

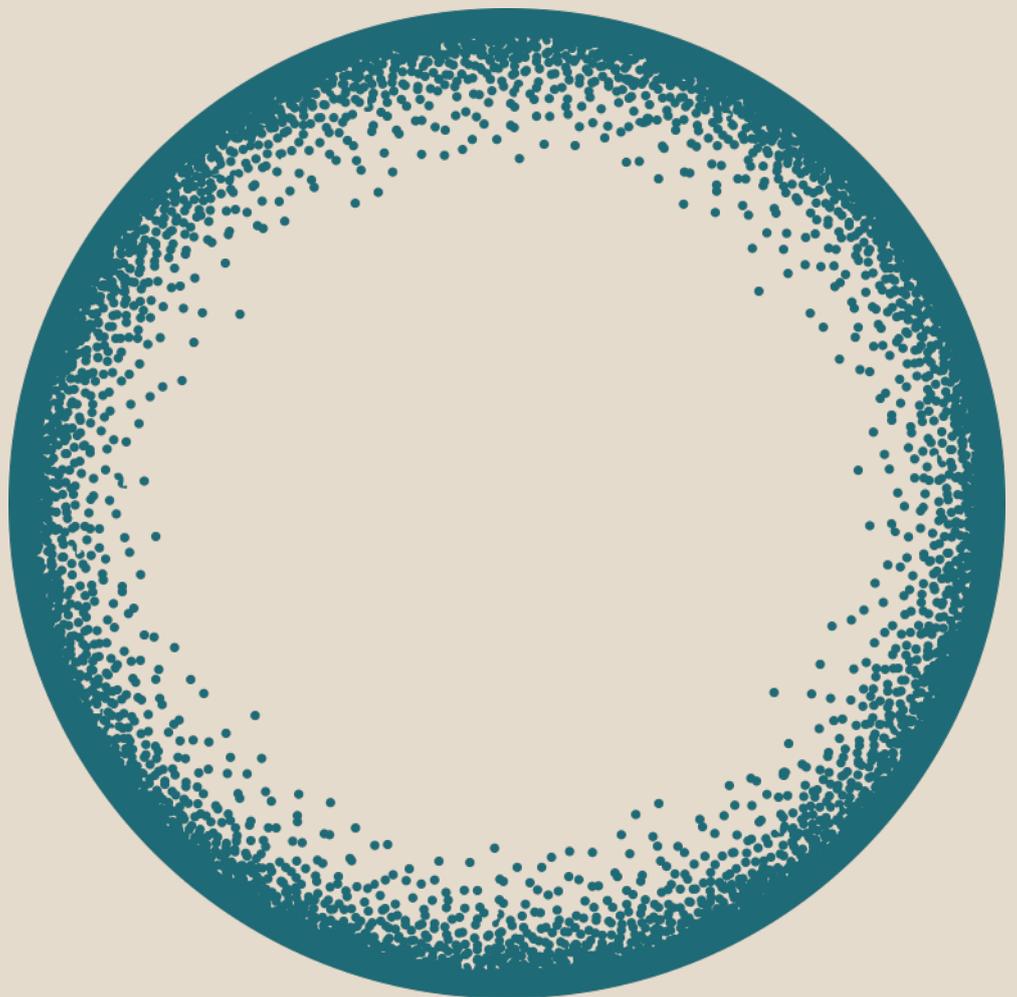
FORUM FOR A NEW ECONOMY

NO. 01
2021

Working Paper

Klimaschutz und der moderne Staat: Ein
Wasserstoffpaket für Deutschland

Tom Krebs



Impressum:

Forum New Economy Working Papers

ISSN 2702-3214 (electronic version)

Publisher and distributor: Forum for a New Economy

Neue Promenade 6, 10178 Berlin, Germany

Telephone +49 (0) 30 767596913, email press@newforum.org

Lead Editor: Thomas Fricke

An electronic version of the paper may be downloaded

· from the SSRN website: www.SSRN.com

· from the RePEc website: www.RePEc.org

· from the Forum New Economy website: <https://www.newforum.org>

KLIMASCHUTZ UND DER MODERNE STAAT: EIN WASSERSTOFFPAKET FÜR DEUTSCHLAND

Tom Krebs*, Universität Mannheim

Abstract

Die vorliegende Studie entwickelt eine moderne Wasserstoffstrategie für Deutschland. Der Kern der hier entwickelten Wasserstoffstrategie ist ein öffentliches Wasserstoffpaket, das weit über die aktuellen Pläne der Bundesregierung hinausgeht. Das vorgeschlagene Wasserstoffpaket besteht aus sechs Maßnahmen und hat ein Finanzvolumen von insgesamt 100 Mrd. Euro bis 2030 (jährlich 10 Mrd. Euro). Drei der sechs Maßnahmen betreffen den Ausbau der öffentlichen Infrastruktur und drei Maßnahmen können der Industriepolitik zugeordnet werden. Aus ökonomischer und finanzpolitischer Sicht ist eine Umsetzung großer Teile des Wasserstoffpakets mittels öffentlicher Unternehmen sinnvoll. Darüber hinaus zeigt die vorliegende Studie, dass nur eine moderne Klimapolitik erfolgreich Klimaschutz mit wirtschaftlichem Wohlstand verknüpfen kann. Eine solche Klimapolitik basiert – wie auch das vorgeschlagene Wasserstoffpaket – auf der Idee des modernen Staates. Der moderne Staat schafft die notwendige Infrastruktur, damit die klimafreundlichen Zukunftsprodukte (grüner Wasserstoff) von den Produktionsstätten zu den Abnehmern transportiert werden können. Zudem betreibt er strategische Industriepolitik, um Planungssicherheit zu schaffen und gezielt die Investitionen in klimafreundliche Zukunftstechnologien anzuschieben.

JEL codes: H23, H54, L52, L95, L98, Q41, Q42, Q54

Keywords: Wasserstoff, Klima, Infrastruktur, staatliche Investitionen

Ich danke Matthias Deutsch, Patrick Graichen, Julia Metz und Janek Steitz von Agora-Energiewende für Kommentare und Anregungen. Dieses Papier wurde von dem Forum New Economy in Auftrag gegeben. Die in diesem Papier vertretenen Meinungen sind die des Autors und reflektieren nicht notwendigerweise die Meinungen des Forum New Economy.

* L7, 3-5, 68131 Mannheim. E-Mail: tkrebs@uni-mannheim.de.

1. EINLETUNG UND ZUSAMMENFASSUNG

Nach Jahren des politischen Stillstands bewegt sich etwas in der Klimapolitik. Die EU-Staaten haben bereits letztes Jahr die Klimaneutralität bis 2050 als gemeinsames Ziel ausgerufen. Zudem haben die USA und China während des Klimagipfels am 22. April 2021 relativ ambitionierte Klimaziele formuliert. Damit haben sich die drei größten Volkswirtschaften der Welt zur Klimaneutralität als langfristiges Ziel bekannt. Der Kampf gegen den Klimawandel ist zum Konsens der Weltpolitik geworden.

Das Ziel ist also gesteckt, aber wie soll es erreicht werden? In der öffentlichen Debatte in Deutschland dominiert ein einfacher Ansatz – die traditionelle Klimapolitik. Dieser Ansatz besagt, dass sich die Politik auf ein Instrument konzentrieren sollte: Eine einheitliche CO₂-Bepreisung, die entweder über eine CO₂-Steuer oder den Handel von CO₂-Zertifikaten implementiert wird. Darüber hinaus wird der einheitliche CO₂-Preis durch zusätzliche Maßnahmen flankiert: Forschungsförderung und gesetzliche Vorgaben (Ordnungsrecht).

Die traditionelle Klimapolitik ist im Prinzip richtig, aber sie greift zu kurz und läuft deshalb Gefahr zu scheitern. Sie greift zu kurz, weil sie die Lenkungswirkung einer CO₂-Bepreisung überschätzt und die politischen Handlungsmöglichkeiten unnötig einengt. Konkret hat die wissenschaftliche Literatur gezeigt, dass die Lenkungswirkung eines CO₂-Preises genau in dem Bereich gering ist, der besonders wichtig für eine erfolgreiche Transformation ist: Investitionen in klimafreundliche Zukunftstechnologien, um klimaneutralen technologischen Fortschritt zu schaffen. Zudem kann dieser Nachteil eines CO₂-Preises nicht durch Forschungsförderung allein ausgeglichen werden.

Die traditionelle Klimapolitik läuft Gefahr zu scheitern, weil sie einen Widerspruch zwischen Klimaschutz und Wohlstand erzeugt. Wir können zwar die Klimaziele mit einer traditionellen Klimapolitik erreichen, aber der notwendige CO₂-Preis wird so hoch sein, dass es zu Unternehmenspleiten und Arbeitsplatzverlusten kommen wird. Dieser Widerspruch wird die Gesellschaft spalten und die Politik wird letztlich zurückrudern müssen. Das Ergebnis einer solchen Politik ist am Ende für alle enttäuschend: Die Klimaziele werden verfehlt und die Industrie ist ins nicht-europäische Ausland abgewandert.

Eine moderne Klimapolitik löst den vermeintlichen Widerspruch zwischen Klimaschutz und Wohlstand auf, indem sie den politischen Tunnelblick ablegt und die politischen Handlungsmöglichkeiten erweitert. Eine solche Politik setzt nicht auf die Bestrafung klimaschädlichen Verhaltens durch einen CO₂-Preis als zentrales Instrument,

sondern unterstützt Menschen und Unternehmen dabei, sich klimafreundlich zu verhalten bzw. auf klimafreundliche Technologien umzusteigen.

Verbleibt die zentrale Frage: Wie sieht eine moderne Klimapolitik aus, die das Erreichen der gesetzten Klimaziele gewährleistet? Eine solche Klimapolitik ist im Wesentlichen eine moderne Industrie- und Infrastrukturpolitik. Sie basiert auf der Idee des modernen Staates, dessen Handeln durch zwei wirtschaftspolitische Prinzipien bestimmt wird.

Zum Ersten schafft der moderne Staat die notwendige Infrastruktur, damit die klimafreundlichen Zukunftsprodukte von den Produktionsstätten zu den Abnehmern transportiert werden können. Beispielsweise erfordert der Aufbau einer wettbewerbsfähigen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa den Ausbau eines Netzwerks von Wasserstoffleitungen. Eine solche Infrastrukturpolitik ist eine originäre Aufgabe des modernen Staates, die von der öffentlichen Hand übernommen werden muss und nicht privatisiert werden kann.

Zum Zweiten betreibt der moderne Staat strategische Industriepolitik, um Planungssicherheit zu schaffen und gezielt die Investitionen in klimafreundliche Zukunftstechnologien anzuschieben. Zum Beispiel kann der Staat durch entsprechende Differenz- bzw. Klimaverträge die Transformation der Industrie beschleunigen und gleichzeitig die Nachfrage nach Wasserstoff stärken. Zudem stärkt der moderne Staat die Nachfrage nach den klimafreundlichen Zukunftstechnologien, indem er seine eigenen Aktivitäten nach ökologischen Kriterien ausrichtet und bei öffentlichen Ausschreibungen solche Kriterien verwendet.

Diese Überlegungen schließen nicht aus, dass eine CO₂-Bepreisung Teil einer modernen Klimapolitik ist. Doch der CO₂-Preis ist nur eines von mehreren Instrumenten, und die Reihenfolge ist wichtig: Zuerst muss die klimafreundliche Infrastruktur geschaffen und die strategische Industriepolitik implementiert werden, und danach kann ein steigender CO₂-Preis seine Lenkungswirkung entfalten und einen nennenswerten Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Die vorliegende Studie entwickelt eine moderne Wasserstoffstrategie für Deutschland basierend auf diesem modernen Staatsverständnis. Zwei Gründe sprechen dafür, den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in den Mittelpunkt einer zukunftsorientierten Klimapolitik zu rücken.

Erstens ist grüner Wasserstoff – also Wasserstoff produziert auf Basis erneuerbarer Energien (Windenergie, Solarenergie) -- neben der Elektrifizierung eine der wesentlichen Säulen einer erfolgreichen Klimastrategie (Agora, 2020a). Besonders die Dekarbonisierung der Industrie (Stahl, Chemie) erfordert die Verwendung großer Mengen Wasserstoffs. Dazu kommt noch der Bedarf an Wasserstoff in der Energiewirtschaft und im Schwertransport. Kurz gesagt: Wasserstoff ist eine klimapolitische Notwendigkeit, weil Deutschland ohne den zügigen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft die gesetzten Klimaziele verfehlen wird.

Zweitens ist der Aufbau einer international wettbewerbsfähigen Wasserstoffwirtschaft ein geeignetes Mittel, um gut bezahlte Arbeitsplätze in Deutschland zu schaffen und den Wohlstand in Deutschland zu steigern. In der Wasserstofftechnologie liegt ein großes Innovationspotenzial, das die Grundlage für einen grünen Wirtschaftsboom bilden kann. Darüber hinaus ist Deutschland zurzeit noch ein Technologieführer im Wasserstoffbereich und diese gute Ausgangsposition sollte im wirtschaftlichen Wettbewerb mit den USA und China genutzt werden.

Der Kern der hier entwickelten Wasserstoffstrategie ist ein öffentliches Wasserstoffpaket, das weit über die aktuellen Pläne der Bundesregierung hinausgeht. Die skizzierte Wasserstoffstrategie ist – zusammen mit der Elektrifizierung der Wirtschaft – ein „Jahrhundertprojekt“ vergleichbar mit dem Ausbau des Eisenbahnnetzes in Deutschland im 19. Jahrhundert und dem Raumfahrtprogramm in den USA im 20. Jahrhundert. Ein solches Wasserstoffpaket würde die Wachstumspotenziale der deutschen Wirtschaft erheblich stärken und sich aus fiskalischer Sicht in der langen Frist selbst finanzieren.

Das vorgeschlagene Wasserstoffpaket besteht aus sechs Maßnahmen und hat ein Finanzvolumen von insgesamt 100 Mrd. Euro bis 2030 (jährlich 10 Mrd. Euro). Dabei betreffen die ersten drei Maßnahmen Infrastrukturpolitik und die anderen drei Maßnahmen können der Industriepolitik zugeordnet werden. Die sechs Maßnahmen sind:

Maßnahme 1 (insgesamt 25 Mrd. Euro bis 2030): Aufbau eines leistungsfähigen Leitungsnetzwerks zum Transport von Wasserstoff in Deutschland und Europa.

Maßnahme 2 (insgesamt 30 Mrd. Euro bis 2030): Ausbau der Transportinfrastruktur für Offshore-Windenergie mit angeschlossener Wasserstoffproduktion.

Maßnahme 3 (insgesamt 5 Mrd. Euro bis 2030): Stärkung der kommunalen Planungskapazitäten durch Aufstockung der Personaldecke.

Maßnahmen 4 (insgesamt 10 Mrd. Euro bis 2030): Klimaschädliche Dieselmotoren durch klimafreundliche Alternativen ersetzen und bei öffentlichen Ausschreibungen ökologische Kriterien verwenden.

Maßnahme 5 (insgesamt 25 Mrd. Euro bis 2030): Die Investitionen der transformierenden Industrien (Stahl, Chemie) in klimafreundliche Anlagen durch innovative Förderkonzepte unterstützen.

Maßnahme 6 (insgesamt 5 Mrd. Euro bis 2030): Forschung und Entwicklung im Wasserstoffbereich durch zielgenaue Förderprogramme unterstützen.

Die Maßnahmen 1,2 und 5 erfordern unternehmerisches Handeln und sollten daher durch öffentliche Unternehmen durchgeführt werden. Als öffentliche Förderbank ist die KfW in einer ausgezeichneten Position, die Maßnahme 5 mit der damit verbundenen Investitionsförderung umzusetzen. Die Infrastrukturmaßnahmen 1 und 2 könnten von dem Übertragungsnetzbetreiber TenneT übernommen werden, der bereits große Teile der deutschen Transportinfrastruktur im Strombereich bereitstellt. Dieser Ansatz ist jedoch nur ökonomisch sinnvoll, wenn der deutsche Staat eine Mehrheitsbeteiligung an TenneT erwerben kann – derzeit ist TenneT ein öffentliches Unternehmen, das sich zu 100 Prozent im Eigentum des niederländischen Staates befindet. Als Alternative zur Mehrheitsbeteiligung an TenneT sollte die Gründung einer Wasserstoffgesellschaft des Bundes in Betracht gezogen werden.

Die Umsetzung der Maßnahmen 1,2 und 5 durch eigenständige öffentliche Unternehmen ist nicht nur ökonomisch sinnvoll, sondern auch finanzpolitisch nützlich. Konkret erhöht die Bereitstellung von Eigenkapital zwar die Ausgaben im Bundeshaushalt, aber diese Ausgaben werden als finanzielle Transaktionen gebucht und beeinflussen somit nicht die Obergrenze der gemäß Schuldenbremse zulässigen Nettokreditaufnahme. Dementsprechend können öffentliche Investitionen im Umfang von circa 80 Mrd. Euro in den Bereichen Wasserstoff und erneuerbare Energien ohne merkliche Einschränkung der aktuellen finanzpolitischen Spielräume umgesetzt werden. Zur Stärkung der parlamentarischen Kontrolle sollte eine regelmäßige Berichtspflicht aller größeren Bundesgesellschaften gegenüber dem Bundestag – mit Anhörungen in den jeweiligen Ausschüssen – eingeführt werden.

Die nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung hat im Vergleich zum hier vorgeschlagenen Wasserstoffpaket drei Schwachstellen. Erstens ist das geplante Finanzvolumen der nationalen Wasserstoffstrategie mit circa 12 Mrd. Euro relativ klein.

Zweitens deckt die nationale Wasserstoffstrategie den Infrastrukturbereich nur unzureichend ab. Drittens verfehlt die Industriepolitik des Bundes teilweise ihr Ziel. Konkret ist das Förderkonzept „H2-Global“ des BMWi kein effektives Instrument, um Planungssicherheit für die transformierenden Industrien zu schaffen. Zudem verletzt das Förderkonzept ein wesentliches Prinzip guter Wirtschaftspolitik: Wer zahlt und die Verantwortung trägt, der sollte auch die Kontrolle haben.

Die Defizite in der Wasserstoffpolitik der Bundesregierung sind unter anderem das Ergebnis einer ökonomischen Politikberatung, die stark vom Glauben an die Wirkmächtigkeit eines CO₂-Preises dominiert ist. Das hat zur Folge, dass es kaum konkrete Vorschläge von Ökonom:innen zur Umsetzung einer modernen Klimapolitik gibt. Doch Theorie und Evidenz sprechen dafür, dass nur eine gute Infrastruktur- und Industriepolitik den Klimaschutz mit wirtschaftlichem Wohlstand versöhnen kann. Die vorliegende Studie ist der Versuch, eine moderne Wasserstoffpolitik für Deutschland zu entwerfen, die diese ökonomischen Erkenntnisse ernst nimmt.

Die Studie ist wie folgt gegliedert. In Kapitel 2 werden der Bedarf an Wasserstoff bis 2030 und die notwendige Transportinfrastruktur diskutiert, die für eine Umsetzung des in Agora (2020a,2021a) dargestellten Klimapfads notwendig sind. Kapitel 3 skizziert auf Grundlage dieser Ergebnisse und des Prinzips des modernen Staats eine moderne Wasserstoffstrategie. Zudem wird ein Wasserstoffpaket für Deutschland entworfen und mit der aktuellen Wasserstoffpolitik des Bundes verglichen. Kapitel 4 diskutiert die ökonomischen Argumente, die für eine moderne Klimapolitik sprechen. Kapitel 5 bietet eine vorläufige Abschätzung der Wachstumseffekte eines Wasserstoffpakets.

2. KLIMASCHUTZ UND WASSERSTOFF

Die vorliegende Studie entwickelt einen Plan für den Aufbau einer wettbewerbsfähigen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland (und Europa). Dazu wird in diesem Kapitel der Bedarf an Wasserstoff bis 2030 abgeschätzt und eine Strategie zur Deckung dieses Bedarfs entwickelt. Die Bedarfsabschätzung basiert größtenteils auf den Studien „Klimaneutrales Deutschland“ (Agora, 2020a, bzw. 2021a), aber geht in einem Bereich – Schienenverkehr – über die Studien

hinaus.¹ Zudem wird ein Vorschlag diskutiert, wie der zusätzliche Bedarf an erneuerbaren Energien, der durch den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft entsteht, gedeckt werden kann.

2.1. Bedarf an Wasserstoff

Die Studien „Klimaneutrales Deutschland“ (Agora, 2020a, bzw. Agora 2021a) entwerfen einen ambitionierten, aber realistischen Plan zum Erreichen des gesetzten Ziels der Klimaneutralität bis 2050 bzw. 2045. Dieser Plan sieht als Zwischenziel eine Reduktion der CO₂-Emissionen in Deutschland um 65 Prozent bis 2030 vor. Um das ambitioniertere Ziel von 65% Reduktion bis 2030 erreichen zu können, ist unter anderem ein beherzter Einstieg in die erneuerbare Wasserstoffwirtschaft vorgesehen. Insgesamt wird in allen Sektoren als Ziel eine Nutzung von 63 TWh Wasserstoff bis 2030 und 268 TWh bis 2050 angesetzt.² Dabei entfällt bis 2030 der Großteil der Verwendung auf zwei Bereiche: Industriesektor mit 39 TWh und Energiesektor mit 20 TWh. Die restlichen 4 TWh entfallen auf den Straßengüterverkehr.

In einem klimaneutralen Energiesystem wird also Wasserstoff neben Strom eine sehr große Rolle spielen. Dabei ist bis 2030 insbesondere der Industriesektor ein Verbraucher von Wasserstoff. Dort dient er vorwiegend zur Direktreduktion von Eisenerz für eine CO₂-freie Stahlherstellung, als Rohstoff in der Grundstoffchemie und zur Erzeugung von Prozessdampf (Agora, 2020a). Der industrielle Sektor erzeugt mit 23% in Deutschland nach der Energiewirtschaft den größten Anteil der CO₂-Emissionen, weshalb der erneuerbare Wasserstoff für diesen Sektor mittelfristig massiv ausgebaut werden muss. Bis 2050 entfällt dann der größte Teil des Wasserstoffbedarfs auf die Stromerzeugung. In Zeiten, in denen eine Residualnachfrage besteht, wird Wasserstoff in Gaskraftwerken als Brennstoff genutzt. Zum Teil erfolgt dies in Kraft-Wärme-Kopplung, sodass auch ein Teil der Fernwärme auf Wasserstoff basiert.

Technologisch wird die Nutzung des Wasserstoffs in der Schwerindustrie dadurch begünstigt, dass ohnehin die Hälfte der zentralen Industrieanlagen der deutschen Grundstoffindustrie in den nächsten zehn Jahren zur Reinvestition anstehen. Vorreiter könnte die Stahlindustrie sein. Hier kommen viele Hochöfen ans Ende ihrer Lebenszeit und können

¹ Die Studie Agora (2020a) entwirft einen konkreten Plan, um Klimaneutralität in Deutschland bis 2050 zu erreichen. In der neuen Kurzstudie Agora (2021a) wird ein Weg zur Klimaneutralität bis 2045 entworfen. Beide Studien stimmen im Hinblick auf den Ausbau der Wasserstoffwirtschaft bis 2030 überein.

² Die zukünftige Bedeutung von Wasserstoff wird in der Literatur teilweise unterschiedlich bewertet, sodass eine erhebliche Bandbreite für die Bedarfsprognosen besteht. Die in Agora (2020a) angenommenen Bedarfswerte liegen am unteren Ende der Bandbreite für 2030 und in etwa in der Mitte der Bandbreite für 2050 (Wuppertaler Institut und DIW, 2020).

durch Direktreduktionsanlagen ersetzt werden, die vorwiegend mit Wasserstoff und kleineren Anteilen Erdgas betrieben werden. Das Ersetzen alter (klimaschädlicher) Produktionsanlagen durch neue (klimafreundliche) Alternativen erfordert in den kommenden Jahren erhebliche Investitionen der Schwerindustrie. Darüber hinaus muss das Angebot an Wasserstoff dramatisch ansteigen, damit die neuen Produktionsanlagen der Schwerindustrie auch entsprechend genutzt werden können.

Aktuell werden jährlich bereits rund 55-60 TWh Wasserstoff in Deutschland produziert und verbraucht (DLR et al., 2015). Abgesehen von der Herstellung von Wasserstoff als Nebenprodukt im Rahmen industrieller Prozesse – zum Beispiel mittels Benzinreformierung in Raffinerie-eigenen Prozessen – beruht die heutige Produktion noch weitestgehend auf der sogenannten Dampfreformierung, bei der Wasserstoff emissionsreich aus Erdgas gewonnen wird. Nur etwa 5% basieren auf dem Elektrolyseverfahren, bei dem mithilfe von elektrischem Strom Wasser in seine chemischen Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff getrennt wird. Diese Transformation der Industrie setzt eine massive Ausweitung der erneuerbaren Energien voraus.

Zusätzlich zum Bedarf an Wasserstoff im Industriesektor und der Energiewirtschaft schätzt die Studie von Agora (2020a) einen Bedarf im Bereich Straßengüterverkehr – 4 TWh bis 2030 und 40 TWh bis 2050. Für den Schienenverkehr ist keine Wasserstoffverwendung vorgesehen. Zumindest im Personennahverkehr wird Wasserstoff eine gewisse Rolle spielen, denn erste „Wasserstoffzüge“ sind bereits in Betrieb – siehe Kapitel 3 für Erläuterungen. Wenn Klimaneutralität im Schienenverkehr zügig erreicht werden soll, erscheint in den kommenden Jahren auch ein Einsatz von Wasserstoffzügen notwendig. Entsprechend muss ein zusätzlicher Bedarf an Wasserstoff zu den oben genannten Zielwerten addiert werden. Dieser Zusatzbedarf ist jedoch relativ gering.

2.2. Produktion und Transport des Wasserstoffs

Deutschland kann nur Vorreiter in der Wasserstofftechnologie werden, wenn neben der Entwicklung neuer Technologien auch eine großvolumige Produktion Wasserstoffs in Deutschland stattfindet. Deshalb ist es richtig und wichtig, erneuerbare Wasserstoff-Cluster in Deutschland aufzubauen und zu fördern. Doch das Potenzial zur Produktion Wasserstoffs in Deutschland wird nicht ausreichen, um den Bedarf zu decken. Der Grund ist, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland sehr schnell an seine Grenze stößt. Wenn also die Elektrifizierung von Wirtschaft und Gesellschaft auf Basis erneuerbarer Energien – die zweite

Säule einer umfassenden Klimastrategie – nicht gefährdet werden soll, dann muss ein erheblicher Teil des deutschen Bedarfs an Wasserstoff importiert werden.

Konkret geht die Studie von Agora (2020a) davon aus, dass von der angestrebten Wasserstoffherzeugung von 63 TWh bis 2030 bzw. 268 TWh bis 2050 ein Anteil von 19 TWh (bis 2030) bzw. 84 TWh (bis 2050) in Deutschland produziert wird.³ Deutschland wird also eine großvolumige Wasserstoffwirtschaft im Inland aufbauen, aber auch erhebliche Mengen Wasserstoff von Ländern importieren müssen, die einen natürlichen Standortvorteil bei der Produktion besitzen. Das sind zum einen die Länder in Südeuropa und im nördlichen Afrika, die große Mengen Wasserstoff mit Solarenergie herstellen können, und zum anderen die skandinavischen Länder (Wind), die große Mengen Wasserstoff mit Windenergie herstellen können. Und auch innerhalb Deutschlands existiert eine geografische Distanz zwischen Erzeugungs- und Anwendungsregionen: Während die Erzeugung Wasserstoffs hauptsächlich in den norddeutschen Bundesländern stattfinden wird, ist die industrielle Verwendung in den westlichen und südlichen Bundesländern konzentriert.⁴

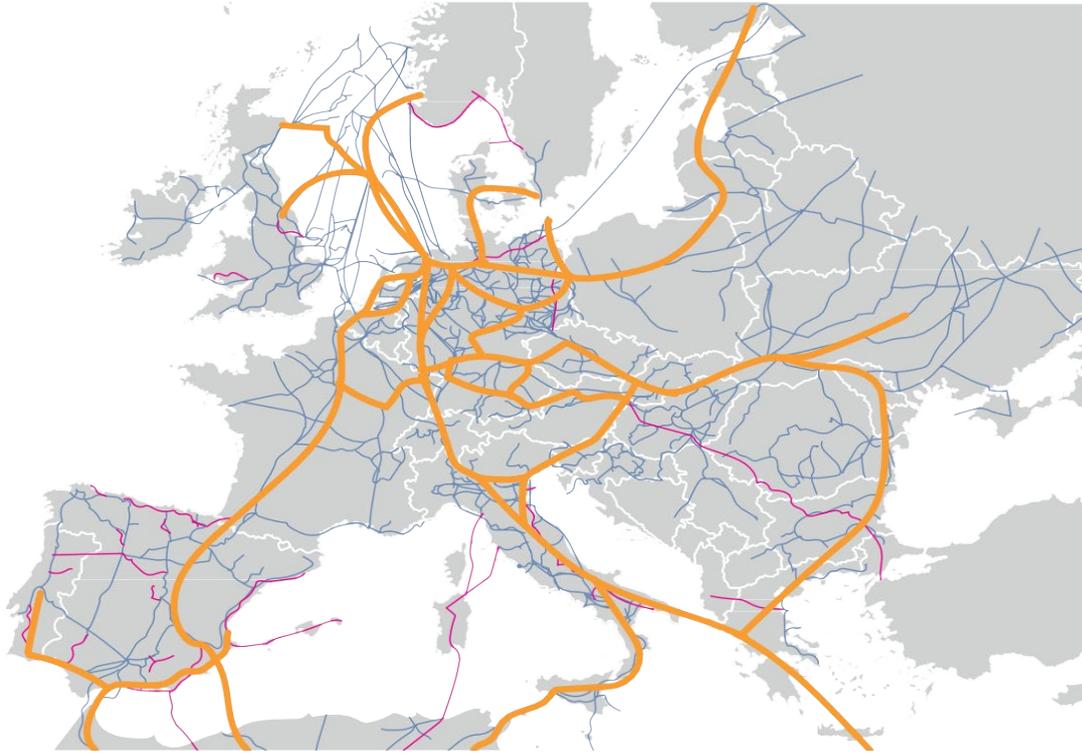
Diese Überlegungen zeigen, dass die Entwicklung einer international wettbewerbsfähigen Wasserstoffwirtschaft ein leistungsfähiges Transportsystem erfordert, das die Produzenten des Wasserstoffs mit den Verbrauchern verbindet. Dazu ist der schnelle Ausbau eines öffentlichen Pipeline-Netzwerkes für Wasserstoff in Deutschland und Europa notwendig. Dieses Netzwerk verbindet innerhalb Deutschlands die Erzeuger Wasserstoffs in den nördlichen und östlichen Bundesländern (Windenergie) mit den Abnehmern in West- und Süddeutschland. Und innerhalb Europas gewährleistet eine solche Wasserstoff-Autobahn den kostengünstigen Transport Wasserstoffs von den Produzenten in Südeuropa (Solarenergie) zu den Abnehmern in Frankreich und Deutschland. Der Bau einer solchen Transportinfrastruktur ist technisch möglich und konkrete Pläne werden bereits als Teil des Green Deal auf EU-Ebene diskutiert.

³ Die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung sieht eine Produktion von Wasserstoff Erzeugungsanlagen von 5 GW Gesamtleistung, die unter der Annahme von 4.000 Volllaststunden und einem Wirkungsgrad der Elektrolyseanlagen von 70 Prozent einer Elektrolysekapazität von 14 TWh entsprechen (BMW, 2020). Matthes et al. (2021) sprechen sich für eine Erhöhung des Ausbauziels für Wasserstoff in Deutschland auf eine Gesamtleistung von 10 GW aus. Laut Matthes et al. (2021) erzeugt dies bei „systemdienlichem Betrieb“ der Elektrolyseanlagen ein Wasserstoffaufkommen von 20 TWh.

⁴ Die vorliegende Studie legt den Fokus auf Produktion und Transport von grünem Wasserstoff im EU-Bereich. Dena (2019) bietet einen Überblick über den Import von grünem Wasserstoff aus Nicht-EU-Ländern.

Verschiedene Entwürfe für Pipeline-Netzwerke zum Transport von Wasserstoff in Deutschland und Europa liegen vor. Chatzimarkakis und van Wijk (2020) skizzieren in groben Zügen ein umfassendes Netzwerk, das aus einer Mischung aus der Konvertierung existierender Erdgasleitungen und neuen Wasserstoffleitungen besteht:

Abbildung 1. Europäisches Leitungsnetzwerk für Wasserstoff



Quelle: Chatzimarkakis und van Wijk (2020).

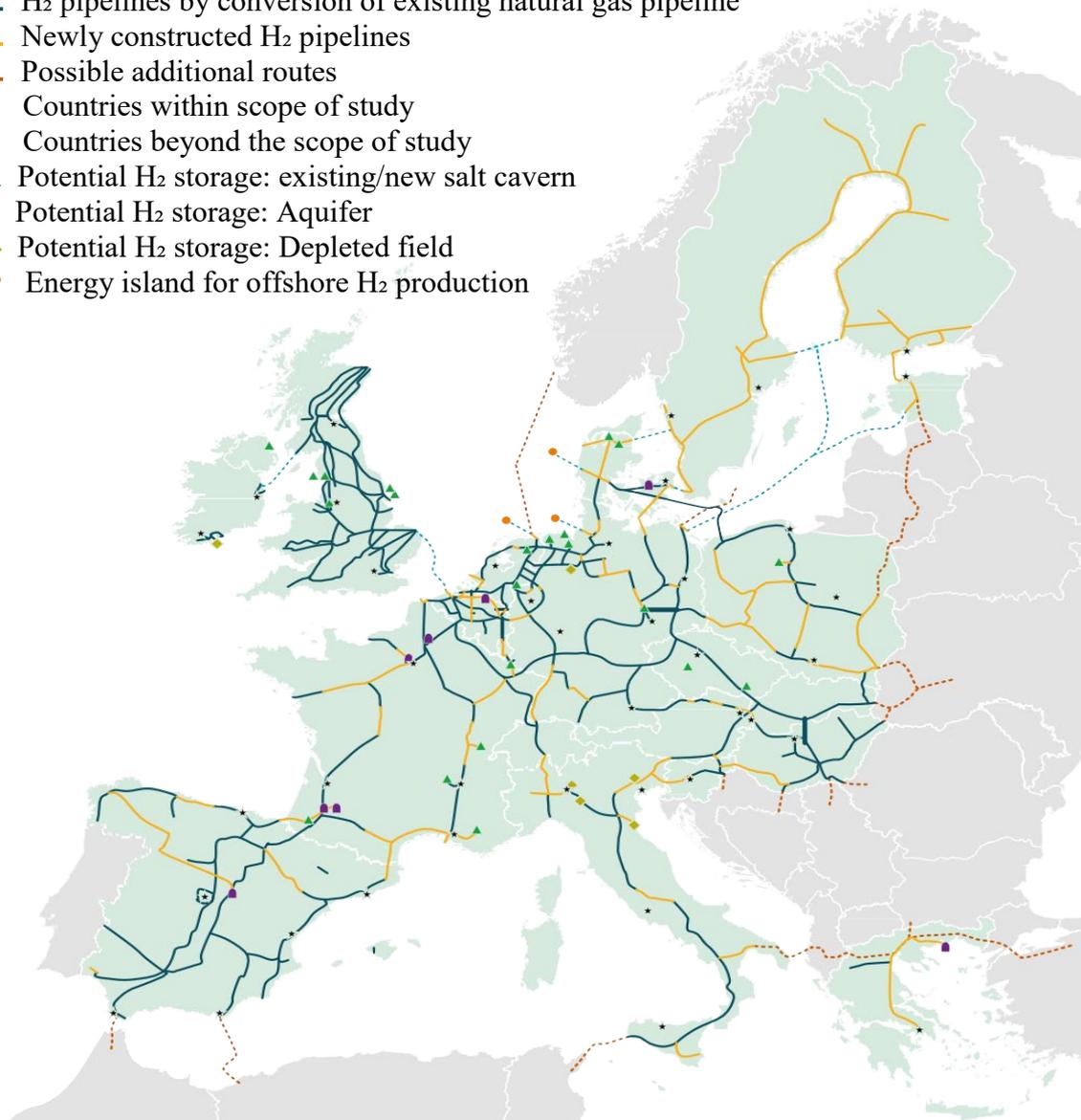
Die in Abbildung 1 gezeichneten blauen und roten Linien stellen existierende Erdgasleitungen dar. Die orangen Linien sind die wesentlichen Verbindungswege, die die Grundlage eines europäischen Wasserstoffnetzes bilden.

Aufbauend auf der Studie von Chatzimarkakis und van Wijk (2020) haben eine Reihe europäischer Gasnetzbetreiber in der Studie „Extending the European Hydrogen Backbone“ (Creos et al., 2021) einen konkreten Plan für den Ausbau eines Transport- und Lagersystems für Wasserstoff entwickelt, der sich auf Länder beschränkt, in denen diese Unternehmen bereits tätig sind (daher ohne Portugal und Osteuropa). Abbildung 2 zeigt den Vorschlag eines Leitungsnetzes für den Wasserstofftransport von 23.000 km, der laut Studie einen Zeithorizont bis 2040 haben soll⁵:

⁵ Siehe Matthes et al. (2021) für eine ergänzende Analyse des notwendigen Fernleitungsnetzes für Wasserstoff in Deutschland.

Abbildung 2. Europäisches Leitungsnetzwerk für Wasserstoff bis 2040

- H₂ pipelines by conversion of existing natural gas pipeline
- Newly constructed H₂ pipelines
- .. Possible additional routes
- Countries within scope of study
- Countries beyond the scope of study
- ▲ Potential H₂ storage: existing/new salt cavern
- Potential H₂ storage: Aquifer
- ◆ Potential H₂ storage: Depleted field
- Energy island for offshore H₂ production



Quelle: Creos et al. (2021)

In einer weiteren Studie fragt Agora (2021a) nach No-Regret-Investitionsmöglichkeiten mit Fokus auf Industriestandorte für den Zeithorizont bis 2030. Die Studie identifiziert im Wesentlichen geografische Cluster, in denen bis 2030 eine hohe Nachfrage nach (erneuerbarem) Wasserstoff bestehen wird und gleichzeitig die Produktion von Wasserstoff möglich ist. Die Analyse vergleicht diese Nachfrage mit den rechnerisch günstigsten Wasserstoff-Produktionsstandorten und möglichen Speicherstandorten (in umgewidmeten Salzkavernen) und liefert im Ergebnis eine kostenoptimale Wasserstoff-Transportroute. Dabei werden aggregierte Kapazitätsgrenzen der Erzeugung Wasserstoffs für die jeweiligen regionalen Cluster jedoch nicht berücksichtigt. Die Studie kommt – nach Abgleich mehrerer

übersteigt, durch die Produktion in Spanien und Portugal und eventuell Nordafrika (Marokko) gedeckt werden kann. Der Bau dieser Wasserstoffleitung sollte oberste Priorität haben. Ebenso ist die zweite durchgezogene Linie von großer wirtschaftlicher und politischer Bedeutung, da sie die Industrie in Polen mit Wasserstoff versorgt und so die Nutzung klimaschädlicher Alternativen vermeidet. Die gestrichelten Linien zeigen weitere Verbindungen an, die langfristig (bis 2040) alle umgesetzt werden sollten, von denen aber nicht alle bis 2030 umgesetzt werden müssen, ohne den Erfolg des Zukunftsprojekts zu gefährden.

2.3. Ausbau der erneuerbaren Energien

Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland erfordert den Ausbau der erneuerbaren Energien, sofern der Fokus auf grünem Wasserstoff liegen und der Ausbau einer Wasserstoffwirtschaft nicht die notwendige Elektrifizierung behindern soll. Konkret müssen 19 TWh erneuerbare Energie zusätzlich in Deutschland erzeugt werden (und $63-19 = 44$ TWh zusätzlich im Ausland), ohne dass die Deckung dieses zusätzlichen Bedarfs mit der angestrebten Elektrifizierung in Konkurrenz tritt.⁶ In dieser Studie wird daher vorgeschlagen, den Ausbau der Offshore Windenergie stärker als bisher geplant voranzutreiben und das im Mai 2020 von der Bundesregierung beschlossene Ausbauziel von 20 GW bis 2030 auf 30 GW anzuheben. Der Vorschlag würde somit mit großer Sicherheit gewährleisten, dass – zumindest bis 2030 – der Ausbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland nicht die geplante Elektrifizierung, basierend auf erneuerbaren Energien, beeinträchtigt.⁷

Ein Ausbau der Offshore Windenergie kann im Prinzip entweder in der Nordsee oder der Ostsee erfolgen, doch der Ausbau in der Nordsee weist ein wesentlich größeres Potenzial auf.⁸ Der Anschluss der Offshore Windparks in der Nordsee an das Energienetz wird in

⁶ Die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2050“ von Agora (2020a) geht von dem folgenden Ausbau der Nettostromerzeugung zwischen 2018 und 2030 aus: Offshore Windenergie von 19 TWh auf 90 TWh, Onshore Windenergie von 90 TWh auf 151 TWh und Photovoltaik von 46 TWh auf 139 TWh. Dies erfordert einen kumulierten Bruttozubau zwischen 2021 und 2030 von 17 GW Leistung für Offshore-Windanlagen, 44 GW für Onshore Windkraft und 98 GW für Photovoltaik.

⁷ Das Ausbaupotenzial der Photovoltaik ist in Deutschland begrenzt und sollte hauptsächlich in anderen Bereichen (Wärme) genutzt werden. Darüber hinaus sollte der Ausbau der Onshore Windenergie vollständig genutzt werden, um die gesetzten Ziele hinsichtlich der Elektrifizierung zu erreichen.

⁸ Zum Vergleich: Ende 2019 waren 1.469 Windkraftanlagen in deutschen Offshore-Windparks installiert mit einer Leistung von insgesamt 7.516 MW. Davon entfallen 6.440 MW auf Windparks in der Nordsee und 1.076 MW auf Windparks in der Ostsee. Insgesamt wurden im Jahr 2019 etwa 25,8 TWh Strom in deutschen Offshore-Windparks erzeugt. Durch bereits in Planung befindliche Windparks wird sich die installierte Leistung bis 2025 voraussichtlich auf 10,8 GW erhöhen. Im Mai 2020 wurde beschlossen, das Offshore-Ausbauziel für das Jahr

Deutschland von dem niederländischen Staatsunternehmen TenneT bzw. TenneT Offshore durchgeführt. Dabei ist TenneT neben Planung und Konzeption auch für den Bau und anschließenden Betrieb von Netzanschlussleitungen auf See bis zu dem Punkt an Land, an dem die Energie ins deutsche Stromnetz eingespeist wird, zuständig. Um den geplanten Ausbau der Offshore Windenergie auf 20 GW bis 2030 zu bewerkstelligen, hat TenneT massive Investitionen in die Netzanbindungen in der Nordsee vorgesehen. Zudem beteiligt sich TenneT an der internationalen Initiative North Sea Wind Power Hub, die mit einem ambitionierten Programm den Ausbau der Windenergie in der Nordsee vorantreiben soll (North Sea Wind Power Hub, 2021).

Ein innovativer Ansatz wird von der Projektgruppe AquaVentus verfolgt. Bei diesem Projekt soll Wasserstoff aus Offshore Windenergie mittels Elektrolyse in der Nordsee produziert und dann über Wasserstoffleitungen an Land gebracht werden, wobei die Insel Helgoland als Knotenpunkt und zentraler Wasserstoff-Hub eine Schlüsselrolle einnimmt. Geplant ist eine Erzeugungsleistung von 10 GW bis 2035. Dies würde knapp 40 TWh erneuerbare Energie zusätzlich bereitstellen und damit den hier angesetzten zusätzlichen Energiebedarf von 19 TWh der Wasserstoffindustrie bis 2030 übertreffen. Dieser Ansatz hätte zudem den Vorteil, dass er ein Zukunftsprojekt mit internationaler Strahlkraft etablieren könnte – die „Energieinsel“ Helgoland mit angelagerten Küstenregionen als ein wesentlicher Treiber der deutschen Wasserstoffwirtschaft.⁹

Verbleibt die Frage, wo der notwendige Ausbau der Offshore Windenergie erfolgen soll. Abbildung 5 zeigt die existierenden und bereits geplanten Windkraftanlagen in der deutschen Nord- und Ostsee.

2030 von 15 GW auf 20 GW anzuheben. Mit der hier vorgeschlagenen Strategie ist ein Ausbau auf 30 GW bis 2030 möglich.

⁹ Siehe die Website aquaventus.org für eine Beschreibung des Projekts AquaVentus. Dänemark plant eine künstliche Energieinsel in der Nordsee 80 Kilometer vor der Halbinsel Jütland, die als Knotenpunkt für umliegende Offshore Windparks fungiert. Vgl. Zeit Online vom 4. Februar 2021 „Dänemark plant erste künstliche Energieinsel in der Nordsee“ und Süddeutsche vom 8. Februar 2021 „Grüne Batterie für Europa“.

Abbildung 5. Offshore-Windanlagen (Stand 30.06.2020)



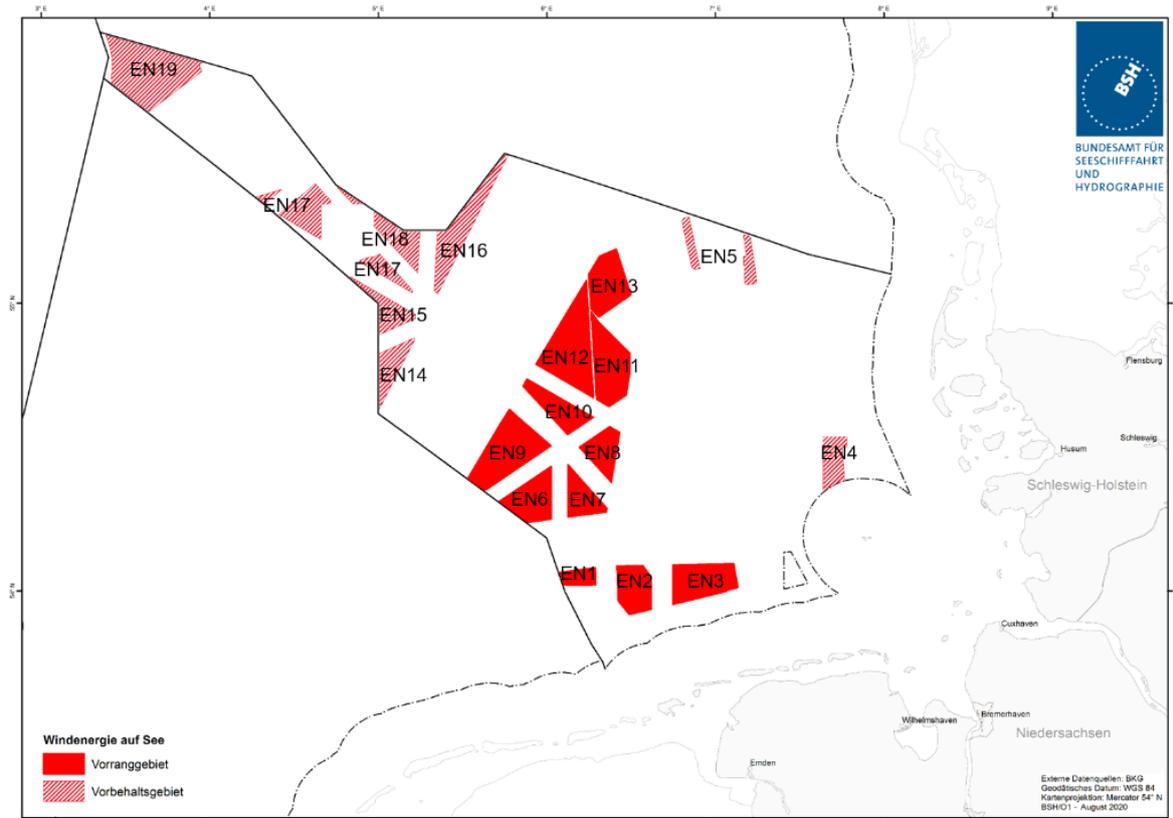
Quelle: Stiftung Offshore-Windenergie

Die Karte zeigt, dass prinzipiell das Gebiet nordwestlich von Sylt (mit den Windparks Butendiek, DanTysk und Sandbank) noch erhebliches Ausbaupotenzial hätte. Der neue Raumordnungsplan für die Wirtschaftszone in Nord- und Ostsee (BSH, 2020) sieht jedoch nur einen minimalen Ausbau der Windkraft in diesem Gebiet vor, denn große Teile des Gebietes westlich von Sylt sind Natur- und Vogelschutzgebiet und zudem werden negative Effekte auf den Tourismus und die Immobilienpreise auf Sylt befürchtet.

Der Entwurf für die Raumordnungsplanung für die deutsche ausschließliche Wirtschaftszone ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Gebiete EN1 bis EN3 sowie EN6 bis EN13 sind als Vorranggebiete für den Ausbau der Windenergie auf See vorgesehen und sollen den von der Bundesregierung geplanten Ausbau auf 20 GW bis 2030 sicherstellen. Diese Gebiete werden voraussichtlich nicht für den hier vorgeschlagenen Ausbau auf 30 GW ausreichen – dafür wäre wahrscheinlich eine Freigabe der zurzeit als Vorbehaltsgebiete gekennzeichneten Gebiete EN14 bis EN19 notwendig.¹⁰ Solche und ähnliche Fragen der Bauplanung müssen zügig geklärt werden, damit Deutschland eine Vorreiterrolle im Kampf gegen den Klimawandel einnehmen kann.

¹⁰ Eine relativ niedrige Bebauungsdichte ist wünschenswert, weil auch Offshore- Windparks sich untereinander durch Effekte wie Windverschattung und Wirbelbildung beeinflussen können (Agora 2020b). Aus diesem Grund muss auch ein Teil der bis 2050 geplanten 70 GW Offshore Windenergie voraussichtlich außerhalb der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) installiert werden.

Abbildung 6. Entwurf Raumordnungsplan – Festlegungen für Windenergie in der Nordsee



Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2020)

3. MODERNE WASSERSTOFFSTRATEGIE

Kapitel 2 hat verdeutlicht, dass das Erreichen der gesetzten Klimaziele den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa erfordert. Dies kann nur gelingen, wenn die Politik eine moderne Wasserstoffstrategie verfolgt. Eine solche Strategie hat zwei Säulen.¹¹

Zum Ersten muss der Staat die notwendige Infrastruktur schaffen, damit der erneuerbare Wasserstoff von der Produktionsstätte zu den Abnehmern transportiert werden kann (Infrastrukturpolitik). Die Bereitstellung einer öffentlichen Infrastruktur ist eine der originären Staatsaufgaben, auch wenn diese fundamentale ökonomische Einsicht in den letzten Jahrzehnten teilweise in Vergessenheit geraten ist. Zum Zweiten muss der Staat gezielt die öffentliche Nachfrage nach Wasserstoff stärken und die Industrie durch gezielte Investitionsförderung bei der Transformation unterstützen (Industriepolitik). Beide Säulen

¹¹ Die skizzierte ökologische Transformation stellt viele Menschen vor große Herausforderungen. Eine weitere staatliche Aufgabe besteht im Setzen der Rahmenbedingungen und Stärkung der Sozialpartnerschaft inklusive Weiterbildung, so dass möglichst viele Menschen und Unternehmen von dem ökologischen Wirtschaftsboom profitieren. Diese dritte Säule des modernen Staates wird in dieser Studie nicht eingehender analysiert – siehe Krebs (2021a,b) für diese Dimension einer modernen Klimapolitik.

erfordern eine mutige Politik, die durch ihr Handeln die Grundlage für einen Markt in Zukunftstechnologien schafft.

In diesem Kapitel werden diese ökonomischen Leitprinzipien genutzt, um eine moderne Wasserstoffstrategie für Deutschland zu konzipieren. Konkret wird ein Wasserstoffpaket für die Zeit bis 2030 entworfen, das aus sechs Maßnahmen besteht und ein Finanzvolumen von insgesamt 100 Mrd. Euro hat (jährlich 10 Mrd. Euro). Darüber hinaus wird ein Vorschlag zur Umsetzung inklusive Finanzierung des Wasserstoffpakets entwickelt, der den Bundeshaushalt nur minimal belasten würde und im Rahmen der verfassungsrechtlich verankerten Schuldenbremse umgesetzt werden könnte.

3.1. Infrastrukturpolitik

Die erste Säule einer erfolgreichen Wasserstoffstrategie ist die Bereitstellung einer gut ausgebauten öffentlichen Infrastruktur. Konkret erfordert die Entwicklung einer international wettbewerbsfähigen Wasserstoffwirtschaft ein leistungsfähiges Transportsystem, das die Produzenten des Wasserstoffs mit den Verbrauchern verbindet. Dazu ist der schnelle Ausbau eines öffentlichen Pipeline-Netzwerkes für Wasserstoff in Deutschland und Europa notwendig. Dieses Netzwerk verbindet innerhalb Deutschlands die Erzeuger Wasserstoffs in den nördlichen und östlichen Bundesländern (Windenergie) mit den Abnehmern in West- und Süddeutschland. Und innerhalb Europas gewährleistet eine solche Wasserstoff-Autobahn den kostengünstigen Transport Wasserstoffs von den Produzenten in Südeuropa (Solarenergie) zu den Abnehmern in Frankreich und Deutschland.

Der Bau einer solchen Transportinfrastruktur ist technisch möglich und mögliche Entwürfe sind in Kapitel 2 besprochen worden. Konkret wird der Ausbau eines Leitungsnetzwerkes, wie er in Abbildung 4 dargestellt ist (Agora+), als Teil einer umfassenden Wasserstoffstrategie vorgeschlagen. Dies erfordert unter anderem eine deutsch-französische Initiative auf höchster politischer Ebene, um die Produzenten des Wasserstoffs in Spanien, Portugal und mittelfristig Nordafrika mit den Abnehmern in Frankreich und Deutschland zu verbinden. Die Erfahrung mit dem europäischen Wiederaufbaufonds hat gezeigt, wie wichtig eine deutsch-französische Kooperation ist, um große europäische Projekte voranzutreiben.

Maßnahme 1: Aufbau eines leistungsfähigen Leitungsnetzwerkes zum Transport Wasserstoffs in Deutschland und Europa.

Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland erfordert einen entsprechenden Ausbau der erneuerbaren Energien. Dabei muss Deutschland aus den in Kapitel 2 genannten Gründen verstärkt auf die Offshore Windenergie in der Nordsee setzen. Doch eine schnelle Umsetzung eines großvolumigen Ausbaus erfordert zusätzliche Maßnahmen, die die Nutzung der erzeugten Offshore Windenergie erleichtern. Dazu ist der Bau einer Transportinfrastruktur für die zusätzlich erzeugte erneuerbare Energie (Anschluss an das Energienetzwerk durch TenneT) und für den Offshore produzierten Wasserstoff (Aufbau eines Wasserstoffleitungsnetzwerks) notwendig, wie es in Kapitel 2 beschrieben wird.¹²

Maßnahme 2: Ausbau der Transportinfrastruktur für Offshore-Windenergie mit angeschlossener Wasserstoffproduktion.

Der Ausbau eines Wasserstoffleitungsnetzwerkes ist ein komplexes Bauvorhaben, das innerhalb Deutschlands eine Vielzahl von Kommunen betrifft. Zudem wird auch ein Ausbau der Stromnetze erforderlich sein, solange die Wasserstoffproduktion und die Produktion des bei der Elektrolyse verwendeten Stroms räumlich und zeitlich auseinanderfallen. Nicht alle Kommunen haben die personellen Kapazitäten und die Expertise zur Planung und Durchführung wichtiger Infrastrukturprojekte. Solche kommunalen Engpässe sind ein wesentlicher Grund, warum der Ausbau der öffentlichen Infrastruktur in Deutschland so häufig ins Stocken gerät und können das gesamte Wasserstoffprojekt gefährden.

Zur Stärkung der kommunalen Planungskapazitäten wird ein Programm „Zukunft kommunale Verwaltungen“ empfohlen, das die Digitalisierung in den kommunalen Verwaltungen vorantreiben und den Personalbestand in den kommunalen Bauämtern aufstocken soll. Dabei soll nicht nur die Personaldecke in den kommunalen Bauämtern aufgestockt werden, sondern es soll auch eine nennenswerte personelle Stärkung der Partnerschaft Deutschland erfolgen. Ebenso sollte die Personaldecke des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) gestärkt werden, das eine entscheidende Rolle bei der Planung von Offshore Windparks spielt.

Die Partnerschaft Deutschland ist eine Bundesgesellschaft zu 100 Prozent im öffentlichen Eigentum, die die Kommunen bei der Digitalisierung der Verwaltung unterstützt

¹² Für das AquaVentus-Projekt ist eine Offshore Wasserstoffproduktion mit Wasserstofftransport zum Land über eine zentrale Pipeline geplant. Dies hat gegenüber der Alternative „Offshore Stromtransport und Onshore Wasserstoffproduktion“ den Vorteil, dass diese Pipeline fünf Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) Stromanbindungen ersetzt und dadurch kostengünstiger ist und den Naturraum Wattenmeer weniger belastet. Andererseits ist die Offshore-Produktion von Wasserstoff kostenintensiver als eine Onshore-Produktion.

und bei der Planung und Umsetzung von öffentlichen Infrastrukturprojekten kompetent begleitet. Für die Kommunen ist eine Zusammenarbeit mit der Partnerschaft Deutschland bei der Planung von Infrastrukturprojekten wünschenswert, weil dadurch das lokale Wissen der Kommunen mit der globalen Expertise der Partnerschaft Deutschland verbunden werden kann. Zudem hat die Partnerschaft Deutschland bessere Möglichkeiten als die Kommunen, gut ausgebildetes Personal zu rekrutieren.

Maßnahme 3: Stärkung der Planungskapazitäten in den Verwaltungen durch Aufstockung der Personaldecke.

3.2. Industriepolitik

Das zweite Instrument einer erfolgreichen Wasserstoffstrategie ist eine zukunftsorientierte Industriepolitik. Eine solche Industriepolitik hat zwei Komponenten.

Erstens muss der Staat die eigene Nachfrage nach Wasserstoff ausweiten. Dazu sollte der Staat bei Ausschreibungen öffentlicher Bauaufträge verstärkt ökologische Kriterien nutzen, die dann unter anderem die Nutzung Wasserstoffs steigern. Beispielsweise kann der Staat bei öffentlichen Ausschreibungen die Verwendung grünen Stahls verlangen. Die Verwendung solcher Kriterien ist nicht nur eine ökologische Notwendigkeit, sondern auch ökonomisch sinnvoll. Denn mit einer solchen öffentlichen Ausschreibungspraxis leistet der Staat einen wichtigen Beitrag zu einem wasserstoffbasierten Wirtschaftsboom.

Darüber hinaus sollte der Staat im öffentlichen Schienenverkehr in gewissen Bereichen auf klimafreundliche Triebzüge umrüsten. Das Schienennetz in Deutschland wird von einem Oberleitungsnetz überspannt, das besonders im Personennahverkehr große Lücken aufweist (VDE, 2019). Dies hat zur Folge, dass immer noch circa ein Drittel der gefahrenen Zugkilometer von Dieselnzügen erbracht werden -- allein die Deutsche Bahn hat 1300 Dieselntriebzüge mit 5.500 Triebwagen in Betrieb, von denen ein Großteil mittlerweile älter als 20 Jahre ist und in den kommenden Jahren durch klimafreundliche Alternativen ersetzt werden muss.¹³ Dafür stehen zwei Optionen zur Verfügung: Batterie-Triebzüge (Vollelektrische Züge) oder Brennstoffzellen-Triebzüge (Wasserstoffzüge).¹⁴ Aufgrund der begrenzten Reichweite

¹³ Die vollständige Elektrifizierung durch ein lückenloses Oberleitungsnetz ist weder ökonomisch sinnvoll (viele Diesellinien haben eine geringe Verkehrsdichte) noch zeitnah umsetzbar (die zusätzliche Oberleitungsinfrastruktur erfordert ein aufwendiges Planfeststellungsverfahren). Siehe auch VDE (2019).

¹⁴ Beide Alternativen verwenden -- wie auch die Oberleitungs-Triebzüge -- Elektromotoren, um die Radachsen des Triebwagens anzutreiben. Batterie-Triebzüge verwenden eine große Batterie zur Bereitstellung der benötigten Energie, die über Oberleitungen aufgeladen werden kann. Brennstoffzellen-Triebzüge die kontrollierte Oxidation des mitgeführten Wasserstoffs, um die elektrische Energie zu erzeugen.

der Batteriezüge sind Wasserstoffzüge häufig attraktiver auf Bahnlinien ohne Oberleitungen oder mit Lücken von weit über 80 km (VDE, 2019) und rechnen sich auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht bei einem Wasserstoffpreis von unter 5 Euro pro Kilogramm (VDE, 2019).

Abbildung 7. Coradia iLINT Brennstoffzellen-Triebzug von Alstom



Quelle: VDE (2019)

Die Verkehrswende wird im Bereich des schienenbasierten Personennahverkehrs also nur erfolgreich sein, wenn die öffentliche Hand in den kommenden Jahren eine große Anzahl an Dieselnügen durch klimafreundliche Alternativen ersetzt – Wasserstoffzüge oder Batteriezüge. Dies erfordert neben dem Erwerb solcher Züge den Ausbau einer entsprechenden Infrastruktur von Wasserstofftankstellen.

Maßnahme 4: Klimaschädliche Dieselnügen durch klimafreundliche Alternativen (Brennstoffzellen-Triebzüge oder Batterie-Triebzüge) im öffentlichen Schienenverkehr ersetzen und bei öffentlichen Ausschreibungen ökologische Kriterien verwenden.

Die zweite Komponente einer erfolgreichen Industriepolitik ist eine Unterstützung der transformierenden Industrien (Stahl, Chemie) durch gezielte Förderprogramme, die die temporären Kostendifferenzen zu klimaschädlichen Alternativen ausgleichen und die Unsicherheit reduzieren. Konkret stehen zentrale Produktionsanlagen der deutschen Grundstoffindustrie in den nächsten zehn Jahren zur Reinvestition an. Die notwendigen Investitionen sollten genutzt werden, um alte Produktionsanlagen durch klimafreundliche Alternativen zu ersetzen. Das setzt voraus, dass sich die betroffenen Unternehmen in ihren

langfristigen Planungen darauf verlassen können, dass Wasserstoff zukünftig in hinreichenden Mengen zu einem wettbewerbsfähigen Preis zur Verfügung stehen wird. Diese Sicherheit sollte der Staat den betroffenen Unternehmen durch entsprechende Differenzverträge (Klimaverträge) geben.

Maßnahme 5: Investitionen der transformierenden Industrien (Stahl, Chemie) in klimafreundliche Anlagen durch innovative Förderkonzepte (Differenz- bzw. Klimaverträge) unterstützen.

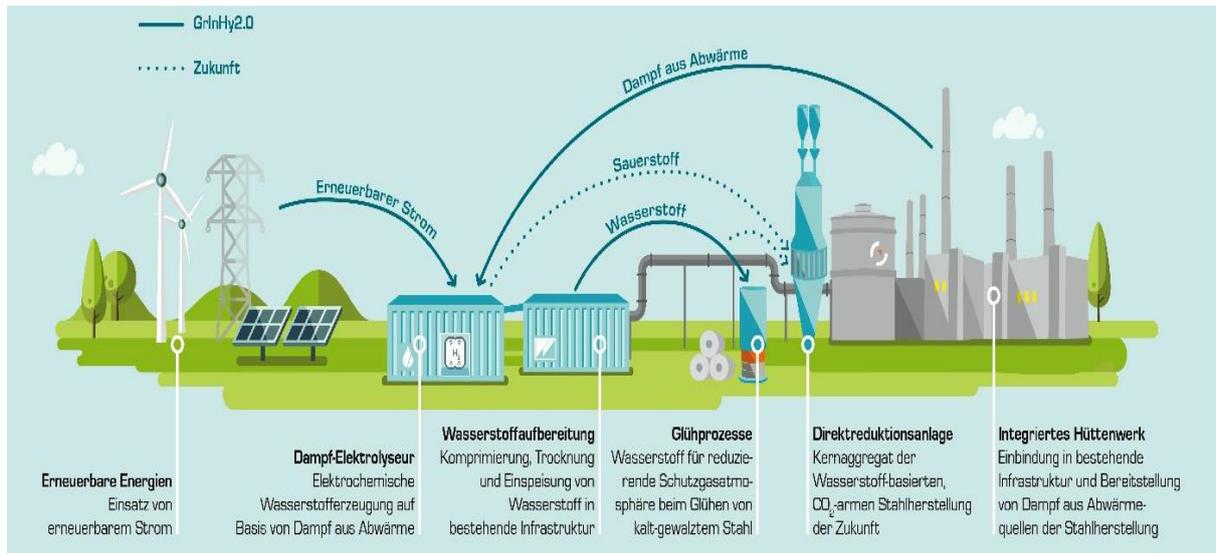
Der zugrundeliegende ökonomische Ansatz kann am Beispiel der Stahlindustrie illustriert werden. Klimaneutralität erfordert eine zügige Transformation der Stahlindustrie, denn die aktuelle Stahlproduktion basierend auf Koks- und Kohle zum Betrieb der Hochöfen ist extrem klimaschädlich. Ein großer Teil der alten Produktionsanlagen könnte bereits in diesem Jahrzehnt durch wasserstoffbasierte Direktreduktionsanlagen ersetzt werden, die klimaneutral arbeiten, solange der verwendete Wasserstoff mit erneuerbarer Energie (Solar und Wind) hergestellt wird. Beispielsweise hat Thyssen-Krupp eine Umstellung eines Teils seiner Stahlproduktion auf Wasserstoff und einen Aufbau von Direktreduktionsanlagen (DR-Anlagen) geplant, von denen die erste bereits 2024 in Betrieb gehen soll.¹⁵ Andere Stahlproduzenten, wie die Salzgitter AG, haben ähnlich ambitionierte Pläne. Klimaneutralität in der deutschen Stahlindustrie kann aus technologischer Sicht weit früher als 2050 erreicht werden. Doch die Stahlproduzenten sind unsicher, ob es zukünftig genug Wasserstoff geben wird. Diese Unsicherheit führt zu Unternehmensentscheidungen, die aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive ineffizient sind: Klimaschädliche Anlagen werden zu spät durch klimafreundliche Alternativen ersetzt und jedes Stahlunternehmen versucht seine eigene grüne Wasserstoffproduktion aufzubauen.

Die hier beschriebene Ineffizienz, die großen ökologischen und wirtschaftlichen Schaden anrichtet, kann nur durch eine mutige Klimapolitik vermieden werden. Diese Klimapolitik schafft zum einen die Grundlage dafür, dass zukünftig Wasserstoff in hinreichenden Mengen zur Verfügung steht – die Maßnahmen 1-4. Zum anderen schafft sie Planungssicherheit für die Stahlindustrie, indem sie der Stahlindustrie vertraglich die zukünftige Lieferung einer gewissen Menge an Wasserstoff zu einem festgesetzten Preis zusichert – Maßnahme 5. Dabei übernimmt der Staat ein langfristiges makroökonomisches

¹⁵ Die H2-Planung von Thyssen-Krupp wird hier beschrieben: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/unternehmen/nachhaltigkeit/klimastrategie/>. Die H2-Strategie der Salzgitter AG findet sich hier: <https://salcos.salzgitter-ag.com/der>

Risiko, das durch eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen 1-5 stark reduziert bzw. eliminiert wird, und das immer von der Gesellschaft getragen werden muss: das Risiko, dass die ökologische Transformation der Wirtschaft misslingt und Wasserstoff nicht in hinreichend großen Mengen in Europa bzw. der Welt bis 2030 produziert wird.

Abbildung 8. Wasserstoffbasierte Stahlproduktion



Quelle: Salzgitter AG

Die sechste und letzte Maßnahme ist Forschungsförderung im Wasserstoffbereich.

Maßnahme 6: Forschung und Entwicklung im Wasserstoffbereich durch zielgenaue Förderprogramme unterstützen.

Eine Forschungsförderung ist ökonomisch sinnvoll, weil private Unternehmen die positiven Externalitäten ihrer Forschungsaktivitäten nicht vollständig berücksichtigen und daher ohne Förderung weniger Forschung betreiben als gesamtgesellschaftlich wünschenswert wäre. Die positiven Spillover-Effekte der Wissensproduktion – sogenannte Wissensexternalitäten – sind theoretisch gut fundiert und empirisch hinreichend belegt – siehe auch Kapitel 4. Besonders in Bezug auf Zukunftstechnologien wie z.B. dem Wasserstoff sind die gesamtwirtschaftlichen Renditen einer zielgenauen Forschungsförderung sehr hoch.

3.3. Das Wasserstoffpaket

Das gesamte Paket zum Aufbau einer wettbewerbsfähigen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland hat ein finanzielles Volumen von 100 Mrd. Euro für den Zehnjahreszeitraum 2021-2030 (jährlich 10 Mrd. Euro). Das Wasserstoffpaket besteht aus den folgenden sechs Maßnahmen.

3.3.1. Infrastrukturpolitik

Die erste Maßnahme schafft die notwendige Infrastruktur, um den Transport des Wasserstoffs von den Produzenten zu den Abnehmern in Deutschland und Europa zu ermöglichen – siehe Abbildung 4 (Agora+):

Maßnahme 1: Insgesamt 25 Mrd. Euro (jährlich 2,5 Mrd. Euro bis 2030) für den Aufbau eines leistungsfähigen Leitungsnetzwerks zum Transport Wasserstoffs in Deutschland und Europa.

Die Investitionskosten des in Abbildung 2 dargestellten Netzwerkes von Wasserstoffleitungen werden in der Studie „European Hydrogen Backbone“ (2021) auf mindestens 43 und höchstens 81 Mrd. Euro geschätzt.¹⁶ Dabei wurden diese Werte unter der Annahme abgeleitet, dass zu 69 Prozent bestehende Erdgasnetze umgerüstet werden. Dieser Wert erscheint eher ambitioniert und nicht realistisch, wenn – wie in dieser Studie – große Teile des Wasserstoffleitungsnetzwerks bis 2030 fertiggestellt werden sollen.

Kostenabschätzungen für die in Abbildungen 3 und 4 dargestellten Wasserstoffnetzwerke liegen nicht vor. Das in Abbildung 3 dargestellte Leitungsnetzwerk ist umfangreicher als das in Abbildung 2 abgebildete Netzwerk, auch wenn Abbildung 2 ein Cluster von Abbildung 3 nicht einschließt. Es ist daher davon auszugehen, dass die Investitionskosten entsprechend niedriger sind. Abbildung 4 berücksichtigt im Vergleich zu Abbildung 3 zusätzliche Clusterverbindungen und würde entsprechend höhere Investitionen erfordern.

Diese Überlegungen zeigen, dass eine verlässliche Abschätzung der Investitionskosten für ein umfassendes europäisches Netzwerk von Wasserstoffleitungen schwierig ist. Die von European Hydrogen Backbone (2021) berechneten Investitionskosten von 80 Milliarden Euro stellen eine untere Grenze dar. In der vorliegenden Studie werden als Basis der Berechnungen Investitionskosten von insgesamt 100 Mrd. Euro angesetzt. Wenn Deutschland circa ein Viertel der Gesamtkosten trägt, ergibt sich ein Betrag von 25 Mrd. Euro. Dabei sollte beachtet werden, dass nicht das gesamte Netzwerk bis 2030 ausgelegt werden muss, sodass die Ausgaben bis 2030 unter 25 Mrd. Euro liegen könnten.

¹⁶ Die jährlichen Betriebs- und Instandhaltungskosten werden auf 1,7 Milliarden Euro bis 3,8 Milliarden Euro geschätzt.

Die zweite Maßnahme schafft die notwendige Transportinfrastruktur für den Ausbau der Offshore Windenergie, um das ambitionierte (aber realistische) Ausbauziel 30 GW bis 2030 zu erreichen – das entspricht der Schaffung von zusätzlich circa 20 GW Leistung¹⁷:

Maßnahme 2: Insgesamt 30 Mrd. Euro (jährlich 3 Mrd. Euro) für den Ausbau der Transportinfrastruktur für Offshore-Windenergie mit angeschlossener Wasserstoffproduktion.

Eine Abschätzung des notwendigen Investitionsvolumens für Maßnahme 2 ist schwierig. TenneT rechnet mit zusätzlichen Investitionen von 20 Mrd. Euro bis 2030, um die Anschlusskapazitäten für den geplanten Ausbau der Offshore Windkraft in Deutschland und den Niederlanden auf 20 GW (von aktuell etwas unter 10 GW)¹⁸. Dänemark rechnet für die Errichtung einer künstlichen Energieinsel, die 10 GW zusätzlich erzeugen soll, mit Investitionskosten von knapp 30 Mrd. Euro, aber das dänische Konzept des Baus einer künstlichen Insel ist sicherlich sehr kostenintensiv. Für das Pipeline-Projekt von AquaVentus liegen keine Kostenabschätzungen vor. Die angesetzten Infrastrukturkosten von 30 Mrd. Euro für den Ausbau der Offshore Windenergie um 20 GW erscheinen realistisch.

Die dritte Maßnahme stärkt die Planungskapazitäten des Staates, die wichtig für die erfolgreiche Durchführung von Infrastrukturprojekten wie dem Ausbau eines Wasserstoffnetzwerkes ist:

Maßnahme 3: Insgesamt 5 Mrd. Euro (jährlich 0,5 Mrd. Euro) zur Stärkung der kommunalen Planungskapazitäten durch Aufstockung der Personaldecke.

Die unter Maßnahme 3 bereitgestellten Mittel sollen verwendet werden, um 1.000 zusätzliche Vollzeitstellen der Partnerschaft Deutschland (PD) und 2.000 zusätzliche Vollzeitstellen für Kommunen und BSH zu schaffen. Zudem sollen Mittel zur Digitalisierung der Verwaltungen bereitgestellt werden.

¹⁷ Zum Vergleich: Das aktuelle Ausbauziel der Bundesregierung für Offshore Windenergie ist 20 GW und Agora (2021a) setzt 25 GW an. Der angesetzte Ausbau der Offshore-Windenergie um 20 GW würde circa 80 TWh zusätzliche erneuerbare Energie bereitstellen, wovon nur ein Teil zur Produktion Wasserstoffs verwendet wird. In diesem Sinne sind nicht die gesamten 30 Mrd. Euro dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft zuzuordnen.

¹⁸ Vgl. Handelsblatt vom 12.03.2021 „TenneT will Investitionen in die Energiewende verdoppeln“. TenneT bzw. TenneT-Offshore ist ein niederländisches Staatsunternehmen, aber eine Beteiligung des deutschen Staates wird in Betracht gezogen.

3.3.2. Industriepolitik

Während die ersten drei Maßnahmen auf den Ausbau einer angemessenen Infrastruktur abzielen, können die Maßnahmen 4-6 grob als Industriepolitik eingeordnet werden. Die vierte Maßnahme stärkt die staatliche Nachfrage nach Wasserstoff und schafft so einen zusätzlichen Anreiz, in die Entwicklung und Produktion von klimafreundlichen Technologien zu investieren:

Maßnahme 4: Insgesamt 10 Mrd. Euro (jährlich 1 Mrd. Euro bis 2030) für den Ersatz von 1.000 klimaschädlichen Dieselnügen durch klimafreundliche Alternativen (Brennstoffzellen-Triebzüge oder Batterie-Triebzüge) im öffentlichen Schienenverkehr.

Die Verwendung ökologischer Kriterien in öffentlichen Ausschreibungen erfordert in der Regel keine öffentlichen Mittel. Die Umrüstung der Dieselnügen auf Batterie- oder Wasserstoffzüge im öffentlichen Personennahverkehr erzeugt hingegen Investitionskosten. Für den Umstieg auf Wasserstoffzüge ergeben sich folgende Kosten.

Aktuell ist der Corodia iLint von Alstrom der einzige Wasserstoffzug, der bereits auf der Schiene unterwegs ist (VDE, 2019). Zudem soll bis 2024 ein Wasserstoffzug von Siemens bzw. Siemens Mobility – Mireo Plus H – marktfähig sein. Anschaffungskosten für einen Wasserstoffzug liegen je nach Ausstattung zwischen 5 und 10 Millionen Euro. Hinzu kommen die Kosten für die H₂-Ladeinfrastruktur, die regional stark schwanken. Die Kosten für den Erwerb von 1.000 Wasserstoffzügen und dem Aufbau einer entsprechenden Tankstelleninfrastruktur werden auf 10 Mrd. Euro geschätzt. Der Ersatz von Dieselnügen durch Batteriezüge schafft etwas geringere Investitionskosten. Die Aufteilung zwischen Batterie- und Wasserstoffzügen ist jedoch ex-ante nicht bekannt und das Finanzvolumen der Maßnahme wird daher mit 10 Mrd. Euro angesetzt.

Die fünfte Maßnahme unterstützt die transformierenden Industrien und stärkt so die private Nachfrage nach Wasserstoff. Sie besteht aus staatlichen Differenzverträgen zum Ausgleich der Betriebskostendifferenz mit einer impliziten Förderung von insgesamt 15 Mrd. Euro und einer expliziten Förderung klimafreundlicher Investitionen mit einem Finanzvolumen von 10 Mrd. Euro.

Maßnahme 5: Insgesamt 25 Mrd. Euro (jährlich 2,5 Mrd. Euro bis 2030) Investitionsförderung für die transformierenden Industrien, um die Umstellung auf eine wasserstoffbasierte Produktion zu unterstützen.

Die Umstellung auf eine wasserstoffbasierte Produktion soll mit einer Förderquote von 50% unterstützt werden, um das Risiko einer Verlagerung der Produktion ins nicht-europäische Ausland zu minimieren (Carbon-Leakage) und den Unternehmen einen Anreiz zu bieten, gesamtgesellschaftlich wünschenswerte Investitionen in klimafreundliche Technologien vorzuziehen. Matthes et al. (2021) schätzen einen Investitionsbedarf für transformative Wasserstoffanwendungen in der Industrie von insgesamt 20 Mrd. Euro bis 2035. Bei einer Förderquote von 50% ergibt dies ein Fördervolumen von 10 Mrd. Euro oder 1 Mrd. Euro pro Jahr.

Hohe anfängliche Betriebskosten der klimafreundlichen Produktion und Unsicherheit hinsichtlich langfristiger ökologischer Entwicklungen sind weitere Gründe, warum gesamtgesellschaftlich wünschenswerte Investitionen nicht oder zu spät getätigt werden. Daher sollte ein umfassendes Investitionsförderprogramm für die transformierenden Industrien diese zukünftigen Kostendifferenzen durch Differenz- bzw. Klimaverträge planbarer machen und teilweise ausgleichen. Diese Differenzverträge sollten eine Laufzeit von 10-15 Jahren haben. Die erwartete Kostendifferenz und das damit verbundene Fördervolumen können wie folgt abgeschätzt werden.

Die kleinteilige Berechnung der Betriebskostendifferenz zwischen grünem Wasserstoff und der „besten“ Alternative für die verschiedenen Sektoren ist eine komplexe Aufgabe, die den Rahmen der vorliegenden Studie sprengen würde. Deshalb soll hier nur eine einfache Kalkulation durchgeführt werden, die sich auf eine Alternative als Referenzsystem beschränkt – die Verwendung von grauem bzw. blauem Wasserstoff.¹⁹ Das bedeutet zum Beispiel, dass in der Stahlindustrie die Umstellung auf Direktreduktion für einen Hochofen bzw. Produktionsstätte bereits entschieden wurde.

Die Produktionskosten von Erdgas liegen aktuell knapp unter 1 US Dollar pro Kilogramm für optimale Produktionsmöglichkeiten und etwas über 1 US Dollar pro Kilogramm für die durchschnittliche Produktionsstätte (Hydrogen Council und McKinsey, 2021). Die aktuellen Produktionskosten für grünen Wasserstoff sind wesentlich größer: 4 US Dollar pro Kilogramm für eine optimale Produktionsstätte und etwas über 5 US Dollar pro Kilogramm für eine durchschnittliche Produktionsstätte. Dieser aktuell sehr hohe Kostenvorteil des grauen Wasserstoffs relativ zum grünen Wasserstoff wird laut der Studie Hydrogen

¹⁹ Matthes et al. (2021) nutzen ebenfalls eine erdgasbasierte Produktion als Referenzsystem für alle Sektoren außer Langstreckengüterverkehr und Raffinerien.

Council und McKinsey (2021) jedoch schnell sinken: von circa 1,5-2 US Dollar pro Kilogramm H₂ in 2025 auf 0,5-1 US Dollar pro Kilo H₂ bis 2030.

Matthes et al. (2021) gehen davon aus, dass bei einem starken Fokus auf Kostensenkungen die Fixkosten der Produktion von grünem Wasserstoff auf 0,4 Euro pro kg H₂ bis 2030 gesenkt werden können (bei 4.500 Vollbenutzungsstunden). Zudem werden die variablen Kosten der Produktion in Deutschland – hauptsächlich die Stromkosten der Elektrolyse – auf circa 1 Euro pro kg H₂ (26 Euro/MWh) angesetzt. Das ergibt Produktionskosten für grünen Wasserstoff in Deutschland von circa 1,4 Euro/kg.

Für einen Vergleich der Kosten von grünem und grauem bzw. blauem Wasserstoff müssen auch Steuern und Abgaben berücksichtigt werden. Die Kosten der Erdgasnutzung werden aufgrund des steigenden CO₂-Preises ab 2025 signifikant ansteigen. Wenn Wasserstoff von Netznutzungsentgelten und Stromsteuer befreit wird und die EEG-Umlage bis 2025 auslaufen sollte, dann ergibt dies einen eindeutigen Kostenvorteil für den Wasserstoff hinsichtlich der Steuern und Abgaben, der bei einem CO₂-Preis von 100 Euro/Tonne CO₂ circa 0,7 Euro betragen könnte. Es ist also ein realistisches Szenario, dass die Kostendifferenz zwischen grünem und grauem Wasserstoff aus einzelwirtschaftlicher Sicht bis 2030 verschwunden ist (bei geringer Differenz der Transportkosten). Matthes et al. (2021) errechnen, dass bei günstigen Rahmenbedingungen und einem CO₂-Preis von 125 Euro/Tonne CO₂ die Kostenparität zwischen Wasserstoff und grauem Wasserstoff bis 2030 hergestellt ist.

Diese Betrachtungen und Berechnungen sind mit großer Unsicherheit behaftet. Die Mehrzahl der Investitionen der Schwerindustrie in neue Produktionsanlagen müssen jetzt geplant werden, auch wenn sie erst in der zweiten Hälfte der Dekade anfallen. Der Staat sollte einen Teil dieses makroökonomischen Risikos übernehmen, indem er über Differenzverträge den transformierenden Unternehmen langfristig einen festen Preis für Wasserstoff zusichert. Wenn eine durchschnittliche Kostendifferenz von 1,5 Euro/kg H₂ für die Produktion Wasserstoffs bis 2030 angenommen wird, dann ergibt sich bei einer Gesamtproduktion von 20 Tonnen H₂ ein Finanzvolumen von circa 30 Mrd. Euro.²⁰ Wenn der Staat diese Kostendifferenz hälftig übernimmt, ergibt sich ein Fördervolumen von 15 Mrd. Euro.

²⁰ In 2030 muss ein Bedarf von 63 TWh an Wasserstoff abgedeckt werden (Agora, 2020a). Dies entspricht circa 2 Mio. Tonnen Wasserstoff (ein Kilogramm Wasserstoff beinhaltet 33,33 kWh). Unter der Annahme eines linearen Anstiegs ergibt dies einen Gesamtbedarf von circa 20 Mio. Tonnen H₂ für den Zeitraum 2021-2030.

Die letzte Maßnahme ist die Forschungsförderung:

Maßnahme 6: Insgesamt 5 Mrd. Euro (jährlich 0,5 Mrd. Euro) für die Forschungsförderung im Wasserstoffbereich.

Aktuell hat die Bundesregierung für die Forschungsförderung im Wasserstoffbereich nur 300 Millionen Euro bis 2023 zur Verfügung gestellt – siehe BMBF. Hinzu kommt noch die Forschungsförderung, die implizit in den von der Bundesregierung geförderten Wasserstoffprojekten enthalten sind (siehe unten).

3.4. Umsetzung des Wasserstoffpakets

Die Grundthese der vorliegenden Studie ist, dass der moderne Staat immer auch unternehmerisch tätig ist. Konkret bedeutet dies, dass öffentliche Aufgaben, die unternehmerisches Handeln erfordern, durch öffentliche Unternehmen durchgeführt werden sollen. Dabei wird hier jede rechtlich eigenständige Einheit als öffentliches Unternehmen bezeichnet, die i) öffentliches Eigentum ist (öffentliche Hand besitzt mehr als 50% am Stimmrecht), ii) einen gewissen Grad an Eigenständigkeit besitzt und iii) einen wirtschaftlichen Zweck erfüllt. Sie können sowohl öffentlich-rechtlich als auch privat-rechtlich organisiert sein. Beispiele für solche öffentlichen Unternehmen des Bundes sind die Deutsche Bahn (privatrechtliche Aktiengesellschaft), die Autobahngesellschaft (privatrechtliche GmbH) und die KfW (Anstalt des öffentlichen Rechts).²¹

Drei der sechs vorgeschlagenen Maßnahmen erfordern unternehmerisches Handeln: Ausbau eines Wasserstoffleitungsnetzwerkes (Maßnahme 1), Ausbau der Transportinfrastruktur für die Offshore Windenergie mit angeschlossener Wasserstoffproduktion (Maßnahme 2) und zielgenaue Investitionsförderung für die transformierenden Industrien über Differenz- bzw. Klimaverträge (Maßnahme 5). Diese öffentlichen Aufgaben sollten daher durch ein öffentliches Unternehmen umgesetzt werden. Konkret sind zwei Optionen möglich.

Die erste Option ist, bereits existierende Unternehmen mit zusätzlichem Eigenkapital auszustatten und die mit den Maßnahmen verbundenen Aufgaben zu übertragen. Dabei ist eine Umsetzung der Maßnahme 5 (Differenz- bzw. Klimaverträge) über die KfW naheliegend. Für

²¹ Dies entspricht nicht genau der Definition der öffentlichen Unternehmen bzw. der öffentlichen Investitionen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR), die dem Europäischen System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen (ESVG) folgt. Laut VGR sind zum Beispiel die Investitionen der Deutschen Bahn private Investitionen. In der Finanzstatistik werden die Zuweisungen des Bundes an die DB für Infrastrukturinvestitionen jedoch als öffentliche Investitionen ausgewiesen.

die Infrastrukturmaßnahmen 1 und 2 ist eine Umsetzung über den Übertragungsnetzbetreiber TenneT möglich, der bereits die Anschlussinfrastruktur für die Offshore Windenergie in der Nordsee bereitstellt. Eine solche Umsetzung ist jedoch nur ökonomisch sinnvoll, wenn der Bund zuvor eine Mehrheitsbeteiligung an TenneT erwirbt – zurzeit ist TenneT ein öffentliches Unternehmen und zu 100 Prozent im Eigentum des niederländischen Staates.

Sollte eine Mehrheitsbeteiligung des Bundes an TenneT nicht möglich sein, dann muss als Alternative die Gründung einer Wasserstoffinfrastrukturgesellschaft des Bundes in Betracht gezogen werden. Dabei kommt als Rechtsform entweder eine GmbH privaten Rechts oder eine Anstalt öffentlichen Rechts in Frage. Die neue Bundesgesellschaft sollte mit einer eigenständigen Kreditfähigkeit ausgestattet werden.

Die Umsetzung infrastrukturpolitischer und industriepolitischer Maßnahmen durch eigenständige öffentliche Unternehmen ist nicht nur ökonomisch sinnvoll, sondern auch finanzpolitisch nützlich. Konkret erhalten in beiden Optionen die öffentlichen Unternehmen Eigenkapital vom Bund und würden sich ansonsten durch eigene Einnahmen und Kredite finanzieren. Die Bereitstellung von Eigenkapital durch den Bund erhöht zwar die Ausgaben im Bundeshaushalt, aber diese Ausgaben werden als finanzielle Transaktionen gebucht und beeinflussen somit nicht die Obergrenze der gemäß Schuldenbremse zulässigen Nettokreditaufnahme (BMF, 2021, Hermes et al., 2020). Das bedeutet, dass öffentliche Investitionen von circa 80 Mrd. Euro (Finanzvolumen der Maßnahmen 1,2 und 5) in den Bereichen Wasserstoff und erneuerbarer Energien ohne merkliche Einschränkung der aktuellen finanzpolitischen Spielräume umgesetzt werden können.

Die Umsetzung öffentlicher Investitionsprogramme durch öffentliche Unternehmen ist ökonomisch sinnvoll und finanzpolitisch nützlich, aber kann den Zielen einer parlamentarischen Demokratie zuwiderlaufen. Denn in einer parlamentarischen Demokratie soll das Handeln der Exekutive (Bundesregierung) durch die Legislative (Bundestag) kontrolliert werden. Eine solche Kontrolle wird zum Beispiel durch das verfassungsrechtlich verankerte Recht des Bundestags umgesetzt, den Bundeshaushalt zu bestimmen. Dieser Kontrollmechanismus wird nun bei öffentlichen Unternehmen eingeschränkt, weil die Geschäftstätigkeiten dieser Unternehmen nicht dem Haushaltsrecht unterliegen und sich somit der direkten Kontrolle des Bundestags entziehen. Diese Problematik ist nicht neu und sie hat in der Vergangenheit immer wieder zu Spannungen zwischen Exekutive und Legislative geführt. Deshalb ist es wichtig, zugleich mit der Übertragung zusätzlicher Aufgaben auf die

Bundesunternehmen zusätzliche Kontrollmechanismen einzuführen. Beispielsweise könnten die Vorstände bzw. Geschäftsführungen aller größeren Bundesunternehmen dazu verpflichtet werden, über ihre Geschäftstätigkeit in den jeweiligen Ausschüssen des Bundestags regelmäßig zu berichten.²²

Die Maßnahmen 3, 4 und 6 werden als Förderprogramme des Bundes umgesetzt, wobei die Maßnahmen 3 und 4 hauptsächlich kommunale Investitionen bzw. kommunale Personalausgaben sind. Bei einem Bundesfördersatz von 40 Prozent für diese zwei Maßnahmen ergibt sich für alle drei Maßnahmen ein Finanzvolumen des Bundes von insgesamt circa 11 Mrd. Euro bis 2030 bzw. jährlich 1,1 Mrd. Euro. Das gesamte Wasserstoffpaket von 100 Mrd. Euro würde also die finanziellen Spielräume im Bundeshaushalt nur um 11 Mrd. Euro für die kommenden zehn Jahre einengen (jährlich 1,1 Mrd. Euro).

3.5. Aktuelle Wasserstoffpolitik des Bundes

Die genannten Programme und Methoden sind nicht prinzipiell neu und die deutsche Politik hat bereits erste Schritte unternommen. So wurden im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 (Klimapakets) insgesamt 9 Mrd. Euro zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft bereitgestellt (7 Mrd. Euro für nationale Programme plus 2 Mrd. für internationale Kooperationen) und von den Mitteln des europäischen Wiederaufbaufonds, die Deutschland zur Verfügung stehen, sind nochmals 3 Mrd. Euro für den Wasserstoffbereich vorgesehen – insgesamt also 12 Mrd. Euro für den Wasserstoff. Zudem hat die Bundesregierung im Herbst 2020 ihre nationale Wasserstoffstrategie vorgelegt (BMW, 2020).

Positiv zu bewerten ist, dass im Rahmen der europäischen Wasserstoff-Allianz bereits 62 deutsche Projekte bewilligt wurden, für die insgesamt 8 Mrd. Euro vom Bund (5,8 Mrd. Euro) und den Bundesländern zur Verfügung gestellt wurden.²³ Darunter sind Projektskizzen für Erzeugungsanlagen, die zusammengenommen über zwei Gigawatt Elektrolyseleistung für die Produktion von Wasserstoff umfassen. Diese Förderung entspricht den unter Maßnahme 4 erwähnten Programmen zur Investitionsförderung der transformierenden Industrien.

²² Natürlich hat der Bundestag immer das Recht, eine Einladung auszusprechen. Der Punkt ist, diese Berichtspflicht gegenüber dem Bundestag als den Normalfall zu deklarieren.

²³ Siehe das Handelsblatt vom 25.05.2021 „Wasserstoff: 62 Projekte sollen mit acht Milliarden Euro gefördert werden“.

Trotz dieser positiven Entwicklung hat die Nationale Wasserstoffstrategie des Bundes drei Schwächen. Erstens ist das vom Bund bisher bereitgestellte Finanzvolumen von 12 Mrd. Euro relativ klein im Vergleich zu einem Gesamtvolumen von 100 Mrd. Euro, wie es in dieser Studie vorgeschlagen wird. Doch ist dieser Unterschied weniger zentral, als es auf den ersten Blick erscheint. Denn die Politik kann, wenn sie den in 3.4 vorgeschlagenen Weg verfolgt, zügig zusätzliche Finanzmittel mobilisieren, ohne den Bundeshaushalt übermäßig zu belasten.

Zweitens fehlt ein überzeugender Plan im Bereich der Infrastrukturpolitik. Konkret hat das BMWi noch kein Konzept vorgelegt, wie ein flächendeckendes Leitungsnetz für den Transport von Wasserstoff in Deutschland (und Europa) aussehen könnte und bereitgestellt werden soll.²⁴ Das bedeutet, dass die Bundesregierung immer noch kein Konzept entworfen hat, wie der Bund eine seiner originären Aufgaben erfüllen soll. Die Erfahrung mit dem schleppenden Ausbau der digitalen Infrastruktur in Deutschland hat die Konsequenzen einer Politik aufgezeigt, die keinen umfassenden Plan entwirft und versucht, die Verantwortung für diese staatliche Aufgabe an private Unternehmen abzugeben.

Drittens geht die Industriepolitik in einem Bereich in die verkehrte Richtung und verfehlt daher ihr Ziel. Konkret ist das vom BMWi geplante Förderkonzept „H2-Global“ kein effektives Instrument, um Planungssicherheit für die transformierenden Industrien zu schaffen. Denn es sollen zwar langfristige Verträge mit internationalen Anbietern von Wasserstoff abgeschlossen werden, doch auf der Nachfrageseite – also der deutschen Industrie – sollen kurzfristige Verträge abgeschlossen werden.²⁵ Zudem ist geplant, das Förderkonzept über eine private Stiftung umzusetzen. Dies bedeutet, dass eine staatliche Aufgabe an private Interessen abgegeben wird. Damit verletzt das Förderkonzept ein wesentliches Prinzip guter Wirtschaftspolitik: Wer zahlt und die Verantwortung trägt, der sollte auch die Kontrolle haben. Aus gesamtgesellschaftlicher Sicht ist das Ergebnis solcher öffentlich-privater Partnerschaften

²⁴ Die Planung bzw. der Entwurf einer flächendeckenden Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland müsste von der Bundesnetzagentur durchgeführt werden, eine Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des BMWi. Die Arbeit „Regulierung von Wasserstoffnetzen: Bestandsaufnahme“ der Bundesnetzagentur (2020) enthält – neben der Bestandsaufnahme -- einige grundsätzliche Überlegungen zum Aufbau eines solchen Wasserstoffleitungsnetzes in Deutschland.

²⁵ Siehe die Website von H2-Global: „Die Abwicklung der Auktionen erfolgt über einen Intermediär: die HINT.CO. Über den Intermediär wird es möglich sein, angebotsseitig langfristige Abnahmeverträge und nachfrageseitig kurzfristige Wiederverkaufsverträge abzuschließen. Der Intermediär gleicht die bestehende Differenz zwischen Angebots- und Nachfragepreis über einen an den „Contracts for Difference“-Ansatz (CfD) angelehnten Fördermechanismus aus.“

(ÖPP) in der Regel ein ineffizienter Einsatz von staatlichen Finanzmitteln.²⁶ Insgesamt krankt der gesamte H2-Global-Ansatz an der etwas naiven Vorstellung, dass große gesamtgesellschaftliche Herausforderungen allein durch die Delegation an private Akteure und globale Finanzmärkte gelöst werden können.

4. DER MODERNE STAAT AUS ÖKONOMISCHER PERSPEKTIVE

Die in Kapitel 3 entwickelte Wasserstoffstrategie und die damit verbundene Klimapolitik stehen nicht im logischen Widerspruch zum gängigen klimapolitischen Paradigma. Doch sie gehen darüber hinaus, denn sie basieren auf der Idee eines modernen Staates. Dieses Kapitel bespricht die ökonomische Theorie und die verfügbare Evidenz, die eine solche Sicht des modernen Staates begründen. Dabei liegt der Fokus der Analyse auf der Frage, welche Art des Marktversagens in dem jeweiligen Kontext vorliegt und deshalb einen entsprechenden Eingriff des Staates erfordert. Anders gesagt: Warum gilt das erste Theorem der Wohlfahrtsökonomik nicht? Dies ist der übliche Ansatz in der einschlägigen ökonomischen Literatur.²⁷

4.1. Traditionelle Klimapolitik

Der gängige klimapolitische Ansatz hat seine Wurzeln im Liberalismus und zwei ökonomischen Ideen, die eng mit dem Liberalismus verbunden sind. Erstens ein Konzept der Freiheit, das der wirtschaftsliberalen Tradition entspringt und wortgewaltig von Friedrich Hayek in *The Constitution of Liberty* (1960) beschrieben wird. Im Mittelpunkt steht eine Marktwirtschaft, in der Individuen und Unternehmen im Wettbewerb um die besten Ideen großartige Leistungen erbringen und so gesellschaftlichen Wohlstand erzeugen. Angewandt auf die Klimapolitik bedeutet dieser wirtschaftsliberale Ansatz einen Fokus auf klimafreundliche Innovationen, die von privaten Unternehmen entwickelt und gewinnbringend verkauft werden.

Zweitens die Einsicht, dass die eigene Freiheit dort aufhört, wo sie die Freiheit anderer einschränkt. Aus liberaler Sicht sind staatliche Eingriffe in die freie Marktwirtschaft in der Regel gerechtfertigt, wenn sogenannte Externalitäten vorliegen: Die Konsum- und Produktionsentscheidungen einzelner Akteure haben einen direkten und nennenswerten Effekt

²⁶ Siehe auch Hermes et al. (2020) für eine kurze Analyse und weiterführende Referenzen von ÖPP-Projekten in Deutschland. Ebenso kritisiert der Bundesrechnungshof regelmäßig die Unwirtschaftlichkeit aktueller ÖPP-Projekte in Deutschland.

²⁷ Rodrik (2014) bietet einen lesenswerten Überblick der Literatur zum Thema „Grüne Industriepolitik“, bespricht jedoch nicht die makroökonomische Literatur, die der Fokus der vorliegenden Studie ist.

auf das Wohlergehen anderer Akteure. In einer solchen Situation wird selbst einzelwirtschaftlich vernünftiges Verhalten häufig zu keinem gesamtgesellschaftlich wünschenswerten Ziel führen und es ist die Aufgabe des Staates, durch zielgenaue Eingriffe ins Marktgeschehen gesamtwirtschaftliche Effizienz zu gewährleisten.

Zwei Externalitäten haben die klimapolitische Debatte geprägt, und entsprechend besteht eine liberale Klimapolitik – neben dem Vertrauen auf den Marktprozess – im Wesentlichen aus zwei zentralen Instrumenten:

- Ein einheitlicher und hinreichend hoher CO₂-Preis, damit Marktpreise die Klimakosten verschiedenerer Verhaltensweisen angemessen widerspiegeln.
- Eine staatliche Forschungsförderung in den Bereichen der erneuerbaren Energien und des Wasserstoffs, um der Wirtschaft zusätzliche Innovationsanreize zu bieten.

Beide Maßnahmen sind ökonomisch vernünftig. Ein CO₂-Preis ist ein zielgenaues Instrument, um klimaschädliches Verhalten und die damit verbundene negative Externalität zu bekämpfen. Diese Klima-Externalität ist wissenschaftlich gut belegt und erklärt die Zentralität der CO₂-Bepreisung in der klimapolitischen Debatte. Die Forschungsförderung ist ökonomisch sinnvoll, weil private Unternehmen die positiven Externalitäten ihrer Forschungsaktivitäten nicht vollständig berücksichtigen und daher ohne Förderung weniger Forschung betreiben als gesamtgesellschaftlich wünschenswert wäre. Die positiven Spillover-Effekte der Wissensproduktion – sogenannte Wissens-Externalitäten — sind theoretisch gut fundiert und empirisch hinreichend belegt (Bloom et. al., 2019). Zudem können Pfadabhängigkeiten dazu führen, dass zu wenig Forschung und Entwicklung im Bereich der klimafreundlicher Technologien betrieben wird.

Eine einflussreiche makroökonomische Arbeit von Acemoglu et al. (2012) zeigt formal, dass eine gesellschaftlich optimale Klimapolitik beide Instrumente — CO₂-Preis und Forschungsförderung – verwenden sollte. Konkret betrachten Acemoglu et al. (2012) eine Volkswirtschaft mit zwei Sektoren. Im ersten Sektor betreiben innovative Unternehmen Forschung und Entwicklung, um neue Technologien zu entwickeln und marktreif zu machen. Dabei können diese Innovationsunternehmen ihre Forschungsaktivitäten in zwei Bereichen durchführen: klimafreundliche Technologien (erneuerbare Energie und Wasserstoff) oder klimaschädliche Technologien (fossile Energieträger) legen. Im zweiten Sektor erfolgt die Güterproduktion (z.B. Stahl- oder Chemieindustrie) und es besteht die Möglichkeit einer Substitution zwischen den beiden Technologien.

Das wesentliche theoretische Ergebnis der Studie von Acemoglu et al. (2012) ist, dass die optimale Politik im Sinne der Wohlfahrtsmaximierung aus zwei Instrumenten besteht: Eine CO₂-Steuer zur Bekämpfung der negativen Klima-Externalität und eine Subvention für F&E im Bereich der klimafreundlichen Technologien, damit Innovationsunternehmen die positiven externen Effekte ihrer Aktivitäten internalisieren.²⁸ Das bedeutet unter anderem, dass ökonomische Theorie keine vollständige Technologieoffenheit der öffentlichen Forschungsförderung empfiehlt. Zudem ist ein CO₂-Preis nur zeitlich begrenzt notwendig, weil technologischer Fortschritt langfristig eine klimafreundliche und kostengünstige Produktion erlaubt. Anders gesagt: Der optimale CO₂-Preis ist Null in der langen Frist, obwohl die negative Klima-Externalität der Technologie basierend auf fossilen Brennstoffen im Prinzip immer vorhanden ist.

Der in Acemoglu et al. (2012) verwendete Modellrahmen geht weit über die Modelle hinaus, die üblicherweise die Grundlage für die klimapolitische Debatte bilden. Im Gegensatz zu den makroökonomischen Klimamodellen in der Nordhaus-Tradition – siehe z.B. Golosov et al. (2014) oder Barrage (2020) – berücksichtigen Acemoglu et al. (2012) Investitionen in klimafreundliche Technologien und somit die Möglichkeit, dass die Entwicklung neuer, grüner Technologien ökologisch nachhaltiges Wachstum schafft. Auch die in der deutschen Klimadebatte häufig zitierten Experten-Studien vernachlässigen solche Investitionen in klimafreundliche Technologien, die erhebliche Anpassungskosten verursachen und mit Unsicherheit behaftet sind.²⁹ Diese Studien nehmen also an, dass Thyssen-Krupp von heute auf morgen seine aktuell klimaschädliche Stahlproduktion auf eine vollständig klimaneutrale Produktion umstellen kann. Diese Modellannahmen stehen im krassen Widerspruch zur Realität und die in den vorliegenden Experten-Studien abgeleiteten Politikempfehlungen sollten entsprechend eingeordnet werden.

Die Arbeit von Acemoglu et al. (2012) stellt einen großen Fortschritt im Vergleich zu den Expertenstudien dar, die die öffentliche Debatte in Deutschland bestimmen. Doch auch in

²⁸ Der in Acemoglu et al. (2012) verwendete Modellrahmen basiert nicht auf einer klassischen Wissens-Externalität, sondern erzeugt durch einen Marktgrößen-Effekt eine Pfadabhängigkeit, die indirekt zu einem positiven externen Effekt von F&E im Bereich der klimafreundlichen Technologien führt.

²⁹ Beispielsweise berechnet die in der deutschen Debatte viel zitierte Studie von Edenhofer et al. (2019), die auch die Basis des Klimagutachtens des Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung bildet (SVR, 2019), einen empfohlenen CO₂-Preis auf der Grundlage von empirischen Studien, die die marginale Reaktion des Benzinverbrauchs im Individualverkehr auf eine Benzinpreiserhöhung schätzen (Preiselastizitäten der Nachfrage nach Benzin). Die Ergebnisse der vom BMU in Auftrag gegebene Studie von Bach et al. (2019) basiert ebenfalls auf empirischen Schätzungen von Preiselastizitäten, die eine nur geringe Aussagekraft hinsichtlich der Frage besitzen, wie stark großvolumige Investitionen in klimafreundliche Zukunftstechnologien auf eine Erhöhung des CO₂-Preises reagieren.

Acemoglu et al. (2012) werden unrealistische Annahmen getroffen, die hinterfragt werden müssen, wenn es darum geht, klimapolitische Empfehlungen abzuleiten. Konkret vernachlässigt die Studie Anpassungskosten und Unsicherheit grüner Zukunftstechnologien. Die klimapolitischen Implikationen von Anpassungskosten und Unsicherheit werden als Nächstes besprochen.

4.2. Industrie- und Infrastrukturpolitik

Hohe Anpassungskosten und Unsicherheit haben zur Folge, dass die traditionelle Klimapolitik zu kurz greift und deshalb großen wirtschaftlichen Schaden verursachen kann. Es braucht eine moderne Klimapolitik, die zwei weitere Instrumente in den Mittelpunkt rückt: Industriepolitik und Infrastrukturpolitik. Das hat drei Gründe.

Zum Ersten ist die Lenkungswirkung einer CO₂-Bepreisung genau dort gering, wo sie besonders dringend benötigt wird: Investitionen in klimafreundliche Technologien, die erst einen grünen Wirtschaftsboom ermöglichen und so Ökologie mit Ökonomie versöhnen. Diese schwache Lenkungswirkung eines CO₂-Preises ist empirisch gut belegt (Lilliestam et al., 2021). Zudem ist es aus theoretischer Sicht keine Überraschung, dass hohe Anpassungskosten und Unsicherheit die Effektivität von Preissignalen reduzieren.³⁰ Und auch eine Forschungsförderung wird dieses Problem nicht lösen. Deshalb muss eine moderne Klimapolitik über einen einheitlichen CO₂-Preis und die Forschungsförderung hinausgehen.

Der Aufbau einer öffentlichen Transportinfrastruktur (Maßnahmen 1-3 in dieser Studie) ist das zentrale Instrument zur Steigerung der Lenkungswirkung einer CO₂-Bepreisung im Innovationsbereich. Eine solche Infrastruktur verbindet die Produzenten der klimafreundlichen Zukunftsprodukte (Wasserstoff) mit den Abnehmern und gewährleistet, dass ein hinreichend großer Markt entsteht, um die Kostenverteilung der Skalierung zu realisieren. Dies ist besonders wichtig für Klimatechnologien wie Wasserstoff, wo stark steigende Skalenerträge bzw. Pfadabhängigkeiten zu „winner-take-all“-Märkten führen und europäische Unternehmen mit nicht-europäischen Unternehmen im internationalen Wettbewerb stehen. In diesem Fall würde der Verzicht auf eine moderne Klimapolitik bzw. Infrastrukturpolitik bedeuten, dass Deutschland und Europa den Anschluss an die zukünftigen Technologieführer im Klima- bzw. Wasserstoffbereich verlieren.

³⁰ Eine formale Analyse von Anpassungskosten und Unsicherheit im Kontext des Modellrahmens von Acemoglu et al. (2012) ist bisher nicht durchgeführt worden.

Eine moderne Klimapolitik ist nicht nur gute Infrastrukturpolitik, sondern auch gute Industriepolitik. Die Notwendigkeit der Industriepolitik folgt aus den folgenden Überlegungen.

Ein einheitlicher CO₂-Preis ist nicht mehr optimal aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive, wenn verschiedene Produktionssektoren unterschiedliche Anpassungskosten aufweisen. Beispielsweise sind für die Schwerindustrie aktuell die Kosten der Umstellung auf klimafreundliche Produktion noch sehr hoch (die Substitutionselastizität ist niedrig), so dass die optimale Strategie aus zwei Instrumenten besteht: Ein allgemeiner CO₂-Preis und eine Subvention für die Schwerindustrie für die Verwendung klimafreundlicher Technologien bzw. klimafreundlicher Investitionen. Anders gesagt: Der notwendige CO₂-Preis, der für Investitionen in 2021 in der Schwerindustrie den Wasserstoff attraktiver machen würde als den grauen Wasserstoff, würde so hoch liegen, dass er der deutschen Wirtschaft erheblichen Schaden zufügen würde.

Zudem kann es sinnvoll sein, dass der Staat Planungssicherheit für die Privatwirtschaft schafft, indem er feste relative Preise über viele Jahre gewährleistet. Dies ist besonders wichtig in Zeiten des Strukturwandels, in denen große Unsicherheit über zukünftige – auch politische – Entwicklungen herrscht und viele Unternehmen großvolumige, richtungsentscheidende Investitionen tätigen müssen. Deshalb ist es vernünftig, dass der Staat durch entsprechende Verträge einen Teil des makroökonomischen Risikos übernimmt. Zudem können diese Verträge – wenn gewünscht – klimafreundliche Investitionen implizit subventionieren und somit einen zusätzlichen Anreiz für klimafreundliches Verhalten bzw. klimafreundliche Investitionen erzeugen. Mit solchen Verträgen übernimmt der Staat ein langfristiges makroökonomisches Risiko, das durch diese industriepolitische Maßnahme reduziert wird und immer von der Gesellschaft getragen werden muss: Das Risiko, dass die ökologische Transformation der Wirtschaft misslingt und Wasserstoff nicht in hinreichend großen Mengen in Europa bis 2030 produziert wird.

Heterogene Anpassungskosten und langfristige makroökonomische Risiken erfordern eine Industriepolitik, wie sie die Maßnahme 4 in dieser Studie repräsentiert. Zudem kann der Staat Industriepolitik betreiben, indem er bei öffentlichen Aufträgen ökologische Kriterien verwendet und auf klimaneutrale Produkte setzt. Die Tatsache, dass der Staat auch einen Teil der Güternachfrage bildet, wird in den ökonomischen Analysen wie z.B. Acemoglu et al. (2012) vernachlässigt und die Ergebnisse müssen entsprechend modifiziert werden. Konkret sollte der Staat die CO₂-Emissionen bei seiner eigenen Nachfrage berücksichtigen – alles

andere wäre suboptimal aus gesamtgesellschaftlicher Sicht und somit Staatsversagen. Die Maßnahme 3 in dieser Studie ist eine solche nachfrageorientierte Industriepolitik.

4.3. Warum öffentliche Infrastruktur?

Große Infrastrukturprojekte wie z.B. die Wasserwege und Bundesverkehrsstraßen waren schon immer eine Domäne der öffentlichen Hand. Doch warum braucht es für solche Infrastrukturprojekte den Staat?

Die makroökonomische Literatur gibt auf diese Frage keine zufriedenstellende Antwort, denn üblicherweise wird in dieser Literatur die öffentliche Infrastruktur einfach als zusätzlicher Input in die aggregierte Produktionsfunktion eingeführt – siehe Baxter und King (1993) und Barro (1990) für klassische Arbeiten zu dem Thema. Dieser Ansatz leitet also die Rolle des öffentlichen Kapitals nicht aus fundamentalen ökonomischen Überlegungen ab, sondern setzt die Notwendigkeit des öffentlichen Kapitals für den Produktionsprozess voraus.

Um die Frage nach der grundlegenden Notwendigkeit der staatlichen Bereitstellung gewisser Güter und Dienstleistungen zu beantworten, müssen aus ökonomischer Sicht die Gründe für mögliches Marktversagen näher untersucht werden. Laut Glaeser und Poterba (2020) kann es aus dieser Perspektive drei Gründe geben, warum die Bereitstellung der Infrastruktur eine Aufgabe der öffentlichen Hand sein sollte: Finanzierungsprobleme, Externalitäten und die Existenz eines natürlichen Monopols.

Das überzeugendste ökonomische Argument für eine öffentliche Infrastruktur ist die Existenz eines natürlichen Monopols – die extremste Form der Marktmacht. Ein solches Monopol entsteht immer dann, wenn die anfänglichen Baukosten sehr hoch und die variablen Betriebskosten niedrig sind. Diese Voraussetzungen sind sicherlich im Fall eines Pipeline-Netzwerkes für den Wasserstofftransport erfüllt. Zudem sind in vielen Fällen die Baukosten eines zusätzlichen Pipeline-Netzwerkes aufgrund von Bürgerprotesten unendlich, so dass der Wettbewerb unmöglich ist. In einer solchen Situation kann es also nur einen Anbieter des Gutes bzw. der Dienstleistung geben – eine natürliche Monopolstellung. In solchen Fällen ist ein gemeinwohlorientierter, öffentlicher Anbieter (ein Unternehmen zu 100 Prozent in öffentlichem Eigentum) einem privaten, profitorientierten Monopolisten aus zwei Gründen vorzuziehen.

In vielen Bereichen kann es aus strukturellen Gründen nur einen Anbieter geben (natürliches Monopol) und ein gemeinwohlorientierter öffentlicher Monopolist ist in der Regel

eine bessere Lösung des gesellschaftlichen Allokationsproblems als ein gewinnorientierter privater Monopolist.

Zum Ersten würde der private Monopolist einen zu hohen Preis für die erbrachte Dienstleistung verlangen (der Transport Wasserstoffs), so dass es zu einer ineffizient niedrigen Nutzung der Dienstleistungen kommt und die klimafreundliche Produktion in den gekoppelten Sektoren (Chemie- und Stahlindustrie) entsprechend negativ beeinflusst wird. Der Staat kann zwar versuchen, diese gesamtwirtschaftliche Ineffizienz des gewinnorientierten Monopolisten durch Subventionen oder Preisvorgaben zu beheben, aber in der Praxis sind solche staatlichen Eingriffe eher begrenzt erfolgreich. Denn aufgrund von unvollständiger Information und schnell wechselnder ökonomischer Verhältnisse sind solche staatlichen Vorgaben in der Regel nicht zielgenau, und diese Unschärfe wird meist von den privaten Monopolisten ausgenutzt, um den Gewinn auf Kosten des gesamtwirtschaftlichen Nutzens zu steigern.

Zum Zweiten betreibt der private Monopolist in der Regel gesamtwirtschaftlich schädliche Preisdiskriminierung. Der Staat kann versuchen, dies durch Regulierung zu verhindern, doch die Erfahrung mit Monopolisten wie Facebook oder Microsoft zeigt die Schwierigkeiten dieses Ansatzes. Im Gegensatz zum privaten Monopolisten kann der öffentliche Monopolist aufgrund seiner Gemeinwohlorientierung die Dienstleistungen zu einheitlichen und stark subventionierten Preisen anbieten, ohne die gesamtwirtschaftliche Effizienz zu verlieren.

Positive Externalitäten werden häufig als Argument für eine öffentliche Bereitstellung von gewissen Gütern und Dienstleistungen angeführt, aber häufig sind diese Argumente nicht sehr überzeugend. In Bezug auf externe Effekte wird von Glaeser und Poterba (2020) zum Beispiel die Wasserversorgung genannt, doch in ihrer Analyse diskutieren die Autoren hauptsächlich Informationsprobleme (Überprüfung der Wasserqualität) und Finanzierungsprobleme der Kommunen. Doch Finanzierungsprobleme können in der Regel durch private Finanzinvestoren gelöst werden (siehe oben). Und allgemeine Informationsdefizite können auch durch entsprechende Qualitätskontrollen behoben werden. Dies zeigt, dass die Existenz von Externalitäten in vielen Fällen ein eher schwaches Argument für die Verstaatlichung gewisser Aktivitäten ist.

Die Regionalökonomik hat interessante Modelle mit Netzwerkeexternalitäten und Transportkosten entwickelt, die die herausragende Rolle einer guten Transportinfrastruktur hervorheben und eine tiefere Analyse der Effizienz verschiedener Transportnetzwerke

erlauben (Redding und Turner, 2015, Treb und Arkolakis, 2019). Solche Netzwerkexternalitäten sind sicherlich erheblich im Fall einer Transportinfrastruktur für Wasserstoff. Die wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema könnten prinzipiell die Grundlage für eine systematische ökonomische Analyse der Vor- und Nachteile der verschiedenen Formen der Bereitstellung und Nutzung der Infrastruktur (öffentliche Vs private Bewirtschaftung), doch hat die einschlägige Literatur solche Fragen üblicherweise offengelassen.

Wenig überzeugend ist das häufig vorgebrachte Argument, dass Probleme mit der Finanzierung eine öffentliche Bereitstellung der Infrastrukturprojekte erfordert. Solche Finanzierungsrestriktionen entstehen, weil größere Infrastrukturprojekte häufig ein sehr großes Finanzierungsvolumen erfordern, sodass private Investoren für an sich profitable Großprojekte keine Finanzierung bereitstellen. Es braucht daher den Staat als Finanzinvestor. Dieses Argument ist in Zeiten, in denen internationale Finanzmärkte großvolumige Projekte im Prinzip sehr leicht finanzieren könnten, nicht besonders überzeugend. Es ist daher auch nicht verwunderlich, dass dieser Ansatz üblicherweise zu dem Vorschlag führt, die öffentliche Infrastruktur zumindest teilweise zu privatisieren (Glaeser und Poterba, 2020).

4.4. Der moderne Staat: Beispiel Stahlindustrie

Die Diskussion in den Abschnitten 4.1-4.3 hat gezeigt, dass der eher einseitige Fokus der traditionellen Klimapolitik auf einen einheitlichen CO₂-Preis nicht von der wissenschaftlichen Literatur gestützt wird. Das Gegenteil ist der Fall: Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Literatur sprechen für eine moderne Klimapolitik, die neben dem CO₂-Preis und Forschungsförderung eine zukunftsorientierte Infrastruktur- und Industriepolitik in den Mittelpunkt rückt. Der Unterschied zwischen traditioneller und moderner Klimapolitik und die damit verbundenen Sichtweisen auf den Staat sollen im Folgendem am Beispiel der Stahlindustrie illustriert werden.

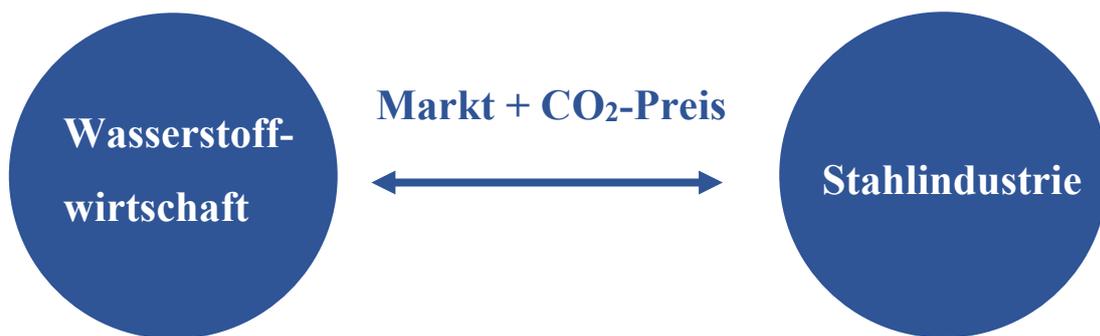
Klimaneutralität erfordert eine zügige Transformation der Schwerindustrie und besonders der Stahlindustrie, denn die aktuelle Stahlproduktion basierend auf Koks-kohle zum Betrieb der Hochöfen ist extrem klimaschädlich. Ein großer Teil der alten Produktionsanlagen könnte bereits in diesem Jahrzehnt durch wasserstoffbasierte Direktreduktionsanlagen ersetzt werden, die klimaneutral arbeiten, solange der verwendete Wasserstoff mit erneuerbarer Energie (Solar und Wind) hergestellt wird. Klimaneutralität in der deutschen Stahlindustrie kann aus technologischer Sicht weit früher als 2050 erreicht werden, aber aus

einzelwirtschaftlicher Sicht lohnt sich ein schneller Ersatz der klimaschädlichen Anlagen durch klimafreundliche Anlagen häufig nicht.

Traditionelle Klimapolitik setzt nun auf zwei Instrumente, um den Transformationsprozess zur Klimaneutralität in der Stahlindustrie zu beschleunigen. Erstens eine Erhöhung des CO₂-Preises, damit der Ausbau der Wasserstoffproduktion und eine möglichst frühe Umrüstung der Produktionsanlagen in der Stahlindustrie sich wirtschaftlich rentieren. Zweitens eine Ausweitung der Forschungsförderung im Wasserstoffbereich, damit die Herstellung Wasserstoffs und seine Verwendung in der Stahlproduktion effizienter und damit kostengünstiger wird.

Die folgende Abbildung illustriert die Funktion des Staates in der traditionellen Sichtweise der Klimapolitik:

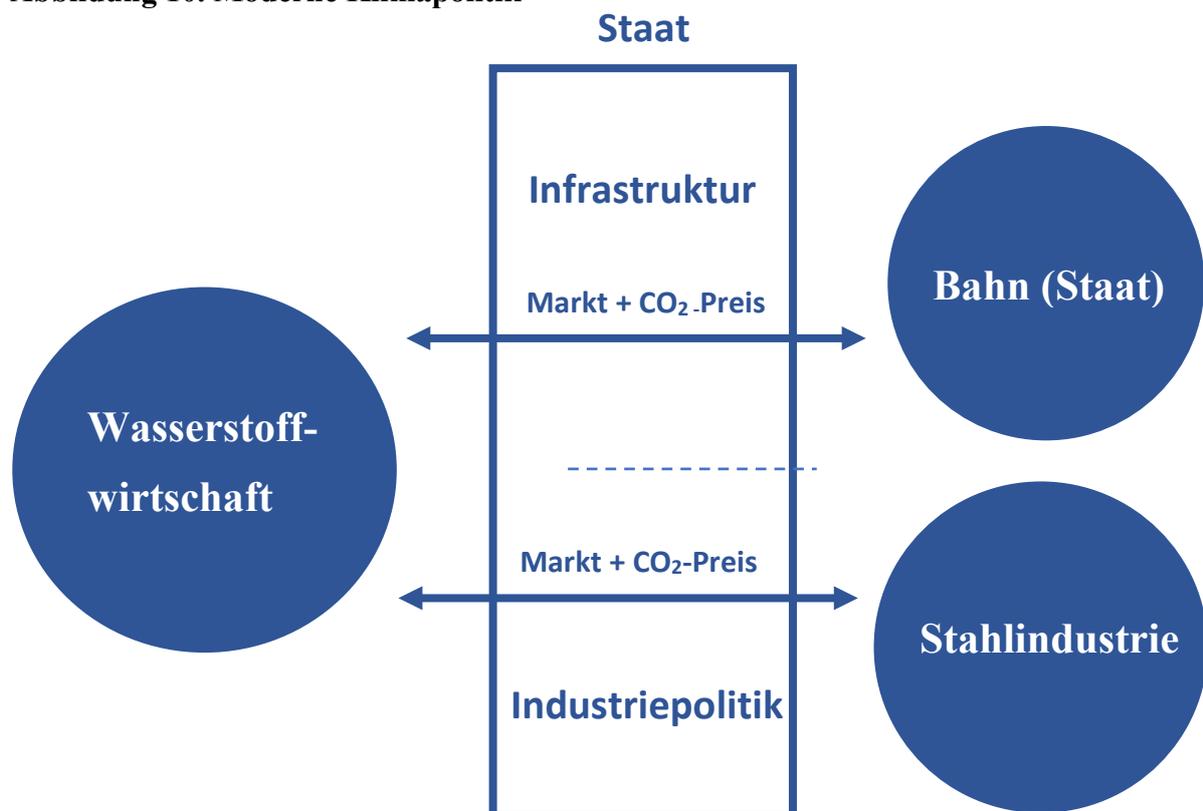
Abbildung 9. Traditionelle Klimapolitik



Die traditionelle Klimapolitik in ihrer Reinform hat den Nachteil, dass sie einen Widerspruch zwischen Klimaschutz und Wirtschaft bzw. Klimaschutz und Arbeitsplätzen aufbaut. Ein angemessen hoher CO₂-Preis kann zwar immer das Erreichen der Klimaziele ermöglichen, aber er wird kurzfristig Wirtschaftskraft und Arbeitsplätze kosten. Tatsächlich ist unter aktuellen Bedingungen ein sehr hoher CO₂-Preis notwendig, damit sich die Umstellung auf eine klimaneutrale Stahlproduktion betriebswirtschaftlich rechnet. Doch ein solcher CO₂-Preis würde zahlreiche Unternehmen der Stahlindustrie in die Pleite treiben oder zur Auslagerung der Produktion ins Ausland bewegen. Darüber hinaus würde die Wasserstoffindustrie aufgrund mangelnder Nachfrage nicht die notwendige Ausweitung der Produktion vornehmen, um die Kostenersparnisse durch Skalierung zu realisieren – ein zusätzlicher Verlust für Deutschland als Wirtschaftsstandort. Kurz gesagt: Traditionelle Klimapolitik kostet Wohlstand und Arbeitsplätze.

Der scheinbare Widerspruch zwischen Klimaschutz und Wohlstand kann nur durch einen modernen Staat aufgelöst werden, der eine moderne Klimapolitik umsetzt. Ein solcher Staat denkt unternehmerisch und agiert als Bindeglied zwischen aufstrebender Wasserstoffwirtschaft und transformierender Stahlindustrie. Der Stahlindustrie gibt der moderne Staat Planungssicherheit, indem er mittels Differenzverträgen ein angemessenes Angebot an Wasserstoff langfristig gewährleistet. Zusätzlich fördert er die Investitionen in Produktionsanlagen, die auf klimafreundlichen Zukunftstechnologien – dem Wasserstoff – basieren. Der Wasserstoffwirtschaft gibt er Planungssicherheit, indem er die notwendige Transportinfrastruktur und einen Absatzmarkt für Wasserstoff schafft. Mit dieser ambitionierten und zukunftsorientierten Wasserstoffstrategie legt der moderne Staat das Fundament für die Entstehung einer international wettbewerbsfähigen Wasserstoffwirtschaft, die es ohne ihn in Deutschland und Europa nicht geben wird.³¹ Dabei übernimmt der Staat ein makroökonomisches Restrisiko, das kein privater Marktteilnehmer übernehmen kann und wird. Die Aufgaben des modernen Staates sind in Abbildung 10 dargestellt:

Abbildung 10. Moderne Klimapolitik



³¹ Ohne eine moderne Klimapolitik wird es immer noch Forschung und Entwicklung in Deutschland bzw. Europa im Bereich des Wasserstoffs geben, aber die deutsche bzw. europäische Wasserstoffwirtschaft würde im weltweiten Vergleich verhältnismäßig klein bleiben.

Ein Vergleich der Abbildungen 9 und 10 unterstreicht die Unterschiede zwischen dem traditionellen und dem modernen Ansatz zur Klimapolitik. Die traditionelle Klimapolitik basiert auf einem rudimentären Staatsverständnis und einer eher realitätsfremden Theorie der Märkte, die in den Lehrbüchern der Volkswirtschaftslehre üblich sind, aber sicherlich nicht den Stand der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung angemessen widerspiegeln. Diese Einseitigkeit beschränkt willkürlich und realitätsfremd die staatlichen Handlungsmöglichkeiten, weil ein multidimensionales politisches Entscheidungsproblem aus einer eindimensionalen Perspektive analysiert wird. Liberale Klimapolitik in ihrer Reinform bindet sich unnötig die Hände. Dies führt zu Widersprüchen und Gegensätzen, die nur ein modernes Staatsverständnis und die damit verbundene progressive Klimapolitik auflösen können.

4.5. Der Staat bei Keynes und Mazzucato

Die hier dargelegte Theorie des modernen Staats ist nicht neu. Besonders in den Arbeiten der Ökonomin Mariana Mazzucato bilden Zukunftsmissionen und staatliche Förderung innovativer Produkte das Herzstück einer Theorie des Staates, der aktiv am Wirtschaftsgeschehen teilnimmt (Kattel et al., 2020). Die vorliegende Studie ist ein Versuch, diese Idee des modernen Staats auf den Klimaschutz anzuwenden und diese Theorie des modernen Staats in der wissenschaftlichen Literatur zu verankern.

Ein aktiver Staat und Nachfragepolitik sind auch die Grundpfeiler Keynesianischer Theorie, aber es fehlt der Fokus auf zielgenaue transformative Ausgaben zur Stärkung langfristiger Wachstumspotenziale. Dieser Unterschied ist nicht nur theoretischer Natur, sondern hat auch politische Konsequenzen. Während aus traditioneller keynesianischer Sicht zeitlich begrenzte Steuersenkungen und Abwrackprämien ein probates Mittel zur Bekämpfung von Wirtschaftskrisen sind, sollte aus der hier beschriebenen Sichtweise ein Konjunkturpaket neben den stabilisierenden Maßnahmen (Kurzarbeitergeld, Überbrückungshilfen) hauptsächlich transformative Maßnahmen (Zukunftsinvestitionen) enthalten. Ebenso nehmen fast alle Parteien für sich in Anspruch, eine zukunftsorientierte Politik zu betreiben, doch in Zeiten großer Umbrüche braucht es transformative Maßnahmen.

5. WACHSTUMSEFFEKTE

Der Aufbau einer international wettbewerbsfähigen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa ist nicht nur klimapolitisch notwendig, sondern auch wirtschaftspolitisch sinnvoll. Die skizzierte Wasserstoffstrategie ist – zusammen mit der Elektrifizierung der Wirtschaft – ein

„Jahrhundertprojekt“ vergleichbar mit den großen staatlichen Projekten der jüngeren Geschichte. Und es könnte vergleichbare Wachstums- und Beschäftigungseffekte erzeugen. So hat in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts der Bau des Erie-Kanals im Nordosten der USA, der den Eriesee bei Buffalo mit dem Hudson River verbindet, einen riesigen Wirtschaftsboom ausgelöst und entscheidend zur wirtschaftlichen Entwicklung der gesamten Region beigetragen. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hat der Ausbau des Eisenbahnnetzes in Deutschland eine zersplitterte Wirtschaft verbunden und einen wesentlichen Beitrag zur Industrialisierung des Landes geleistet. Schließlich hat das Raumfahrtprogramm der USA nach dem zweiten Weltkrieg einen Technologieschub ausgelöst, der die Entwicklung moderner Konsumgüter wie z.B. des iPhones erst ermöglichte.

In diesem Kapitel soll eine erste Abschätzung der Wachstumseffekte des in Kapitel 3 entworfenen Wasserstoffpakets auf Basis der Ergebnisse der einschlägigen Literatur erfolgen. Die Literatur unterscheidet zwischen zwei Wirkungskanälen öffentlicher Investitionsprogramme wie der hier skizzierten Wasserstoffstrategie. Zum Ersten stärken öffentliche Investitionen Produktionspotenziale und führen so zu einer dauerhaften Steigerung der gesamtwirtschaftlichen Produktion. Dies ist der langfristige Angebotseffekt eines öffentlichen Investitionsprogramms. Zum Zweiten steigern öffentliche Investitionsausgaben die gesamtwirtschaftliche Nachfrage und stimulieren so die Konjunktur. Dies ist der kurzfristige Nachfrageeffekt eines öffentlichen Investitionsprogramms. Diese methodische Aufteilung in Nachfrage- und Angebotseffekt ist üblich in der einschlägigen Literatur. Eine umfassende Analyse öffentlicher Investitionsprogramme sollte sowohl die Angebotsseite als auch die Nachfrageseite berücksichtigen, denn beide Wirkmechanismen bilden wichtige Aspekte der Realität ab.

5.1. Kurzfristige Wachstumseffekte

In der kurzen Frist hat ein öffentliches Wasserstoffpaket positive Auswirkungen auf die gesamtwirtschaftliche Produktion über zwei Wirkungskanäle, die beide durch die gesamtwirtschaftliche Nachfrage ihre Wirkung entfalten. Erstens steigern die öffentlichen Investitionen direkt die gesamtwirtschaftliche Nachfrage und erzeugen so Wirtschaftswachstum. Zudem haben öffentliche Fördermaßnahmen einen positiven Effekt auf die privaten Investitionen, was wiederum die gesamtwirtschaftliche Nachfrage und Produktion ankurbelt. Zweitens kann ein öffentliches Investitionsprogramm durch einen positiven Erwartungseffekt die Konjunktur ankurbeln, auch wenn die Umsetzung der in Auftrag

gegebenen Investitionsprojekte einige Jahre dauern sollte. Ein solcher Erwartungseffekt öffentlicher Investitionsprogramme steht im Einklang mit dem empirischen Befund, dass öffentliche Investitionsausgaben einen sehr großen Konjunkturreffekt ausweisen und die privaten Investitionen auch in der kurzen Frist steigern (Clemens et al., 2019). Zudem zeigen Analysen von Daten zur Zuversicht privater Unternehmen einen starken, positiven Erwartungseffekt öffentlicher Ausgabenprogramme – und insbesondere öffentlicher Investitionsprogramme – auf die gesamtwirtschaftliche Produktion in der kurzen Frist (Bachmann und Sims, 2012).

Die positiven Konjunkturreffekte öffentlicher Investitionsprogramme sind wesentlich ausgeprägter in oder gleich nach der Krise, wenn Produktionskapazitäten nicht voll ausgelastet sind, und wenn die zusätzlichen Staatsausgaben kreditfinanziert sind, aber Zinssätze nicht stark reagieren – der relevante Fall für Deutschland in 2021/22.³² Aus diesen Gründen betrachten viele Ökonom:innen ein öffentliches Investitionsprogramm als ein bewährtes Mittel zur Bekämpfung von Wirtschaftskrisen (Krebs 2020a, Dullien et al. 2020a, Feld et al. 2020).

Die empirische Evidenz zeigt einen ausgeprägten Konjunkturreffekt öffentlicher Investitionen. Konkret findet eine Meta-Analyse zahlreicher empirischer Studien von Gechert und Ranneberg (2018), dass öffentliche Investitionen einen Multiplikatoreffekt von knapp 2 in Rezessionsphasen haben. Die Studie von DIW (2021) bestätigt diesen Befund.³³ Für einen erheblichen Multiplikator spricht zudem, dass Deutschland gut vorbereitet ist und kein neues Investitionsprogramm aufsetzen muss, sondern nur bestehende Programme und Pläne ausweiten. Beispielsweise hat der Bund in den letzten Jahren zahlreiche Programme zur Unterstützung der kommunalen Investitionen aufgelegt, die nur ausgeweitet bzw. verlängert werden müssen (Krebs, 2020b). Das bedeutet unter anderem, dass zusätzlich bereitgestellte Finanzmittel zielgenau und zeitnah eingesetzt werden können. Das häufig gehörte Argument „mehr Geld bringt nichts“ trifft in diesem Fall nicht zu.

³² Der sogenannte Crowding-out-Effekt von defizitfinanzierten Staatsausgaben spielt in der wissenschaftlichen Literatur eine wichtige Rolle. Er ist relativ groß in vielen neu-keynesianischen Modellen einer geschlossenen Volkswirtschaft, wenn die Zentralbank nicht entsprechend reagiert (Boehm 2019). Das niedrige Zinsumfeld in Kombination mit der expansiven Geldpolitik der EZB legen jedoch nahe, dass in der aktuellen Situation dieser Crowding-out-Effekt minimal sein sollte. Anders gesagt: Der positive Erwartungseffekt öffentlicher Investitionsausgaben dominiert den aktuell kleinen negativen Zinseffekt, und öffentliche Investitionen steigern daher private Investitionen in der kurzen Frist. Diese These wird von der empirischen Evidenz gestützt (Clemens et al. 2019).

³³ Ramey (2020) findet in einer empirischen Analyse, dass die Beschäftigungseffekte der Investitionsprogramme des „American Rescue and Reinvestment Act of 2009“ der Obama-Administration klein gewesen sind.

Diese Überlegungen sprechen für einen kurzfristigen Multiplikator von bis zu 2 für ein Wasserstoffpaket, das gleich nach der Bundestagswahl im September verabschiedet wird. Das würde bei zusätzlichen öffentlichen Ausgaben von 10 Mrd. Euro in 2022 eine Steigerung der gesamtwirtschaftlichen Produktion von 20 Mrd. Euro (circa 0,8 Prozent des BIPs) in 2022 bedeuten. Sollte ein größerer Teil des Gesamtpakets in 2022 implementiert werden, wäre der positive Wachstumseffekt entsprechend größer.

5.2. Langfristige Wachstumseffekte

Die Auswirkungen von öffentlichen Infrastrukturinvestitionen auf die Produktivität und somit das Produktionspotenzial (Angebotsseite) wurden in umfangreichen empirischen Studien untersucht. In diesen Studien wird üblicherweise eine aggregierte Produktionsfunktion unterstellt, in der privates und staatliches Kapital separate Produktionsfaktoren sind. Die Produktionsfunktion und der Einfluss des staatlichen Kapitalbestands (Infrastruktur) werden dann mittels einer Querschnitts- oder Panel-Analyse von Länder- oder Regionaldaten geschätzt, wobei der Zusammenhang zwischen Produktivität und öffentlichem Kapitalbestand in den meisten Fällen als Output-Elastizität berechnet wird.

Einflussreiche empirische Arbeiten von Aschauer (1989) und Fernald (1999) zeigen, dass der Ausbau des Autobahnnetzes in den USA nach dem zweiten Weltkrieg zu einem starken Anstieg der Produktivität und Potenzialoutput geführt haben. Die empirische Literatur wird in Bom und Lighthart (2013) und Thöne und Krehl (2015) zusammengefasst. Bom und Lighthart (2013) führen zudem eine Meta-Analyse von 68 Studien durch und berechnen eine kurzfristige Output-Elastizität von 0,131 für Infrastrukturkapital auf nationaler Ebene („Core capital of national government“) und eine langfristige Output-Elastizität von 0,170. Dabei ist die Streuung der Ergebnisse mit einem Minimalwert von -1,726, einem Maximalwert von 2,040 und einer Standardabweichung von 0,306 sehr hoch.

Für Deutschland schätzt eine Analyse des RWI (Barabas et al., 2010) basierend auf Bundesländerdaten eine Output-Elastizität der Verkehrsinfrastruktur von 0,04 bis 0,08. Kemmerling und Stephan (2002) nutzen deutsche Städtedaten und schätzen eine Output-Elastizität von 0,170 und Stephan (2003) schätzt unter Verwendung von deutschen Industriedaten eine Output-Elastizität zwischen 0,385 und 0,651. Auf Grundlage des Bundesverkehrswegeplans 2003, der eine Kosten-Nutzen-Analyse für eine Vielzahl von geplanten Einzelprojekten durchführt, berechnet Armbrrecht (2005) einen durchschnittlichen

Nutzengewinn von 173 Millionen Euro im Jahr pro investierte Milliarde (1.300 Projekte wurden berücksichtigt).

Aus methodischen Gründen stoßen rein empirische Analysen schnell an ihre Grenzen, wenn die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen größerer Reformen wie z.B. der Einführung einer Wasserstoffstrategie analysiert werden sollen. In der einschlägigen Literatur ist es üblich, diese langfristigen Effekte solcher Reformen durch Modellsimulationen zu ermitteln, wobei das zugrundeliegende Modell der jeweiligen Volkswirtschaft theoretisch fundiert (Mikrofundierung) und empirisch belegt (Schätzung/Kalibrierung der Modellparameter) sein sollte. Eine solche Analyse wird in Krebs und Scheffel (2016,2017) für Deutschland durchgeführt. Die Ergebnisse der Modellsimulationen ergeben einen langfristigen „Multiplikator-Effekt“ öffentlicher Infrastrukturinvestitionen von circa fünf. Das heißt, dass die dauerhafte Steigerung der öffentlichen Ausgaben für das Wasserstoffpaket von 10 Mrd. Euro pro Jahr zu einer Steigerung des BIPs um jährlich 50 Mrd. Euro (circa 1,5 Prozent des BIPs) führen würde. Dullien et al. (2021) führen eine Simulationsanalyse eines kreditfinanzierten öffentlichen Investitionsprogramms mithilfe des makroökonomischen Modells NiGEM und finden ähnlich große Wachstumseffekte.

5.3. Beschäftigungseffekte

In der kurzen Frist werden die gesamtwirtschaftlichen Effekte eines öffentlichen Investitionsprogramms hauptsächlich durch Beschäftigungsveränderungen getrieben, weil die positiven Produktivitäts- und Kapitaleffekte erst mittel- bis langfristig einen nennenswerten Outputeffekt entfalten. Dies ist auch in den oben genannten Neu-Keynesianischen Modellen der Fall. Das bedeutet, dass in der kurzen Frist der Beschäftigungseffekt des Investitionsprogramms proportional zum Outputeffekt ist. Dabei ist die Proportionalitätskonstante gleich dem Inversen des Arbeitskoeffizienten in der aggregierten Produktionsfunktion, der üblicherweise bei zwei Drittel liegt. Wenn also der kurzfristige Output-Multiplikator 1,5 beträgt, dann steigert das Wasserstoffpaket von 10 Mrd. Euro jährlich die gesamtwirtschaftliche Produktion um 15 Mrd. Euro im ersten Jahr (0,4 Prozent des BIP) und die Beschäftigung um circa 250.000 Erwerbstätige (0,6 Prozent der Anzahl der Erwerbspersonen). Diese Beschäftigungseffekte sind besonders in solchen Sektoren ausgeprägt, die von dem Ausbau der Infrastruktur und der gezielten Industriepolitik direkt profitieren.

In der langen Frist hängt der Beschäftigungseffekt eines öffentlichen Investitionsprogramms von den Arbeitsmarktinstitutionen und den Arbeitsmarktbedingungen in den direkt betroffenen Sektoren ab. Die makroökonomischen Wachstumsmodelle weisen üblicherweise einen eher rudimentären Arbeitsmarkt auf und haben die Eigenschaft des „Balanced-Growth“, sodass es keine langfristigen Beschäftigungseffekte eines öffentlichen Investitionsprogramms (Anstieg der totalen Faktorproduktivität) gibt. Krebs und Scheffel (2017) simulieren die Beschäftigungseffekte eines öffentlichen Investitionsprogramms in einem Wachstumsmodell mit Such-und-Matching Arbeitsmarkt und finden moderat positive Beschäftigungseffekte unter der Annahme, dass die Löhne und Transferzahlungen entsprechend ansteigen. Belastbare Aussagen zu den gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungseffekten des hier vorgeschlagenen Wasserstoffpakets in der langen Frist können nicht ohne eine weitere Analyse getroffen werden.

Ein alternativer Ansatz zur Abschätzung der Beschäftigungseffekte ist die Analyse der zusätzlichen Arbeitsplätze, die durch den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft und den damit verbundenen Ausbau der erneuerbaren Energien geschaffen werden. Beispielsweise schätzt eine Studie von Wuppertaler Institut und DIW (2020), dass der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und der damit verbundene Ausbau der erneuerbaren Energien bis 2050 zwischen 300.000 und 800.000 zusätzliche Jobs in diesen Sektoren schaffen würde. Eine solche Analyse berücksichtigt jedoch nicht, dass durch die Transformation der Wirtschaft auch Arbeitsplätze wegfallen werden. Solche Beschäftigungsanalysen könne also nicht den Nettoeffekt auf die Gesamtbeschäftigung und Arbeitslosigkeit in Deutschland bestimmen, auch wenn sie natürlich wichtige Information liefern.

5.4. Fiskalische Effekte

Öffentliche Infrastrukturinvestitionen haben im Wesentlichen zwei fiskalische Effekte. Einerseits belasten zusätzliche staatliche Ausgaben für Investitionen sowie laufende Personalkosten den öffentlichen Haushalt. Andererseits vermehren die resultierenden Beschäftigungseffekte und Produktivitätsgewinne die Einnahmen der öffentlichen Hand aus Steuern und Sozialabgaben und reduzieren die Ausgaben für Sozialleistungen. Der Nettoeffekt sind anfängliche Haushaltsdefizite, die sich im Zeitverlauf verkleinern und sich langfristig zu Haushaltsüberschüssen wandeln können. Ob ein öffentliches Investitionsprogramm wie das hier vorgeschlagene Wasserstoffpaket langfristig selbstfinanzierend aus fiskalischer Sicht ist, hängt von der Stärke der gegenläufigen Effekte ab. Krebs und Scheffel (2016,2017) finden in

ihren Simulationsanalysen, dass zielgenaue öffentliche Infrastrukturinvestitionen, wie sie im vorgeschlagenen Wasserstoffpaket enthalten sind, langfristig selbstfinanzierend sind. Die Simulationsanalysen in Dullien et al. (2021) bestätigen diese Ergebnisse.

6. LITERATURVERZIECHNIS

Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L, and D. Hemous (2012) “The Environment and Directed Technical Change,” *American Economic Review* 102 (1): 131-166.

Agora (2020a) „Klimaneutrales Deutschland 2050“ Studie der Agora-Energiewende, Agora-Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität in Zusammenarbeit mit Prognos AG, Öko-Institut e.V. und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

Agora (2020b) „Making the Most of Offshore Wind,“ Studie der Agora-Energiewende und Agora-Verkehrswende in Zusammenarbeit mit Max Planck Institute for Biogeochemistry und DTU.

Agora (2021a) „Klimaneutrales Deutschland 2045“ Studie der Agora-Energiewende, Agora-Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität in Zusammenarbeit mit Prognos AG, Öko-Institut e.V. und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

Agora (2021b) „No-regret hydrogen“ Studie der Agora-Energiewende in Zusammenarbeit mit AFRY Management Consulting Limited

Allen, Treb and Costas Arkolakis, 2019. “The Welfare Effects of Transportation Infrastructure Improvements.” Technical Report 25487, National Bureau of Economic Research.

Aschauer, David Alan, 1989. “Does public capital crowd out private capital?” *Journal of Monetary economics* 24(2): 171–188.

Bach, S., Isaak, N., Kemfert, C., Kunert, U., Schill, W., Schmalz, S., Wägner, N., und A. Zaklan (2019) „CO₂-Bepreisung im Wärme- und Verkehrssektor: Diskussion von Wirkungen und alternative Entlastungsoptionen“. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). DIW Berlin: Politikberatung kompakt 140.

Barabas, G., T. Kitlinski, C. Schmidt, T. Schmidt und L.-H. Siemers (2010). „Verkehrsinfrastrukturinvestitionen – Wachstumsaspekte im Rahmen einer gestaltenden Finanzpolitik“. Studie des RWI Essen im Auftrag des Bundesministeriums der Finanzen. Berlin.

Barrage, L. (2020) “Optimal Dynamic Carbon Taxes in a Climate–Economy Model with Distortionary Fiscal Policy,” *Review of Economic Studies* 87(1): 1-39.

Baxter, Marianne and Robert G. King, 1993. "Fiscal Policy in General Equilibrium." *American Economic Review* 83(3): 315–334.

Bundesministerium der Finanzen (2021) "Kompendium zur Schuldenregel des Bundes (Schuldenbremse)".

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020) „Die nationale Wasserstoffstrategie“.

Bundesnetzagentur (2020) „Regulierung von Wasserstoffnetzen: Bestandsaufnahme“

Bom, P., und J. Ligthart (2013). „What have we learned from three decades of research on the productivity of public capital?“ *Journal of Economic Surveys* 28(5): 889–916.

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) (2020) "Entwurf – Raumordnungsplan für die deutsche ausschließliche Wirtschaftszone in der Nord- und Ostsee".

Chatzimarkakis und van Wijk (2020) „Green Hydrogen for a European Green Deal: A 2x40 GW Initiative“. Hydrogen Europe.

Creos, DESFA, Elering, Enagás, Energinet, Eustream, FGSZ, Fluxys Belgium, Gasgrid Finland, Gasunie, GAZ-SYSTEM, GCA, GNI, GRTgaz, National Grid, NET4GAS, Nordion Energi, OGE, ONTRAS, Plinovodi, Snam, TAG, Teréga (2021) "Extending the European Hydrogen Backbone – a European Hydrogen Infrastructure Vision covering 21 Countries".

Dena (2019) „Grüner Wasserstoff: Internationale Kooperationspotenziale für Deutschland: Kurzanalyse zu ausgewählten Aspekten potenzieller Nicht-EU-Partnerländer“ Kurzstudie im Auftrag des BMWi.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) et al. (2015): Studie über die Planung einer Demonstrationsanlage zur Wasserstoff-Kraftstoffgewinnung durch Elektrolyse mit Zwischenspeicherung in Salzkavernen unter Druck

Dullien, S., M. Hüther, T. Krebs, B. Praetorius und C.K. Spieß (2020), „Weiter Denken: Ein Nachhaltiges Investitionsprogramm als tragende Säule einer gesamtwirtschaftlichen Stabilisierungspolitik“, IMK Policy Brief, 90.

Dullien, S., Jürgens, E., Paetz, C., und S. Watzk (2021) „Makroökonomische Auswirkungen eines kreditfinanzierten Investitionsprogramms in Deutschland“ IMK Report.

Feld, L.P., V. Grimm, M. Schnitzer, A. Truger, V. Wieland (2020), So kann sich die Wirtschaft erholen, Süddeutsche Zeitung, 22. Mai.

Golosov, M., Hassler, J., Krusell, P., and A. Tsyvinski (2014) “Optimal Taxes on Fossil Fuel in General Equilibrium,” *Econometrica* 82(1): 41-88.

Edenhofer, O., Flachsland, C., Kalkuhl, M., Knopf, B. und M. Pahle (2019) “Optionen für eine CO2-Preisreform“ Gutachten von MCC, PIK und Potsdam-Institut für Klimaforschung für den SVR.

European Hydrogen Council (2020) „European Hydrogen Council“

Fernald, John G., 1999. “Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity,” *American Economic Review* 89 (3): 619–638.

Gechert, S. und A. Renneberg (2018) “Which Fiscal Multipliers Are Regime-Dependent? A Meta-Regression Analysis,” *Journal of Economic Surveys* 32(4): 1160–182.

Glaeser, E. und J. Poterba (2020) „Economic Analysis and Infrastructure Investment,” NBER Working Paper.

Hermes, G., Vorwerk, L., T. Beckers (2020), „Die Schuldenbremse des Bundes und die Möglichkeit der Kreditfinanzierung von Investitionen,“ IMK Study.

Hydrogen Council und McKinsey (2021) „Hydrogen Insights: A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness”.

IMF (2020) “World Economic Outlook”

Kattel, R., Maccucato, M., Haverkamp, K. und J. Ryan-Collins (2020) “Challenge-driven economic policy: A new framework for Germany,” Working Paper, Forum New Economy

Kemmerling, A., und A. Stephan (2002). „The Contribution of Local Public Infrastructure to Private Productivity and Its Political Economy: Evidence from a Panel of Large German Cities“. *Public Choice* 113(3/4): 403–424.

Krebs, T. (2020a) „Ein Investitionspaket ist das beste Konjunkturpaket,“ Wirtschaftsdienst.

Krebs, T. (2020b) „Schriftliche Stellungnahme für die Anhörung im Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages zu den Anträgen der Fraktionen DIE LINKE,

FDP und BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN zum Thema Schuldenbremse und Investitionen“, <https://www.bundestag.de/resource/blob/703182/0d55a2147eec32a16a7381e8168bf03f/Prof-Tom-Krebs-Ph-D--data.pdf> (16.1.2021).

Krebs, T. (2021a) „Der moderne Staat auf Zukunftsmission,“ Makronom.

Krebs, T. (2021b) „Für eine sozial-liberale Klimapolitik,“ Makronom.

Krebs, T., und M. Scheffel (2016) „Quantifizierung der gesamtwirtschaftlichen und fiskalischen Effekte ausgewählter Infrastruktur- und Bildungsinvestitionen in Deutschland“ Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).

Krebs, T., und M. Scheffel (2017) „Lohnende Investitionen,“ *Perspektiven der Wirtschaftspolitik* 18(3): 245-262.

Lilliestam, J., Patt, A., Bersalli, G. (2021): „The effect of carbon pricing on technological change for full energy decarbonization: A review of empirical ex-post evidence.“ *Wiley Interdisciplinary Reviews - Climate Change*, 12(1): e681.

Matthes et al. (2021) “Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland“ Studie des Öko-Instituts für die Stiftung Klimaneutralität.

North Sea Wind Power Hub (2021) “Towards the first hub-and-spoke project”, Concept Paper.

Ramey, V. (2020) “The Macroeconomic Consequences of Infrastructure Investment” NBER Working Paper

Redding, Stephen J. and Matthew A. Turner, 2015. “Transportation Costs and the Spatial Organization of Economic Activity.” In *Handbook of Regional and Urban Economics*, edited by Gilles Duranton, Vernon Henderson Henderson, and Strange Strange, pp. 1339–1398. Elsevier.

Rodrik, D. (2014) “Green Industrial Policy,” *Oxford Review of Economic Policy*, 30: 469–491.

Stephan, A. (2003). „Assessing the contribution of public capital to private production: evidence from the German manufacturing sector“. *International Review of Applied Economics* 17(4): 399–418.

SVR (2019) „Aufbruch zu einer neuen Klimapolitik“. Sondergutachten des Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung.

Thöne, M., und F. Krehl (2015). „Zukunftsinvestitionen Empirische Befunde zur Wirkung öffentlicher Ausgaben auf inklusives Wachstum“. Studie im Auftrag der Bertelsmann Stiftung. Gütersloh.

Verband der Elektrotechnik (2019) „Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV“ Studie im Auftrag des BMVI.

Wuppertaler Institut und DIW (2020) „Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Erzeugung“ Studie des Wuppertaler Instituts und des DIWEcon für den Landesverband Erneuerbare Energien NRW e. V. (LEE-NRW).