} RED ⁱ⁾ II
EU-Emissionshandel	EU	Cap-and-Trade-System	CO ₂ -Emittenten	2023: DE: ~7.700 EU: ~33.000	Reduktion von EU-THG ^{j)} -Emissionen im Industrie- & Energiesektor sowie Luft- & Seeverkehr		ETS ^{k)} -Richtlinien Verordnung (EU) 2021/1119
nationaler Emissionshandel	DE	Festpreis- und ab 2026 Cap-and-Trade-System	Inverkehrbringer von Brennstoffen	2024: ~13.000	Reduktion von DE-Emissionen im Heiz- & Verkehrssektor		BEHG ^{l)} EnergieStG ^{m)} TEHG ⁿ⁾
Erneuerbarkeit RFNBO	EU	Kriterium	/	/	Sicherstellung Erzeugung RFNBO aus erneuerbaren Energien	Zusätzlichkeit zeitliche Korrelation geographische Korr.	DV (EU) 2023/1184
CO ₂ -Limit RFNBO/LCP ^{o)}	EU	Kriterium	/	/	Begrenzung des THG-Ausstoßes bei RFNBO-Produktion	Emissionen < 3,38 kg CO ₂ eq/kg H ₂	DV (EU) 2023/1185 Richtlinie (EU) 2024/1788
sektorale RFNBO Quoten	DE	Quote	/	/	Sicherstellung Mindestanteil RFNBO 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

Anmerkung:

- 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

Quelle: eigene Zusammenstellung im Rahmen des Projekts IMA-GH2 basierend auf Bollerhey et al. 2023, BMWK 2023a, 2024a, f, Delegierte Verordnung (EU) 2023/1184, Delegierte Verordnung (EU) 2023/1185, Richtlinie (EU) 2023/2413, DEHSt und Umweltbundesamt 2024c, d, Europäische Kommission 2021a, 2022a, b, 2024c, d, h, Europäische Umweltagentur 2024, Ludwig et al. 2022, Verordnung (EU) 2021/1119 sowie Wirtschaftswoche 2024

Die CO₂-Einsparungskosten für die Wasserstoffnutzung entsprechen der Differenz zwischen grauem und grünem beziehungsweise blauem Wasserstoff, die nach dem HydrexPLUS-Index berechnet werden (BMWK, 2024a, c und E-Bridge 2024, 2025).

Für eine Förderung zulässig sind Projekte in Deutschland mit THG-Emissionen von mindestens 10 kt CO₂e pro Jahr, die ab dem dritten Jahr um 60 Prozent und im letzten Vertragsjahr um 90 Prozent reduziert werden sollen. Die Mindestfördersumme beträgt 15 Millionen Euro. Dabei genutzter Wasserstoff muss den EU-Anforderungen für erneuerbaren oder CO₂-armen Wasserstoff entsprechen (siehe Regulierungen zu RFNBO und LCF). Zudem müssen die Zuwendungsempfänger über den Einsatz des transformativen Produktionsverfahrens im Zuge eines Wissenstransfers informieren und so zu dessen kommerzieller Skalierung beitragen (BMWK 2024a, S. 26 und BMWK 2024c).

In der ersten Runde wurden 15 Projekte mit einem maximalen Gesamtbudget von 2,8 Milliarden Euro gefördert, von denen allerdings nur fünf Projekte Wasserstoff als Energieträger nutzen (BMWK 2024e).

H2Global nutzt einen doppelseitigen Auktionsmechanismus, um den Import von nachhaltigem Wasserstoff und den Markthochlauf zu beschleunigen. Die Differenz zwischen den Produktionskosten von erneuerbarem Wasserstoff und der Zahlungsbereitschaft der Abnehmer wird 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 Derivatens hauptsächlich aus Nicht-EU-Ländern und schaffen dabei Investitionssicherheit auf der Angebotsseite. Kurzfristige, ebenfalls auktionierte Hydrogen Supply Agreements (HSAs) werden an europäische Abnehmer vergeben. Durch die kürzere Laufzeit der HSAs sollen die dabei offengelegten Zahlungsbereitschaften den zeitnahen Übergang zu indexbasierten Verträgen ermöglichen. Die Kostendifferenz zwischen den Liefer- und Abnahmeverträgen, also zwischen dem Beschaffungspreis und der Zahlungsbereitschaft der Anwender, schließt ein Intermediär mithilfe staatlicher, aber auch privater Mittel. Ziel ist es, das Koordinationsproblem zwischen Anbietern und Nachfragern zu lösen, den Einsatz emissionsarmer Technologien zu fördern und Unsicherheit zu verringern. Die ersten Ausschreibungen für HPAs, finanziert durch den KTF, setzten dabei die EU-Standards für RFNBO voraus (Bollerhey et al. 2023, Bauer et al. 2023 sowie BMWK 2023a).

Die erste anbieterseitige Auktion für Ammoniak führte zu einem HPA mit dem Produzenten Fertiglabe aus Ägypten.

Die Lieferung von 397.000 t Ammoniak (70.427 kg H₂) nach Rotterdam beginnt 2027 zu einem Preis von 1 Euro/kg Ammoniak (5,64 Euro/kg H₂). Eine weitere Auktion für nicht-biogenes nachhaltiges Flugbenzin (eSAF) wurde allerdings aufgrund unzureichender Teilnehmer und Mengen abgebrochen. Auch die Auktion für Methanol konnte noch nicht abgeschlossen werden (Hintco 2024).

Ende 2024 genehmigte die EU-Kommission eine zweite Runde, die im Februar 2025 mit einem Fördervolumen von 2,5 Milliarden Euro begann (BMWK 2024 f und Europäische Kommission 2024k). In dieser werden vier regionspezifische (Nordamerika, Südamerika und Ozeanien, Afrika, Asien) Lose („Lots“) sowohl für Wasserstoff als auch für Wasserstoffderivate und ein globales Los für molekularen Wasserstoff ausgeschrieben (Hintco 2025). Bemerkenswert ist die Zusammenarbeit mit den Niederlanden, die sich mit 300 Millionen Euro an der Ausschreibung des globalen Loses beteiligen (BMWK 2024 f). Die Produkte müssen in dieser zweiten Ausschreibungsrunde eine THG-Einsparung von 73 Prozent bis zum Lieferpunkt aufweisen, sodass sie sich nicht durch zusätzliche potenzielle Emissionen beim späteren Weitertransport zum Endpunkt für die Erfüllung der RFNBO-Kriterien (70 Prozent THG-Einsparung) disqualifizieren würden (Hintco 2025).

3.2.2 Einnahmewirksame Maßnahmen

Die in Deutschland geltenden Emissionshandelssysteme belasten im Gegensatz zu den ausgabenwirksamen Instrumenten nicht den Bundeshaushalt, sondern unmittelbar die CO₂-Emittenten, die wiederum die Kosten für Emissionszertifikate an ihre Kunden weitergeben. Dadurch schaffen Emissionshandelssysteme indirekte Anreize für den Einsatz CO₂-armer Technologien wie Wasserstoff als Energieträger. Allerdings sind die komparativen Vorteile CO₂-armer Verfahren gerade im Fall von Wasserstoff und seinen Derivatens bisher meist nicht ausreichend, um eine Wettbewerbsfähigkeit gegenüber fossilen Alternativen zu schaffen.

Das **EU ETS** ist ein zentrales Instrument der europäischen Klimapolitik. Seit dem Jahr 2005 reguliert es den CO₂-Ausstoß in den Sektoren Industrie und Energie, seit 2012 zusätzlich den Luftverkehr sowie seit 2024 auch den Seeverkehr. Als Cap-and-trade-System setzt es eine Obergrenze für Emissionen, die durch handelbare Zertifikate abgedeckt wird. Die Ausgabe dieser Zertifikate erfolgt entweder durch Versteigerung oder kostenfreie Zuteilung, wobei die Gesamtzahl der ausgegebenen Zertifikate jährlich reduziert wird, um eine schrittweise Reduktion der Emissionen und die Einhaltung der Obergrenze zu gewährleisten (DEHSt

und Umweltbundesamt 2024d und Richtlinie 2003/87/EG 2024).

Die ETS-Teilnehmer können die Zertifikate untereinander handeln (Trading) und sie jederzeit zur Abdeckung von Emissionen einsetzen oder für kommende Perioden aufbewahren (Banking). Borrowing – also die Nutzung von Zertifikaten künftiger Zuteilungen zur Erfüllung heutiger Verpflichtungen – war in den frühen Phasen des EU ETS innerhalb der Handelsperioden faktisch möglich. In der aktuellen Phase IV verringert sich diese Möglichkeit aufgrund veränderter Zuteilungsmechanismen (Richtlinie 2003/87/EG 2024, Diekmann 2012, S. 7, und Treibhausgas-Emissions-handelsgesetz 2025).

Der deutsche Anteil an den Einnahmen aus dem EU-Zertifikatehandel belief sich im Jahr 2024 auf 5,5 Milliarden Euro. Diese Mittel wurden vollständig zur Finanzierung nationaler Klimaschutzmaßnahmen sowie des Europäischen Innovations- und Modernisierungsfonds und ab 2026 auch des Klima-Sozialfonds verwendet (DEHSt und Umweltbundesamt 2024c sowie Umweltbundesamt 2025).

Bisher deckt das derzeitige EU ETS nur einen Teil der Emissionen ab. Insbesondere die Sektoren Wärme und Verkehr sind noch nicht erfasst, weshalb in Deutschland im Jahr 2021 das **nEHS** eingeführt wurde (Ludig et al. 2022). Das grundsätzlich als Cap-and-trade-System ausgestaltete Instrument begann mit einer Fixpreisphase bis 2025, gefolgt von einer Handelsphase mit engem Preiskorridor ab 2026 (DEHSt und Umweltbundesamt 2024b). Die Einnahmen, die im Jahr 2024 rund 13 Milliarden Euro betrugen, flossen vollständig in den KTF (Umweltbundesamt 2025). Ab 2027 soll ein neu eingeführtes Emissionshandelssystem, das **EU ETS II**, die Emissionen aus den Sektoren Gebäude und Verkehr auch auf europäischer Ebene regulieren (DEHSt und Umweltbundesamt 2024b). Der Übergang des nEHS in den EU ETS II wurde im Februar 2025 per Gesetzesbeschluss des Bundestags geregelt (Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz 2025).

Ergänzend zum EU ETS soll der **CBAM** verhindern, dass emissionsintensive Produktionsprozesse aus der EU in andere Weltregionen verlagert werden (Verordnung (EU) 2023/956). Der CBAM erfordert derzeit eine Berichterstattung über die Emissionen bei Importen bestimmter Produkte, darunter Wasserstoff und Ammoniak, und soll ab 2026 sicherstellen, dass die zugehörigen CO₂-Emissionen dem EU ETS entsprechend bepreist werden (Durchführungsverordnung (EU) 2023/1773, Verordnung (EU) 2023/956). Allerdings dürfte die derzeitige Ausgestaltung dem Ziel eines „Level Playing Field“ noch nicht gerecht werden, da Produkte höherer Wertschöpfungsstufen bisher nicht eingeschlossen sind und für Exporte noch immer ein signifikanter Wettbewerbsnachteil herrscht (Grimm und

Reuter 2025). Aktuell werden jedoch Maßnahmen ergriffen, um den CBAM zu überarbeiten (Europäische Kommission 2025a, S. 21 ff.).

3.2.3 Regulierungen

Neben finanziellen Instrumenten gibt es auf europäischer und nationaler Ebene auch Regulierungen, die den Hochlauf von erneuerbarem Wasserstoff begleiten und befördern sollen. Diese können produktspezifische Zahlungsbereitschaften erhöhen, allerdings auch die Produktionskosten von Wasserstoff und seinen Derivaten steigern. Insbesondere die zweite und dritte Novelle der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU und die zugehörigen delegierten Verordnungen sind hier prägend.

Die **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 verbindliche Quoten für den Einsatz von RFNBO. Sektorspezifische Ziele sehen unter anderem vor, dass bis 2030 mindestens 42 Prozent des in der Industrie verwendeten Wasserstoffs als RFNBO zertifiziert sein müssen (60 Prozent bis 2035). Auch im Transportsektor müssen bis 2030 mindestens 1 Prozent und im Seeverkehr mindestens 1,2 Prozent der eingesetzten Kraftstoffe RFNBO sein (auch Recycled Carbon Fuels, RCF, optional je nach nationaler Umsetzung anrechenbar) (Richtlinie (EU) 2023/2413).

Die **Delegierten Verordnungen (DV) zu den Artikeln 27 und 28 der RED II** sollen klare Anforderungen für die Produktion von RFNBO und RCF sowie für die Berechnung ihrer THG-Einsparungen schaffen. Zudem sollen sie sicherstellen, dass die Produktion nachhaltig erfolgt und den Ausbau erneuerbarer Energien unterstützt (Delegierte Verordnung (EU) 2023/1184 und 2023/1185).

RFNBO sind erneuerbare Brennstoffe nicht-biogenen Ursprungs, darunter Wasserstoff sowie dessen Derivate (zum Beispiel Ammoniak, Methanol und synthetisches Methan), vorausgesetzt die Inputs (zum Beispiel H₂ und CO₂) stammen aus als erneuerbar definierten Quellen. RCF hingegen sind kohlenstoffbasierte Kraftstoffe, die aus der Synthese von nicht erneuerbaren CO₂-Abfallströmen und erneuerbarem Wasserstoff gewonnen werden (Delegierte Verordnung (EU) 2023/1184). Die DV zu Artikel 27 stellt folgende Anforderungen an die Erneuerbarkeit der Stromerzeugung für die RFNBO-Produktion (zum Beispiel Elektrolyse):

- **Zusätzlichkeit:** Der Strom für die Herstellung von RFNBO muss aus neuen erneuerbaren Energieanlagen stammen, die speziell für die Deckung der Nachfrage der Anlagen zur Erzeugung der RFNBO errichtet werden,
- **zeitliche Korrelation:** Die Stromerzeugung 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 definiert die DV zu Artikel 28, welche CO₂-Quellen für die Produktion kohlenstoffhaltiger RFNBO 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). CO₂ aus Industrieverfahren oder aus der Verbrennung nicht nachhaltiger Kraftstoffe muss allerdings bereits durch eine „wirksame CO₂-Bepreisung“ erfasst sein, damit es nicht auf die THG-Intensität des RFNBOs angerechnet wird. Dies soll die Vermeidung der Emissionen im Vorhinein anreizen. Zudem legt die DV die Methodik zur Bewertung und die zu erreichende Höhe der THG-Einsparungen für RFNBO und RCF fest. Die THG-Einsparungen umfassen den gesamten Lebenszyklus (Produktion, Transport und Nutzung) und müssen mindestens 70 Prozent im Vergleich zu fossilem Wasserstoff betragen. Dies entspricht einem Schwellenwert von maximal 3,38 kg CO₂e/kg H₂ (Delegierte Verordnung (EU) 2023/1184 und 2023/1185).

Die noch in der Entwurfsphase befindliche **DV zu Artikel 9 der Wasserstoff und Gas Richtlinie** (Richtlinie (EU) 2024/1788) regelt die Berechnung und Bewertung von THG-Einsparungen für kohlenstoffarme Brennstoffe (Low Carbon Fuels, LCF). LCF können unter Verwendung fossiler Energieträger, Kernenergie oder Netzstrom hergestellt werden und müssen dabei THG-Einsparungen von mindestens 70 Prozent im Vergleich zu fossilen Alternativen aufweisen (Europäische Kommission 2024j). LCF sollen kurz- bis mittelfristig den Wasserstoffhochlauf beschleunigen und die Einführung erneuerbarer Brennstoffe ergänzen (Richtlinie (EU) 2024/1788). Verabschiedung und Veröffentlichung der DV waren für das vierte Quartal 2024 vorgesehen, stehen jedoch zur Zeit der Einreichung dieses Beitrags noch aus (Europäische Kommission 2024j).

Die **EU-Taxonomie** (Verordnung (EU) 2020/852) ist ebenfalls eine relevante Regulierung für Wasserstoffprojekte. Sie errichtet ein Klassifizierungssystem, das Kriterien für nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten festlegt. Ziel ist es, Investitionen in klimafreundliche Projekte zu lenken, Investoren vor Greenwashing zu schützen und Unternehmen dabei zu unterstützen, klimafreundlicher zu werden. Die Handreichun-

gen zur Taxonomie sind äußerst umfangreich; sie umfassen derzeit mehr als 500 Seiten technischer Kriterien und Vorgaben, die regelmäßig auf Basis neuer technologischer Entwicklungen und wissenschaftlicher Erkenntnisse angepasst werden (Delegierte Verordnung (EU) 2021/2139, 2023/2485, 2023/2486, Europäische Kommission 2023e, Verordnung (EU) 2020/852 und Europäische Kommission 2024h).

3.3 Zeit- und prozessbezogene Abläufe der Förderinstrumente

Die detaillierte Betrachtung der einzelnen Instrumente zum Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Abschnitt 3 illustriert bereits, dass diese ein sehr komplexes System erzeugen. Neben der isolierten Beschreibung der Ziele und Wirkungsweisen ist daher die Betrachtung der zeit- und prozessbezogenen Abläufe der Instrumente entscheidend, wenn man das Zusammenspiel der Instrumente einschätzen können will.

Zu diesem Zweck verdeutlicht Abbildung 4 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 teilzuhaben.

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 Milliarden Euro gefördert wurde, ebenso wie das Projekt Hy4Chem-El von BASF, das eine Förderung von 134 Millionen Euro erhielt (BMDV 2021, BMWK 2024d, BMWK und Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen 2023 sowie BASF SE 2023). Diese werden nun im Rahmen der Leitlinien für staatliche Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen (CEEAG) mit nationalen Mitteln gefördert (Europäische Kommission 2022c, 2023c).

Um ein grundlegendes Verständnis der notwendigen bürokratischen Abläufe zu vermitteln, stellen wir in Abbildung 5 die notwendigen Prozessschritte zusammenfassend dar, die Unternehmen für die Teilnahme an einer

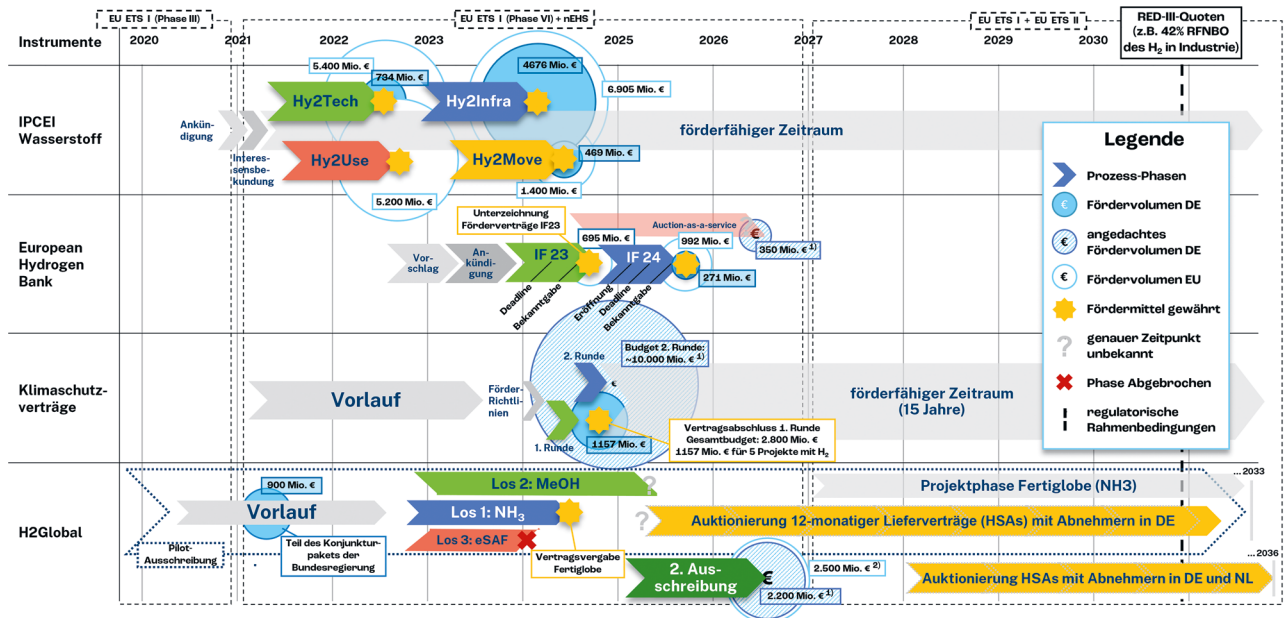


Abbildung 4: Zeitabläufe und Budgets der Instrumente

Anmerkung: ¹⁾ kein genaues Budget bekannt, ²⁾ die Niederlande tragen 300 Millionen Euro zum Ankaufsvolumen bei.

Quelle: eigene Darstellung im Rahmen des Projekts IMA-GH2 basierend auf Bollerhey et al. 2023, BMWK 2024a, e, BMWK und BMDV 2022, Energienetzwerk Landkreis Meißen 2024, EU20 2020, Europäische Kommission 2022a, b, 2024c, S. 20, 2024b, d, f, Europäisches Parlament 2024, Hintco 2024, Janinhoff GmbH und Co KG – Klinkermanufaktur 2024, Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Bauen und Digitalisierung 2024, Ost-hessen News 2024, tesa 2024 und WirtschaftsWoche 2024

Förderung durchlaufen müssen. Im Fall der RED III erfolgt dies über den Zertifizierungsprozess für RFNBO.

Besonders bei den ausgabenwirksamen 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 auf den Weg zu bringen. 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- beziehungsweise (Vor-)Auswahlverfahren nicht extra notwendig sind. Dennoch sind auch hier wesentliche Mess-, Überwachungs- und Reportingpflichten zu erfüllen, 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. Diese kann sowohl zwischen den Prozesskategorien als auch instrumentenübergreifend innerhalb einer Prozesskategorie stark variieren. Zudem erlaubt die Darstellung keine Aussage über den Mehrwert

einzelner Prozessstufen für die Effektivität der Instrumente oder die Umsetzung der Vorhaben. Dies weiterführend zu analysieren, wäre eine wichtige Aufgabe für künftige Forschung. Doch auch wenn der Erfüllungsaufwand der verschiedenen Prozessstufen im Rahmen dieser Arbeit nicht evaluierbar ist, machen die Darstellungen doch die große Vielfalt der zeit- und prozessbezogenen Abläufe deutlich.

4 Kritische Bewertung der Förderlandschaft

4.1 Komplexität des Instrumenten-Mix

Die Vielzahl politischer Instrumente zur Förderung des Wasserstoffhochlaufs führt zu erheblicher Komplexität. Somit stellt sich die Frage, ob dieser Instrumenten-Mix im Hinblick auf die erörterten Gründe für ein Marktversagen notwendig, effizient und effektiv ist, oder ob Verbesserungen möglich sind. Wie bereits einführend erläutert, sollte idealerweise jedes wirtschaftspolitische Ziel (im Sinne der Korrektur einer spezifischen Ursache für ein Marktversagen) mit einem spezifischen Instrument angegangen werden. Eine Abweichung von diesem Prinzip kann unnötig

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 Interessens-bekundungsverfahren	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 Interessens-bekundungsverfahren	(Prä-)qualifizierung		Gebotseinreichung (inkl. zugehöriger Unterlagen) ⁴⁾	Auktionsprozess und Auswahl Auktionsgewinner		Abschluss HPA (bzw. HSA) ⁴⁾	mengenbasierte Auszahlung, Reportingverpflichtungen
EU-Emissionshandel ⁵⁾				Einreichung/Anpassung Überwachungsplan ⁶⁾	Überprüfung Überwachungsplan ⁶⁾		Anmeldung im Unionsregister + Erwerb CO ₂ -Zertifikate ⁷⁾	Reporting via Emissionsberichte; Zertifikatsabgabe
nationaler Emissionshandel				Einreichung/Anpassung Überwachungsplan	Überprüfung Überwachungsplan		Anmeldung im nEHS Register + Erwerb CO ₂ -Zertifikate ⁸⁾	Reporting via Emissionsberichte; Zertifikatsabgabe
Zertifizierung RFNBOs (RED III) ⁹⁾		Abarbeiten und Ausfüllen der Checkliste für RFNBO-Produzenten und Lieferanten		Einreichung der Informationen bezüglich Kraftstoffproduktion und Handel	Durchführung Audit und Erstellung Auditbericht		Ausstellung Zertifikat und/oder Kontrollbescheinigung	Überwachungsaudits und Re-Zertifizierungsaudits

Abbildung 5: Darstellung der bürokratischen Prozesskategorien der Instrumente aus Unternehmensperspektive

Anmerkung: ¹⁾ Pränotifizierung beziehungsweise 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 folgen weitere Überprüfungsschritte. ⁴⁾ Gebotseinreichung und Vorbereitung von HPA/HSA können sich überschneiden. ⁵⁾ Abweichender Ablauf bei Seeschiffsverkehrsunternehmen möglich. ⁶⁾ Für eine stationäre Anlage ist zudem eine Emissionsgenehmigung erforderlich. Der Antrag zur Emissionsgenehmigung und der Überwachungsplan sollen im Rahmen des EU ETS II zusammen bearbeitet werden. ⁷⁾ Erwerb durch kostenlose Zuteilung, Ersteigerung beziehungsweise Handel. ⁸⁾ Erwerb durch Festpreiskauf beziehungsweise Handel, Umstellung des nEHS ab 2026: Ablösung der Einheitspreis- durch Versteigerungsphase. ⁹⁾ Darstellung basierend auf Zertifizierungsschema REDcert EU.

Quelle: eigene Darstellung im Rahmen des Projekts IMA-GH2 basierend auf Bollerhey et al. 2023, Brennstoffemissionshandelsgesetz 2025, Brennstoffemissionshandelsverordnung 2023, Delegierte Verordnung (EU) 2019/1122, Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz 2025, BMWi und BMV 2021, BMWK 2024a, c, d, BMWK und BMDV 2022, Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie und Bundesministerium Digitalisierung und Wirtschaftsstandort 2021; DEHSt 2025, DEHSt und Umweltbundesamt 2024a, b, d, 2025, EU20 2020, CINEA 2024, Europäische Kommission 2021b, 2022a, b, 2024a, c, d, e, f, g, 2025b, c, Hintco 2024 und REDcert 2024.

tige Komplexität erzeugen, den Hochlauf behindern und ist daher kritisch zu bewerten. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die zentralen Instrumente und zeigt, in welchem Maße sie welche Formen von Marktversagen bekämpfen.

Negative externe Effekte werden primär durch den EU ETS I sowie den nEHS internalisiert, der perspektivisch in den ETS II übergehen soll. Diese Instrumente bepreisen THG-Emissionen und setzen auf diese Weise direkte ökonomische Anreize zur Emissionsvermeidung. ETS I und II zielen auf verschiedene Sektoren und ergänzen sich somit. Es soll im Jahr 2031 geprüft werden, ob sie mittelfristig in einem gemeinsamen ETS aufgehen können (EEM 2024). Die erwarteten Preise im Emissionshandel reichen bisher nicht aus, um den Wasserstoffhochlauf auszulösen – unter anderem weil immer noch Unsicherheit darüber besteht, ob der Emissionshandel konsequent verwirklicht wird, und auch weil eine internationale Koordination bisher unwahrscheinlich erscheint. Neben Emissionshandelssystemen sind daher weitere wasserstoffspezifische Instrumente auf die negative Externalität von THG-Emissionen gerichtet, beispielsweise CO₂-Grenzen für erneuerbaren und CO₂-armen

Wasserstoff. Auch Fördermaßnahmen für klimafreundliche Technologien werden eingesetzt, um Investitionsanreize zu erhöhen und so negative Externalitäten zu internalisieren. Dazu zählen die KSV, bei denen die kostengünstigste CO₂-Einsparung ein zentrales Vergabekriterium ist, ebenso wie indirekte Anreize durch IPCEI Wasserstoff, durch die Auktionen der EHB und H2Global sowie sektorale Quoten.

Diese Instrumentenvielfalt erscheint wenig zielführend. Unter den erwähnten Instrumenten richten sich die KSV im Wesentlichen auf das Symptom eines für die jeweilige Anwendung, die einen Zuschlag erhält, nicht ausreichend wirkungsvollen Emissionshandels, während zum Beispiel die H2Global-Auktionen vorrangig das Koordinationsproblem zwischen Anbietern und Nachfragern korrigieren sollen und als Nebeneffekt die Differenzkosten zwischen Einkaufs- und Abnahmepreis abdecken. Die zweiseitigen Auktionen greifen also das Koordinationsversagen auf, kompensieren allerdings übergangsweise auch zu niedrige CO₂-Preise. Durch die kompetitive Preisbildung auf beiden Marktseiten geschieht dies mit möglichst geringer Förderung pro vermiedener Tonne CO₂.

Tabelle 2: Zentrale Wasserstoffförderinstrumente und die von ihnen aufgegriffenen Gründe für Marktversagen

	Instrument	negative Externa- litäten	positive Externa- litäten	Informations- asymmetrie	Koordina- tions- versagen
ausgabenwirksam	IPCEI Wasserstoff	+	++		++
	European Hydrogen Bank	+	+		+
	Klimaschutz- verträge	++	(+)		+
	H2Global	+			++
einnahmewirksam	EU-Emissions- handel	++			
	nationaler Emissions- handel	++			
Regulierung	Erneuerbar- keit RFNBO			++	
	CO ₂ -Limit RFNBO/LCF	++		++	
	sektorale RFNBO Quoten	+			++
	EU-Taxonomie			++	

Anmerkung: Leere Felder kennzeichnen, dass der jeweilige Grund für Marktversagen nicht wesentlich aufgegriffen wird. „+“ entspricht einer indirekten oder ergänzenden Wirkung, „++“ einem unmittelbaren Aufgreifen. Einschätzungen der Autoren.

Quelle: eigene Zusammenstellung auf Grundlage der vorausgehenden Analyse

Auf **positive externe Effekte** richtet sich unter den hier erörterten wasserstoffspezifischen Instrumenten insbesondere das IPCEI Wasserstoffprogramm. Es zielt auf Investitionen mit breiten Spillover-Potenzialen, beispielsweise auf dem Weg über gemeinsame Innovationsprojekte, Lerneffekte und Skalierung. Auch durch die Pflicht der Zuwendungsempfänger in EHB-IF-Auktionen und KSV, erworbenes Wissen aktiv zu verbreiten, kann die kommerzielle Skalierung von Wasserstoffprojekten indirekt unterstützt werden. Es wäre allerdings zu hinterfragen, ob die Programme mit Blick auf die positiven Externalitäten zusätzlich zur steuerlichen Forschungsförderung und zur Finanzierung der angewandten Forschung in Deutschland notwendig sind.

Informationsasymmetrien werden insbesondere durch regulatorische Vorgaben wie die RFNBO-Zertifizierung und die EU-Taxonomie angegangen. Diese sollen Klarheit über die Eigenschaften von Produkten und konkreten Installationen schaffen und so eine differenzierte Preisbildung ermöglichen. Allerdings ergeben sich durch das gleichzeitige Bestehen von EU-Taxonomie, Erneuerbarkeitskriterien und CO₂-Limits Redundanzen, was eine Fokussierung auf Instrumente nahelegt, die besonders gut mit Instrumenten zum Umgang mit anderen Gründen für ein Marktversagen harmonisieren. Dazu würde sich insbesondere eine Zertifizierung des CO₂-Fußabdrucks anbieten, verbunden mit einer Bepreisung der Emissionen über den ETS.

Koordinationsversagen wird insbesondere durch das H2Global-Instrument aufgegriffen, das durch doppelseitige Auktionen und Differenzkostenausgleich Angebot und Nachfrage zusammenführt. Langfristig kann so ein Markt entstehen, der wie andere Energiemärkte verschiedene Funktionen erfüllt, beispielsweise die Fristentransformation zwischen Angebots- und Nachfragekontrakten sowie das Hedging von Preisrisiken. Auch andere Instrumente dienen dazu, das Koordinationsversagen zu beheben. So werden im Rahmen von IPCEI durch Match-making-Prozesse und durch die Förderung von Verbundprojekten Kooperationen angestoßen. Auch die Förderung von Wasserstoffproduktion und somit des Angebotschoclaufs sowie die Pflicht, die Abnahme des Wasserstoffs im Rahmen der EHB-Auktionen nachzuweisen, reduzieren Unsicherheiten und damit das Koordinationsversagen des Marktes. Zusätzlich schaffen sektorale RFNBO-Quoten eine verbindliche Nachfrage und erhöhen dadurch auch die Investitionssicherheit auf der Angebotsseite. Indirekt können ebenso KSV nachfrageseitige Anreize generieren, indem Projekte gefördert werden, die Wasserstoff zur Dekarbonisierung nutzen.

Es wird somit deutlich, dass alle vier zentralen Gründe für ein Marktversagen durch die Instrumente mehrfach ins Visier genommen werden. Der Instrumenten-Mix ist entsprechend gekennzeichnet von Überlappungen und Redundanzen, die unnötige Komplexität erzeugen. Am Beispiel von H2Global und der EHB wird zudem erkennbar, dass Instrumente bestehen, die zwar in ihrer Wirkung und Ausgestaltung sehr ähnlich sind, aber in unterschiedlichem Geltungsrahmen (europäisch vs. national) initiiert wurden, was auch darauf schließen lässt, dass nationale und europäische Programme unzureichend koordiniert sind.

4.2 Negative Folgen der Komplexität im Instrumenten-Mix

Die Komplexität des Instrumenten-Mix kann Zielkonflikte, unerwünschte Wechselwirkungen oder hohe bürokratische Belastungen zur Folge haben. Da dies seine Effizienz und die Effektivität beeinträchtigt, sollte er kritisch hinterfragt und gegebenenfalls angepasst werden.

4.2.1 Zielkonflikte

Erste Zielkonflikte treten zutage, wenn man den anvisierten mengenmäßigen Markthochlauf den Anforderungen der Wasserstoffzertifizierung gegenüberstellt. Einerseits wird ein schneller Hochlauf angestrebt, andererseits sind strenge Nachhaltigkeitskriterien für Wasserstoff zu berücksichtigen. RFNBO-Quoten stimulieren die Nachfrage nach klimafreundlichem Wasserstoff, um das Henne-Ei-Problem der Wasserstoffwirtschaft zu bekämpfen und einen schnellen Hochlauf zu forcieren. Gleichzeitig führen die spezifischen und strengen Anforderungen von Artikel 27 der RED II bezüglich der Additionalität sowie der zeitlichen und geografischen Korrelation für den Strombezug von RFNBO-Produktion zu erheblichen Belastungen für Produzenten und Verbraucher. Sie sind allerdings Voraussetzung für eine Anerkennung von Wasserstoff und seiner Derivate als erneuerbar und somit auch für die Anrechenbarkeit auf Quoten. Dementsprechend wird gegenwärtig intensiv über sie diskutiert (Mohr 2024 und NWR 2024a, c). Auch mit Blick auf die Überwindung des Koordinationsproblems und die Förderung des Hochlaufs sind diese Anforderungen hinderlich, beispielsweise weil die strengen Anforderungen die zu deckenden Differenzkosten erhöhen. So gaben die Verantwortlichen der Projekte, die in der EHB-Auktion den Zuschlag erhielten, die Einhaltung und Zertifizierung der RFNBO-Kriterien als Hauptproblem für die Umsetzung an (Przadka et al. 2024, S. 28).

Es wird zudem in der vorangegangenen Analyse ersichtlich, dass einige Instrumente nicht nur ein einzelnes Ziel, sondern gleich mehrere Ziele im Hinblick auf die Bekämpfung von Marktversagen verfolgen. Am Beispiel von IPCEI lässt sich dies am Umgang mit positiven Externalitäten und Koordinationsversagen zeigen. Es könnten mithin Zielkonflikte in der Gestaltung der Förderausschreibung entstehen. Um auf die positiven Spillover-Effekte einzugehen, wäre eine Förderung neuer, innovativer Technologien auch mit bisher niedrigem technologischem Reifegrad vorteilhaft. Zur Überwindung des Koordinationsversagens hingegen sollten eher bereits etablierte Technologien mit

hohem Anwendungspotenzial im Bereich der Wasserstoffproduktion und -abnahme gefördert werden.

Bei Betrachtung von H2Global zeigt sich zudem, 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. Längerfristige Verträge mit einem entsprechend längerem Förderzeitraum dürften zwar zu niedrigeren Preisen und somit auch zu geringeren Differenz- beziehungsweise Förderkosten pro Kilogramm Wasserstoff führen, aber eine Verlängerung der Abnahmepflicht könnte dennoch mit einer insgesamt höheren Budgetbelastung für das Förderinstrument einhergehen.

Des Weiteren könnte die Pflicht der Unternehmen zur Offenlegung von erworbenen Wissen gegenüber der Öffentlichkeit (Wissenstransfer), wie sie aktuell mit EHB-Auktionen oder KSV einhergeht, die Attraktivität der Instrumente für Unternehmen schmälern und somit auch die Funktion als Koordinationsmechanismus einschränken. Positive Externalitäten durch Wissens-Spillovers ließen sich besser durch Instrumente internalisieren, die in der Summe zu mehr Forschungsaktivitäten führen. Ein verpflichtender Wissenstransfer hingegen dürfte die Attraktivität von Forschungsaktivitäten für die Firmen eher einschränken und infolge dessen auch die Summe des insgesamt verfügbaren Wissens.

Ein weiterer Zielkonflikt zeigt sich bei den CO₂-Grenzwerten für RFNBO, RCF und LCF. Strenge Obergrenzen führen zwar im Fall von Investitionen zu besonders emissionsarmen Produkten, doch ihre Eignung zur Reduktion von Informationsasymmetrien ist begrenzt. Das derzeitige binäre System, das lediglich zwischen „konform“ und „nicht konform“ unterscheidet, liefert nur eingeschränkte Informationen über die tatsächliche Klimawirkung des Kraftstoffs. Eine konsistente Berechnung und Offenlegung der THG-Emissionen unabhängig von starren Grenzwerten könnte hier einen wirksameren Beitrag zur Informationsbereitstellung leisten.

Darüber hinaus erschwert die Vorgabe, dass die CO₂-Emissionen für die Synthese von RFNBO und RCF entweder bereits in einem vorgelagerten Schritt durch eine wirksame CO₂-Bepreisung erfasst oder auf die THG-Intensität angerechnet werden müssen, die Verwirklichung von Produktionsprojekten außerhalb Europas erheblich – insbesondere, wenn kein biogenes CO₂ verfügbar ist. Zudem kann der festgelegte CO₂-Grenzwert für RFNBO, RCF und LCF zu signifikanten Verteuerungseffekten oder zum Ausschluss bestimmter Projekte führen, da die letzten Emissionseinsparungen zur Einhaltung des Grenzwertes überproportional hohe Kosten verursachen können.

4.2.2 Wechselwirkungen

Neben Zielkonflikten können sich auch unerwünschte Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Instrumenten ergeben. Vor diesem Hintergrund ist beispielsweise der Zusammenhang von KSV und dem ETS zu betrachten. Wie in Abschnitt 3.2 erläutert, sind KSV an das EU ETS geknüpft, sodass die Höhe des Budgets zur Finanzierung der KSV vom CO₂-Preis abhängt. 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 KSV übersteigt, Rückzahlungen vom Unternehmen tatsächlich durchsetzen kann. Insbesondere im Fall von energieintensiven Unternehmen, die im internationalen Wettbewerb weiter unter Druck geraten, könnte die Politik davon absehen, ihnen zusätzliche Belastungen durch Rückzahlungen aufzubürden. Zusätzlich entsteht bei den KSV durch die Förderung der Umstellung des Produktionsverfahrens ein preismindernder Effekt im ETS, weil Emissionszertifikate frei werden (ERK 2025). Solche Wechselwirkungen steigern die Kosten der Emissionsreduktion und erschweren es, die Wirkungen einzelner Instrumente abzuschätzen.

4.2.3 Redundanzen

Wie in Abbildung 3 und Tabelle 2 zu sehen, gibt es trotz Unterschieden in der geografischen Ausrichtung oder im Auktionsdesign umfangreiche Überlappungen der Instrumente entlang der Wertschöpfungskette sowie beim Aufgreifen der Gründe für ein Marktversagen. Solche Überschneidungen von Förderinstrumenten können es Unternehmen erschweren, den Nutzen einzelner Instrumente zu bewerten oder eine klare Strategie zu entwickeln, welche Instrumente für sie potenziell von Interesse sind.

Zusätzlich können die komplexen Ausgestaltungen einzelner Instrumente sowie die damit verbundenen bürokratischen Abläufe und Belastungen lange Bearbeitungszeiten verursachen. Dies wird insbesondere am Beispiel der Hy2Infra-Welle deutlich, bei der eine Bearbeitungszeit von 22 Monaten benötigt wurde (Europäischer Rechnungshof 2024, S. 51). Inwiefern IPCEI effektiv zur Weiterentwicklung der Wasserstoffbranche beigetragen hat, ist ebenfalls kritisch zu hinterfragen. Aufgrund des hohen Prozessaufwands, der langen Bearbeitungszeiten und der fortwährenden Unsicherheit haben selbst mehr als vier Jahre nach der Ankündigung des Programms erst 21 Prozent der geförderten Projekte eine finale Investitionsentscheidung erreicht (Hydrogen Europe 2025, S. 11).

4.2.4 Begrenzter Zugang

Die komplexe und inkohärente Förderlandschaft stellt Unternehmen vor zahlreiche Herausforderungen. Insbesondere stellt sich die Frage, in welcher Form auch kleinere Unternehmen mit begrenzten Ressourcen faktisch Zugang zu den Instrumenten haben und von ausgabenorientierten Fördermechanismen profitieren können. Abbildung 6 zeigt eine Gegenüberstellung der Repräsentation von unterschiedlichen Unternehmensgrößen. Verglichen wird hier die Größenstruktur der Unternehmen (gemäß Mitarbeiterzahl) in der gesamten deutschen energieintensiven Industrie mit jener von im Rahmen des Wasserstoffhochlaufs geförderten deutschen Unternehmen. Dieser Vergleich gibt einen Hinweis auf einen möglicherweise eingeschränkten Zugang zu den betrachteten Förderinstrumenten für kleine und mittlere Unternehmen (KMU).

Hierbei zeigen sich zwei Herausforderungen: Zum einen erhält von den etwa 7.000 Betrieben der deutschen energieintensiven Industrie nur eine kleine zweistellige Zahl an Betrieben eine Förderung durch IPCEI oder KSV. Diese Tatsache lässt sich durch die grundsätzlich begrenzte Verfügbarkeit von staatlichen Finanzmitteln begründen, die nicht den gesamten Hochlauf finanzieren können, weshalb die eingesetzten Mittel eine Hebelwirkung entfalten müssen. Zum anderen zeigt sich beim Vergleich der Anzahl der geförderten Betriebe je Beschäftigungsgrößenklasse eine große Diskrepanz. Von den kleinen Betrieben mit weniger als 50 Mitarbeitern, die mehr als die Hälfte der deutschen energieintensiven Unternehmen ausmachen, erhielt bisher kein einziger eine Förderung durch die hier betrachteten Instrumente. Den größten Anteil der durch die Instrumente Geförderten vereinen Unternehmen mit mehr als 1.000 Mitarbeitern auf sich, wobei sie nur 1 Prozent der gesamten energieintensiven Unternehmen ausmachen.

Die vorangegangene Analyse liefert einen möglichen Grund für diese Diskrepanz: Die Prozessschritte, die es zu absolvieren gilt, um an einem Förderinstrument teilzuhaben, sind vielfältig und komplex. Insbesondere KMU verfügen nicht über die dafür notwendigen finanziellen und personellen Kapazitäten. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen (vgl. Geitmann 2024) 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 ausgeblendet wird. Insgesamt stellt sich daher die Frage, wie insbesondere KMU bei der Umstellung auf Wasserstoff unterstützt werden können, um die gesamte Transformation der Industrie zu erreichen, ohne dass die staatlichen Fördergeber an die Grenzen ihrer finanziellen Kapazitäten stoßen.

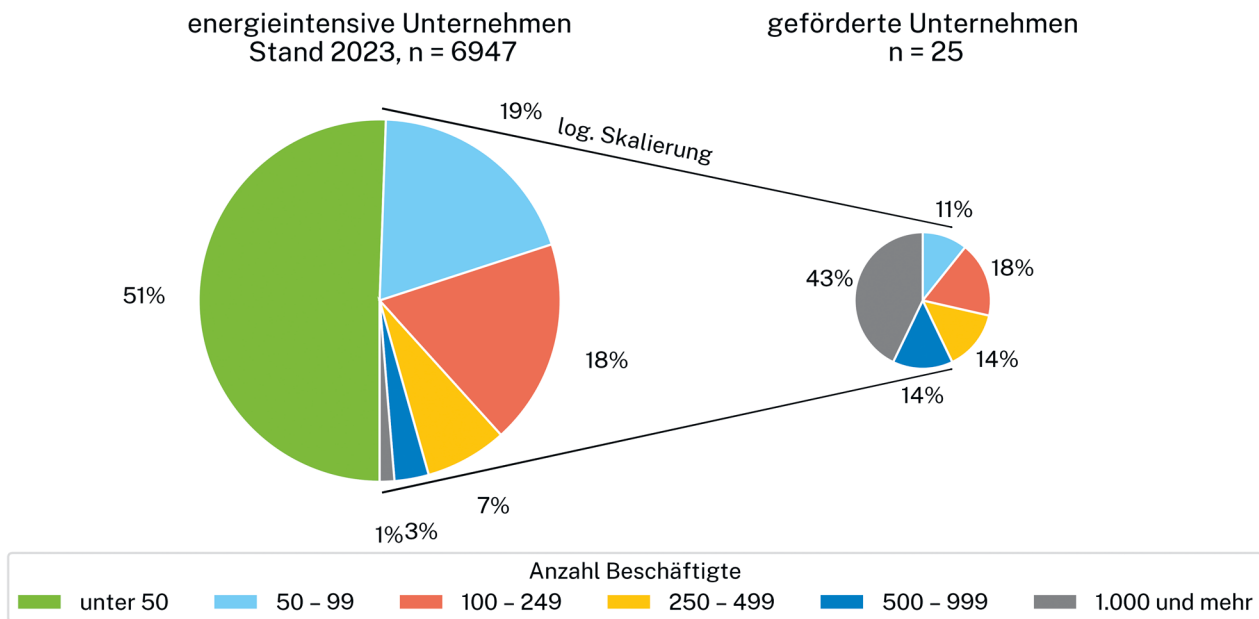


Abbildung 6: Gegenüberstellung der deutschen energieintensiven Industrie mit im Wasserstoffhochlauf geförderten deutschen Unternehmen nach Beschäftigungsgrößenklassen

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

Quelle: eigene Darstellung basierend auf Air Liquide 2025, Airbus 2024, BMW Group 2025, Bosch 2024, BP Europa 2024, BMWK 2024e, Creos Deutschland 2024, Daimler Truck 2024, enertrag 2024, Europäische Kommission 2022a, b, 2024c, d, EWE Gasspeicher GmbH 2022, EWE Netz 2025, Gasnetz Hamburg 2024, Gasunie Deutschland 2023, Georgsmarienhütte Holding 2022, Glencore Nordenham 2025, H2Apex Group 2024, Hydrogenious LOHC Technologies 2023, Nowega 2024, ONTRAS Gastransport 2024, Open Grid Europe 2024, Papierfabrik Adolf Jass 2023, RWE Gas Storage West 2021, RWE Generation 2022, Statistisches Bundesamt 2023, Steag 2024, Sunfire 2024, tesa 2024, Thyssengas 2024, VNG Gasspeicher 2025, Vogel et al. 2023, Ziegel- und Klinkerwerke Janinhoff 2023

4.3 Abgeleitete Handlungsempfehlungen

Die Redundanzen im bestehenden Instrumenten-Mix sowie die sich hieraus ergebende Komplexität mit entsprechend negativen Folgen werfen die Frage auf, wie eine sinnvolle Anpassung aussehen könnte. Das Ziel wäre hierbei eine Reduktion der betrachteten Komplexität des Instrumenten-Mix bei gleichzeitiger Bearbeitung aller beschriebenen Gründe für ein Marktversagen. Eine Fokussierung auf wenige wirksame Instrumente dürfte dabei vorteilhaft sein. Der Emissionshandel sollte als zentrales Steuerungsinstrument, das die externen Effekte von THG-Emissionen internalisiert, gestärkt werden. Es gilt zu vermeiden, dass komplementäre Maßnahmen die Preissignale verzerren. Deshalb sollte man den ETS nur dann durch Förderinstrumente ergänzen, wenn sich weitere Gründe für Marktversagen – über die sozialen Kosten der CO₂-Emissionen hinaus – dadurch wirksam bearbeiten lassen. Zur Internalisierung positiver Externalitäten könnte man

überlegen, die steuerliche Forschungsförderung stärker zu nutzen.

Neben den negativen externen Effekten führt das aktuelle Koordinationsversagen (Henne-Ei-Problem) zu einer fehlenden Skalierung in der Wasserstoffwirtschaft. In diesem Kontext bieten beidseitige Auktionsmodelle, wie sie beispielsweise im Rahmen von H2Global Anwendung finden, ein besonders vielversprechendes Instrumentendesign. Dieser Mechanismus verbindet wettbewerbliche Preisbildung mit einer signifikanten Reduktion der Unsicherheit über die verfügbaren Mengen auf Angebots- und Nachfrageseite. Darüber hinaus könnte sich die Umsetzung auch an den EHB-Auktionen orientieren und insbesondere die internationale und die europäische Beschaffung zusammenführen. Beide Instrumente könnten besser aufeinander abgestimmt und perspektivisch in einen Energiehandel auf etablierten Marktplätzen überführt werden. Allerdings sind dabei Pflichten zur Offenlegung von erworbenen Wissen gegenüber der Öffentlichkeit (Wissenstransfer) für

begünstigte Unternehmen – derzeit Teil des EHB-Instruments – kritisch zu hinterfragen, da sie die Attraktivität der Instrumente für die Unternehmen und somit auch die Wissensakkumulation beeinträchtigen könnten.

Ein ideales Förderinstrument sollte durch die Bündelung der Nachfrage auf EU-Ebene oder zumindest in einer Koalition williger Staaten erhebliche Skaleneffekte realisieren und so zu einer schnelleren Senkung der Gestehekosten von Wasserstoff und seinen Derivaten beitragen. Bei der Ausgestaltung wären folgende Elemente zu berücksichtigen:

- Differenzkostendeckung auf Basis wettbewerblicher Ausschreibungen auf Angebots- und Nachfrageseite (doppelseitige Auktion), um die ökonomische Effizienz zu sichern und insbesondere den Förderbedarf für eine gegebene Menge Wasserstoff zu minimieren,
- langfristige Abnahmeverträge (>10 Jahre) auf der Beschaffungsseite, die durch eine angemessene Vertragslaufzeit die Planbarkeit verbessern und so die Finanzierungskosten senken,
- transparente und unkomplizierte Teilnahmebedingungen ohne Definition von instrumentenspezifischen Sonderregelungen,
- transparente Kommunikation von Auktionsergebnissen und
- Bewertung der gehandelten Produkte anhand ihres CO₂-Fußabdrucks.

Ein potenzieller Nachteil eines ambitionierten, die ganze EU umspannenden Beschaffungsmechanismus besteht in der möglichen Beschaffung von Übermengen, insbesondere wenn in der Anfangsphase nicht schnell genug in mögliche Anwendungen investiert wird. Eine praktikable Lösung könnte darin bestehen, als Back-up-Option überschüssigen Wasserstoff in das Gasnetz einzuspeisen. Die Finanzierung könnte über handelbare Herkunftszertifikate oder eine Umlage auf Endverbraucherpreise erfolgen, wodurch zugleich ein impliziter Mindestpreis für Wasserstoff etabliert werden würde (eine vertiefende Analyse dieses Ansatzes findet sich bei Grimm et al. 2024).

Parallel zur Einrichtung eines zentralen Beschaffungsmechanismus müssen bestehende regulatorische Hemmnisse identifiziert und systematisch überprüft werden. Zertifizierungsrahmen bilden ein wichtiges Instrument zur Beseitigung von Informationsasymmetrien. Allerdings erweisen sich zahlreiche Vorgaben, beispielsweise im Kontext der RFNBO-Zertifizierung, in der Praxis als übermäßig komplex, kostenintensiv oder nicht zielkonform. Eine pragmatische und unmittelbar wirksame Entlastung bestünde darin, die derzeit geltenden Übergangsregelungen dauerhaft zu verlängern, sodass die Vorgaben zur Zusätzlichkeit sowie zur stündlichen Korrelation des Strombezugs

für RFNBO weiterhin nicht greifen. Besonders kritisch sind zudem die Anforderungen an industrielle CO₂-Quellen für RFNBO. Notwendig wäre entweder eine Lockerung der Vorgabe oder eine Anerkennung alternativer CO₂-Bepreisungsformen, beispielsweise im Rahmen des CBAM, sofern vergleichbare Wirkungen vorliegen und Transparenzstandards erfüllt sind.

4.4 Einschränkungen und Ausblick

In diesem Beitrag haben wir einen strukturierten Überblick über zentrale Förderinstrumente im Kontext des Wasserstoffhochlaufs gegeben. Allerdings gibt es einige Punkte, die wir in der hier dargestellten Evaluation noch nicht berücksichtigen konnten, da sie den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden. Ihre Untersuchung könnte jedoch wesentliche Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der Förderarchitektur liefern. So war es in der Analyse notwendig, dass wir uns bei der Auswahl der betrachteten Instrumente auf zentrale Mechanismen konzentrieren. Eine umfassendere Betrachtung der bestehenden Förderlandschaft unter Einbezug weiterer Instrumente könnte die hier angestellten Befunde erweitern und möglicherweise weiter stützen. Zudem könnten neben den untersuchten Gründen für ein Marktversagen weitere ökonomische Ineffizienzen bestehen, die in künftigen Arbeiten zu berücksichtigen wären.

Die Analyse bietet auch noch keine quantitative Bewertung: Der bürokratische Erfüllungsaufwand konnte in diesem Rahmen nicht quantifiziert werden und für eine belastbare Bewertung der Effizienz einzelner Instrumente fehlen bislang empirisch fundierte Erkenntnisse zu Zielerreichung und Marktwirkung. Hierfür wären vertiefende Untersuchungen erforderlich.

Die zahlreichen Überschneidungen und Redundanzen im Bearbeiten zentraler Gründe für ein Marktversagen könnten sich aus divergierenden Interessen der beteiligten Akteure ergeben oder auch daraus, dass die Instrumente weiteren Zielen dienen, die wir hier nicht thematisiert haben. Diese Aspekte dürften auch die politische Umsetzbarkeit der in den Handlungsempfehlungen vorgeschlagenen Maßnahmen beeinflussen. Eine tiefergehende Analyse der institutionellen und akteursbezogenen Hintergründe wäre ein lohnender Ansatzpunkt für künftige Forschung.

Viele dieser offenen Fragen werden im Forschungsprojekt IMA-GH2 weiterverfolgt, in dessen Rahmen auch dieser Beitrag entstanden ist. Vertiefte Analysen und Modellierungen sollen zu einem besseren Verständnis der Ziele und der Zielerreichung bestehender Förderinstrumente beitragen, sodass künftige Maßnahmen justiert werden können.

5 Die Notwendigkeit eines fokussierten Instrumentenrahmens

Der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft wird derzeit mit einer Vielzahl an Förderinstrumenten unterstützt, die größtenteils seit dem Jahr 2020 entstanden sind. Erste Erfolge, beispielsweise im Rahmen der Ammoniak-Ausschreibungen von H2Global oder der ersten Auktionsrunden der EHB, lassen erkennen, dass einzelne Instrumente wirksam zu Projektentwicklungen beitragen können. Dennoch bestehen erhebliche Herausforderungen: Weder auf der Angebotsseite noch auf der Nachfrageseite werden bislang auch nur annähernd die Investitionen mobilisiert, die notwendig sind, um die politisch festgelegten Ausbauziele zu erreichen.

Eine zentrale Herausforderung ist die hohe Komplexität des aktuellen Instrumenten-Mix. Die Vielzahl paralleler Programme führt nicht nur zu potenziell erheblichen administrativen Belastungen, sondern auch zu Zielkonflikten und negativen Wechselwirkungen, die Effizienz und Effektivität des Gesamtsystems untergraben. Insbesondere die Analyse der Gründe für ein Marktversagen und die entsprechende Einordnung der Instrumente fördern deutliche Redundanzen zutage, die auf eine mangelnde Koordination der Instrumentenlandschaft hinweisen.

Vor diesem Hintergrund haben wir in diesem Beitrag erste Empfehlungen für ein konsistenteres, vereinfachtes Fördersystem hergeleitet. Ziel ist ein möglichst effektiver Einsatz öffentlicher Mittel bei gleichzeitiger Reduktion bürokratischer Hürden und besserer Wirksamkeit. Im Zentrum steht dabei die Stärkung des Europäischen Emissionshandels als Leitinstrument der Klimapolitik zur Internalisierung der sozialen Kosten der THG-Emissionen. Diesen sollte ein transparentes und doppelseitiges Auktionsmodell zur Bekämpfung des Koordinationsproblems ergänzen, das die europäische Beschaffung bündelt und übergangsweise eine Differenzkostendeckung ermöglicht. Diese beiden Instrumente wären durch ein praktikables EU-harmonisiertes Zertifizierungssystem für erneuerbaren und kohlenstoffarmen Wasserstoff sowie durch allgemeine steuerliche Forschungsanreize zu flankieren. Nur mit einem strategisch fokussierten und marktorientierten Instrumentenrahmen wird es möglich sein, den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft zu beschleunigen und langfristig tragfähig zu gestalten.

Danksagung: Die Autoren danken dem Gastherausgeber Harald Fadinger und den Gutachtern für ihre hilfreichen Anmerkungen. Zudem danken sie 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) und 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.

Förderung: Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Forschungsprojektes „IMA-GH2: Instrumente zur Beschleunigung des Markthochlaufs grünen Wasserstoffs und seiner Derivate“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) gefördert wird.

Interessenkonflikte: Die Autoren versichern, dass sie diesen Beitrag unabhängig erstellt haben und ihnen keine finanziellen oder persönlichen Interessen bekannt sind, die die Aussagen oder Schlussfolgerungen beeinflusst haben könnten.

Literaturverzeichnis

- Acemoglu, D. et al. (2012), The environment and directed technical change, *American Economic Review* 102(1), S. 131–66.
- Air Liquide (2025), Über uns, online verfügbar unter <https://de.airliquide.com/ueber-uns>.
- Airbus (2024), Airbus veröffentlicht Jahresergebnisse 2023, Pressemitteilung vom 15. Februar, online verfügbar unter <https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2024-02/DE-Press-Release-Airbus-FY2023-Results.pdf>.
- Akerlof, G.A. (1970), The market for “lemons”: Quality uncertainty and the market mechanism, *Quarterly Journal of Economics* 84(3), S. 488–500.
- Arrow, K.J. (1962), Economic welfare and the allocation of resources for invention, in: National Bureau Of Economic Research (Hrsg.), *The Rate and Direction of Inventive Activity*, Princeton, Princeton University Press, S. 609–26.
- Arrow, K.J. (1963), Uncertainty and the welfare economics of medical care, *American Economic Review* 53(5), S. 941–73.
- Arthur, W.B. (1989), Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events, *Economic Journal* 99(394), S. 116–31.
- BASF SE (2023), CO₂-freier Wasserstoff: BASF erhält Förderzusage für 54 Megawatt-Wasserelektrolyse, Pressemitteilung vom 23. November, online verfügbar unter: <https://www.basf.com/basf/www/global/de/media/news-releases/2023/11/p-23-367>.
- BMW Group (2025), Jahresabschluss 2024 der BMW AG, online verfügbar unter <https://www.bmwgroup.com/de/bericht/2024/downloads/BMW-AG-Jahresabschluss-2024-de.pdf>.
- Bollerhey, T. et al. (2023), H2Global – Idee, Instrument und Intentionen *Policy Brief H2Global Stiftung* 01/2022, aktualisierte 2. Fassung vom Februar 2023, online verfügbar unter https://files.h2-global.de/H2Global-Stiftung-Policy-Brief-01_2022-DE.pdf.

- Bauer, F. et al. (2023), The market ramp-up of renewable hydrogen and its derivatives – the role of H2Global, 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>.
- Bosch (2024), Crossroads: Geschäftsbericht 2023, online verfügbar unter <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/c5/6a/383225/bosch-geschaeftsbericht-2023.pdf>.
- BP Europa (2024), Lagebericht und Jahresabschluss für das Geschäftsjahr vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2023 sowie Bestätigungsvermerk des unabhängigen Abschlussprüfers, online verfügbar unter <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/20/d6/389475/BP-ESE-Jahresabschlussbericht-2023.pdf>.
- Brennstoffemissionshandelsgesetz (2025), online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/behg/BEHG.pdf>.
- Brennstoffemissionshandelsverordnung (2023), online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/behv/BEHV.pdf>.
- BMF – Bundesministerium der Finanzen (2021), Deutscher Aufbau- und Resilienzplan (DARP), online verfügbar unter https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Broschueren_Bestellservice/deutscher-aufbau-und-resilienzplan-darp.html.
- BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2021), Verkehrsministerium und Wirtschaftsministerium bringen 62 Wasserstoff-Großprojekte auf den Weg, online verfügbar unter <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/62-wasserstoff-grossprojekte.html>.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021), Bekanntmachung des Interessenbekundungsverfahrens zur geplanten Förderung im Bereich Wasserstofftechnologien und -systeme, online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/1/ipcei-bekanntmachung-interessenbekundungsverfahren.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023a), Bundeskabinett beschließt Wirtschaftsplan des Klima- und Transformationsfonds (KTF), Pressemitteilung, online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/08/20230809-bundeskabinett-beschliesst-wirtschaftsplan-des-ktf.html>.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023b), Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie, online verfügbar unter https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=9.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024a), Handbuch zum Förderprogramm Klimaschutzverträge (Version 2.0), 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.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024b), Offizieller Startschuss für die Umsetzung von 23 IPCEI-Wasserstoff-Projekten in Deutschland, Pressemitteilung vom 15. Juli, online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/07/20240715-ipcei-wasserstoff-projekte.html>.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024c), Richtlinie zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in der Industrie durch Klimaschutzverträge, online verfügbar unter https://www.klimaschutzvertraege.info/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/ewbpublications/547f289f-6150-11ef-bacd-a0369fe1b6c9/live/document/240311_F%C3%B6rderrichtlinie_Klimaschutzvertr%C3%A4ge_vf.pdf.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024d), EU-Kommission gibt den Weg frei für die Förderung von 24 deutschen IPCEI Wasserstoffprojekten, Pressemitteilung vom 15. Februar, 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>.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024e), Habeck überreicht Klimaschutzverträge, online verfügbar unter: https://www.klimaschutzvertraege.info/news/habeck_ueberreicht_klimaschutzvertraege.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024 f), Wichtiger Schritt vorwärts – EU-Kommission genehmigt zweite Ausschreibung in H2Global zum Ankauf von grünen Wasserstoffprodukten, Pressemitteilung vom 27. Dezember, online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/12/20241227-eu-kommission-genehmigt-zweite-ausschreibung-in-h2global.html>.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022), Europäische Kommission genehmigt 41 Wasserstoff-Großprojekte – Rückenwind aus Brüssel für vier erste Projekte aus Deutschland, Pressemitteilung vom 15. Juli, online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/07/20220715-europaeische-kommission-genehmigt-41-wasserstoff-grossprojekte.html>.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (2023), Habeck und Neubaur: Förderzusage für 2-Milliarden Euro für größtes Dekarbonisierungsprojekt in Deutschland, Pressemitteilung vom 26. Juli, online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/07/20230726-habeck-neubaur-2-milliarden-euro-foerderbescheid-fuer-dekarbonisierungsprojekt-in-deutschland.html>.
- Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie und Bundesministerium Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (2021), IPCEI Hydrogen: Einladung zur Abgabe detaillierter Projektbeschreibungen, online verfügbar unter https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:1a21b5c4-5a7d-481b-a82e-6c0a7f616a56/ipcei_einladung_hydrogen.pdf&ved=2ahUKEwui6LK26fyKAXwnhv0HHelfKE4QFnoECBcQAQ&usq=AOvVaw2x5R2LaS6ueAKxdRZMLBsQ.
- CINEA – Europäische Exekutivagentur für Klima, Infrastruktur und Umwelt (2024), Innovation Fund fixed premium auction call 2024 for RFNBO Hydrogen (Version 1.0), 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.
- Creos Deutschland (2024), Geschäftsbericht 2023, online verfügbar unter https://www.creos-net.de/fileadmin/dokumente/Creos_Deutschland_Gasnetz/Unternehmen/pdf/Gesch%C3%A4ftsbericht_Creos_Deutschland_2023.pdf.
- Daimler Truck (2024), Geschäftsbericht 2023, 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.

- Delegierte Verordnung (EU) 2021/2139 (2021), online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2021/2139/oj/eng
- Delegierte Verordnung (EU) 2023/1184 (2023), online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2023/1184/oj/eng.
- Delegierte Verordnung (EU) 2023/1185 (2023), online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2023/1185/oj/eng.
- Delegierte Verordnung (EU) 2023/2485 (2023), online verfügbar unter http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/2485/oj/eng.
- Delegierte Verordnung (EU) 2023/2486 (2023), online verfügbar unter http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/2486/oj/eng.
- Delegierte Verordnung (EU) 2019/1122 (2025), online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:02019R1122-20250101&qid=1740586415923>.
- DEHSt – Deutsche Emissionshandelsstelle (2025), Information zu den Vollzugsverfahren Überwachungsplan/Emissionsgenehmigung und Emissionsbericht/berichterstattung 2024 im EU-ETS 2, online verfügbar unter <https://www.dehst.de/SharedDocs/Newsletter/DE/2025/07-01-25-nehs-eu-ets-2-emissionsberichte-01.html>.
- DEHSt – Deutsche Emissionshandelsstelle und Umweltbundesamt (2024a), Leitfaden: Anwendungsbereich sowie Überwachung und Berichterstattung von CO₂-Emissionen im nEHS (2023–2030), online verfügbar unter <https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/nehs/nehs-leitfaden-monitoring-2023-2030.html>.
- DEHSt – Deutsche Emissionshandelsstelle und Umweltbundesamt (2024b), Nationalen Emissionshandel verstehen, online verfügbar unter https://www.dehst.de/DE/Themen/nEHS/nEHS-verstehen/nehs-verstehen_artikel.html?nn=284536#doc284546bodyText3.
- DEHSt – Deutsche Emissionshandelsstelle und Umweltbundesamt (2024c), Verwendung der Erlöse, online verfügbar unter https://www.dehst.de/DE/Themen/EU-ETS-1/EU-ETS-1-Informationen/Reform-Perspektiven/Erloese/erloese_node.html.
- DEHSt – Deutsche Emissionshandelsstelle und Umweltbundesamt (2024d), EU-Emissionshandel verstehen, 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.
- DEHSt – Deutsche Emissionshandelsstelle und Umweltbundesamt (2025), Leitfaden zur Erstellung von Überwachungsplänen und Emissionsberichten für stationäre Anlagen – 4. Handelsperiode (2021–2030) des europäischen Emissionshandels, online verfügbar unter https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/stationaere_anlagen/2021-2030/Ueberwachungsplan-Emissionsbericht_Leitfaden.html.
- Diekmann J. (2012), EU-Emissionshandel: Anpassungsbedarf des Caps als Reaktion auf externe Schocks und unerwartete Entwicklungen, Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt, online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4378.pdf>.
- Richtlinie (EU) 2023/2413 (2023), online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj/eng>.
- Richtlinie (EU) 2024/1788 (2024), online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1788/oj/eng>.
- Durchführungsverordnung (EU) 2023/1773 (2023), online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1773>.
- E-Bridge (2024), E-Bridge-H2-Index „HydexPLUS“ wird Leitindex in den Klimaschutzverträgen der Bundesregierung, online verfügbar unter <https://e-bridge.de/portfolio-items/e-bridge-h2-index-hydexplus-wird-leitindex-in-den-klimaschutzvertraegen-der-bundesregierung/>.
- E-Bridge (2025), Wasserstoff-Index, online verfügbar unter: <https://e-bridge.de/kompetenzen/wasserstoff/h2index/>.
- EEM (2024), Monitoringbericht 2024 der Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring, online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/monitoringbericht-expertenkommission-zum-energie-wende-monitoring.pdf?__blob=publicationFile&v=8.
- Egerer, J. et al. (2024), The industry transformation from fossil fuels to hydrogen will reorganize value chains: Big picture and case studies for Germany, *Applied Energy* 358, 122485.
- Energienetzwerk Landkreis Meißen (2024), Schmiedewerke Gröditz GmbH bekommen Klimaschutzvertrag überreicht, online verfügbar unter <https://www.energie-kreis-meissen.de/index.php?ModID=7&FID=3837.94.1&object=tx%2C3837.5.1>.
- enertrag (2024), Jahresabschluss zum 31. März 2024, online verfügbar unter https://enertrag.com/de/media/downloads/enertrag_se_-_jahresabschluss_und_lagebericht_gj_2023-2024.
- ERK – Expertenrat Klima (2025), *Zweijahresgutachten 2024*, online verfügbar unter https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2025/02/ERK2025_Zweijahresgutachten-2024.pdf.
- EU20 (2020), Manifesto for the development of a European “Hydrogen Technologies and Systems” value chain, 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.
- Europäischer Rechnungshof (2024), *Die Industriepolitik der EU im Bereich erneuerbarer Wasserstoff*, Sonderbericht, online verfügbar unter https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2024-11/SR-2024-11_DE.pdf.
- Europäische Kommission (2021a), Kriterien für die Würdigung der Vereinbarkeit von staatlichen Beihilfen zur Förderung wichtiger Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse mit dem Binnenmarkt (2021/C 528/02), Mitteilung, online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=ojjOC_2021_528_R_0002.
- Europäische Kommission (2021b), State Aid SA.62619 (2021/N) – Germany H2Global measure for the market ramp-up of green hydrogen and its derivatives in Europe, online verfügbar unter https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases/1/202248/SA_62619_200A9F84-0800-C037-9802-C687A31844E1_56_1.pdf.
- Europäische Kommission (2022a), Important Project of Common European Interest on Hydrogen Industry (Hy2Use) (Published Decision No. C(2022) 6847 final), online verfügbar unter https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases/1/202427/SA_64650_439.pdf.
- Europäische Kommission (2022b), Important Project of Common European Interest on Hydrogen Technology (Hy2Tech) (Published Decision No. C(2022) 5158 final), online verfügbar unter https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases/1/202414/SA_64647_906AAD8E-0000-C3B8-A321-668C037ED53F_427_1.pdf.
- Europäische Kommission (2022c), State Aid SA.103774 (2022/N) – Germany Project Hy4Chem-El-BASF (No. C(2022) 7124 final), online verfügbar unter https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases/1/202449/SA_103774_62.pdf.
- Europäische Kommission (2022d), Mitteilung der Kommission – Leitlinien für staatliche Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen 2022, online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=ojjOC_2022_080_R_0001.
- Europäische Kommission (2023a), Mitteilung an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und

- Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über die Europäische Wasserstoffbank (COM/2023/156 final), online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52023DC0156>.
- Europäische Kommission (2023b), Innovation Fund Auction: Terms and Conditions, online verfügbar unter https://climate.ec.europa.eu/system/files/2023-08/innovationfund_pilotauction_termsandconditions_en.pdf#:~:text=In%20the%20following%20tables,%20we%20lay%20out%20the%20design.
- Europäische Kommission (2023c), Staatliche Beihilfen: Kommission genehmigt Direktzuschuss Deutschlands von 550 Mio. EUR und bedingten Zahlungsmechanismus von bis zu 1,45 Mrd. EUR zur Unterstützung von ThyssenKrupp Steel Europe bei der Dekarbonisierung seiner Stahlproduktion und der rascheren Umstellung auf erneuerbaren Wasserstoff, online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_23_3928.
- Europäische Kommission (2023d), Joint EU-Germany statement on Germany's participation in the European Hydrogen Bank "Auctions-as-a-Service" scheme, online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/ip_23_5823.
- Europäische Kommission (2023e), Commission Staff Working Document SWD (2023) 239, online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=SWD:2023:239:FIN>.
- Europäische Kommission (2024a), Auctions-as-a-Service for countries in European Economic Area (EEA), 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.
- Europäische Kommission (2024b), IF23 Auction for renewable hydrogen production, online verfügbar unter https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/calls-proposals/if23-auction-renewable-hydrogen-production_en.
- Europäische Kommission (2024c), Important Project of Common European Interest on Hydrogen Infrastructure "Hy2Infra" – RRF (Published Decision No. C(2024) 1053 final), online verfügbar unter https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202442/SA_102825_1118.pdf.
- Europäische Kommission (2024d), Important Project of Common European Interest on Hydrogen on Mobility & Transport (IPCEI 'Hy2Move') – RRF (Published Decision No. C(2024) 3631 final), online verfügbar unter https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202451/SA_104676_649.pdf.
- Europäische Kommission (2024e), Innovation Fund IF24 Auction Terms and Conditions, online verfügbar unter https://climate.ec.europa.eu/document/download/b996825e-cd36-44c1-895d-a780062f626d_en?filename=2024%2009%2025%20Final%20TC_2nd%20Round%20RFNBO%20H2_IF_TCforPUBLICATION_Clean.pdf.
- Europäische Kommission (2024 f), State Aid SA.109550 (2023/N) – Germany European Hydrogen Bank Auctions-as-a-Service 2023 (No. C(2024) 2090 final), online verfügbar unter https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202417/SA_109550_B011068F-0100-CB1F-898A-BB15A85366F6_84_1.pdf.
- Europäische Kommission (2024g), State Aid SA.104880 (2024/N) – Germany „Förderprogramm Klimaschutzverträge“ – Climate Protection Contracts scheme – RRF, online verfügbar unter https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202446/SA_104880_359.pdf.
- Europäische Kommission (2024h), EU taxonomy for sustainable activities, online verfügbar unter: https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en.
- Europäische Kommission (2024i), 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.
- Europäische Kommission (2024j), Methode zur Bestimmung der Treibhausgaseinsparungen durch CO₂-arme Brennstoffe, online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14303-Methode-zur-Bestimmung-der-Treibhausgaseinsparungen-durch-CO2-arme-Brennstoffe_de.
- Europäische Kommission (2024k), State Aid SA.108511, SA.110056 – Germany and the Netherlands H2Global Scheme – 2nd Funding Window, online verfügbar unter https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/20257/SA_108511_143.pdf.
- Europäische Kommission (2025a), Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Der Deal für eine saubere Industrie: Ein gemeinsamer Fahrplan für Wettbewerbsfähigkeit und Dekarbonisierung (COM(2025) 85 final), online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52025DC0085>.
- Europäische Kommission (2025b), Competitive bidding, online verfügbar unter https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/competitive-bidding_en.
- Europäische Kommission (2025c), Voluntary schemes, online verfügbar unter https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en.
- Europäische Kommission (2025d), Participating in an Important Project of Common European Interest – technical guidance on conditions and process, online verfügbar unter https://competition-policy.ec.europa.eu/document/download/279cbfaf-49b1-4b90-b8f7-89d1f4a21eb3_en?filename=JEF_IPCEI_technical-guidance-calls.pdf.
- Europäische Umweltagentur (2024), Use of auctioning revenues generated under the EU Emissions Trading System, online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/use-of-auctioning-revenues-generated>.
- Europäisches Parlament (2024), Legislative Train 09.2024 – A European Green Deal, online verfügbar unter <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-eu-hydrogen-bank?sid=8401>.
- EWE Gasspeicher GmbH (2022), Jahres- und Tätigkeitsabschluss nach EnWG zum Geschäftsjahr vom 01.01.2021 bis zum 31.12.2021, online verfügbar unter <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/start>.
- EWE Netz (2025), Fakten & Zahlen über das Unternehmen, online verfügbar unter <https://www.ewe-netz.de/ueber-uns/ewe-netz/fakten-und-zahlen>.
- Gasnetz Hamburg (2024), Bericht für das Geschäftsjahr vom 1. Januar bis 31. Dezember 2023, online verfügbar unter <https://filehub.admiralcloud.com/v5/deliverFile/7416bc37-0afb-491a-aedb-32baa17cec5b?download=true>.
- Gasunie Deutschland (2023), Geschäftsbericht für das Geschäftsjahr vom 1. Januar 2022 bis zum 31. Dezember 2022, online verfügbar unter <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/94/89/312144/GB-GUD-Transport-2022.pdf>.
- Geitmann, S. (2024), Beschleunigter Ausbau erneuerbarer Energien, HZwei vom 5. Februar, online verfügbar unter <https://www.hzwei.info/unternehmen/red-iii-ist-da-anderswo-dauert-die-warterei-noch-beschleunigter-ausbau-erneuerbarer-energien/>.

- Georgsmarienhütte Holding (2022), Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2021 bis zum 31.12.2021, Bundesanzeiger vom 7. Juni.
- Glencore Nordenham (2025), Willkommen bei Glencore Nordenham, online verfügbar unter <https://www.glencore-nordenham.de/de/>.
- Grimm, V. und W.H. Reuter (2025), Wie sich die Abwanderung der Industrie bremsen lässt, Gastkommentar, *Handelsblatt* vom 4. April, online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/meinung/gastbeitraege/gastkommentar-wie-sich-die-abwanderung-der-industrie-bremsen-laesst/100111456.html>.
- Grimm, V., C. Sölch und J. Wirth (2024), *Wachstum und Klimaschutz vereinen*, Berlin, Konrad-Adenauer-Stiftung, 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.
- H2Apex Group (H2APEX Group SCA)(2024), Annual Report 2023, online verfügbar unter https://ir.h2apex.com/fileadmin/downloads/ir/gesch_bericht/H2APEX_Group_SCA_-_Annual_Account_2023.pdf.
- Handelsblatt (2024), Equinor exportiert nun doch keinen „blauen“ Wasserstoff nach Deutschland, *Handelsblatt* vom 23. September, online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/equinor-exportiert-nun-doch-keinen-blauenwasserstoff-nach-deutschland-01/100071670.html>.
- Hausmann, R. und D. Rodrik (2003), Economic development as self-discovery, *Journal of Development Economics* 72(2), S. 603–33.
- Hintco (2024), Pilot auction results, Hintco by H2Global, online verfügbar unter https://hintco.eu/wp-content/uploads/2025/07/H2Global_Pilot-Auction-Results_Brief2.pdf.
- Hintco (2025), 2nd H2Global Auction Round – Information about the tender design and process, Hintco by H2Global, online verfügbar unter <https://www.hintco.eu/download-registry>.
- Husarek, D., J. Schmutge und S. Niessen (2021), Hydrogen supply chain scenarios for the decarbonisation of a German multi-modal energy system, *International Journal of Hydrogen Energy* 46(76), S. 38008–25.
- Hydrogen Europe (2025), Assessing the implementation of hydrogen IPCEIs: Challenges and opportunities, *Hydrogen Europe Quarterly Magazine* 10, S. 10–17, online verfügbar unter https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2025/03/The-Hydrogen-Europe-Quarterly_10_DIGITAL.pdf.
- Hydrogenious LOHC Technologies (2023), Jahresabschluss 2022, online verfügbar unter https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/fc/a8/369314/Jahresabschluss_2022_HydrogeniousLOHC.pdf.
- IEA – International Energy Agency (2021), *Global Hydrogen Review 2021*, Paris, IEA Publications, online verfügbar unter <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5bd46d7b-906a-4429-abda-e9c507a62341/GlobalHydrogenReview2021.pdf>.
- IEA – International Energy Agency (2022), *Global Hydrogen Review 2022*, Paris, IEA Publications, online verfügbar unter <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>.
- IEA – International Energy Agency (2023), *Global Hydrogen Review 2023*, Paris, IEA Publications, online verfügbar unter <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf>.
- IEA – International Energy Agency (2024a), *Global Hydrogen Review 2024*, Paris, IEA Publications, online verfügbar unter <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf>.
- IEA – International Energy Agency (2024b), Hydrogen Production and Infrastructure Projects Database, online verfügbar unter <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database#hydrogen-production-and-infrastructure-projects>.
- Janinhoff GmbH & Co KG – Klinkermanufaktur (2024), Aus großer Kraft folgt große Verantwortung, *LinkedIn* vom 26. November, online verfügbar unter https://www.linkedin.com/posts/janinhoff-gmbh-co-kg_janinhoff-allesandereistnurfassade-wasserstoff-activity-7267062065473753089-sMrc/?originalSubdomain=de.
- Kremer, M. (1993), The O-ring theory of economic development, *Quarterly Journal of Economics* 108(3), S. 551–75.
- Kuhn, M. und P. Koop (H2Global Stiftung)(2023), Standardizing hydrogen certification: Enhance traceability, transparency, and market access, H2Global Stiftung Policy Brief 05/2023, online verfügbar unter https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2023/09/H2Global-Stiftung-Policy-Brief-05_2023-EN.pdf.
- Ludig, S. et al. (2022), Das Konzept von Brennstoffemissionen im nationalen Emissionshandel, *Climate Change* 42/2022, Umweltbundesamt, online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_42-2022_das_konzept_von_brennstoffemissionen_im_nationalen_emissionshandel.pdf.
- Lux, B. et al. (2022), The role of hydrogen in a greenhouse gas-neutral energy supply system in Germany, *Energy Conversion and Management* 270, 116188.
- Mohr, S. (2024), Mindestanteile für grünen Wasserstoff in der Industrie: Die Folgen der RED III, FfE vom 12. Juni, online verfügbar unter <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/mindestanteile-fuer-gruenen-wasserstoff-in-der-industrie-die-folgen-der-red-iii/>.
- NWR – Nationaler Wasserstoffrat (2024a), Umsetzung RED III in nationales Recht (RFNBO-Quote für die Industrie), Stellungnahme vom 1. März, online verfügbar unter https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2024/2024-03-01_NWR-Stellungnahme_Umsetzung_RED_III_Industriequote.pdf.
- NWR – Nationaler Wasserstoffrat (2024b), Stellungnahme zur Erarbeitung der Wasserstoff-Importstrategie der Bundesregierung, Stellungnahme vom 19. Januar, online verfügbar unter https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2024/2024-01-19_NWR-Stellungnahme_Importstrategie.pdf.
- NWR – Nationaler Wasserstoffrat (2024c), Zertifizierungskriterien für CO₂-armen Wasserstoff, Stellungnahme vom 22. November, online verfügbar unter https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2024/2024-11-22_NWR-Stellungnahme_CO2-armen-Wasserstoff.pdf.
- Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Bauen und Digitalisierung (2024), Glencore Nordenham erhält rund 360 Millionen Euro im Rahmen des Bundesförderprogramms „Klimaschutzverträge“, Pressemitteilung vom 17. Oktober, 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.
- Nowega (2024), Jahresabschluss zum 31. Dezember 2023 und Lagebericht für das Geschäftsjahr vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2023, online verfügbar unter https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/56/7d/372331/Nowega_Testat-JAP-2023_SIGNATURE_DEE00104865-1-1.pdf.
- Odenweller, A. und F. Ueckerdt (2025), The green hydrogen ambition and implementation gap, *Nature Energy* 10(1), S. 110–23.

- Olson, M. (1971), *The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups*, Cambridge MA, Harvard University Press.
- ONTRAS Gastransport (2024), Jahres- und Tätigkeitsabschluss nach EnWG zum Geschäftsjahr vom 01.01.2023 bis zum 31.12.2023, online verfügbar unter https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/2f/ff/378772/JA2023_ONTRAS.pdf.
- Open Grid Europe (2024), Geschäftsbericht 2023, online verfügbar unter https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/e4/92/382333/2023_OGE_Geschaeftsbericht.pdf.
- Osthessen News (2024), Papierfabrik Jass soll Ankerkunde fürs Wasserstoff-Kernnetz der Region werden, *Osthessen News* vom 2. November, online verfügbar unter <https://osthessen-news.de/n11767957/papierfabrik-jass-soll-ankerkunde-fuers-wasserstoff-kernnetz-der-region-werden.html>.
- Papierfabrik Adolf Jass (2023), Konzernabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2021 bis zum 31.12.2021, *Bundesanzeiger* vom 9. Mai.
- Pigou, A. (1920), *The Economics of Welfare*, London, Macmillan.
- Przadka, A. et al. (2024), *Annual knowledge sharing report of the Innovation Fund: De risking innovative low carbon technologies*, CINEA, online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/56611073-3f2b-11ef-bf41-01aa75ed71a1/language-en>.
- REDcert (2024), Systemdokumente RedcertEU, online verfügbar unter <https://www.redcert.org/redcert-systeme/systemdokumente.html>.
- Verordnung (EU) 2020/852 (2020), online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj>.
- Rennert, K. et al. (2022), Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO₂, *Nature* 610(7933), S. 687–92.
- Richtlinie 2003/87/EG (2024), online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A02003L0087-20240301>.
- Rodrik, D. (2004), Industrial policy for the twenty-first century, *SSRN Working Paper* 617544.
- Romer, P.M. (1990), Endogenous technological change, *Journal of Political Economy* 98(5, Part 2), S71–S102.
- RWE Gas Storage West (2021), Jahresabschluss für das Rumpfgeschäftsjahr vom 1. Juli 2020 bis zum 31.12.2020, *Bundesanzeiger* vom 1. Dezember.
- RWE Generation (2022), Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2021 bis zum 31.12.2021, *Bundesanzeiger* vom 9. Mai.
- Schmitz, R. et al. (2024), Implications of hydrogen import prices for the German energy system in a model-comparison experiment, *International Journal of Hydrogen Energy* 63, S. 566–79.
- SEFE (2025), SEFE und ACWA Power schließen Partnerschaft zur Lieferung von jährlich 200.000 Tonnen grünem Wasserstoff nach Deutschland und Europa, Pressemitteilung vom 3. Februar, 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>.
- Spence, M. (1973), Job market signaling, *Quarterly Journal of Economics* 87(3), S. 355–74.
- Sprenger, T. et al. (2024), Datengrundlage für E.ON H2Bilanz 2024 2. Halbjahr, online verfügbar unter https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2024/11/EWI_Datengrundlage_Begleitdokument_H2-Bilanz_2024_02.pdf.
- Stahl, T. (2024), Blauer Wasserstoff für Deutschland: Jetzt schieben Skandinavien den Riegel vor, *EFAHRER* vom 24. September, online verfügbar unter <https://www.msn.com/de-de/finanzen/top-stories/blauer-wasserstoff-f%C3%BCr-deutschland-jetzt-schieben-skandinavien-den-riegel-vor/ar-AA1r7LVC>.
- Statistisches Bundesamt (2023), Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Beschäftigtengrößenklassen, Wirtschaftszweige (WZ2008 2-/3-/4-Steller) (Code 42271–0005), online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/42271/table/42271-0005>.
- Steag (2024), Konzernabschluss und zusammengefasster Lagebericht des Konzerns und der Gesellschaft 31. Dezember 2023, online verfügbar unter https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/07/72/384973/Steag-GmbH_Jahresabschluss_2023.pdf.
- Stern, N. (2007), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Stiglitz, J.E. (1975), The theory of “screening”, education, and the distribution of income, *American Economic Review* 65(3), S. 283–300.
- Stiglitz, J.E. (2000), The contributions of the economics of information to twentieth century economics, *Quarterly Journal of Economics* 115(4), S. 1441–78.
- Sunfire (2024), Jahresabschluss zum 31. Dezember 2022 und Lagebericht für das Geschäftsjahr vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2022, online verfügbar unter <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/80/c7/318434/Sunfire-Jahresabschluss-2022.pdf>.
- tesa (2024), Nachhaltigere Produktion: Tesa setzt auf grünen Wasserstoff für eine klimaneutrale Zukunft, Pressemitteilung vom 20. August, 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>.
- Thyssengas (2024), Jahresabschluss zum 31. Dezember 2023 und Lagebericht für das Geschäftsjahr vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2023, online verfügbar unter <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/53/53/451238/TG-Testat-EA-31-12-2023.pdf>.
- Tinbergen, J. (1952), *On the Theory of Economic Policy*, Amsterdam, North-Holland.
- Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (2025), online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/tehg_2025/TEHG.pdf.
- Umweltbundesamt (2025), Einnahmen aus dem Emissionshandel erneut auf Rekordniveau, Pressemitteilung vom 7. Januar, online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/einnahmen-aus-dem-emissionshandel-erneut-auf>.
- Verordnung (EU) 2021/1119 (2021), online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R1119>.
- Verordnung (EU) 2023/956 (2023), online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02023R0956-20230516>.
- VNG Gasspeicher (2025), VNG Gasspeicher GmbH, online verfügbar unter <https://www.vng.de/de/vng-gasspeicher-gmbh>.
- Vogel, L., M. Neumann und S. Linz (2023), Berechnung und Entwicklung des neuen Produktionsindex für energieintensive Industriezweige, Destatis, online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2023/02/produktionsindex-energieintensive-industriezweige-022023.pdf?__blob=publicationFile.
- WirtschaftsWoche (2024), Klimaschutzverträge: Habeck will grüne Industrie mit 10 Milliarden Euro fördern, *WirtschaftsWoche* vom 15. Oktober, online verfügbar unter <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/klimaschutzvertraege-habeck-will-gruene-industrie-mit-10-milliarden-euro-foerdern/30040024.html>.
- Ziegel- und Klinkerwerke Janinhoff (2023), Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2021 bis zum 31.12.2021, *Bundesanzeiger* vom 31. März.

Anhang

Abkürzungsverzeichnis

AaaS = Auction as a Service

AEUV = Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union

BEHG = Brennstoffemissionshandelsgesetz

CBAM = Carbon Border Adjustment Mechanism / CO₂ Grenzausgleichsmechanismus

CEEAG = Climate, Energy and Environmental State Aid Guidelines/
Leitlinien für staatliche Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen

CCUS = Carbon Capture, Utilisation and Storage

CO₂e = CO₂-Äquivalente

DV = Delegierte Verordnung

EHB = European Hydrogen Bank

EnergieStg = Energiesteuergesetz

EU = Europäische Union

eSAF = Electric Sustainable Aviation Fuel / nachhaltige Flugkraftstoffe
nicht biogenen Ursprungs

ETS = Emission Trading System / Emissionshandelssystem

F&E = Forschung und Entwicklung

GW = Gigawatt

H₂ = 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 = Klimaschutzverträge

kt = Kilotonnen

KTF = Klima- und Transformationsfond

LCF = Low Carbon Fuels

MW = Megawatt

nEHS = Nationales Emissionshandelssystem

NZIA = Net Zero Industry Act

RCF = Recycled Carbon Fuels

RED = Renewable Energy Directive / Erneuerbare Energien Richtlinie

RFNBO = Renewable Fuels of Non Biological Origin

t = Tonnen

TEHG = Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz

THG = Treibhausgas

TWh = Terawattstunden

VgV = Vergabeverordnung