

PROJEKT „WASSERSTOFF ALS ALLHEILMITTEL?“

Die deutsche Wasserstoffpolitik und ihre Auswirkungen auf die Wasserstoffwirtschaft und al- ternative Transformationspfade

Florian Kern, Frieder Schmelzle, Jens Clausen, Mervin Hummel,
Clara Anzengruber, Klaus Fichter, Johann Friedrich Tölle



IMPRESSUM

KURZTITEL

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

AUTORINNEN UND AUTOREN

Florian Kern, Frieder Schmelzle, Mervin Hummel, Clara Anzengruber (IÖW)

Jens Clausen, Klaus Fichter, Johann Friedrich Tölle (Borderstep Institut)

PROJEKTLEITUNG

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH

Dr. Jens Clausen, Prof. Dr. Klaus Fichter

Clayallee 323 | 14169 Berlin | +49 30 306 45 100-0 | www.borderstep.de

PROJEKTPARTNER

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, gemeinnützig

Dr. Florian Kern

Potsdamer Str. 105 | 10785 Berlin | +49 30 884 594-0 | www.ioew.de

ZITIERVORSCHLAG

Kern, F., Schmelzle, F., Clausen, J., Hummel, M., Anzengruber, C., Fichter, K. & Tölle, J.F. (2023). Die deutsche Wasserstoffpolitik und ihre Auswirkungen auf die Wasserstoffwirtschaft und alternative Transformationspfade. Projektbericht „Wasserstoff als Allheilmittel?“. Berlin: Borderstep Institut, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung.

TITELBILD

© Jens Clausen

FÖRDERMITTELGEBER

Das Projekt *Wasserstoff als Allheilmittel?* wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Förderprogramm INSIGHT – interdisziplinäre Perspektiven des gesellschaftlichen und technologischen Wandels (16INS107).

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

INHALTSVERZEICHNIS

Impressum.....	II
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
1 Einleitung.....	1
2 Methode	5
3 Der deutsche Policy-Mix für Wasserstoff und seine Auswirkungen auf Akteursstrategien	9
3.1 Der deutsche Wasserstoff-Policy-Mix	9
3.1.1 Entstehung und Entwicklung des Policy-Mix	9
3.1.2 Kategorisierung der Instrumente nach Typen, Wertschöpfungsstufen und Anwendungsbereichen	11
3.1.3 Kohärenz der Ziele und Konsistenz der Instrumente.....	17
3.1.4 Glaubwürdigkeit und mögliche Lücken (Policy Gaps)	21
3.1.5 Andere relevante Politiken (Bottom-up-Mapping)	26
3.1.6 Zusammenfassung: Wie ist der deutsche Wasserstoff-Policy-Mix gestaltet?	30
3.2 Auswirkungen des Policy-Mix auf Akteursstrategien und Wasserstoffentwicklungspfade	33
3.2.1 Auswirkungen des Wasserstoff-Policy-Mix auf Akteursstrategien: ‚Wait and see‘ 34	
3.2.2 Positionierung von Akteuren zum bestehenden Wasserstoff Policy-Mix und Auswirkungen auf Transformationspfade.....	38
3.2.3 Wohin steuert die deutsche Wasserstoffpolitik?.....	49
4 Policy-Mix für konkurrierende Transformationspfade: Elektroautos, Wärmepumpen und Wirkungen auf Akteursstrategien.....	51
4.1 Der Policy-Mix zur Förderung von Elektromobilität und seine Auswirkungen	51
4.1.1 Policy-Mix der Elektromobilität.....	51
4.1.2 Wirkung der Instrumente auf die Akteure der Wirtschaft.....	56
4.1.3 Wirkung der Instrumente auf die Akteure der Wissenschaft	60
4.1.4 Wird der Pfad zum elektrischen PKW eingeschlagen?.....	62
4.2 Der Policy-Mix zur Förderung von Wärmepumpen und seine Auswirkungen.....	66
4.2.1 Policy-Mix für Wärmepumpen	66
4.2.2 Wirkung der Instrumente auf die Akteure der Heizungsindustrie.....	71

4.2.3 Wird der Pfad zur Wärmepumpe eingeschlagen?	73
5 Schlussfolgerungen für die Entwicklung von Wasserstoff- und konkurrierenden Transformationspfaden und Ausblick	75
Referenzen	79
Anhang.....	91

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Konzeptueller Rahmen der Studie	3
Abbildung 2: Vier potenzielle Wasserstoffpfade nach Wasserstoffproduktion und -nutzung	6
Abbildung 3: Verteilung der Instrumente nach Instrumententyp (N = 57).....	12
Abbildung 4: Verteilung der wasserstoffpolitischen Instrumente nach adressierten Stufen der Wertschöpfungskette (N = 57; Doppelnennung möglich)	15
Abbildung 5: Verteilung wasserstoffpolitischer Instrumente auf adressierte Anwendungsbereiche von Wasserstoff (N = 57; Doppelnennungen möglich).....	16
Abbildung 6: Übergeordnete politische Ziele im Zeitverlauf	18
Abbildung 7: Bundespolitisch unterstützte Wasserstoffpfade im Zeitverlauf.....	32
Abbildung 8: Mapping von Positionen ausgewählter Akteure zu verschiedenen Transformationspfaden	34
Abbildung 9: Verteilung der für Elektroautos wichtigen Instrumente nach Instrumententyp (N = 25).....	54
Abbildung 10: Verteilung der für Elektroautos wichtigen Instrumente nach Stufen der Wertschöpfungskette (N = 34).....	54
Abbildung 11: Marktanteil von Elektroautos und Plug-In-Hybriden in Deutschland 2020 bis 2022	56
Abbildung 12: Marktanteile verschiedener Antriebe im deutschen PKW-Markt 2016 bis 2022.....	58
Abbildung 13: Konventionelle und alternative Antriebe – transnationale Patentanmeldungen	61
Abbildung 14: Verteilung der für Wärmepumpen wichtigen Instrumente nach Instrumententyp.....	67
Abbildung 15: Verteilung der für Wärmepumpen wichtigen Instrumente nach adressierten Stufen der Wertschöpfungskette	68
Abbildung 16: Absatzzahlen für Wärmeerzeuger und Wärmepumpen bis 2045	72

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anonymisierte Auflistung der geführten Stakeholder-Interviews	7
Tabelle 2: Wesentliche Regelungen der Elektromobilität.....	52
Tabelle 3: Preisvergleich Volkswagen Golf und Volkswagen e-Golf	63
Tabelle 4: Klassifizierung staatlicher Instrumente und Funktionen bei Systemtransformationen.....	64

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation
BattG	Batteriegelgesetz
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEV	Battery Electric Vehicle (Elektroauto mit Batterie)
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetzes
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
CCfD	Carbon Contracts for Difference (Klimaschutzdifferenzverträge)
CCS	Carbon capture and storage
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CsgG	Carsharinggesetz
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EG	Europäischen Gemeinschaft
EKF	Energie- und Klimafonds
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz

ESTG	Einkommensteuergesetz
EU	Europäische Union
F&E	Forschung und Entwicklung
FeV	Fahrerlaubnis-Verordnung
FID	Final Investment Decision
FZV	Fahrzeug-Zulassungsverordnung
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHG	Greenhouse Gases
GW	Gigawatt
H ₂	Wasserstoff
IEA	Internationale Energieagentur
IPCEI	Important Projects of Common European Interest
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KraftStG	Kraftfahrzeugsteuergesetz
KSG	Klimaschutzgesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LNG	Liquefied Natural Gas
LOHC	Liquid organic hydrogen carriers
MW	Megawatt
MWel	Megawatt elektrisch
NAV	Niederspannungsanschlussverordnung
NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOK	Norwegische Krone
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NWS	Nationale Wasserstoffstrategie

PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle (Plug-in-Hybridfahrzeug)
PKW- EnVKV	PKW-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung
PtL	Power-to-Liquid
PtX	Power-to-X
RED	Renewable Energy Directive
StromPBG	Strompreisbremsegesetz
StVG	Straßenverkehrsgesetz
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung
THG	Treibhausgase
WEG	Wohnungseigentumsgesetz

1 Einleitung

Im Jahr 2020 verabschiedete die deutsche Bundesregierung die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS), die als Ziel hat, Wasserstoff als zentralen Baustein zur Vollendung der Energiewende zu fördern, da er potenziell zur Dekarbonisierung einer Reihe von Sektoren beitragen kann. Im politischen und gesellschaftlichen Diskurs hat in den letzten Jahren Wasserstoff damit fast den Status eines Allheilmittels für die Dekarbonisierung, aber auch zur Verbesserung der Energiesicherheit, erreicht. Im Projekt ‚Wasserstoff als Allheilmittel?‘ untersuchen wir die Rolle von Wasserstoff in der Energiewende sowie mögliche Konsequenzen einer Fokussierung auf Wasserstoff für mögliche alternative Transformationspfade. In einer Studie zu den geschätzten Bedarfen und Verfügbarkeiten konnten wir feststellen, dass absehbare **Bedarfe und Verfügbarkeiten von grünem Wasserstoff sich mittelfristig nicht decken** (Clausen, 2022). Daraus lässt sich die Notwendigkeit ableiten, Wasserstoff ausdrücklich sparsam einzusetzen und zwar vorrangig dort, wo keine klimaneutralen Alternativtechnologien zur Verfügung stehen (Clausen, Fichter, et al., 2022).

Im vorliegenden Bericht arbeiten wir heraus, welche **Auswirkungen bestehende Politiken (Policy-Mix) zur Unterstützung des Hochlaufs** einer Wasserstoffwirtschaft sowie alternativer Transformationspfade auf die Strategien von relevanten Akteuren haben und umgekehrt, und welche Konsequenzen sich daraus für Wasserstoff- sowie alternative Transformationspfade ergeben. Die Analyse erfolgt sowohl für Wasserstoff als auch mit Blick auf ausgewählte Wettbewerbstechnologien für alternative Transformationspfade im Wärme- und Individualverkehrssektor. Beide Bereiche sind Anwendungen, die hinsichtlich der Nachhaltigkeit einer Wasserstoffnutzung (Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit) umstritten sind (Clausen, 2022) und im Moment öffentlich heiß diskutiert werden.

Unsere Forschung baut auf andere sozialwissenschaftliche Studien zur Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland auf (insbesondere Schlund et al., 2022; Belova et al., 2023). Schlund et al. (2022) führten eine Stakeholderanalyse in Bezug auf den Wasserstoffmarkthochlauf in Deutschland durch. Sie identifizieren Stromversorger als zentrale und gut vernetzte Akteure in der Landschaft der Wasserstoff-Demonstrationsprojekte und als Hauptnutznießer einer Markteinführung von kohlenstoffarmem Wasserstoff. Ein zweites Ergebnis ist, dass Verteilungskonflikte auf der Nachfrageseite eine politische Priorisierung während des Markthochlaufs insbesondere hin zur Stahl- und Chemieindustrie sowie den Schwerlastverkehr notwendig machen. Schlund et al. (2022) plädieren für CO₂-Vermeidungskosten als zentralen Maßstab für die Priorisierung von Nachfragesektoren. Belova et al. 2023 führten eine Diskursnetzwerkanalyse der frühen Phase der öffentlichen Wasserstoffdebatte in Deutschland durch. Die Analyse zeigt die Positionierung relevanter Stakeholder, wie sich die Diskursstruktur über die Zeit (vor und nach der Nationalen Wasserstoffstrategie) verändert und sich auf das politische Agenda-Setting ausgewirkt hat. Ein in unserem Kontext relevantes Ergebnis der Analyse ist, dass die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) so formuliert ist, dass sie unterschiedliche Pfade zur Wasserstoffwirtschaft offenlässt und verschiedene Akteure unterschiedliche Präferenzen haben, was die Nutzung von ausschließlich grünem oder übergangsweise auch blauem Wasserstoff betrifft. Zugleich zeigt die Analyse, dass der öffentliche Diskurs von Wirtschaftsakteuren dominiert wird und zivilgesellschaftliche Organisationen relativ wenig beteiligt sind. Forschungsakteure bringen sich seit der Veröffentlichung der NWS verstärkt in den öffentlichen Diskurs ein.

Unsere Analyse komplementiert die Analysen von Schlund et al. und Belova et al. mit einem stärkeren **Fokus auf die aktuelle Wasserstoffpolitik und die Unterstützung von potenziellen**

Alternativtechnologien sowie die Auswirkungen der Politik auf die Strategien relevanter Akteure und die sich entwickelnden Transformationspfade.

Wir sprechen von einem Policy-Mix, weil die NWS (sowie die Unterstützung für E-Autos oder Wärmepumpen) nicht durch ein politisches Ziel definiert und durch ein Instrument unterstützt wird, sondern es eine ganze Reihe von Zielen und Instrumenten gibt (auch vor und nach der Wasserstoffstrategie), die sich potenziell auf die Entwicklung von Wasserstoff in Deutschland auswirken. Wir nutzen die Definition von Kern und Howlett (2009, S. 395), die einen **Policy-Mix** so beschreiben: "komplexe Arrangements aus mehreren Zielen und Instrumenten, die sich in vielen Fällen über viele Jahre hinweg immer weiterentwickelt haben" (eigene Übersetzung). Diese breitere Perspektive interessiert sich nicht nur für die Wechselwirkungen zwischen politischen Instrumenten (Sind die Instrumente konsistent oder gibt es negative Interaktionen?), sondern auch für politische Ziele (Kohärenz: Passen die Ziele zusammen oder gibt es Zielkonflikte?). Darüber hinaus nutzen wir das Konzept der Glaubwürdigkeit des Policy Mix. Wir orientieren uns dabei an der Forschung von Rogge und Reichardt, die Glaubwürdigkeit als das allgemeine ‚Signal‘ betrachten, das der Policy-Mix an die Zielgruppen sendet: Sie definieren Glaubwürdigkeit "als das Ausmaß, in dem der Policy-Mix glaubwürdig und zuverlässig ist" (eigene Übersetzung) (2016, S. 1627). Kohärenz, Konsistenz und Glaubwürdigkeit sind damit quasi Proxy-Indikatoren, mit denen man abschätzen kann, inwieweit ein bestehender Mix es wahrscheinlicher macht, dass die politischen Ziele erreicht werden können.

Im vorliegenden Bericht arbeiten wir heraus, welche Auswirkungen der bestehende Policy-Mix zur Unterstützung des Hochlaufs einer Wasserstoffwirtschaft sowie alternativer Transformationspfade auf die Strategien von relevanten Akteuren hat und umgekehrt. Damit rückt der Begriff der ‚**Strategie**‘ in den Fokus. Er wird umgangssprachlich in der Regel als längerfristiger Plan verstanden, in verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen und Anwendungskontexten aber unterschiedlich ausgelegt. Eine intensive und differenzierte Auseinandersetzung mit dem Konzept der Strategie findet sich in den Wirtschaftswissenschaften und hier insbesondere in der Forschung zum strategischen Management. Wichtige Differenzierungen wurden von Mintzberg (1987) eingeführt. Dazu zählt die Unterscheidung von Strategie als „Plan“ und als „Muster“. Während der „Plan“ Ziele und den Weg dorthin beschreibt und ein absichtsvolles zukunftsbezogenes Handeln annimmt, geht die alternative Interpretation davon aus, dass es sich bei einer Strategie um ein erkennbares „Muster“ handelt, das sich aus einer Vielzahl von in der Vergangenheit getroffenen Einzelentscheidungen ergibt (Mintzberg et al., 2002). Letzteres ist nicht immer das Ergebnis eines zielorientierten Handelns, sondern kann auch emergent, also ungeplant und ungesteuert entstehen.

Politische bzw. staatliche Strategien, auch in der Wasserstoffpolitik, werden zumeist als Pläne verstanden, die in eigenen Dokumenten, wie z.B. der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung, oder in Gesetzen explizit niedergelegt sind (Cheng & Lee, 2022). Dies gilt nicht ohne Weiteres für die Strategien anderer Akteure, auf die eine Wasserstoffpolitik abzielt. Für die Analyse der Auswirkungen bestehender Politiken zur Unterstützung des Hochlaufs einer Wasserstoffwirtschaft auf die Strategien von Akteuren in Wirtschaft, Verwaltung, Forschung und Think Tanks sowie Umweltverbänden bietet es sich daher an, sowohl nach deren expliziten Plänen als auch nach erkennbaren Mustern von Meinungen, Positionen, Narrativen und Einschätzungen zu schauen. Daher werden im Rahmen der Untersuchung nicht nur explizite „Strategie“-Papiere der Zielgruppen ausgewertet, sondern z.B. auch Positions- und Meinungspapiere, Roadmaps, offene Briefe und Pressemitteilungen.

Das Konzept der **Transformationspfade** hebt darauf ab, dass Nachhaltigkeitsziele prinzipiell auf verschiedenen Wegen erreicht werden können. Im Sinne der Forschung zu

Nachhaltigkeitstransformationen verstehen wir Transformationspfade als sich „entfaltende sozio-technische Muster des Wandels innerhalb gesellschaftlicher Systeme, die sich auf eine kohlenstoffarme Erfüllung menschlicher Bedürfnisse zubewegen“ (eigene Übersetzung) (Rosenbloom, 2017, S. 39). Solche Pfade entstehen durch viele Einzelentscheidungen von Akteuren aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft (indem z.B. bestimmte Investitionsentscheidungen getroffen werden, bestimmte politische Förderprogramme aufgesetzt werden oder bestimmte Konsumententscheidungen getroffen werden, z.B. beim Einbau einer neuen Heizung oder dem Kauf eines neuen Autos). Solche Entscheidungen müssen von Akteuren im Kontext großer Unsicherheiten und schlechter Informationslage getroffen werden, und werden zugleich auch stark durch Pfadabhängigkeiten und Interessen geprägt. Viele Einzelentscheidungen führen dann dazu, dass sich bestimmte Pfade herausbilden und möglicherweise damit auch gegen Alternativen durchsetzen. Der konzeptuelle Rahmen ist in Abbildung 1 vereinfacht dargestellt.

Abbildung 1: Konzeptueller Rahmen der Studie



Quelle: Eigene Darstellung; die Zahlen 1 bis 4 beziehen sich auf die vier forschungsleitenden Fragen

Die nachfolgende Analyse orientiert sich an vier forschungsleitenden Fragen:

- (1.) Welcher Policy-Mix wird verwendet, um Wasserstoff sowie alternative Transformationspfade (E-Mobilität sowie Wärmepumpen) zu fördern?
- (2.) Wie beeinflusst der Policy-Mix die Strategien der Zielgruppen?
- (3.) Welche Veränderungsvorschläge machen die Akteure, um den Policy-Mix in ihrem Sinne zu beeinflussen?
- (4.) Welche Konsequenzen dieses Wechselspiels lassen sich im Sinne der Entwicklung von Wasserstoff- und alternativen Transformationspfaden beobachten?

Grundlage der hier präsentierten Forschungsergebnisse sind Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern von Stakeholdergruppen aus dem Bereich Wasserstoff, Verkehr und Wärmeversorgung sowie vorangehende Analysen von Positionspapieren und Strategiedokumenten zentraler Akteure. Förderinstrumente wurden für alle Bereiche systematisch erfasst und Ziele aus Dokumenten extrahiert, z. B. aus der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung sowie früheren und späteren politischen Programmen.

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

Nach einer näheren Beschreibung der Methodik (Kapitel 2), mit der wir den aufgeworfenen Forschungsfragen analytisch nachgehen, folgt die Darstellung des deutschen Wasserstoff-Policy-Mix im Kontext seiner bisherigen Entwicklung und differenziert nach einzelnen Bestandteilen und Wechselwirkungen mit zentralen Akteuren sowie möglichen Transformationspfaden (Kapitel 3). Zunächst werden Politikinstrumente sowie ihre Konsistenz beleuchtet, dann die Kohärenz verschiedener Ziele selbst und daraus folgend die Glaubwürdigkeit des gesamten Policy-Mix. Diese Analysen helfen, die Interaktionen zwischen dem Policy-Mix, Akteuren und ihren Strategien sowie möglichen Transformationspfaden zu verstehen. In Kapitel 4 wird komplementär der jeweilige Policy-Mix bezüglich konkurrierender Technologiepfade sowie seine Wirkungen auf Akteursstrategien untersucht. Als besonders kontrovers diskutierte potenzielle Anwendungsbereiche für Wasserstoff werden die elektrifizierte Mobilität sowie die elektrifizierte Niedertemperaturwärmeversorgung mit Wärmepumpen herangezogen. Kapitel 5 fasst die Erkenntnisse hinsichtlich der Wirkungen auf die Wasserstoff- und konkurrierende Transformationspfade zusammen.

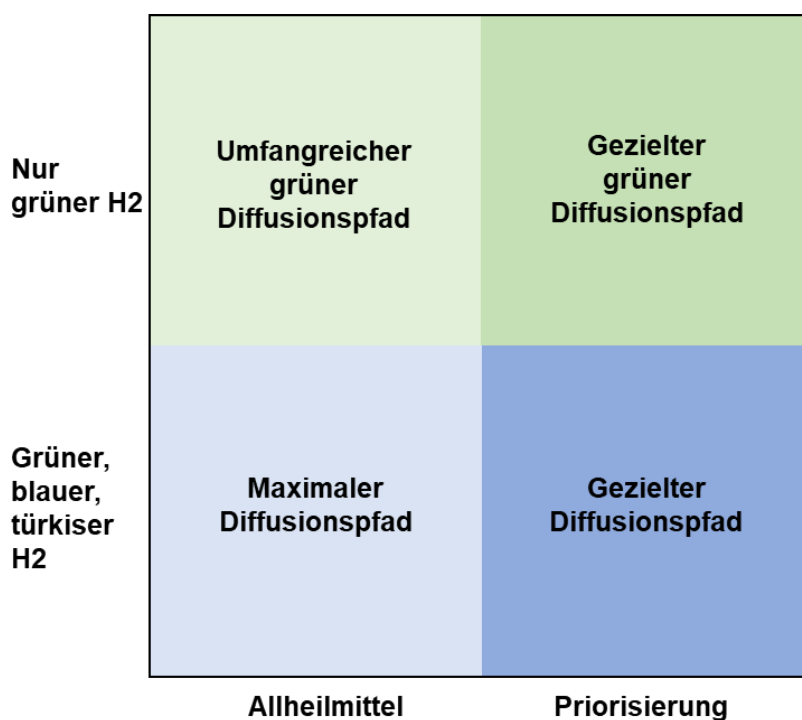
2 Methode

Unsere Analyse konzentriert sich auf Wasserstoffentwicklungen in Deutschland. Wir argumentieren, dass dies eine interessante Fallstudie ist, da Politik und Industrie in Deutschland ein großes Interesse an Wasserstoff als potenziellem Transformationspfad haben. Angesichts der industriellen Struktur und der Größe der deutschen Volkswirtschaft werden die Entwicklungen in Deutschland auch einen bedeutenden Einfluss auf die Wasserstoffentwicklung in ganz Europa und auf internationaler Ebene haben. Um das Zusammenspiel zwischen den Strategien relevanter Akteure und dem Wasserstoff-Policy-Mix zu analysieren und dabei zu untersuchen, wie es sich auf die Entwicklung von möglichen Wasserstoffpfaden sowie konkurrierende Transformationspfade auswirkt, haben wir einen dreistufigen Ansatz verfolgt, der verschiedene Methoden kombiniert, um ein umfassendes Bild der Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft sowie konkurrierender Transformationspfade in Deutschland zu erhalten.

In Anbetracht der unterschiedlichen Perspektiven der verschiedenen Interessengruppen auf das Potenzial von Wasserstoff als Transformationspfad, war der erste analytische Ansatz, den wir zur Operationalisierung der Akteurspositionen und -strategien verwendeten, eine **Kartierung der verschiedenen relevanten Akteure und ihrer Präferenzen** bezüglich Wasserstoffes. Dieser Ansatz lehnt sich methodisch an Lindberg et al. (2019) an. Zunächst kartierten wir die Positionen bezüglich potenzieller Wasserstoffpfade auf der Grundlage einer ersten Analyse öffentlich zugänglicher Dokumente von zentralen Akteuren (aus Industrie, Politik, Think Tanks/Forschungsorganisationen sowie Umweltverbänden) und identifizierten dabei zwei wichtige Bruchlinien, bei denen die Akteure uneins sind. Die eine betrifft die **Produktion von Wasserstoff**: Während einige Akteure argumentieren, dass aus Gründen des Klimaschutzes nur die Verwendung von grünem oder klimaneutralem Wasserstoff (hergestellt durch Elektrolyse aus erneuerbaren Energien) zulässig ist, sprechen sich andere Akteure dafür aus, auch andere Produktionsmethoden zu verwenden (vgl. Belova et al., 2023, die zu ähnlichen Ergebnissen kommen). Vor allem blauer Wasserstoff, der durch die Dampfreformierung von Erdgas und Kohlenstoffabscheidung und -speicherung des im Prozess entstandenen CO₂ gewonnen wird, wird als Alternative oder Zwischenlösung in Betrachtung gezogen. Zusammen mit türkischem Wasserstoff, der durch die Spaltung von Erdgas mittels Methanpyrolyse in Wasserstoff und festen Kohlenstoff erzeugt wird, wird blauer Wasserstoff von vielen Akteuren als nicht gänzlich klimaneutral betrachtet, weil z. B. Emissionen bei der Förderung und Transport von Erdgas durch Leckagen entstehen.

Neben diesen Ansichten über die Methoden der Wasserstoffherzeugung werden in einer zweiten analytischen Dimension die **Vorstellungen über die Verwendung** von Wasserstoff erfasst. Einige Akteure befürworten eine Priorisierung auf einige wenige wichtige Anwendungen (z. B. die Stahlproduktion), während andere Akteure Wasserstoff ein sehr breiteres Anwendungsspektrum in verschiedenen Sektoren beimessen. Aus diesen beiden Dimensionen – Präferenzen für Produktion und Nutzung – lassen sich vier grundlegende potentielle Wasserstoffpfade ableiten (siehe Abbildung 2). Diese beiden analytischen Dimensionen wurden verwendet, um die Positionen der Akteure zu diesen verschiedenen Wasserstoffpfaden auf der Grundlage von öffentlich zugänglichen Dokumenten wie Positions- und Meinungspapieren, Roadmaps, Strategien, offenen Briefen und Pressemitteilungen, die jeweils zwischen 2019 und 2022 veröffentlicht wurden, darzustellen. Dieses analytische Schema ermöglicht es auch, die Politik der Regierungen im Laufe der Zeit zu verfolgen und zu zeigen, wie sich die Unterstützung für Wasserstoffpfade verändert hat.

Abbildung 2: Vier potenzielle Wasserstoffpfade nach Wasserstoffproduktion und -nutzung



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Der zweite Schritt der Analyse war eine Kartierung des deutschen Wasserstoff-Policy-Mix sowie der Policy-Mixe zur Unterstützung alternativer Transformationspfade in **zwei potenziellen Anwendungsfeldern von Wasserstoff: Wärmepumpen in Haushalten sowie individuelle Elektromobilität**. Ausgangspunkt jeder Analyse eines Policy-Mix ist dessen Abgrenzung im Sinne einer Operationalisierung. In Anlehnung an Ossenbrink et al. (2019) haben wir dazu einen Top-Down-Mapping-Ansatz verwendet, ausgehend von der 2020 veröffentlichten Nationalen Wasserstoffstrategie sowie den nachfolgenden politischen Entwicklungen (Koalitionsvertrag 2020, Klimasoftwareprogramm 2021, Osterpaket 2022). Wir haben die in den identifizierten politischen Dokumenten enthaltenen Ziele und Instrumente kartiert, um die Abdeckung des Mix in Bezug auf die Wasserstoffversorgungskette, Anwendungsbereiche usw. zu analysieren, die Kohärenz der Ziele und Konsistenz der eingesetzten Instrumente sowie mögliche Lücken oder Widersprüche innerhalb des Mix zu identifizieren.

In der Analyse wurden 1) die Typen von Instrumenten (regulatorische, finanzielle und „weiche“ Instrumente), 2) die Teile der Wasserstoff-Wertschöpfungskette, auf die abgezielt wird, und 3) die Anwendungsbereiche, die unterstützt werden, erfasst. In Bezug auf die Wasserstoff-Wertschöpfungskette erschien die folgende vierteilige Kategorisierung sinnvoll: 1) Instrumente zur Förderung der Wissensproduktion, d.h. F&E, 2) Instrumente zur Förderung der Wasserstoffproduktion, 3) Instrumente zur Förderung der Nutzung/Anwendung von Wasserstoff in verschiedenen Sektoren und schließlich 4) Instrumente zur Förderung der Entwicklung der für Wasserstoff erforderlichen Transport- und Speicherinfrastruktur. Hinsichtlich der Anwendungsbereiche von Wasserstoff haben wir die Einteilung der Wasserstoffstrategie der Bundesregierung in Industrie (Wärme), Industrie (stoffliche Nutzung), Stromspeicherung und -versorgung, Raumwärme, PKW, LKW, Bahn, Schifffahrt und Luftfahrt geändert. Instrumente, die keinen spezifischen Anwendungsbereich betreffen, werden der

Kategorie "allgemein" zugeordnet. Analog wurden auch die Policy-Mixe zur Unterstützung von Wärmepumpen und Elektromobilität kartiert.

Für die Analyse des Zusammenspiels von Akteursstrategien und dem Policy-Mix sowie dessen Auswirkungen auf die entstehenden Wasserstoffpfade sowie konkurrierende Transformationspfade (Schritt 3) wurden die in Schritt 1 und 2 gesammelten Informationen zusammengetragen und ausgewertet. Darüber hinaus wurden zwischen September und November 2022 **15 semi-strukturierte Leitfaden-Interviews** mit relevanten Akteuren aus Wirtschaft, Politik und Verwaltung, Forschung und Think Tanks sowie Umweltverbänden geführt, die sich mit der Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft befassen (siehe Tabelle 1). Es wurden jeweils Akteure ausgewählt, die sich zum Zeitpunkt aktiv in Wasserstoffdiskursen beteiligten – etwa durch politische Arbeit, Stellungnahmen, Forschungsarbeiten, themenbezogene Kampagnen oder Präsenz bei einschlägigen Veranstaltungen.

Tabelle 1: Anonymisierte Auflistung der geführten Stakeholder-Interviews

Nr.	Akteurstyp
1	Forschung / Think Tank
2	Wirtschaftsverband (Gaswirtschaft)
3	Umweltverband
4	Wirtschaftsverband (Energiewirtschaft)
5	Forschung / Think Tank
6	Forschung / Think Tank
7	Wirtschaftsverband (Energiewirtschaft)
8	Energiewirtschaft (ehemals Politik/Verwaltung)
9	Politik / Verwaltung
10	Umweltverband
11	Politik / Verwaltung
12	Wirtschaftsverband (Automobilindustrie)
13	Forschung / Think Tank
14	Wirtschaftsverband (Energiewirtschaft)
15	Forschung / Think Tank

Die Interviews wurden aufgezeichnet, transkribiert und anschließend mit Hilfe einer qualitativen Analysesoftware kodiert und ausgewertet. Ein Code-Baum, der sich auf die Hauptkategorien des analytischen Rahmens stützt, wurde entwickelt und während des Kodierungsprozesses iterativ verfeinert (siehe Anhang). In einer ersten Testphase wurde die Zuverlässigkeit der Codierungen überprüft. In

den Interviews wurde versucht, Informationen über die Positionen der Akteure, ihre Strategien zur Weiterentwicklung und/oder Nutzung von Wasserstoff, welche Politiken ihre Strategien in welcher Weise beeinflussen sowie ihre Ansichten über die Konsistenz, Kohärenz und Glaubwürdigkeit (inkl. möglicher Lücken) des Policy-Mix zu sammeln. Damit wurde die in Schritt 2 beschriebene Top-down-Perspektive mit einer Bottom-up-Perspektive (vgl. Ossenbrink et al., 2019) ergänzt. Bei den Bottom-up identifizierten Politikinstrumenten kann es sich auch um Politiken auf EU-, Bundesländer- oder kommunaler Ebene handeln. Ergänzt wurden alle Analyseschritte und Interpretationen durch ergänzende Recherchen und Auswertungen z. B. von relevanten wissenschaftlichen Publikationen, relevanten Presseberichten und Nachrichten, Veranstaltungen oder Pressemitteilungen von relevanten Akteuren. Dies diente zur Triangulation der Erkenntnisse aus den Analyseschritten.

3 Der deutsche Policy-Mix für Wasserstoff und seine Auswirkungen auf Akteursstrategien

3.1 Der deutsche Wasserstoff-Policy-Mix

Die NWS von 2020 definiert notwendige Schritte, damit Wasserstoff einen Beitrag zu den Klimaschutzzielen leisten kann, neue Wertschöpfungsketten in der deutschen Industrie geschaffen werden und die internationale energiepolitische Zusammenarbeit weiterentwickelt wird. Die Strategie enthält 38 verschiedene politische Maßnahmen. Die Bundesregierung beabsichtigt, dass die Strategie einen kohärenten politischen Rahmen für die Produktion, den Transport und die Nutzung von Wasserstoff sowie für damit verbundene Innovationen und Investitionen bieten soll. Im Rahmen unserer Bestandsaufnahme wurden auch zusätzliche politische Instrumente zur Unterstützung der Wasserstoffentwicklung ermittelt, die zum Teil bereits vor der nationalen Wasserstoffstrategie bestanden oder seit der Veröffentlichung der Strategie eingeführt wurden. Insgesamt haben wir 57 Politikinstrumente seit 2016 identifiziert, die auf die Förderung von Wasserstoffentwicklungen abzielen (siehe Anhang). Diesen komplexen Policy-Mix analysieren wir im Folgenden.

Zuerst geben wir einen kurzen Abriss zur Entstehung und Entwicklung des Policy-Mix. Dann nutzen wir verschiedene analytische Kategorien und Analyseschritte, um den Policy-Mix zu beschreiben und zu analysieren. Dazu zählen eine Kategorisierung der genutzten Instrumente nach verschiedenen Kriterien, eine Analyse der Kohärenz der Ziele und der Konsistenz der Instrumente des Mix, die Glaubwürdigkeit des Mix (inkl. möglicher Lücken) und welche Wasserstofftransformationspfade vom bestehenden Policy-Mix unterstützt werden. Diese analytischen Schritte und Kategorien bauen auf der internationalen Forschung zu Policy-Mixen auf und sollen dabei helfen, ex ante einzuschätzen, inwiefern der bestehende Policy-Mix geeignet erscheint, die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland zu unterstützen.

3.1.1 Entstehung und Entwicklung des Policy-Mix

Im Jahr 2006 wurde von der damaligen Bundesregierung das **“Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie”** (NIP I) für den Zeitraum 2007 bis 2016 aufgelegt. Es kann als Vorläufer der Nationalen Wasserstoffstrategie betrachtet werden. Die Ziele der Förderung waren die technologische Entwicklung von Brennstoffzellen in Deutschland, die Marktvorbereitung sowie der Aufbau von Wertschöpfungsketten (BMVI & BMWi, 2017, S. 3). Das Programm wurde von der für diesen Zweck gegründeten Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH (NOW) verwaltet und die Fördermittel flossen sowohl in mobile als auch in stationäre Anwendungen von Brennstoffzellen. Von insgesamt 710 Mio. EUR Förderung auf Bundesebene hat das BMVI 500 Mio. EUR beigetragen (BMVI & BMWi, 2017, S. 3); weitere 690 Mio. EUR an privaten Investitionen wurden von Unternehmen getätigt. Von den insgesamt ca. 1.400 Mio. EUR Investitionen, die durch das Programm mobilisiert wurden, flossen 754 Mio. EUR in den Bereich Verkehr und 223 Mio. EUR in Raumwärme, und 120 Mio. EUR in die Industrie (BMVI & BMWi, 2017, S. 3).

Mit dem **Regierungsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2016–2026** (NIP II) wurde das NIP für weitere zehn Jahre fortgesetzt. Die Maßnahmen im Rahmen der Fortsetzung des Programms zielen darauf ab, Mobilität mit Brennstoffzellen bis 2026 wettbewerbsfähig im Markt zu etablieren (BMVI et al., 2016). Für den Zeitraum 2017 bis 2021 wurden im Rahmen des NIP II weitere

ca. 700 Mio. EUR Fördermittel zusammen mit 581 Mio. EUR privaten Investitionen überwiegend im Bereich Verkehr eingesetzt (NOW GmbH, 2022).

Laut einem Interviewpartner, der in der Politik bzw. Verwaltung tätig war, war das NIP gewissermaßen der Vorläufer der Nationalen Wasserstoffstrategie, die im Juni 2020 von der Bundesregierung vorgelegt wurde (Interview 8). Das Ziel der Strategie ist es, einen konsistenten Handlungs- und Planungsrahmen für den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft zu schaffen (BMW, 2020). Im Rahmen des **Corona-Konjunkturpaketes** wurden 2020 7 Mrd. EUR für die Förderung von Wasserstofftechnologien in Deutschland und 2 Mrd. EUR für internationale Partnerschaften bereitgestellt (Bundesregierung, 2020a). Dies entspricht im Vergleich zur Förderung im NIP I und II einem starken Anstieg der Förderung von Wasserstoff. Die NWS entstand auch im Kontext des **Bundes-Klimaschutzgesetzes**, das 2019 ein verbindliches Ziel zur Treibhausgasneutralität geschaffen hatte. Das vorherige langfristige Ziel der Bundesregierung war, bis 2050 die Emissionen um 80 % bis 95 % zu reduzieren. Deshalb wäre eine bestimmte Menge an Treibhausgasen auch nach der Einführung von relevanten politischen Maßnahmen, sogenannte „Restemissionen“, emittiert worden. Mit dem Klimaneutralitätsgesetz lautet das neue Ziel Treibhausgasneutralität bis 2045 (Bundesregierung, 2022c). Eine Interviewpartnerin aus Politik/Verwaltung schätzt den Einfluss als relevant ein:

„Und dann kam eben politisch dieses Klimaneutralitätsziel dazu und mit dem Klimaneutralitätsziel, da hat sich das gerade auch in der Modellierung sehr geändert, weil das jetzt nicht mehr geht – diese Restemissionen, die sind einfach nicht mehr da. Dafür muss man jetzt sozusagen eine Lösung finden [...] und damit war irgendwie klar, wir müssen jetzt Industriedekarbonisierung vorantreiben und wir müssen auch langfristig den Stromsektor ohne Erdgaskraftwerke als Backupkraftwerke hinbekommen“ (Interview 9).

Somit ist das Ziel des Klimaschutzes stärker in den Mittelpunkt des deutschen Wasserstoff-Policy-Mix gerückt. Die **Dekarbonisierung** sämtlicher Wirtschaftssektoren wird mit der NWS ein übergeordnetes Ziel. Laut NWS soll die deutsche Industrie weitestmöglich „in eine auf grünem Wasserstoff basierende Produktion überführt werden“ (BMW, 2020), um künftig auf fossile Energieträger verzichten zu können. Langfristig wird nur grüner Wasserstoff als nachhaltige Lösung beschrieben, aber erwartet, dass innerhalb der nächsten zehn Jahre auch blauer Wasserstoff eine Rolle spielen wird (siehe auch 3.2.1), der aufgrund der Energieimportabhängigkeit Deutschlands und der engen Einbindung in das europäische Energiesystem für eine Übergangszeit genutzt werden kann (BMW, 2020). Im NIP I von 2006, erschien Klimaschutz noch als Nebenschauplatz (BMVI & BMW, 2017). Seine Fortsetzung von 2016 führt den Klimaschutz zwar als zentrale Motivation an (BMVI et al., 2016), ist in seiner weiteren Ausführung jedoch auf die instrumentelle Gestaltung wirtschaftlicher und technischer Aspekte fokussiert, um die Überführung von Technologie aus der Forschung in Produktmärkte zu unterstützen.

Im **Klimaschutz-Sofortprogramm 2022** wurden Mittel mit einem gezielten Fokus auf die Dekarbonisierung der Industrie bereitgestellt (Bundesregierung, 2021b). Die Produktion von grünem Wasserstoff und der Aufbau nationaler Strukturen für die zusätzliche Erzeugung aus Offshore-Windstromerzeugung wurde durch ein neues Förderprogramm angeschoben, der Import von grünem Wasserstoff wurde durch Aufstockung des Förderinstruments ‚H2Global‘ finanziert. Der Verkehrssektor wird nur im Rahmen einer Förderung des hybridelektrischen Fliegens erwähnt (Bundesregierung, 2021b). Eine Priorisierung des Anwendungsgebiets Industrie wird somit deutlicher. Im Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung ist weiter explizit festgehalten, dass Wasserstoff Gegenstand internationaler

Klimapartnerschaften sein soll, sowie dass er Wirtschaftssektoren ermöglicht „Verfahren und Prozesse [...] auf Treibhausgasneutralität umzustellen“ (SPD et al., 2021, S. 26).

Der seit Februar 2022 herrschende **Krieg in der Ukraine** hat die Energiewirtschaft und -politik in ganz Europa und somit auch in Deutschland regelrecht umgekrempelt. Hiervon ist auch die Wasserstoffpolitik in besonderem Maße betroffen (siehe auch Nationaler Wasserstoffrat, 2022a, 2023). Eingesetzte russische Gaslieferungen sind Ausdruck einer neuen geopolitischen Lage. Bereits seit Beginn der Corona-Pandemie und nun in noch stärkerem Maße ist die deutsche Energiepolitik „getrieben von den diversen Krisen und Herausforderungen“ (Interview 14). Fragen der Versorgungssicherheit sind stark in den Vordergrund gerückt und stellen Entscheiderinnen und Entscheider vor vielerlei Herausforderungen. Preisanstiege und -schwankungen haben zugenommen und die politische Suche nach Alternativen für ein ausreichendes Energieangebot läuft ‚auf Hochtouren‘. Somit ist auch „der Druck im Kessel in Richtung Wasserstoff schneller zu Potte zu kommen [...] natürlich nochmal immens gestiegen“ (Interview 1).

Auch wegen des Drucks durch die eingestellten russischen Gaslieferungen hat der Bundestag im Juli 2022 im Rahmen des Energiesofortmaßnahmenpakets (das sogenannte **Osterpaket**) Novellierungen wichtiger Gesetze im Energierecht beschlossen. Das übergeordnete Ziel, den Ausbau erneuerbarer Energien zu beschleunigen, wurde auch von einzelnen für den Wasserstoffhochlauf relevanten Maßnahmen flankiert. Die Änderungen am Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) führen dazu, dass Wasserstoff als chemischer Energiespeicher bei Wind- und Solaranlagen förderwürdig wird und neue KWK-Anlagen ab 2028 auf Wasserstoff ausgerichtet werden sollen (H₂-ready) (BMWK, 2022i, S. 6). Im novellierten Windenergie-auf-See-Gesetz (WindSeeG) werden Vorgaben zur Planung und Genehmigung von Wasserstoffpipelines für Offshore-Windparks erlassen (BMWK, 2022i, S. 8).

Die Bundesregierung strebt an, eine **überarbeitete nationale Wasserstoffstrategie** zu veröffentlichen (laut Koalitionsvertrag bis Ende 2022). Ein zügiges Update fordert auch der Nationale Wasserstoffrat, um den Hochlauf schneller und zielgerichteter in die Umsetzung zu bringen (Nationaler Wasserstoffrat, 2022c). Im Koalitionsvertrag steht dazu als Ziel ein schneller Markthochlauf der einheimischen Erzeugung auf Basis Erneuerbarer Energien zusammen mit dem Aufbau der notwendigen Infrastruktur, um eine Elektrolysekapazität von 10 GW im Jahr 2030 zu erreichen (SPD et al., 2021, S. 47). Das Ambitionsniveau hat sich somit im Vergleich zur NWS der vorherigen Regierung verdoppelt, wo erstmals ein Ziel von 5 GW installierter Elektrolyseleistung ausgerufen wurde (BMW, 2020). Im Koalitionsvertrag heißt es aber auch: „Grüner Wasserstoff sollte vorrangig in den Wirtschaftssektoren genutzt werden, in denen es nicht möglich ist, Verfahren und Prozesse durch eine direkte Elektrifizierung auf Treibhausgasneutralität umzustellen“ (SPD et al., 2021, S. 21).

3.1.2 Kategorisierung der Instrumente nach Typen, Wertschöpfungsstufen und Anwendungsbereichen

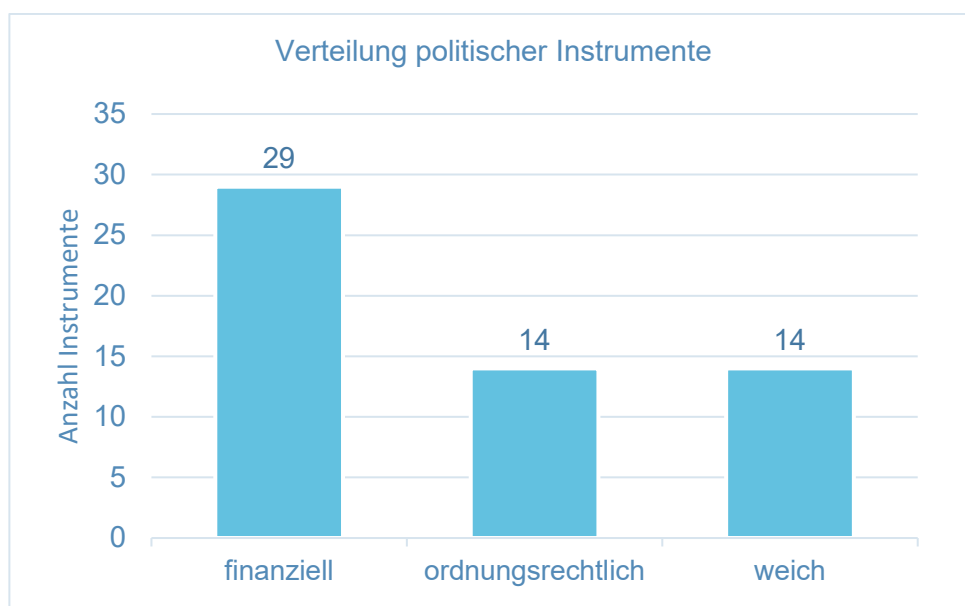
Der nach dem oben beschriebenen Vorgehen identifizierte Policy-Mix wird im Folgenden anhand verschiedener Kategorien analysiert. Zuerst wird analysiert, inwiefern der bestehende Mix 1) verschiedene Instrumententypen nutzt, 2) welche Teile der Wasserstoff-Wertschöpfungskette adressiert und 3) welche Anwendungsbereiche für Wasserstoff unterstützt werden.

Instrumententypen

Bei der Analyse der Instrumententypen orientieren wir uns an der breit akzeptierten Klassifizierung, die zwischen regulatorischen, finanziellen und "weichen" Instrumenten unterscheidet (Borrás & Edquist, 2013). Unserer Zuordnung der Instrumententypen nach sind mehr als die Hälfte der Instrumente finanzielle Instrumente (siehe Abbildung 3), was angesichts des frühen Entwicklungsstadiums von Wasserstoffpfaden nicht überrascht.

Prominente **Finanzierungsinstrumente** sind Förderprogramme wie das nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP II) (2016-2026; Fördervolumen: 1, 4 Mrd. EUR, davon 40 % für F&E und 60 % für "Marktaktivierungs"-Aktivitäten), welches durch das Ministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMDV) finanziert wird und die Forschungsförderung in dem Bereich schon vor dem Erscheinen der Wasserstoffstrategie gebündelt hat. Ein weiteres Beispiel für ein finanzielles Instrument ist die Befreiung von der Abgabe auf erneuerbare Energien für Strom (EEG-Umlage), der zur Erzeugung von grünem Wasserstoff verwendet wird, sowie eine Senkung dieser Abgabe auf 15 % für Strom, der zur Erzeugung von grauem Wasserstoff verwendet wird (BMWK, 2022f). Dieses Instrument zielte darauf ab, die Kosten für die Wasserstoffproduktion zu reduzieren. Inzwischen wurde die EEG-Umlage insgesamt abgeschafft und die staatliche Förderung erneuerbarer Energien ist nun komplett steuerfinanziert.

Abbildung 3: Verteilung der Instrumente nach Instrumententyp (N = 57)



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Das größte Fördervolumen hat ein 8 Mrd. EUR schweres öffentliches Programm zur Förderung "Wichtiger Projekte von gemeinsamem europäischem Interesse" (**IPCEI**), das darauf abzielt, 62 Wasserstoffprojekte mit deutscher Beteiligung entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Erzeugung von Wasserstoff bis zum Transport und seiner Verwendung in der Industrie zu finanzieren (BMWK, 2022g). Die Auswahl der Projekte ist bereits im Mai 2021 erfolgt, aber die Förderung vieler Projekte ist noch nicht angelaufen, da dafür größtenteils noch die Notifizierung durch die Europäische Kommission nach einer Prüfung der Vorschriften für staatliche Beihilfen fehlt. Die Freigabe der

ersten zwei von vier „Wellen“ erfolgte im Juli (IPCEI Hy2Tech) und September 2022 (IPCEI Hy2Use) (Europäische Kommission, 2022). Mit dabei sind vier deutsche Projekte (BMWK & BMDV, 2022). Im Oktober 2022 hat die Europäische Kommission zwei weitere deutsche Projekte genehmigt: eine 1 Mrd. EUR schwere Maßnahme zur Unterstützung von Salzgitter Flachstahl bei der Dekarbonisierung seiner Stahlproduktion durch Einsatz von Wasserstoff und eine mit 134 Mio. EUR ausgestattete Maßnahme zur Unterstützung der BASF bei der Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff. Aufgrund eines vorzeitigen Maßnahmenbeginns hatten beide Projekte jedoch schon vorher mit der Umsetzung begonnen (BMWK, 2022e).

Zu den regulatorischen Instrumenten gehören beispielsweise Änderungen des Gesetzes über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (**Energiewirtschaftsgesetz – EnWG**), das einen rechtlichen Rahmen für die Nutzung der bestehenden Gasinfrastruktur sowie mögliche Erweiterungen für deren Nutzung als Wasserstoffinfrastruktur bietet. Die im Juli 2021 im Wege einer Novellierung des EnWG eingeführte Regulierung von Wasserstoffnetzen in §§ 28 j–q EnWG überlässt den Netzbetreibern die Entscheidung, ob sie unreguliert bleiben oder sich dem neu eingeführten Regulierungssystem unterwerfen wollen. Die Regelungen verstehen sich als Übergangslösung, bis entsprechende europäische Vorgaben vorliegen. Bei der Definition von „Energie“ in § 3 Nr. 14 EnWG werden die Wörter „und Gas“ durch die Wörter „Gas und Wasserstoff“ ersetzt. Damit wird Wasserstoff grundsätzlich als eigenständiger Energieträger neben Erdgas anerkannt (von Burchard, 2021).

Ein anderes regulatives Instrument ist die nationale Umsetzung der EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie (**RED II**), in der der Einsatz von grünem Wasserstoff bei der Kraftstoffherstellung und als Alternative zu konventionellen Kraftstoffen verankert wurde (Bundesregierung, 2020b). Das **Bundesimmissionschutzgesetzes** (BImSchG) regelt die Treibhausgasminderungsquote für in Verkehr gebrachte Kraftstoffe. Die Nationale Wasserstoffstrategie argumentiert,

„Der Einsatz von grünem Wasserstoff bei der Herstellung von konventionellen Kraftstoffen stellt einen sinnvollen Einsatz von Wasserstoff dar, der einen realen Beitrag zur Reduktion der vom Verkehr verursachten THG-Emissionen leisten kann. Wir werden daher die nationale Umsetzung der RED II nutzen, um die Anrechnung des Einsatzes von grünem Wasserstoff bei der Produktion von Kraftstoffen auf die Treibhausgasminderungsquote zu ermöglichen. Zudem werden wir die Anreize bei der RED II-Umsetzung nach Möglichkeit so setzen, dass grüner Wasserstoff bei der Produktion von Kraftstoffen schnellstmöglich zum Einsatz kommt“ (Bundesregierung, 2020b, S. 19).

Laut dem Bericht der Bundesregierung zur Umsetzung der NWS (2021a) wurde diese Regulierung mit einer Novelle des BImSchG vom Mai 2021 umgesetzt, die im Oktober 2021 in Kraft trat. Damit wird RED II im Verkehr in nationales Recht umgesetzt. Die Bundesregierung legte eine Treibhausgasminderungsquote für Kraftstoffe von 25 % bis 2030 fest, womit die EU-Vorgaben laut Bundesregierung deutlich übererfüllt wurden: „Hierdurch entstehen signifikante Anreize für die Produktion und den Einsatz von grünem Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen im Verkehr“ (Bundesregierung, 2022b, S. 29).

Zu den weichen Instrumenten gehört die Einrichtung einer Wasserstoff-Webseite im Sinne eines ‚One-Stop-Shop‘ bzw. einer ‚**Lotsenstelle Wasserstoff**‘, die einen kompakten Überblick über sämtliche Förderinstrumente der Bundesregierung geben soll, die den raschen Markthochlauf von Wasserstofftechnologien auf nationaler, europäischer wie auch internationaler Ebene unterstützen sollen.

Eine solche Lotsenstelle macht es leichter für Stakeholder, sich in der Förderlandschaft zu orientieren, was bei der Komplexität und Unübersichtlichkeit der Förderinstrumente sicher sinnvoll ist.

Ein anderes Beispiel für ein weiches Instrument ist ein Prozess zur Entwicklung einer Roadmap für die deutsche Wasserstoffwirtschaft, an dem Wissenschaft, Industrie und zivilgesellschaftliche Organisationen beteiligt sind (**H2-Kompass**, 2021-2023). Die Wasserstoffstrategie sieht vor:

„Bevor eine Wasserstoff-Wirtschaft im großen Stil aufgebaut wird, ist eine umfassende Prüfung aller Fakten, Abhängigkeiten und Wechselwirkungen notwendig. Das Projekt H2-Kompass erstellt Handlungsoptionen und Anwendungsszenarien für Wasserstoff und bewertet diese. Der Kompass soll als Grundlage für eine Wasserstoff-Roadmap dienen“ (Bundesregierung, 2020b, S. 24).

Das Vorhaben „H2-Kompass: Werkzeug zur Erstellung einer Roadmap für eine deutsche Wasserstoffwirtschaft“ wird gemeinsam vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit 4,25 Mio. Euro gefördert (Laufzeit: Juni 2021- Mai 2023). Durchgeführt wird das Projekt von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. gemeinsam mit DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V. Ziel des Projektes ist es, mögliche Handlungsoptionen der Politik für den Aufbau der deutschen Wasserstoffwirtschaft zu erarbeiten:¹

„Mithilfe einer Meta-Analyse und eines breit angelegten Stakeholder-Dialogs erheben wir Daten über die Entwicklungsmöglichkeiten einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland. Im Austausch mit Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft und öffentlicher Verwaltung ermöglichen wir ein gemeinsames Verständnis einer deutschen Wasserstoffwirtschaft für die Jahre 2030 und 2050. Durch kontinuierliche Auswertung von Studien, Strategien und Roadmaps schaffen wir eine aktuelle und robuste Datengrundlage über Bedarfe und Kapazitäten mit besonderem Augenmerk auf Deutschland“.

Daher zielt dieses „weiche“ Instrument aus unserer Sicht zentral darauf ab, die Richtungssicherheit der verschiedenen Akteure mit Blick auf den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft zu erhöhen. Eine Projektbeteiligte schildert das Ziel folgendermaßen: „Wir führen einen Stakeholder-Dialog, um auch darauf hinzuwirken, dass sich möglicherweise ein gemeinsames Zielbild der Wasserstoffwirtschaft entwickeln kann“ (Interview 5). Auch laut einem anderen Interview kann das Projekt dazu beitragen, verschiedene Optionen zu bewerten, die Politik zu beraten, Stakeholder zusammenzubringen und gemeinsam die Möglichkeiten zu reflektieren (Interview 3).

Wertschöpfungskette

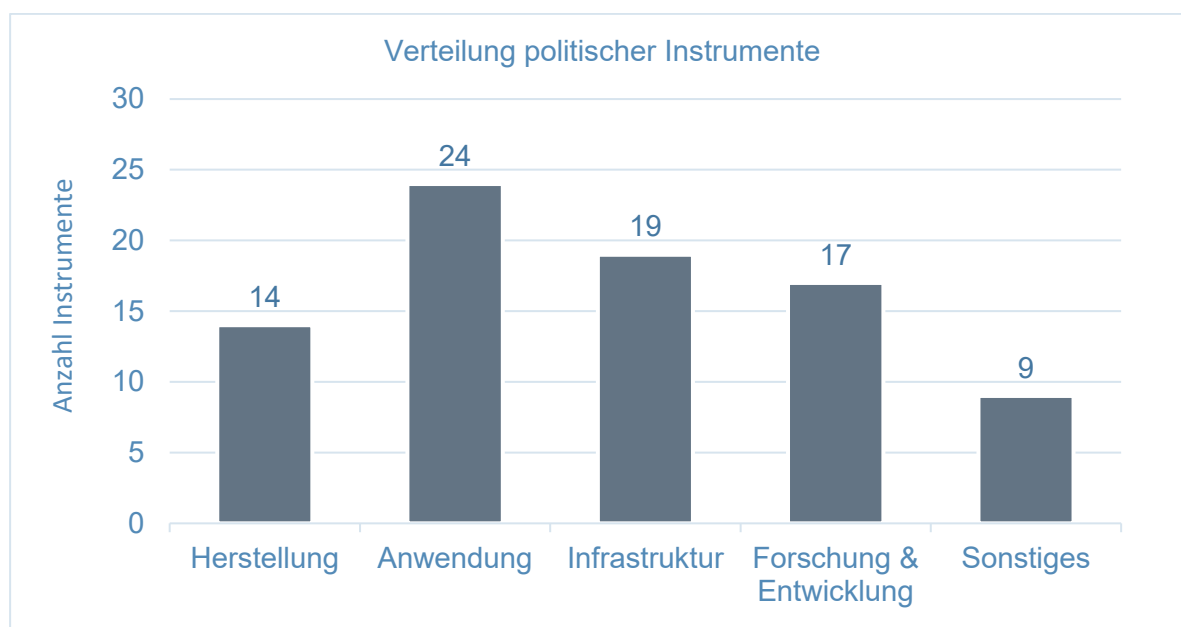
In Bezug auf die H₂-Wertschöpfungskette erscheint die folgende vierteilige Kategorisierung sinnvoll: 1) Instrumente zur Förderung der Wissensproduktion, das heißt, F&E, 2) Instrumente zur Förderung der Wasserstoffproduktion, 3) Instrumente zur Förderung der Nutzung/Anwendung von Wasserstoff in den verschiedenen Sektoren und 4) Instrumente zur Förderung der Entwicklung der Transportinfrastruktur für Wasserstoff und der Infrastruktur für die Nutzung von Wasserstoff.

Das erklärte Ziel der Bundesregierung, auf alle Teile der Wasserstoff-Wertschöpfungskette abzielen, wird auch vom Nationalen Wasserstoffrat unterstützt (Nationaler Wasserstoffrat, 2022c). Unsere

¹ <https://www.wasserstoff-kompass.de/kompass>

Analyse zeigt eine **relativ gleichmäßige Verteilung der politischen Instrumente**, die auf alle Stufen der Wertschöpfungskette abzielen, von der Schaffung von Wissen über die Produktion bis hin zur Transport- und Importinfrastruktur und "sonstigen Instrumenten" (siehe Abbildung 4). In der Kategorie "sonstige Instrumente" finden sich Aktivitäten wie die Unterstützung der Bundesregierung bei der Entwicklung einer EU-Wasserstoffstrategie (die 2020 verabschiedet wurde) oder die Integration von Wasserstoff in bestehende bilaterale Energiepartnerschaften und Dialoge mit Partnerländern. Die Analyse zeigt, dass die Regierung zwar nach wie vor die Notwendigkeit sieht, in die weitere Wissensproduktion zu investieren (z. B. durch NIP II), aber auch, dass ein klarer Schwerpunkt auf der Entwicklung konkreter Wasserstoffprojekte und Investitionen in Produktionskapazitäten oder dem Ausbau der Infrastruktur liegt, um die Einführung von Wasserstoff zu beschleunigen und einen ersten Markt für die Nutzung von Wasserstoff zu schaffen. Das Portfolio scheint über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg gut ausgewogen zu sein.

Abbildung 4: Verteilung der wasserstoffpolitischen Instrumente nach adressierten Stufen der Wertschöpfungskette (N = 57; Doppelnennung möglich)



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Anwendungsbereiche

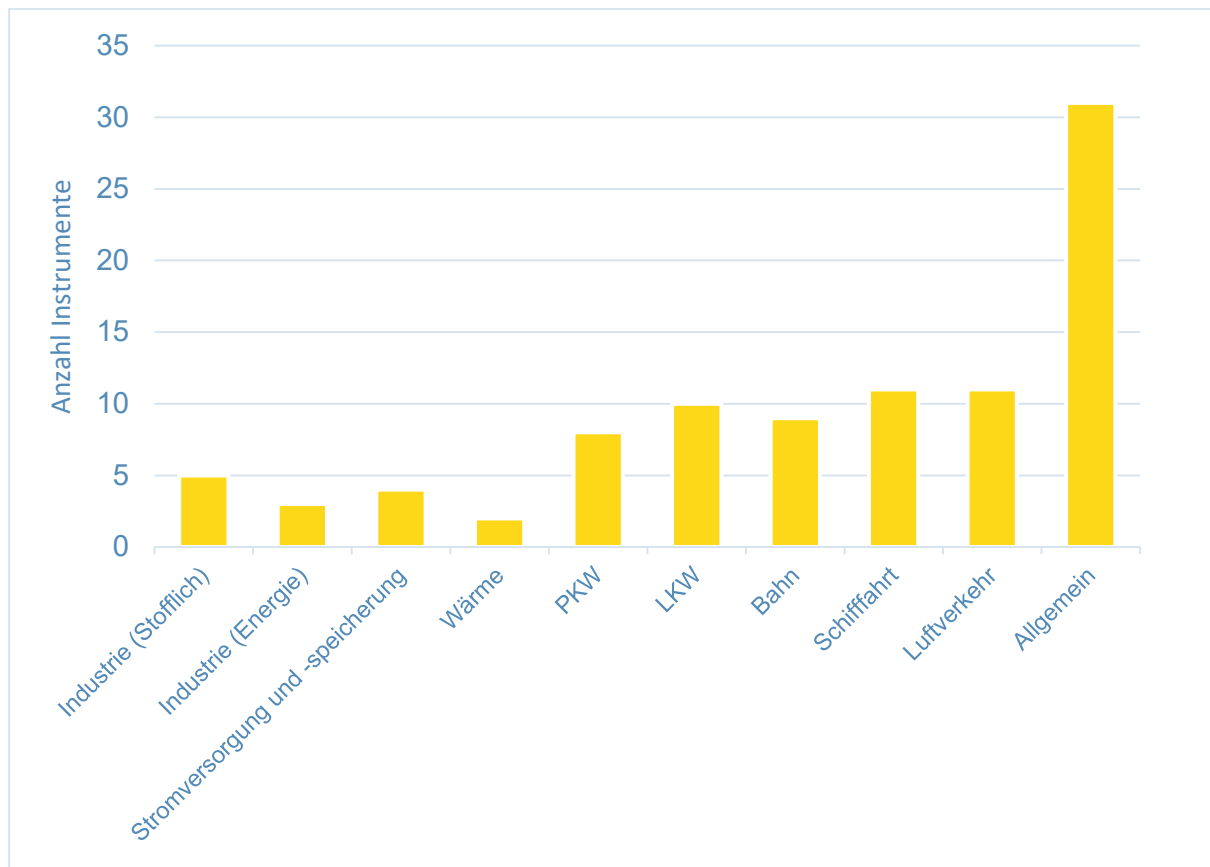
Bei den Anwendungsbereichen von Wasserstoff übernehmen wir aus der groben Einteilung der Wasserstoffstrategie des Bundes die Bereiche Industrie, Wärme und Verkehr, wobei wir beim Verkehr die einzelnen Verkehrsmittel (PKW, LKW, Bahn, Schifffahrt, Luftfahrt) angeben. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Energiespeicherung für Stromerzeugung. Instrumente, die sich nicht auf einen bestimmten Anwendungssektor beziehen, werden der Kategorie "allgemein" zugeordnet.

In Bezug auf die Anwendungsbereiche, die speziell durch politische Instrumente unterstützt werden, zeigt die Analyse, dass mehr als die Hälfte der Instrumente (32) nicht auf spezifische Anwendungsbereiche von Wasserstoff ausgerichtet sind (siehe Abbildung 5). Gleichzeitig gibt es auch eine Reihe von anwendungsspezifischen Instrumenten. Dies entspricht der zwischen Industrie und Politik

vereinbarten Strategie, dass das NIP II auf zwei Säulen aufbauen soll: einerseits eine **Kontinuität bei der Forschung** (von Grundlagenforschung bis zur angewandten Forschung, Entwicklung, Demonstration und Marktvorbereitung), und andererseits, dass es **zusätzlich anwendungsspezifische Instrumente** geben soll, die den Markthochlauf unterstützen (BMVI et al., 2016).

Von den Instrumenten, die sich auf bestimmte Anwendungsbereiche beziehen, zielen viele auf verschiedene Verwendungen von Wasserstoff im Verkehrssektor ab, von Personenkraftwagen (8 Instrumente) über schwere Nutzfahrzeuge (10), den Schienenverkehr (10) und die Schifffahrt (11) bis hin zum Luftverkehr (10). Während viele der Instrumente Förderinstrumente sind (z. B. NIP II), gibt es für den Verkehrsbereich aber auch spezifische regulative Instrumente (wie die oben angesprochene Novelle des BIschG). Gleichzeitig gibt es weit weniger Instrumente, die direkt auf die Verwendung in der Industrie als Grundstoff (5) oder Energiequelle (3), zur Raumheizung (2) oder zur Energiespeicherung (4) abzielen. Ein wichtiges Instrument für die Nutzung von Wasserstoff in der Industrie ist beispielsweise die Förderrichtlinie des BMU zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Investitionsprojekten mit dem Ziel der Treibhausgasneutralität im Industriesektor (Förderrichtlinie zur Dekarbonisierung in der Industrie).

Abbildung 5: Verteilung wasserstoffpolitischer Instrumente auf adressierte Anwendungsbereiche von Wasserstoff (N = 57; Doppelnennungen möglich)



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Diese **Dominanz von Verkehrsanwendungen** ist auf das starke Interesse des Verkehrsministeriums an Wasserstoff zurückzuführen, das bereits vor der Nationalen Wasserstoffstrategie bestand

(Interview 8). Insgesamt gab es z. B. bisher 35 Projektauftrufe von öffentlichen Förderprogrammen, die Wasserstoff betreffen. 22 Auftrufe davon wurden vom Ministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur veröffentlicht. Während das Verkehrsministerium auch die Einführung der Elektromobilität maßgeblich unterstützt, sieht es eine wichtige Rolle für Wasserstoff als Teil einer Umstellung des Verkehrssystems, einschließlich der Brennstoffzellentechnologie, aber auch der Herstellung von E-Kraftstoffen, z. B. durch Fischer-Tropsch-Synthese, die in schweren Nutzfahrzeugen, im Schienenverkehr, in der Schifffahrt und in der Luftfahrt eingesetzt werden könnten. In Anbetracht der Tatsache, dass in der wissenschaftlichen Fachliteratur ganz klar festgestellt wird, dass Wasserstoff eine Schlüsselrolle bei der Dekarbonisierung der Industrie spielen muss (insbesondere in Sektoren wie der Stahl- oder der chemischen Industrie) (siehe Clausen 2022 für einen Überblick), ist es etwas überraschend und eine wichtige Lücke, dass es nicht mehr Instrumente gibt, die die Verwendung von Wasserstoff in der Industrie direkt unterstützen. Die derzeit diskutierten Klimaschutzdifferenzverträge (CCfD) sind dabei ein mögliches Instrument, das die Industrienachfrage nach Wasserstoff stimulieren könnte (siehe 3.2.1).

Insgesamt zeigt die Analyse der Instrumente, dass der bestehende Policy-Mix zur Unterstützung der Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland sehr ausgewogen und zielgerichtet erscheint, was die Nutzung verschiedener Instrumententypen und die Adressierung der gesamten Wertschöpfungskette angeht. Gleichzeitig ergab die Analyse der unterstützten Anwendungsgebiete ein Übergewicht bei Anwendungen im Verkehrsbereich, was im Widerspruch zum erklärten Ziel des NWS zu stehen scheint, dass Wasserstoff in verschiedenen Sektoren zur Dekarbonisierung beitragen kann, inklusive dem Verkehrssektor, aber eben auch als Energiespeicher, in der Sektorenkopplung (Power-to-X), oder als Grundstoff in der Industrie.

3.1.3 Kohärenz der Ziele und Konsistenz der Instrumente

Die Analyse der Kohärenz politischer Ziele sowie der Konsistenz zu deren Erreichung herangezogener politischer Instrumente ist ein typischer Bestandteil der Analyse von Policy-Mixen (Howlett & Rayner, 2007; Kern et al., 2017). Häufig ändern sich Zielkonstellationen über die Zeit oder es kommen neue hinzu (Kern & Howlett, 2009). In der weiteren Ausgestaltung von Politik müssen frühere Konfigurationen von Zielen und Instrumenten entsprechend berücksichtigt werden (Schot & Steinmueller, 2018). Beschaffenheit und Zusammenspiel von Kohärenz (Ziele) und Konsistenz (Instrumente) werden im Folgenden dargestellt und mit Blick auf Verbesserungspotenziale analysiert.

Dass die **strategische Aufstellung Deutschlands auf Basis einer zentralen Strategie** notwendig war und ist, wird von vielen Akteuren betont. Eine mit einer internationalen Stiftung für Natur- und Umweltschutz assoziierte Person äußerte sich zudem positiv gegenüber der Entstehung der NWS und setzt die unterschiedlichen Ziele zueinander in Bezug:

„Es ist eine unglaubliche Chance und ich finde auch wahnsinnig toll, dass wir das von Anfang an mit begleiten dürfen. Eine komplett neue Industrie können wir jetzt von Anfang an so ausgestalten in der multikulturellen internationalen Diskussion, wie wir es am Ende erreichen wollen. Natürlich sind wirtschaftliche Interessen, entwicklungspolitische Interessen auch sehr, sehr wichtig, die Klimaziele aber eben auch.“ (Interview 3).

Den von uns interviewten Akteuren war sehr bewusst, dass die Energiepolitik vor dem Hintergrund des in der Ukraine herrschenden Krieges unter außergewöhnlichen Umständen agieren muss. Auch im Hinblick auf die derzeitige Überarbeitung der NWS ist die Tatsache bedeutend, dass insbesondere

das BMWK angesichts der Energiekrise „stark belastet ist sozusagen und [mit der] Kapazität da auch nicht so wirklich hinterherkommt“ (Interview 11). Gleichzeitig könnte der **Klimaschutz** Gefahr laufen, gegenüber dem Ziel der **Energiesicherheit** an Bedeutung zu verlieren. Die voranschreitende Klimakrise und die Notwendigkeit der Energiewende bleiben jedoch bestehen. Die Dekarbonisierung sämtlicher Wirtschaftssektoren gilt als übergeordnetes bundespolitisches Ziel, das auch den nationalen Markthochlauf für Wasserstoff begründet. Laut NWS soll die deutsche „Chemieindustrie, Stahlherstellung usw.“ weitestmöglich „in eine auf grünem Wasserstoff basierende Produktion überführt werden“ (Bundesregierung, 2020b, S. 6), um künftig auf fossile Energieträger verzichten zu können. Eine Balance zwischen unterschiedlichen Zielen, die sich kohärent in eine Gesamtstrategie einfügen, gehört zu den herausforderndsten Aufgaben der Bundesregierung, den benötigten Markthochlauf zu ermöglichen.

Abbildung 6: Übergeordnete politische Ziele im Zeitverlauf

2016: Regierungsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie	"die Spitzenposition Deutschlands im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie im globalen Wettbewerb zu halten." (S. 7)	
	"die Potenziale dieser Technologien für eine nachhaltige Energieversorgung zu nutzen und Synergien der Sektorkopplung zu ermöglichen." (S. 7)	
2020: Nationale Wasserstoffstrategie	"Internationale Märkte und Kooperationen für Wasserstoff etablieren [...] und hierdurch die Versorgungssicherheit stärken" (S. 8)	
	"Wasserstoff als Grundstoff für die Industrie nachhaltig machen" (S. 7)	
	"Wasserstoff [insbesondere in der Luftfahrt, Teilen des Schwerlastverkehrs, in mobilen Verteidigungssystemen und in der Seeschifffahrt] als alternativen Energieträger etablieren" (S. 6)	
	"Möglichkeiten schaffen, Wasserstoff als Dekarbonisierungsoption zu etablieren." (S. 3)	
	"Deutsche Wirtschaft stärken und weltweite Marktchancen für deutsche Unternehmen sichern"	
2021: Koalitionsvertrag	"bis 2030 Leitmarkt für Wasserstofftechnologien werden" (S. 26)	
	"europäische und internationale Klima- und Energiepartnerschaften für klimaneutralen Wasserstoff [...], um Leitmärkte zu schaffen." (S. 26)	
	"Wasserstoff sollte vorrangig in den Wirtschaftssektoren genutzt werden, in denen es nicht möglich ist, [...] durch eine direkte Elektrifizierung auf Treibhausgasneutralität umzustellen." (S. 26)	
2021: Klimaschutz Sofortprogramm	"Minderungsziele für die Jahre 2030 [...] sowie das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität bis 2045" (S. 1)	
2022: "Osterpaket"	"schaffen wir die Voraussetzungen für die Energiesicherheit und die Energiesouveränität Deutschlands. Zugleich legt es die Grundlagen dafür, dass Deutschland klimaneutral wird."	
<i>Energiewirtschaftliche Ziele</i>	<i>(Märkte, Sektorenkopplung und Industriepolitik)</i>	
<i>Globaler Technologiewettbewerb</i>	<i>(Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit)</i>	
<i>Klimaschutz</i>	<i>(Dekarbonisierung)</i>	
<i>Daseinsvorsorge</i>	<i>(Energiesicherheit, Preisstabilität)</i>	

Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Eine **Analyse fünf zentraler Dokumente** (BMVI et al., 2016; BMWi, 2020; Bundesregierung, 2021b; SPD et al., 2021; BMWK, 2022i) deutet an, dass die dort beschriebenen Ziele der Regierung bzw. der zuständigen Ministerien eine Fokusverschiebung erfahren haben (siehe Abbildung 6). Waren die Ziele des NIP II noch überwiegend auf energiewirtschaftliche Ziele und Konkurrenzfähigkeit im globalen Technologiewettbewerb ausgerichtet, traten 2020 mit der NWS Dekarbonisierungsziele stärker in den Vordergrund. Nachdem sich diese 2021 mit dem sogenannten Klimaschutz Sofortprogramm sowie den Koalitionsvereinbarungen der neuen Bundesregierung weiter festigten, wurde mit dem Energiesparfortmaßnahmenpaket (das sogenannte Osterpaket) von 2022 (BMWK, 2022i) neben dem Klimaschutz auch Energiesicherheit als Bestandteil fundamentaler Daseinsvorsorge stärker in den Blick genommen. Diese Zieldimensionen sind nach Einschätzungen verschiedener Stakeholder in einem Markthochlauf, der auf grünen Wasserstoff aus nationaler Produktion setzt, durchaus vereinbar (Interview 9). Die deutsche Energiesouveränität jedoch wäre in dem Maße begrenzt, in dem eine größere Menge Wasserstoff oder Grundstoffe importiert werden müssten, um die heimische Nachfrage zu decken.

Energiepolitische Strategien zur Erreichung von Versorgungssicherheit, Klimaschutz, Innovationsfähigkeit und die Umgestaltung des Energiesektors hinsichtlich Elektrolysekapazitäten, erneuerbarem Strom, Netzausbau, Sektorenkopplung, Lastflexibilisierung usw. können grundsätzlich sehr weitgehend in dieselben Kerben schlagen. Anders ausgedrückt

sind ein massiv beschleunigter Aus- und Umbau die Bedingung, um Dekarbonisierung und Versorgungssicherheit in den nächsten zwei bis acht Jahren zu gewährleisten (Bundestag, 2023). Als Nadelöhr könnte sich letztlich jedoch die Preisentwicklung erweisen, wenn die **Gesamtstrategie** nicht „effektiv durch Effizienz- und Suffizienz-Maßnahmen flankiert wird“ (Interview 10). So könnte durch Nachfragesenkungen Druck von den zeitkritischen Vorhaben ‚H₂-Markthochlauf‘ und ‚EE-Ausbau‘ genommen werden, was in den Worten eines Interviewpartners „diesen ganzen Umbau des Energiesystems halt viel, viel einfacher machen würde.“ (ebd.).

Auffällig ist das wenig kohärente Bild, das ein Abgleich der **Ziele verschiedener Ministerien** ergibt. Das ehemalige Bundesumweltministerium, welches sich für sparsamen Einsatz von Wasserstoff zu Gunsten mehr elektrifizierten Anwendungen stark machte (Interview 8), spielt heute auf Grund seiner veränderten Ressortstruktur (Wegfall der Verantwortung für Klimaschutz) eine untergeordnete Rolle (Interview 11). Nun sendet insbesondere das nun für Klimaschutz verantwortliche BMWK „klare Signale“ (Interview 5) aus, Wasserstoff sparsam einsetzen zu wollen, um die Versorgung technologisch alternativer Sektoren sicherzustellen. Dies ist ein einschneidender Kurswechsel gegenüber dem vorhergehenden BMWi, welches noch die Nutzung von Wasserstoff in Brennstoffzellenheizungen forcierte (BMW, 2021a) – eine aus heutiger Sicht sehr umstrittene Anwendung von Wasserstoff (vgl. Kapitel 4.2). Das BMBF scheint sich im Vergleich zum BMWK hinsichtlich zukünftiger H₂-Anwendungen offener und breiter zu positionieren (Interview 6). Bundesforschungsministerin Stark-Watzinger erwähnt neben dem Klimaschutz oft weitere Akzente und erachtet z. B. einen schnellen Markthochlauf als notwendig, um „unseren Wohlstand zu sichern“ (BMBF, 2022b) und „deutsche Wasserstofftechnologien zum Exportschlager zu machen“ (BMBF, 2023). Weiterhin betont sie mögliche Anwendungen im Straßenverkehr (BMBF, 2022a) und die Wichtigkeit von Wasserstoff für die „Dekarbonisierung des [...] Heizens.“ (BMBF, 2023). Das Forschungsministerium scheint somit ein Stück am Denken des BMWi sowie des ehemaligen BMVI festzuhalten, welches noch mindestens bis 2019 gezielt Fördergelder in öffentliche Wasserstofftankstellen investierte (BMVI, 2019a) und bis 2021 in Brennstoffzellen-PKW (BMVI, 2021a). Beide Anwendungen gelten aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht als äußerst fragwürdig (vgl. Kapitel 4.1).

Auf der Handlungsebene ziehen einige Stakeholder eine **gemischte Bilanz bzgl. der wahrgenommenen Zielorientierung** seitens der Politik. Hier zeigt sich eine Parallele mit Empfehlungen des Nationalen Wasserstoffrats, laut welchem die aktuelle NWS bislang keinen ausreichend kohärenten Rahmen für den angestrebten Markthochlauf inklusive stimmigem Förderregimen für neue Absatzmärkte vorsieht (Nationaler Wasserstoffrat, 2022c). An der deutschen Gesamtstrategie wurde von verschiedenen interviewten Stakeholdern bemängelt, dass Bestrebungen einzelner Ministerien schwach aufeinander abgestimmt seien. Demnach offenbare die momentane Ausgestaltung,

„dass es so ein paar gemeinsame Eckpunkte und Eckwerte und Zielbestimmungen gibt, die aber auf einem relativ allgemeinen Niveau verbleiben und dann ein, ja um es jetzt mal ein bisschen überspitzt negativ auszudrücken, ein Sammelsurium an Maßnahmen [bilden], das dann der Umsetzung dienen soll. Und das ist, brauchen wir nicht drum rumreden, jetzt auch nicht optimal aufeinander abgestimmt. Und es ist auch nicht so, dass es da einen total strukturierten Prozess gibt, der sicherstellt, dass sich das alles optimal aufeinander bezieht und es keine Überschneidungen zwischen den Ressorts gibt. Nein, da wird halt, am Ende des Tages ist es schon so, dass da dann relativ breit eingesammelt wird und jeder dann das macht, was er eh vorhatte und jetzt die Strategie dann mal besser rechtfertigen oder umsetzen kann. Also es ist sehr überspitzt, das kann man nicht ganz so extrem sagen, aber ein Stück weit ist es halt schon so.“
(Interview 11).

Die Person beschreibt nur bedingt konsistente Vorgehensweisen einzelner Ressorts, welche sich womöglich nicht optimal ergänzen. Für diese Wahrnehmung spricht auch die folgende Sichtweise aus einem direkt am Entstehungsprozess der NWS beteiligten Ministerium: Es gebe innerhalb der Regierung zwar „eine gemeinsame Wahrnehmung der Problemstellungen oder Herausforderungen [...], aber letztendlich ist diese **Ressortlogik** natürlich schon total prägend und da geht es um Zuständigkeiten, da geht es um Sichtbarkeit“ (Interview 11), etwa wenn eine Ressortleitung bewusst Konflikte eingehe, um sich politisch zu profilieren (ebd.). Zwar würde derzeit unter technischer Federführung des BMWK in vier weiteren Ministerien gleichberechtigt und gemeinsam an der Fortschreibung der NWS mitgearbeitet (BMBF, BMDV, BMU, BMZ). Letztendlich seien die Resultate jedoch häufig wenig konsistent:

„Das Entscheidende ist halt für die Ressortlogik, dass man am Ende des Tages eher getrennt Maßnahmen macht und sich bestenfalls ein bisschen grob darüber informiert. Im Bereich Forschung und Entwicklung habe ich es ein bisschen stärker im Blick als jetzt in anderen Bereichen und da ist es zunächst mal so, dass halt das BMWK und das BMBF die zwei großen Fördermittelgeber im Bereich Forschung und Entwicklung für Wasserstoff sind und das im Wesentlichen – das muss man so sagen – nebeneinander und ohne großes Bezug-aufeinander-Nehmen, machen. Da gibt es den kommunikativen Rahmen „Forschungsoffensive Wasserstofftechnologie 2030“ [...], aber das ist eigentlich nicht mehr als eine Überschrift, unter der die beiden Häuser dann jeweils das machen, was sie für richtig halten“ (Interview 11).

Trotz der beschriebenen Verbesserungspotenziale in der Arbeitsweise verschiedener Ressorts fallen hinsichtlich der identifizierten Instrumente im deutschen Wasserstoff-Policy Mix (siehe auch 3.1.2) **keine gravierenden Inkonsistenzen** auf. Eine profunde Analyse der Schwerpunktsetzung anhand der

Volumina verschiedener Förderinstrumente war auf Grund der Datenlage nicht möglich. Teilweise wurden selbst auf Anfrage bei zuständigen Ministerien und Projektträgerorganisationen keine bzw. widersprüchliche Angaben übermittelt. Die Nachfrageseite wird ausgewogen und konsistent adressiert (Förderaufrufe für Brennstoffzellen-PKW sind mittlerweile abgelaufen). Die politische Stärkung der Angebotsseite hängt in hohem Maße von Instrumenten für die Importförderung ab (z.B. ‚H2Global‘, siehe 3.1.1), welche derzeit weiterentwickelt wird. Laut NWS wird in Deutschland „in erheblichen Umfang“ (BMW, 2020, S. 8), ja sogar der „überwiegende Teil“ (ebd., S. 5) des benötigten Wasserstoffs importiert werden müssen. Die Gasindustrie geht von einem Anteil von etwa 80 % (GASAG, 2023) bis hin zu 90 % aus (Clausen, 2022, S. 46). Auch wenn bis 2030 keine nennenswerten Importmengen (über 1 TWh/a) zu erwarten sind, wird mittelfristig ein starker Anstieg erwartet (ebd., S. 28). Um ihn zu realisieren, sind Energiepartnerschaften und Abnahmeverträge notwendig, die somit einen zentralen Bestandteil der deutschen Strategie darstellen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die verfolgten Ziele der deutschen Wasserstoffpolitik stabil sind, sich ihre Priorisierung jedoch in den letzten fünf Jahren deutlich verlagert hat. Schnell aufeinanderfolgende Umbrüche sind 2020 (NWS), 2021 (Regierungswechsel) und 2022 (Energiekrise) zu erkennen. Die Dekarbonisierung aller Sektoren, die Sicherung der deutschen Energieversorgung sowie die Behauptung im internationalen Industrie- und Technologiewettbewerb scheinen sich bei angemessener Ausgestaltung des gesamten Policy-Mix miteinander vereinbaren zu lassen. Bisher implementierte Instrumente dienen zunehmend dem Klimaschutz und der Energiesicherheit in Deutschland. Das Handeln jener Ministerien, die in der Verantwortung stehen, gemeinsame Positionierungen und Strategien zu entwickeln, ist jedoch offenbar nicht optimal aufeinander abgestimmt. Der Entwurf eines kohärenten Zielbildes und einen entsprechenden Policy-Mix wird durch divergierende Überzeugungen und Maßnahmen nicht leichter fallen. Dies nehmen auch zentrale Wasserstoff-Stakeholder wahr. Der aktuell wirksame Mix an Politikinstrumenten ist jedoch in sich konsistent.

3.1.4 Glaubwürdigkeit und mögliche Lücken (Policy Gaps)

Aus der Kohärenz politischer Ziele und der Konsistenz der zu ihrer Erreichung eingesetzten Politikinstrumente (existierende sowie fehlende) lässt sich die übergeordnete Glaubwürdigkeit des Policy-Mix als weitere analytische Kategorie ableiten (Rogge & Reichardt, 2016). Nur wenn die vorherrschende Konfiguration in sich hinreichend kohärent und konsistent ist, wirkt sie auf ihre Zielgruppe plausibel und verlässlich und somit glaubwürdig (Rogge & Dütschke, 2018). Wie oben definiert, verstehen wir Glaubwürdigkeit als das **allgemeine ‚Signal‘, das der Policy-Mix an die Zielgruppen sendet**: also zum Beispiel, ob der Einsatz der Regierung für Wasserstoff und die Unterstützung des Hochlaufs einer Wasserstoffwirtschaft von zentralen Stakeholdern als zuverlässig eingestuft wird. Ein wichtiger Faktor der Glaubwürdigkeit eines Policy-Mix ist, ob der Mix wichtige ‚Lücken‘ (Policy Gaps) aufweist. In der Policy-Mix-Literatur gibt es verschiedene Artikel, die darauf hinweisen, wie wichtig es ist, dass der eingesetzte Policy-Mix weitreichend (comprehensive) ist, also alle notwendigen Aspekte abdeckt (z.B. Rosenow et al., 2017; Milios, 2018). Fehlen wichtige Elemente, kann sich das nachteilig auf die Zielerreichung auswirken. Die Glaubwürdigkeit sowie etwaige Lücken im Sinne von blinden Flecken des deutschen Wasserstoff-Policy-Mix werden im Folgenden analysiert.

Die Glaubwürdigkeit des deutschen Policy-Mix für Wasserstoff kann durch ehrgeizige, aber realistische Ziele gestärkt werden. Stakeholder aus Forschung, Wirtschaft und Politik bescheinigen der Bundesregierung **bemerkenswerte Ambitionen** hinsichtlich der Förderung von Wasserstoff generell und als Mittel zur Dekarbonisierung. So findet etwa ein Vertreter der Forschung es „grundsätzlich gut,

dass es ein Strategiepapier [die NWS] gibt, was sich auch eine Bundesregierung dann auf die Fahnen geschrieben hat.“ (Interview 1). Auch aus einem Wirtschaftsverband ist zu hören, dass damit „das Thema Wasserstoff jetzt auch entsprechend adressiert ist“ (Interview 2). Es sei prinzipiell „sehr positiv, was in den letzten, sagen wir mal, zwei Jahren ungefähr auf den Weg gebracht wurde.“ (ebd.). Auch seitens der Energiewirtschaft wurde „die Entwicklung der nationalen Wasserstoffstrategie sehr begrüßt.“ (Interview 4). Aus einem an der Entstehung beteiligten Ministerium heißt es: „Erst mal ist es nicht schlecht, dass es diese nationale Wasserstoffstrategie gibt“ (Interview 11). Das folgende Zitat zeigt exemplarisch eine Stakeholder-übergreifend häufig auftretende Wahrnehmung aktueller klimapolitischer Ziele und Strategien:

„Ich nehme das so wahr, dass die Ziele auf jeden Fall da sind und ich würde auch sagen, dass im Vergleich zu anderen Ländern, die auch das Ziel der Klimaneutralität haben, die Bestrebungen durchaus ernst zu nehmen sind und ich davon ausgehe, dass tatsächlich auf das Ziel hingewirkt wird.“ (Interview 15).

Die aktuelle Bundesregierung mache dies „gut und konsequent“ (Interview 14), so dass in der Energiepolitik „auf jeden Fall sehr viel mehr Bewegung drinnen ist als noch bei der Vorgängerregierung.“ (Interview 15). Wasserstoffbezogene Politik wird dabei eindeutig als Teil übergeordneter klimapolitischer Bestrebungen wahrgenommen, auch wenn es durchaus weitere politische Ziele gibt, die parallel verfolgt werden (siehe auch 3.1.3).

Die NWS nennt verschiedene Politikinstrumente, die der Sicherstellung ausreichend **hoher Wasserstoffmengen aus Importen** dienen sollen. Zu nennen sind hier die Integration von Wasserstoff in internationale Energiepartnerschaften, Unterstützung für Exportländer in der Kompetenzentwicklung und Berufsausbildung, die Gründung einer europäischen Wasserstoffgesellschaft für gemeinsame Produktionskapazitäten sowie die Erstellung eines Potenzialatlas Wasserstoff zur Erfassung von Produktions- und Exportbedingungen im internationalen Ausland. Bis auf das letztgenannte Instrument war zum Zeitpunkt der Policy-Mix-Analyse jedoch noch keine dieser Maßnahmen umgesetzt. Der im Koalitionsvertrag angekündigte Einsatz der Ampel-Regierung für die „Gründung einer Europäischen Union für grünen Wasserstoff“ (SPD et al., 2021, S. 26) ist noch nicht erfolgt. Messbare Bemühungen finden sich in einer Aufstockung von H2Global im Rahmen des Klimaschutz Sofortprogramms um 15 Mio. EUR für 2022 (Bundesregierung, 2021b). Im darauf folgenden Jahr verkündeten die Energieministerien Belgiens, Dänemarks, Deutschlands und der Niederlande die Planung gemeinsamer Produktionskapazitäten von insgesamt ca. 20 GW in der Nordseeregion bis 2030 (BMWK, 2022h). Es ist jedoch nicht ersichtlich, wie viel des erzeugten Wasserstoffs für die Nutzung in Deutschland bestimmt sein soll.

Die **zu langsame Geschwindigkeit beim EE-Ausbau** in Deutschland im Vergleich zu den Ambitionen hinsichtlich der installierten Gesamtleistung für grünen Wasserstoff schränkt die Glaubwürdigkeit der deutschen NWS jedoch deutlich ein. Die Formulierung der NWS war somit an sich ein richtiger und notwendiger Schritt, um den Markthochlauf zu gestalten und überhaupt erst zu ermöglichen. Gleichzeitig kann sie nicht ohne adäquate (und rechtzeitige) Maßnahmen für ein ausreichendes Angebot an erneuerbarem Strom realisiert werden (Interviews 3, 4, 5, 9, 12). Diese wichtige Prämisse für einen grünen Wasserstoffmarkthochlauf schlägt sich sowohl legislativ als auch in der politischen Kommunikation offenbar nicht ausreichend nieder. Angesichts dessen ist „eine Sache, die natürlich total fehlt [...] der **Erneuerbare-Energien-Ausbau**. Also, das ist so ein Punkt, den man gar nicht genug betonen kann.“ (Interview 5). Eine andere Person formuliert es so:

„Insbesondere fehlt mir aber noch ein bisschen die Verknüpfung – das ist schon allen bewusst, aber die absolute Voraussetzung für Wasserstoff ist der Ausbau der erneuerbaren Energien. Und ich glaube, das könnte eigentlich noch ein bisschen mehr zum Tragen kommen. Es werden alle möglichen Expertengremien gerade aufgebaut zum Thema Wasserstoff, das ist auch gut und richtig so, aber es müsste mindestens genau die gleiche Stärke an Personen und Expertise geben, wenn es um den Ausbau von erneuerbaren Energien geht.“ (Interview 3).

Hier besteht offenbar eine besonders große Leerstelle, die die Glaubwürdigkeit einschränkt. Stakeholder aus allen befragten Akteursgruppen haben diesen Umstand betont (ohne explizit danach gefragt worden zu sein). Hier besteht ein handfestes Risiko, die Realisierung eines zügigen und klimaverträglichen Markthochlaufs zu stemmen: „Also, dass nicht genug getan wird, um [den] EE-Ausbau zu beschleunigen, sehe ich als größte Gefahr an“ (Interview 9). Auch die Energiewirtschaft vermisst beim Zubau erneuerbarer Energien ausreichende Stringenz und Dynamik. Obwohl die Klimaneutralität bis 2045 politisch beschlossen ist, ginge es in der Umsetzung abgesehen von immer mehr Zwischenzielen „nicht so richtig voran. Wo sind denn die Hochspannungsleitungen? Wo sind denn die Kapazitäten?“ (Interview 12). Für die Beschleunigung des Ausbaus fehlen weiterhin „rechtliche Anpassungen von Planungs- und Genehmigungsverfahren“ (Interview 4). Für eine darauf aufzubauende grüne Wasserstoffwirtschaft sind quantitativ festgelegte Elektrolysekapazitäten glasklar erkennbar. Dem Stand der Technik entsprechend muss der Weg dorthin über einen massiven Zubau erneuerbarer Stromerzeugung führen – doch „wie dieser Weg erreicht werden soll, ist [...] nicht ganz klar kommuniziert.“ (Interview 4).

Diese Lücke soll einerseits durch den **ambitionierten Importanteil an Wasserstoff** (und seinen Derivaten) geschlossen werden. Andererseits wird sie in der politischen Debatte zuweilen **mit Scheinargumenten** für Elektrolyse in Deutschland adressiert. Sowohl aus der Wissenschaft als von einem Branchenverband wurde ein diesbezüglich geläufiges Narrativ aufgegriffen, demzufolge Elektrolyseure (teilweise) Angebotsspitzen aus dem Stromnetz auffangen könnten, um damit grünen Wasserstoff zu produzieren. Doch

„was dem Argument einfach fehlt, sind quasi Mengenangaben. Was ist eigentlich der Bedarf? Und was erzeugen wir über diesen Überschussstrom? Und da wird man feststellen, da sind Größenordnungen Unterschiede.“ (Interview 6).

Dass der somit zugleich netzregelnde Ansatz einer gewissen theoretischen Logik nicht entbehrt, sorgt dafür, dass das Argument immer wieder verfängt. Angesichts der erwähnten Unterschiede zwischen vorhandenem Überschussstrom und angestrebten Elektrolysekapazitäten ist es in der Praxis jedoch kaum hilfreich, um nicht zu sagen „absoluter Käse“ (Interview 12).

Die Palette an Elementen, die im deutschen Policy-Mix vermisst werden (Policy Gaps), ist breit und betrifft sehr unterschiedliche Ebenen und Gegenstandsbereiche. Ein zentrales Hindernis für Akteure ist die Unsicherheit bezüglich verschiedener als notwendig gesehener Definitionen. Bezüglich neuer LNG-Terminals etwa stellt sich die Frage, **was ‚H₂-ready‘ konkret bedeutet** – genauer, was eine spätere Umstellung auf Wasserstoff kosten darf (Interview 3). Für die energetische Bewertung von Fernwärmeversorgungskonzepten fehlt bislang ein gültiger Primärenergiefaktor für Kraftwärmekopplung mit Wasserstoff (Interview 6). Auch die Anrechnung von Wasserstoff auf die THG-Minderungsquote im Verkehr sei theoretisch möglich, scheitert jedoch praktisch an der fehlenden Definition (ebd.). Zudem sind auch aus **sozial-ökologischer** Sicht die gesetzlichen Anforderungen an eine nachhaltige

Wasserstoffversorgung noch nicht hinreichend geklärt (Interview 3). Eine interviewte Person bemerkte hierzu:

„Uns fehlt sowohl eine klare Definition von grünem Wasserstoff als auch was ich jetzt vielleicht spontan beschreiben würde als „grüner sozialer Wasserstoff“ – einfach, dass wir Teilhabe und soziale Ausgestaltung mehr in den Vordergrund stellen, weil, die Energiewende wird nicht so funktionieren wie das alte Energiesystem.“ (Interview 10).

Ein Energiewirtschaftsverband verweist auf Unternehmen, die bereits LOHC-Wasserstoffspeicher nutzen, ohne dass diese Technik in der bestehenden Regulierung vorkäme (Interview 4). Die **Automobilwirtschaft** äußert Bedarf nach einem Emissionshandelssystem für den Verkehr (Interview 12). Im Sinne des regulativen Rahmens der Energiewirtschaft gibt es eine inhärent „sehr fragmentierte Gesetzeslage, die an unterschiedlichen Stellen verschiedene Dinge dieses sehr komplexen System Energie im Prinzip regelt.“ (Interview 8). Überall dort, wo bereits reguliert wird, müsse **Wasserstoff nun nachträglich in Gesetzestexte einfließen**. Dies sei „die Herausforderung, dass es jetzt da reindifizieren muss“ (ebd.). Eine Person aus der Forschung merkte an, dass sich einige **mittelständische Unternehmen** durch eine politische **Fokussierung auf Großprojekte und zentrale Infrastrukturen** bereits „ein Stückchen weit abgehängt fühlen von der ganzen Wasserstoffdebatte“ (Interview 1).

Die räumliche Anordnung von Produktionskapazitäten und damit auch Implikationen für die Ausgestaltung der **Transportinfrastruktur** ist noch weitgehend unklar. Ohne einen politischen Plan, der Wege des Wasserstoffs von seinen Produktionsstätten zu seinen Nutzungsorten hinreichend klar absteckt, ist die Entstehung einer solchen Infrastruktur praktisch kaum denkbar. Ein zeitnahe und zügiger Auf- und Ausbau wird auch seitens des Nationalen Wasserstoffrats gefordert (Nationaler Wasserstoffrat, 2022c). Hier sind wegweisende politische Entscheidungen nötig, um die derzeit als sehr hoch eingeschätzten privatwirtschaftlichen Investitionsrisiken zu mindern. Allein die Frage nach der Zuständigkeit für den Aufbau steht ungelöst im Raum, so dass hier „noch einiges zu tun [ist], von Seiten der Bundesregierung.“ (Interview 1):

„Den Bottleneck sehe ich tatsächlich, na ja, nur auf der regulatorischen, der ordnungsrechtlichen Ebene: Wie kriegen wir jetzt so ein Netz wirklich aufgebaut?“ (Interview 1).

Wie auch in den Interviews thematisiert wurde, hängen Aufbau und Betrieb weitläufiger Wasserstoffnetze als Teile eines natürlichen Monopols grundlegend davon ab, dass sie mit Hilfe staatlicher Initiative organisiert werden (Interview 1, 3, 9, 10). Mit so genannten **Differenzverträgen** steht im Zusammenhang mit dem Infrastrukturaufbau ein konkretes Instrument zur Verfügung, das Marktrisiken mit Hilfe staatlicher Garantien dämpfen und die Hochlaufphase einer neuen deutschen Wasserstoffwirtschaft erheblich unterstützen könnte. Aus Sicht des Klimaschutzes ist das „eine gute Sache. Das wird funktionieren und schafft einfach diesen steilen Hochlauf, den wir brauchen.“ (Interview 10). Bislang wird es jedoch nicht ausreichend genutzt. Auch europapolitisch solle dahingehend mehr getan werden (Interview 8), doch insbesondere in Deutschland

„werden jetzt eben solche Rufe laut, dass es langfristige Abnahmeverträge bräuchte oder also irgendwelche langfristigen Arrangements und dass hier auch der Staat eine Rolle haben muss. Und je länger man das dreht und wendet, desto plausibler finde ich das eigentlich, dass das angemessen ist, dass der

Staat da so als Versicherung, sage ich mal, in irgendeiner Form auftritt, weil, sonst kann das eigentlich halt keiner tun.“ (Interview 9).

Das BMWK hat im Dezember 2022 angekündigt, der Zement-, Chemie- und Stahlindustrie entsprechende Garantien und Zuschüsse mit sogenannten Klimaschutzverträgen über 15 Jahre hinweg zuzusichern (WiWo, 2022). Der Entwurf einer entsprechenden Förderrichtlinie (BMWK, 2022c), welcher der Europäischen Kommission vorliegt, stellt eine in der EU genehmigungspflichtige Beihilfe dar. Der wissenschaftliche Beirat des BMWK legt jedoch nahe, dass derartige Verträge „nur in eng begrenztem Umfang für den Einstieg in klimaneutrale Produktion genutzt werden sollten.“ (BMWK, 2023b: 1). Er spricht sich auf Grundlage eines vergleichenden Gutachtens dafür aus, neben Differenzverträgen die **Etablierung grüner Leitmärkte** stärker zu betonen, um das Risiko ineffizienter Überbezuschussungen zu mindern und den Wettbewerb zu fördern (ebd.). Die Bundesregierung erarbeitet hierzu momentan ein Konzept, um einerseits private, insbesondere aber öffentliche Beschaffungsaufträge mit Mindestquoten für grünen Stahl zu bedenken, etwa beim Bau von Brücken und Gebäuden oder der Beschaffung von Zügen (Hanke, 2023). Somit könnte die Nachfrage nach grünem Wasserstoff effizienter und flexibler angegangen werden. Angesichts der bislang relativ geringen Zahl an Förderinstrumenten, die auf industrielle Wasserstoffanwendungen abzielen (siehe 3.1.2), könnte weitere Unterstützung für die Industrie – sei es durch Differenzverträge oder über Leitmärkte – eine förderpolitische Lücke schließen.

Um einen zügigen Markthochlauf zu erreichen, sind Entscheidungen dringend erforderlich, denn „Infrastrukturaufbau ist eben nichts, was man mal schnell in einem halben Jahr macht“ (Interview 2) und solange weder auf EU-Ebene noch in Deutschland verlässliche Regeln festgelegt wurden, „wird halt auch keiner Milliarden in irgendein Wasserstoffnetz reinstecken.“ (ebd.). Planungs- und Genehmigungsprozesse sowie regulatorische Maßnahmen könnten sich einem Instrumentarium ähnlich der **kommunalen Wärmeplanung** bedienen (Interviews 1, 6, 7, 9, 14, 15). Hierbei würden Wasserstoffbedarfe zunächst systematisch erfasst, um darauf aufbauend eine Netzinfrastruktur zu planen. Selbst für die Haupttransportadern zu besonders großen Abnahmestellen liegt jedoch bislang kein ordnungsrechtlicher Rahmen vor. Gleichzeitig meldet die Gaswirtschaft bereits Bedarf nach einer anschließenden Weiterentwicklung vom großmaßstäblichen Transport zur detaillierteren Verteilungsnetzwerken an (Interview 2).

Kommunale Wärmepläne, die den theoretischen Bedarf an Wasserstoff erfassen, können jedoch in eine Sackgasse führen: „Wenn jetzt alle Kommunen da diese Wärmewende-Strategien darauf ausrichten, dass langfristig grüner Wasserstoff zur Verfügung steht, dann wird es eben auch nicht funktionieren.“ (Interview 6). Vielmehr sollen sie zunächst genügend Transparenz schaffen, um eine großräumige Wärmeversorgung überhaupt erst effektiv planbar zu machen. Die erwartete Wasserstoff-Angebotsknappheit wird sich dadurch kaum auflösen lassen, jedoch könnten die Preise für Wasserstoff schnell ansteigen, wenn die Nachfrage im Wärmemarkt stark anwüchse. Da Heizungssysteme praktisch kaum flexibel austauschbar sind, bestünde eine preisunelastische Nachfrage (zusätzlich zu den gänzlich unflexiblen Industrieanwendungen), die zu hohen Gesamtkosten führen könnte.

Teilweise steht die aktuelle **Netzregulierung** für Gas und Strom einer grundsätzlichen Neuordnung im Wege. Laut einem Stakeholder aus der Energieforschung impliziert die Gesetzeslage in ihrer aktuellen Form, dass betreffende Infrastrukturen „für die Unendlichkeit gemacht sind. [...] Stilllegung und Rückbau kommt da gar nicht vor.“ (Interview 6). Demgegenüber stehen Erkenntnisse der Forschung zu Nachhaltigkeitstransformationen, dass der Ausstieg aus der Nutzung bestimmter Technologien oder Infrastrukturen einen wichtigen Beitrag zu einer schnellen Transformation leisten kann (Kivimaa

& Kern, 2016; Heyen et al., 2017; Rogge & Johnstone, 2017). Bisher beispielsweise geht der Besitz eines Gebäudes mit einem gesetzlichen Anspruch auf einen Gasnetzanschluss einher. Angesichts des Ziels eines weitgehenden Wärmepumpen-Rollouts (Tagesschau, 2022c), stünde dieser Anspruch der Effizienz entgegen. Eine zentrale Forderung der Energie- und Gasbranche wiederum ist – entgegen bisheriger Bestrebungen der EU – ein gemeinsamer Regulierungsrahmen für sowohl Erdgas- als auch Wasserstoffnetze (Interview 4, Interview 7). Somit hätten Erdgasnetzbetreibende die Möglichkeit, ihre Infrastruktur „Wasserstoff-ready“ weiterzuentwickeln“ (Interview 7) – ein potenziell kostenintensives Vorhaben (siehe 3.2.1). Beide angeführten Stoßrichtungen zielen auf wichtige Aspekte der Netzregulierung. Erstere fordert Ausnahmen vom allumfassenden Gasnetz, um dort Ressourcenbindungen aufzuheben, wo direktelektrische Wärmeversorgung funktioniert und ausreicht. Letztere tendiert zur Erhaltung weitläufiger Verteilnetze für eine etwaige Umnutzung, wirken jedoch vor dem Hintergrund eines mittelfristig erwartbar knappen Wasserstoffangebots (Clausen, 2022) sowohl ökonomisch wenig sinnvoll als auch riskant für das Erreichen von Emissionsreduktionszielen, da für fossile Energieversorgung ein infrastrukturelles Hintertürchen geöffnet bleibt. Viele der Fragen zum Umgang mit heutigen Gasnetzen sind grundsätzlicher Natur und somit hochrelevant. Auf politischer Ebene „versucht man sich noch so ein bisschen drum zu drücken, um diese harten Entscheidungen, aber sie stehen im Raum.“ (Interview 11).

3.1.5 Andere relevante Politiken (Bottom-up-Mapping)

Die Policy-Mix-Analyse in Unterkapiteln 3.1.1-3.1.4 bezieht sich auf ein Top-down Mapping (für nähere Erläuterungen siehe Kapitel 2) ausgehend von der deutschen Wasserstoffstrategie sowie folgenden Politikentwicklungen, die dazu gedacht sind, die Entstehung einer Wasserstoffwirtschaft zu fördern. Gleichzeitig bezieht sich diese systematische Analyse nur auf Politikinstrumente und Ziele der Bundesebene, und vernachlässigt daher Politikaktivitäten auf EU-, Länder- oder lokaler Ebene. Die Stakeholder-Interviews ergänzen diese Analyse mit einer Bottom-up Perspektive auf Politikinstrumente außerhalb des oben analysierten Policy-Mix, die die Akteure als wichtig erachten und die aus ihrer Sicht die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft beeinflussen können (positiv oder negativ). Unsere Bottom-up Analyse ergab, dass insbesondere zwei Politikprozesse auf EU-Ebene als zentral für die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland gesehen werden:

- ▶ RED II und die Definition von grünem Wasserstoff (Interviews 2, 3, 5, 8, 10),
- ▶ Die Notifizierung der deutschen IPCEI Projekte durch die Europäische Kommission (Interviews 2, 8).

RED II und die Definition von grünem Wasserstoff

Besonders prominente Regulierungslücken, die aus Sicht der interviewten Stakeholder zeitnah geschlossen werden müssten, betreffen meist **technische Definitionen**, die eine klare Orientierung für alle Beteiligten gewährleisten sollen. Besonders drängend ist für viele Beteiligte die Frage, was als grüner Wasserstoff deklariert werden darf und was nicht:

„Man kann sich das gar nicht so richtig vorstellen, also wie kleinteilig das dann werden kann, dass die [Definition] fehlt. Aber die Unternehmen wissen eben nicht, ob das, was sie da machen als Projekt später grüner Wasserstoff sein wird. Und alles, was nicht grün ist, ist im Moment grau, sozusagen und damit wertlos.“ (Interview 4).

Nach Aussagen in den Interviews und Beobachtungen von Teilnehmenden einer großen Wasserstoffveranstaltung ist ein Hauptproblem, das Investitionen in grünen Wasserstoff behindert, das **Fehlen einer rechtlichen Definition von grünem Wasserstoff** (z. B. Interviews 2, 3, 5, 8, 10). Auch der Nationale Wasserstoffrat rät dringend zu einem einheitlichen Zertifizierungssystem (Nationaler Wasserstoffrat, 2022c). Sein Fehlen ist ein erhebliches Hindernis, da eine solche Regelung erforderlich ist, damit grüner Wasserstoff als ein aus erneuerbaren Energien gewonnener Energieträger betrachtet werden kann, was eine Anrechnung auf die nationalen Ziele für den Anteil von Energie, der aus erneuerbaren Quellen gewonnen wurde, ermöglichen würde. Das Fehlen dieser Definition wird als Problem für die Investitionssicherheit gesehen (Interview 3). Ihre Entwicklung und ein darauf aufbauendes Zertifizierungssystem ist nach breiter Auffassung Aufgabe der EU und wird dort auch für Deutschland „den Kernpunkt der notwendigen Prozesse bilden müssen“ (Nationaler Wasserstoffrat, 2022b, S. 2). Dieses Projekt gilt als „hoch zeitkritisch“ (ebd.).

Die Europäische Kommission hat am 20. Mai 2022 einen **ersten Entwurf für einen delegierten Rechtsakt zur Definition und Zertifizierung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie** (RED II, (EU) 2018/2001)) für gasförmige und flüssige Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs wie erneuerbaren Wasserstoff vorgelegt. Der Entwurf sieht vier Möglichkeiten für die Erzeugung von grünem Wasserstoff vor, wobei jeweils sichergestellt werden soll, dass der für die Wasserstoffherzeugung genutzte Strom aus erneuerbaren Energien ausschließlich und zusätzlich für diesen Zweck erzeugt wird (**Zusätzlichkeit**) und dass die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien und die Elektrolyse in hohem Maße zeitgleich erfolgen (**Gleichzeitigkeit**). Dieser erste Entwurf befand sich bis Juni 2022 in Konsultation mit Interessengruppen und enthielt aus Sicht der Industrie sehr strenge Regeln sowohl in Bezug auf Zusätzlichkeit als auch Gleichzeitigkeit und erzeugte daher einen Aufschrei der Wasserstoffindustrie (Schneider, 2022). Akteure aus der Industrie argumentieren, dass sehr strenge Vorschriften keine Investitionen in Elektrolyseure ermöglichen würden: „Ja, was die EU jetzt bisher an Anforderungen für Betrieb von Elektrolyseuren gestellt hat, da werden sicherlich keine gebaut werden. Also das ist klar, wenn ich dann noch im Millisekundenbereich nachweisen muss, dass der Strom auch grün ist und so weiter. Das wird so nicht passieren“ (Interview 2).

Eine Befassung des Europäischen Parlaments mit der RED II führte dann zu Änderungen, was von einigen Akteuren kritisch als „Aufweichung“ der Kriterien gesehen wurde:

„Was bis zur letzten Woche eigentlich recht gut aussah, wurde jetzt gerade vom Parlament leider wieder ein bisschen gekippt. Also das heißt, gerade das Zusätzlichkeitskriterium und aber auch die Übergangsfristen wurden noch mal aufgeweicht und geändert. Die Übergangszeit ist jetzt noch länger, also bis Ende der 20er-Jahre, bis strengere Kriterien dann greifen sollen. Aber auch die strengeren Kriterien zur Zusätzlichkeit, also zur Gleichzeitigkeit und Zusätzlichkeit sind noch mal aufgeweicht worden.“ (Interview 3).

Am 13.02.2023 verabschiedete die Kommission den entsprechenden delegierten Rechtsakt, der daraufhin nun dem Europäischen Parlament und dem Europäischen Rat für eine Zustimmung vorgelegt wurde. Das endgültige Ergebnis dieses laufenden Politikprozesses ist noch nicht bekannt und von daher untergräbt die fehlende Definition weiterhin die Investitionssicherheit in Produktionsanlagen oder Lieferverträge von grünem Wasserstoff.

IPCEI

Ein weiteres zentrales Hindernis für den Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland ist laut einigen Interviewpartnerinnen und -partnern die Verzögerung der Notifizierung der deutschen IPCEI Projekte. Die meisten IPCEI-Projekte, die bereits vor Jahren entwickelt wurden und mit 8 Mrd. EUR staatlicher Unterstützung gefördert werden sollen, wurden **noch nicht von der Europäischen Kommission genehmigt**. Erste Genehmigungen erfolgten im Juli 2022 (BMWK, 2022d). Sie umfassen vier deutsche Projekte, im Oktober 2022 folgten zwei weitere (BMWK, 2022e). Andere Großvorhaben mit deutscher Beteiligung warten weiterhin auf einen Startschuss aus Brüssel. Insgesamt sind 62 Projekte vorbereitet (BMWK, 2023a). Sie würden eine Elektrolysekapazität von mehr als 2 GW zur Erzeugung von Wasserstoff entwickeln, darunter innovative Projekte in der Chemie- und Stahlindustrie sowie Infrastruktur- und Mobilitätsprojekte.

In unseren Interviews wurde die Idee, dieses besondere Finanzierungsformat zu nutzen, als der richtige Weg gelobt, um das Interesse an Wasserstoff zu wecken und Investitionen anzustoßen und so den Übergang zu einer Wasserstoffwirtschaft in Gang zu bringen (Interview 8). Die sich verzögernde Notifizierung ist problematisch aus verschiedenen Gründen: Erstens wurde dieses Instrument als positives Startsignal der Politik für den Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft gesehen, welches auch Firmen-intern dabei helfen kann, Investitionsentscheidungen pro Wasserstoff zu treffen. Der sehr hohe Förderansatz reduziert deutlich das Investitionsrisiko für diese Projekte (Interview 8). Zweitens wird argumentiert, dass der fehlende „Startschuss“ auch zu weiteren Verzögerungen der Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft führen wird:

„Das war schon ein guter Schritt, dass man das gemacht hat. Aber wir haben jetzt – ewig warten wir darauf, dass diese IPCEI-Thematik eine Notifizierung kriegt, dass wir starten können, weil wir jetzt schon sehen, dass wir hinter dem IPCEI [Projekt] ganz viele Fragestellungen haben, die wir eigentlich sofort adressieren müssten. Also die nächsten Schritte, zwei, drei und vier. [...] Da muss ich sowas klären wie, wie sind die Druckniveaus. Da muss ich das abstimmen mit den Leitungsbetreibern. Wo speist ihr eigentlich genau ein, wo speisen die eigentlich genau aus? Wie ist das eigentlich reguliert? Was für Netzentgelte müssen wir – sind wir eigentlich wirklich befreit oder nicht?“ (Interview 8).

Ein Beispiel für sich erst aus der Umsetzung von Projekten ergebende Fragen sind die vertraglichen Regelungen zwischen dem Betreiber der Elektrolyse-Anlage und TenneT, einem regulierten Netzbetreiber in Deutschland, wo im Moment völlig unklar ist wie ein solcher Vertrag aussehen könnte (ebd).

Ein möglicher dritter Effekt der Verzögerung der Projekte ist die Auswirkung auf die Konkurrenzsituation grüner versus blauer Wasserstoff. Ein betroffenes Unternehmen, das einen Elektrolyseur mit Hilfe der IPCEI Finanzierung bauen wollte, ist besorgt, dass diese Verzögerung beim Aufbau von grünen Wasserstoffproduktionskapazitäten zu einer Hinwendung zu blauem Wasserstoff führen könnte:

„IPCEI und unser Projekt, was wir hier machen wollen, das ist drei Jahre alt. Das würde reinen grünen Wasserstoff produzieren. Ich muss mir seit drei Jahren anhören: "Wir brauchen doch blau, weil ihr ja viel zu spät kommt", warte aber drei Jahre drauf, dass ich endlich anfangen darf. Also ich darf nicht anfangen und muss mir parallel anhören: "Ja, ihr kommt ja sowieso viel zu spät". Also das ist ja im Grunde ein selbst herbeigeführter Engpass und je länger ich dieses

Spiel spiele, desto schwerer ist es zu sagen: "Wir machen dieses grüne." (Interview 8).

Während die deutsche Wasserstoffpolitik, auch im Kontext der IPCEI Projekte, also als sehr unterstützend wahrgenommen wird, sei bei der Kommission „offensichtlich diese Haltung noch nicht so richtig da“ (Interview 8). Nachdem nun die ersten beiden IPCEI Projekte notifiziert wurden, ist die Kritik trotzdem, „das dauert halt alles viel zu lange.“ (Interview 2).

Insgesamt hat sich die EU aus Sicht einiger Interessengruppen aus der Industrie etwas zu spät dem Thema Wasserstoff angenommen, hat aber jetzt begonnen, eine deutlich aktivere Rolle zu übernehmen (Interview 8). Einige Beteiligte befürworten eine **stärker koordinierende Rolle der EU** bei der Entwicklung einer europäischen Vision und Infrastrukturplanung anstelle der derzeit relativ von unten nach oben verlaufenden Entwicklungsprozesse in den einzelnen Mitgliedstaaten (Interviews 2, 8). Generell wird die Unsicherheit bei der Regulierung von den Interessenvertretern der Industrie als Engpass angesehen (Interviews 1, 2, 12), z. B. in Bezug auf die Transportinfrastruktur (wer ist für den Bau zuständig? (Interview 1), was möglicherweise erklärt, warum viel in Forschungs- und Demonstrationsprojekte investiert wird, die regulative Unsicherheit aber bisher Investitionen in die weitere Einführung von Wasserstoff verhindert (Interviews 2, 12).

Anhand dieser Befunde ist deutlich geworden, dass die schnelle Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland nicht nur einen gut koordinierten und abgestimmten Policy-Mix auf Bundesebene erfordert (horizontaler Policy-Mix), sondern auch ein gutes Zusammenspiel zwischen der deutschen und der europäischen Wasserstoffpolitik (**vertikaler Policy-Mix**) vonnöten ist. Das ist keine neue Erkenntnis, sondern natürlich in vielen Politikfeldern in Mitgliedstaaten der Europäischen Union ganz ähnlich. Auch die Bundesregierung ist sich dieser Herausforderung sehr bewusst und hatte sich in der deutschen Wasserstoffstrategie 2020 auch explizit verschiedene Initiativen auf EU-Ebene vorgenommen.

Dazu gehört zum Beispiel die **Schaffung eines Förderrahmens für IPCEI** auf EU-Ebene. Zusätzlich startete Deutschland und eine Reihe europäischer Partnerinnen und Partner Anfang 2021 im Rahmen der deutschen EU-Ratspräsidentschaft eine **Forschungs- und Innovations-Initiative** zur Nutzbarmachung von grünem Wasserstoff und zur Beschleunigung einer europäischen Wasserstoffwirtschaft. Eine weitere Initiative ist die **Gründung einer europäischen Wasserstoffgesellschaft** zur Förderung und Erschließung gemeinsamer internationaler Produktionskapazitäten und -infrastrukturen. Diskussionen zu einem derartigen europäischen Format laufen im Moment bilateral mit verschiedenen Mitgliedstaaten, aber eine konkrete Umsetzung der Idee zeichnet sich bisher noch nicht ab. Darüber hinaus plante die Bundesregierung in der Wasserstoffstrategie, sich für **die Gründung einer "Europäischen Union für grünen Wasserstoff"**, der **Schaffung eines europäischen Rechtsrahmens für grüne Kraftstoffe auf H₂-Basis** und für eine **EU-Wasserstoffstrategie** einzusetzen. Eine solche EU-Strategie wurde im Juli 2020 veröffentlicht (Europäische Kommission, 2020).

Ein weiterer Aspekt der vertikalen Koordination betrifft die Aktivitäten auf Länderebene: Auf der einen Seite ist es natürlich sinnvoll, wenn bei der Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft regionale Aspekte wie die lokale Industriestruktur und deren Umbau oder lokale Verfügbarkeit von Ressourcen von den Ländern und Kommunen in den Blick genommen werden (Interview 2). Ein Interviewpartner erklärte:

„Es ist schon sehr wichtig, dass jedes einzelne Bundesland sich darüber Gedanken macht und natürlich kann jedes einzelne Bundesland auch für sich selbst

Projekte entwickeln, Ideen entwickeln, Förderprogramme aufstellen et cetera. Aber [...] das muss natürlich irgendwo koordiniert werden“ (Interview 3).

Andererseits ergeben sich dadurch zusätzliche Herausforderungen für die Politikkoordination:

„es gibt ja nicht nur eine Wasserstoffstrategie, jetzt auf der nationalen Ebene, sondern mittlerweile auch bei allen 16 Bundesländern, was auch gut ist. Was auf der anderen Seite aber schon wieder schlecht ist, weil alle 16 Bundesländer natürlich ein Stückchen weit miteinander in Konkurrenz treten und damit dieses Gemeinschaftliche, was man ja braucht, wenn man was Neues aufbauen will, manchmal droht so ein bisschen in den Hintergrund gerückt zu werden (Interview 1)“.

Ein Interviewpartner moniert:

„Dass jetzt aber jedes Land, sage ich mal eine eigene Strategie entwickelt und sich über Erzeugung und sowas Gedanken macht, ohne zu gucken was die anderen machen, halte ich nicht für sinnvoll. Also ich meine, wir haben sowas auch hier in Baden-Württemberg, ist auch schön. Klar, da hat man auch wieder einen industriepolitischen Gedanken dahinter, zu gucken, was gibt es da für Firmen, die irgendwelche Sachen produzieren können, die damit zu tun haben. In der Richtung finde ich es auch sinnvoll, aber dass jetzt jeder anfängt da Projekte zu machen, Demoprojekte und sonst was, und eigentlich nicht weiß, was das Nachbarland macht, finde ich nicht sinnvoll“ (Interview 2).

Eine gute Balance zu finden zwischen einerseits sinnvollen lokalen und regionalen Experimentier- und Entwicklungsräumen für eine Wasserstoffwirtschaft und andererseits ein koordiniertes Vorgehen beim Ausbau der Wasserstoffwirtschaft mit abgestimmten Intrastrukturinvestitionen, ohne Ressourcen zu verschwenden, ist eine weitere zentrale Herausforderung in der Gestaltung des vertikalen Policy-Mix.

3.1.6 Zusammenfassung: Wie ist der deutsche Wasserstoff-Policy-Mix gestaltet?

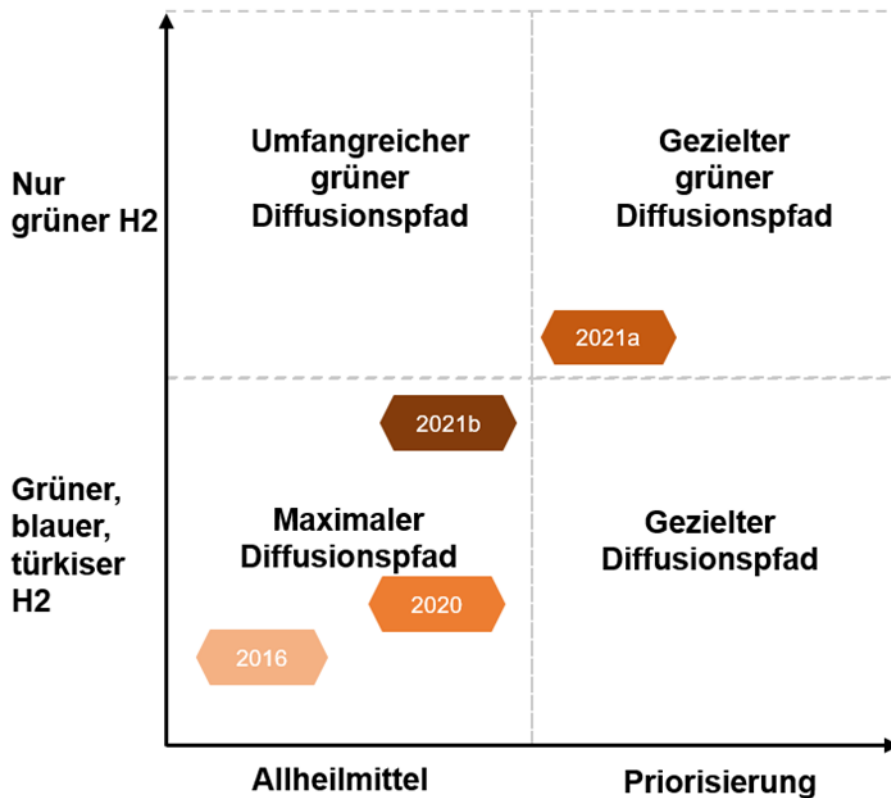
Der deutsche Policy-Mix für Wasserstoff ist komplex und nicht einfach zu überblicken, was insbesondere im Bereich der Energiepolitik wenig überraschend ist, da viele Interaktionen und Rückwirkungen zwischen Teilbereichen dieses Politikfeldes bestehen. Normen und Regeln für eine Wasserstoffwirtschaft müssen an entsprechend vielen Stellen eingearbeitet werden. Eine monolithische Lösung, etwa in Form eines umfassenden Wasserstoff-Gesetzes, kann der Komplexität des Vorhabens nicht gerecht werden. Bislang ist die **Adressierung der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette** mit regulatorischen, finanziellen und weichen Instrumenten recht ausgewogen. Besonders auf der Ebene der Wasserstoffinfrastruktur sind jedoch größere Lücken zu konstatieren. Sowohl national als auch auf Europäischer Ebene gibt es Verbesserungspotenziale bei der kooperativen Planung und Gestaltung von Transportinfrastrukturen. Dies wird auch von abnehmenden Unternehmen kritisiert, da nachgelagerte Investitionen verzögert werden. Fundamentale Definitionslücken, die viele Akteure zum Abwarten zwangen, wurden teilweise behoben (beispielsweise durch die Verabschiedung des Delegierten Rechtsaktes durch die Europäische Kommission). Dennoch hängen weiterhin viele technische und rechtliche Detailfragen von fehlenden Grundsatzentscheidungen ab.

Der Bedarf an Wasserstoff in Deutschland in den kommenden Jahrzehnten wird in einschlägigen Studien je nach den verwendeten Annahmen unterschiedlich beziffert (Clausen, 2022, S. 30). Es zeichnet

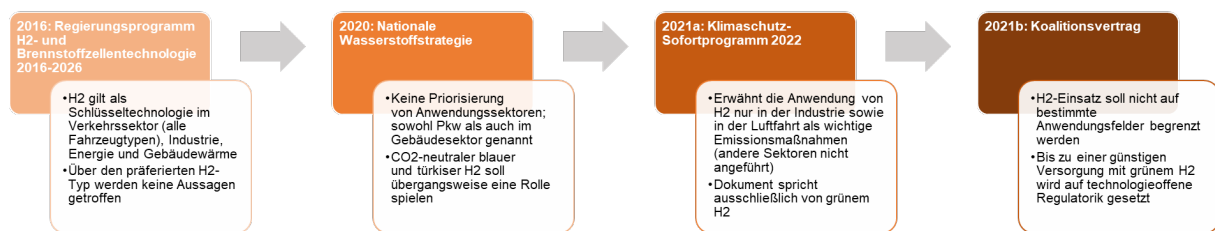
sich jedoch klar ab, dass **erhebliche Mengen importiert werden müssen** (Öko-Institut, 2021, S. 70). In Deutschland soll die Wasserstoffproduktion von der derzeitig installierten Leistung von unter 100 MW bis 2030 auf 10.000 MW ansteigen (SPD et al., 2021). Anhand der zur Verfügung stehenden Daten ist jedoch zu bezweifeln, dass der Aufbau von Elektrolyseuren in Deutschland diesem Ziel gerecht werden kann (siehe 3.2.1). Eine mögliche Lösung, die Lücke zwischen Bedarf und Angebot in Deutschland zu schließen, ist der Import eines bedeutenden Teils des Wasserstoffs aus Ländern mit höheren Angebotsmengen. Der Aufbau von Importbeziehungen bringt jedoch trotz relativ großer weltweiter Potenziale zur Produktion von Wasserstoff Unsicherheiten mit sich (Clausen, 2022, S. 28). Auch wenn langfristig bis zu 90 % des deutschen Wasserstoffbedarfs durch Importe gedeckt werden könnten, ist kurzfristig (bis 2030) trotz bestehender Förderinstrumente wie H2Global keine ausreichende Bereitstellung zu erwarten (Clausen, 2022).

Es ist ein umfangreicher und diverser Mix an Politikinstrumenten entstanden, der über die Jahre an Konsistenz gewonnen hat, insofern sich eine Tendenz hin zum ‚gezielten grünen Diffusionspfad‘ von Wasserstoff abzeichnet. Diese Verschiebung ist an zentralen politischen Strategiedokumenten ablesbar (siehe Abbildung 7). Sie illustrieren Weichenstellungen vor und nach der NWS für **unterstützte Wasserstoffübergangspfade** im Laufe der Zeit. Von einer klaren Richtung hin zu einem konsolidierten Transformationspfad kann dennoch keine Rede sein. So wird etwa die Nutzung blauen Wasserstoffs politisch nicht ausgeschlossen. Langfristig wird zwar lediglich grüner Wasserstoff als gängige Option gehandelt. Eine Übergangsphase, in der auch nicht-klimaneutraler blauer Wasserstoff genutzt werden könnte, erscheint jedoch möglich. Hinsichtlich der Priorisierung von Anwendungen besteht mehr Sicherheit unter den betreffenden Akteuren als bei der Produktion von Wasserstoff. Dennoch sind Bereiche im Verkehrs- und Wärmesektor weiterhin umkämpft.

Abbildung 7: Bundespolitisch unterstützte Wasserstoffpfade im Zeitverlauf



Quelle: Eigene Abbildung, IÖW. Die Jahreszahlen markieren die folgenden politischen Dokumente:
 2016 - Regierungsprogramm H2- und Brennstoffzellentechnologie 2016-2026; 2020 - Nationale Wasserstoffstrategie
 2021a - Klimaschutz-Sofortprogramm 2022; 2021b – Koalitionsvertrag



Politisch ist der **Markthochlauf zur ressortübergreifenden Gemeinschaftsaufgabe** geworden. Abstimmung und Kooperation zwischen einzelnen Ministerien können sich jedoch noch verbessern. Dies wird auch von Akteuren außerhalb der Politik wahrgenommen. Eine konstruktivere Zusammenarbeit würde die Glaubwürdigkeit des gesamten Policy-Mix voraussichtlich steigern. Dies gilt auch für entschlossenere Maßnahmen zur Beschleunigung des Ausbaus von Windkraft und Photovoltaik. Zentrale Akteure nehmen die Geschwindigkeit als nicht ausreichend wahr, um den Bedarf an grünem Wasserstoff zukünftig decken zu können, was wiederum die Glaubwürdigkeit der Gesamtstrategie für einen erfolgreichen Markthochlauf gefährdet.

3.2 Auswirkungen des Policy-Mix auf Akteursstrategien und Wasserstoffentwicklungspfade

Die derzeitige Produktion von Wasserstoff in Deutschland sowie weltweit basiert hauptsächlich noch auf Erdgas (Clausen, 2022, S. 23). Um die Klimaschutzziele zu erreichen, plant die Bundesregierung den zukünftigen höheren Bedarf an Wasserstoff klimaneutral, sowohl durch Importe als auch hiesige Produktion, zu decken. Ein Baustein dieser Strategie ist das im Koalitionsvertrag festgesetzte Ziel von 10 GW Elektrolysekapazität in Deutschland bis 2030 (SPD et al., 2021, S. 47). Die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland entwickelt sich jedoch bisher eher langsam. Es gibt eine Reihe lokaler und regionaler Entwicklungen, zahlreiche F&E-Projekte oder Pilotprojekte. Es gab jedoch **keine nennenswerten Investitionen in die Infrastruktur** für die Produktion (oder den Import) von Wasserstoff oder dessen Nutzung (Interview 12). Auch der Nationale Wasserstoffrat sieht hier dringenden Handlungsbedarf (Nationaler Wasserstoffrat, 2022c).

Laut der Hydrogen Projects Database (Stand Oktober 2022) der Internationalen Energieagentur (IEA) (IEA, 2022) sind derzeit in Deutschland Elektrolyseure mit einer maximalen Leistung von bis zu 10 MWel und insgesamt einer Leistung von 63,3 MWel in Betrieb. Stand Oktober 2022 befinden sich weitere Projekte mit einer Leistung von insgesamt 26,6 MWel im Bau. Final Investment Decisions (FID) wurden von Unternehmen für weitere 438 MWel vorgenommen. Eins dieser geplanten Projekte ist ein Elektrolyseur mit einer Kapazität von 100 MWel der als erste Phase des SALCOS Projekt der Salzgitter AG geplant ist. Dieses Projekt bekommt finanzielle Unterstützung im Rahmen des IPCEI Programms sowie vom Land Niedersachsen als Pilotprojekt um den CO₂ Ausstoß der Stahlproduktion zu reduzieren. Auch in der Chemiebranche wurden FID für Elektrolyseanlagen vorgenommen. Ein Beispiel ist das Vorhaben einer 100-Megawatt-Wasserelektrolyse zur Herstellung von grünem Wasserstoff am INEOS-Standort in Köln/Dormagen. Auch Anlagen, die nicht direkt mit einer Anwendung verbunden sind, spielen eine Rolle: ein 14 MWel Elektrolyseur im Rahmen des Wasserstoffleitprojekts H2Mare des BMBF, das sich mit der Entwicklung von Technologien für die Erzeugung von Wasserstoff und PtX-Produkten aus Windenergieanlagen offshore befasst, soll entstehen. Nach der Datenbank wurden Machbarkeitsstudien für Elektrolyseanlagen mit weiteren 4,3 GWel an Kapazität durchgeführt. Hier spielen wieder Offshore-Windenergieanlagen mit Elektrolyseuren, Dekarbonisierung von Stahl und Chemie eine zentrale Rolle.

Eine Auswertung der Datenbank zeigt, dass bisher nur ca. 90 MWel an Elektrolyseuren in Betrieb oder derzeit im Aufbau sind. FID für ca. 438 MWel würden diese Leistung zwar vervierfachen, sind aber noch viel zu wenig um das Ziel von 10 GW bis 2030 zu erreichen. Mit einer Realisierung aller Projekte der Machbarkeitsstudien wäre das Ziel von 5 GW der NWS zwar fast erreicht. Von den Zielen der jetzigen Bundesregierung wäre die Gesamtleistung jedoch immer noch weit entfernt. Auch wenn nach der Veröffentlichung der Delegierten Rechtsakte zur Definition und Zertifizierung von erneuerbarem Wasserstoff mehrere Projekte von Machbarkeitsstudien in den nächsten Monaten eine positive Finanzierungsentscheidung bekommen sollten, ist es schwer vorstellbar, dass das Ziel von 10 GW Ziel bis 2030 so erreicht wird.

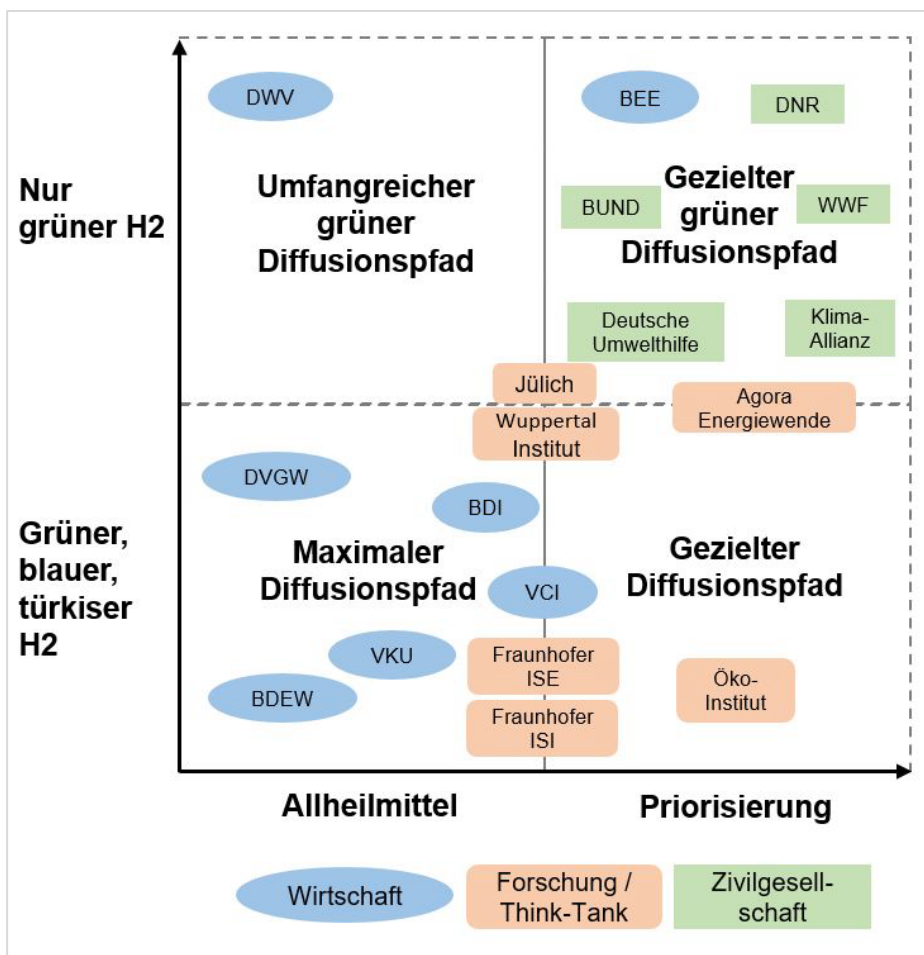
Trotz der im letzten Kapitel analysierten überwiegend positiven Wahrnehmung des Policy-Mixes, scheint der Mix bisher noch nicht die erwünschte Wirkung gehabt zu haben. Das folgende Unterkapitel (3.2.1) analysiert, warum das so ist, indem es die Auswirkungen des Policy-Mixes auf Akteursstrategien herausarbeitet. Unterkapitel 3.2.2 analysiert welche Änderungsvorschläge wichtige Akteure in Bezug auf den Policy-Mix vertreten und sich damit politisch positionieren, um auf den Mix

einzuwirken. Desweiteren wird analysiert, welche Transformationspfade sich aus der Interaktion von Policy Mix und Akteursstrategien ergeben.

3.2.1 Auswirkungen des Wasserstoff-Policy-Mix auf Akteursstrategien: ‚Wait and see‘

Um die Positionierung zentraler Akteure zu skizzieren, wurden zunächst zentrale Stakeholder entsprechend der in Kapitel 2 beschriebenen Methodik kartiert. Abbildung 8 zeigt das Ergebnis dieses Mappings 18 relevanter Akteure entlang ihrer Präferenzen für verschiedene Transformationspfade auf Basis öffentlich zugänglicher Dokumente. In den anschließend geführten Stakeholder-Interviews konnten wir unsere Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartner zu Auswirkungen des oben beschriebenen Wasserstoff-Policy-Mix auf Akteure befragen, was zumindest teilweise die bisher eher schleppende Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland erklären kann. Das in diesem Abschnitt dargestellte Hauptargument ist, dass fehlende regulative Rahmenbedingungen oder ausstehende Förderentscheidungen Investitionen in Wasserstoffprojekte verhindern oder erschweren und damit bei vielen Akteuren zu einer ‚Wait and see‘ Abwartungshaltung geführt hat.

Abbildung 8: Mapping von Positionen ausgewählter Akteure zu verschiedenen Transformationspfaden



Quelle: eigene Darstellung, IÖW. BDEW = Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft; BDI = Bundesverband der Deutschen Industrie; BEE = Bundesverband Erneuerbare Energie; BUND = Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland; DNR = Deutscher Naturschutzring; DVGW = Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches; DWV = Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband; Jülich = Projektträger Jülich; VCI = Verband der Chemischen Industrie; VKU = Verband kommunaler Unternehmen; WWF = World Wide Fund For Nature Deutschland

Über die große Bedeutung sowie die Dringlichkeit des **Europäischen Delegierten Rechtsaktes** zu Wasserstoff herrscht weitgehende Einigkeit zwischen den Interviewten (siehe auch 3.1.5). Er ist insbesondere für die Klassifizierung grünen Wasserstoffs notwendig und müsste, wie beispielsweise in Interview 9 gefordert, „halt jetzt auch einfach mal kommen“². Andernfalls ließen sich für den (europaweiten) Aufbau und Betrieb entsprechender Produktionskapazitäten kaum effektive Anreize schaffen. Das Fehlen einer klaren Definition „verzögert im Moment sehr viel an Investitionsbereitschaft.“ (Interview 4). Eine Interviewpartnerin aus der Politik bzw. der Verwaltung bestätigt diese Einschätzung:

„Aufgrund dieser regulatorischen Unsicherheit macht halt fast keiner eine Final Investment Decision. Wenn man da die Zahlen anguckt, zum Beispiel für Elektrolyseur-Kapazitäten, da sind wir ja unter ferner liefen. Wir haben da irgendwie 10 GW vor und sozusagen fix beschlossen sind irgendwie ein paar Prozent. Habe ich mir letztens nochmal angeguckt; also sehr ernüchternd. Dann gibt es viele Absichtserklärungen, sozusagen diese Memorandums of Understanding und jetzt müsste man eben zu einem FID-Market, also einer Financial Investment Decision auch kommen. Das machen aber die Akteure erst, wenn sie überhaupt wissen, was sie da verkaufen.“ (Interview 9).

Selbst die Bundesregierung beruft sich bezüglich anstehender Grundsatzentscheidungen darauf, dass sie **auf Entscheidungen der Europäischen Kommission warte**, um interne Verhandlungen abschließen zu können (Bundestag, 2022a). Unterdessen ist in der Wirtschaft gar wahrnehmbar, dass Beschäftigte „teilweise auch sagen, sie hätten eigentlich gerne einfach eine klare Ansage, mit der sie arbeiten können und ihnen ist es langsam schon egal, in welche Richtung.“ (Interview 9). Verschiedenste Akteure aus der Energiewirtschaft warten bereits seit 2018 auf ein entsprechendes Signal aus Brüssel. Die Investitionsbereitschaft in wichtige Wasserstoffprojekte wurde dadurch über lange Zeit stark gehemmt und der Markthochlauf entsprechend verzögert.

Ein Interviewpartner aus der Wirtschaft schätzt zwei konkrete Umsetzungsschritte für den Markthochlauf als erfolgreich ein: die im Mai 2022 beschlossene **Abschaffung der EEG-Umlage** und die Initiierung von **IPCEI-Projekten** (Interview 8). Er betont, dass Fragestellungen und Schwierigkeiten nacheinander hervorkommen und gelöst werden müssen:

„Auf einmal war das EEG weg und auf einmal sagte die Branche: ‚Oh, jetzt ist das EEG weg. Jetzt müsste es ja eigentlich funktionieren‘, aber trotzdem hat es nicht funktioniert, weil die Anlagen dann zu teuer waren, weil sie noch nicht da waren, weil das auch in dieser Komplexität an vielen Stellen noch gar keiner durchgerechnet hatte, was das eigentlich bedeutet. Und wo stehen diese Anlagen? Wie werden die betrieben? Und wie ist das Zusammenspiel zwischen der Speicherung, wo sind die Abnehmer? Alles diese Fragestellungen, die ploppten auf einmal auf, weil eben sozusagen die erste Hürde weggeräumt war.“ (Interview 8).

IPCEI soll durch die Förderung den Markthochlauf erst ermöglichen, es wird jedoch **Kritik an der langen Wartezeit für die Notifizierung** der Europäischen Kommission geübt, welche Investitionsunsicherheit verursacht (Interview 8). Von den 16 im Mai 2021 ausgewählten Industrieenanwendungen in Deutschland, die eine Förderung durch IPCEI bekommen sollen, wurden im Oktober 2022 die ersten

² Seit dem Führen der Interviews wurden die beiden Rechtsakte im Februar 2023 durch die Kommission veröffentlicht.

zwei (Projekt ‚Hy4Chem‘ der BASF SE und Projekt ‚SALCOS‘ der Salzgitter Flachstahl GmbH) von der Europäischen Kommission genehmigt (BMWK, 2022e). Andere, wie Thyssenkrupp mit dem Projekt „tKH2steel“, warten noch auf die Genehmigung der Europäischen Kommission, um die Fördergelder für eine Direktreduktionsanlage zu erhalten, haben aber bereits Investitionen getätigt. Großindustrielle Akteure, z. B. in der Stahlbranche, erwarten die Entstehung von Märkten für klimaneutrale Produkte, unter anderem wegen der Messung von Scope-3-Emissionen, fordern aber öffentliche Förderung für die Umstellung der Produktion. Ein Interviewpartner aus der Forschung sagt zur Haltung eines großen deutschen Stahlkonzerns:

„die gehen ganz klar davon aus, dass in Deutschland eigentlich 2035 schon kein Graustahl mehr verkauft wird. Und die entscheidende Maßnahme aus ihrer Sicht, waren die Scope-3-Regelungen – das heißt, Emissionsziele für die Produkte, am Ende. Und das führt offensichtlich dazu, dass Verbraucher von Stahl, Konsumenten, direkt nach CO₂-freiem Stahl nachfragen. Also, das scheint eine ganz wesentliche Maßnahme zu sein.“ (Interview 5).

Um THG-Emissionen von Unternehmen oder anderer Körperschaften zu bilanzieren wird in den Standards des Greenhouse Gas Protocol (Treibhausgasprotokoll) zwischen Scope-1-, Scope-2- und **Scope-3-Emissionen** differenziert. Das Greenhouse Gas (GHG) Protocol ist eine Standardreihe für die Messung und das Management von THG-Emissionen aus dem privaten und öffentlichen Sektor, aus Wertschöpfungsketten und aus Maßnahmen zur Emissionsminderung. Das GHG Protocol wird koordiniert vom World Resources Institute (WRI) und dem World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Die Standards sind die weltweit am häufigsten verwendete Norm für die Bilanzierung von THG. Der ‚Corporate Accounting and Reporting Standard‘³ bildet die Grundlage für die meisten THG-Berichterstattungsprogramme von Unternehmen. Bei der Berichterstattung nach dem GHG-Protocol sind die Bilanzierung von Scope-1- und Scope-2-Emissionen verpflichtend, während sie für Scope-3-Emissionen bislang freiwillig ist. Auch auf nationaler Ebene gibt es keine Regelung zur verpflichtenden Offenlegung dieser Emissionsklasse für verkaufte Produkte.

Industriepolitisch steht die Farbe Grün für die Elektrolysetechnologie und letztlich für **deutsche Elektrolyseure**, „die man danach wieder in den Weltmarkt verkauft.“ (Interview 8). Für große Unternehmen, die den produzierten Wasserstoff abnehmen, gilt:

„die wollen grünen Wasserstoff am Ende des Tages, damit sie zusammen mit ihrem grünen Stahl da auf den Weltmärkten auch lancieren können [...], die wollen gar keine Diskussion darüber führen, wie gut oder schlecht jetzt der Wasserstoff ist. Die wollen einfach ihren Stahl mit einer Qualitätseigenschaft verbinden“ (Interview 1).

Jedoch sieht nicht jedes Unternehmen einen Mehrwert darin, Investitionen zu tätigen, um langfristig klimaneutrale Produkte zu produzieren. Durch mangelnde Regularien auf EU-Ebene besteht in der Wirtschaft weiterhin einige Unsicherheit. Diese hat auch Auswirkungen auf **Strategien der Akteure im Bereich der Elektrolyse**. Ein Stakeholder aus der Wirtschaft beschreibt es so:

³ Der Corporate Accounting and Reporting Standard unterscheidet Emissionen wie folgt: Scope-1-Emissionen werden aus eigenen oder kontrollierten Quellen ausgestoßen (z.B. Unternehmensfahrzeuge), Scope-2-Emissionen sind indirekte Emissionen aus der Erzeugung von gekaufter und verbrauchter Energie und Scope-3-Emissionen enthalten alle anderen indirekten Emissionen, die in der Wertschöpfungskette eines Unternehmens entstehen (The Greenhouse Gas Protocol, 2004, S. 27–30).

„Und ich weiß es von den Reallaboren, [...] dahingehend ist bis heute keine Investitionsentscheidung für die Elektrolyseure getroffen. Die liegen also auf 50 bis 100 MW Maßstab, weil eben die Investoren sagen: ‚Mit den Randbedingungen kann ich so ein Ding nicht betreiben über die nächsten Jahre und ich will es ja nicht nur im Rahmen des Reallabors machen, sondern es soll ja auch danach weiterlaufen und dann kommerziell betrieben werden.‘“ (Interview 2).

Nach Aussagen einiger Interviewpartnerinnen und -partner (Interviews 2, 3, 4, 9) ist Vertretenden der Stahlindustrie und Chemiewirtschaft klar, dass eine Umstellung auf Wasserstoff nötig ist. Es fehlt jedoch an einigen Instrumenten, um wirklich vorankommen zu können. Beschlüsse wichtiger Regularien wie EU-Vorschriften für grünen Wasserstoff werden abgewartet, um relevante Investitionen zu tätigen:

„Im Moment sind sehr viele Unternehmen, von dem, was ich mitbekomme, eher in ‚Wir warten nochmal ab.‘ – auf was auch immer. Also es sind ganz verschiedene kleine Stellschrauben, sozusagen. Aber das zeigt mir, dass insgesamt der Eindruck, der politisch entstanden ist, oder der politisch im Moment entsteht, eher unklar ist, so.“ (Interview 4).

Die Priorisierung von Großindustrien durch den **Infrastrukturausbau in Form eines Wasserstoffnetzes**, das sich auf wenige große Abnehmer konzentriert, könnte nach einem Interviewpartner aus der Forschung auch zu einem Konflikt zwischen energieintensiven Industrien und mittelständischen Unternehmen führen. Letztere haben zwar auch Produktionsprozesse, die noch nicht komplett elektrifiziert werden können und deshalb zur Treibhausgasneutralität Wasserstoff benötigen, aber durch einen fehlenden direkten Anschluss an eine Pipeline mit hohen Transportkosten rechnen müssten (Interview 1). Großindustrie mit direktem Anschluss an ein Wasserstoffnetz oder mit eigenen Elektrolyseanlagen hätten somit durch die niedrigeren Anschaffungskosten für Wasserstoff einen Wettbewerbsvorteil.

Durch die beschriebene Unsicherheit unter relevanten Akteuren entstehen Risiken für eine erfolgreiche Umsetzung der NWS. Der aktuelle Wasserstoff-Policy-Mix ist in dieser Hinsicht nicht richtungweisend genug. In den Interviews wurde erwähnt, dass der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft nicht als ein ‚Weiter so‘ der bisherigen Gaswirtschaft und des bisherigen fossilen Wirtschaftsmodells verstanden werden sollte. Als Risiko wird wahrgenommen, dass der **notwendige Ausbau von EE** gegen den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft ausgespielt werden könnte. Unklar seien einerseits die Mengen an Strom aus EE, die für die Produktion von grünem Wasserstoff benötigt werden und andererseits, ob die Kapazitäten in Zukunft auch zur Verfügung stehen werden:

„Unser Stromsektor, hat ja auch noch einen Riesenweg zur Vergrünung sozusagen, zum erneuerbaren Strom. Einerseits werden wir doppelt so viel Strom nutzen 2045, voraussichtlich, andererseits sind ja gerade mal 40/45 Prozent des Stromsektors renewable. Insofern brauchen wir da auch gerade jede Kilowattstunde grünen Strom, der dann ja auch effizienter genutzt werden kann, als wenn man es noch mal in Wasserstoff umwandelt.“ (Interview 3).

Zunächst **setzt grüner Wasserstoff große Mengen an grünem Strom voraus**. Wann und woher diese verfügbar gemacht werden können, ist für viele fraglich. Diskussionen drehen sich ferner nicht selten darum, ob eher ein nachfrageinduziertes Angebot oder eine Angebotsförderung zur gesteigerten Nachfrage den Markthochlauf stützen soll. In Europa wird mittelfristig mit einem Preisniveau für

grünen Wasserstoff gerechnet, das mit blauem Wasserstoff mithalten könnte (Interview 1). Dies hängt auch davon ab, wie schnell entsprechende Stromübertragungsnetze ausgebaut werden, aber auch welche Importmöglichkeiten sich ggf. auftun (ebd.). Die Wasserstoffpolitik der letzten Jahre hat auch hier einen Eindruck des Zögerns hinterlassen. Der EE-Ausbau für ausreichende Kapazitäten zur Herstellung grünen Wasserstoffs wird weithin als nicht gesichert angesehen und die Nutzung blauen Wasserstoffs aus Erdgas wurde nie ausgeschlossen oder auf einen konkreten Zeitraum beschränkt. Zentrale Wirtschaftsakteure beschäftigen sich nach wie vor mit verschiedenen Optionen. Die Energiewirtschaft wird unterdessen in der heutigen krisenhaften Lage abwarten,

„ob der Markt sich am Ende dafür entscheiden wird oder Unternehmen sich entscheiden werden da rein zu investieren. Das ist dann nochmal die andere Frage, weil die Gaspreise wahrscheinlich höher bleiben werden, als wir es vorher kannten.“ (Interview 4).

Auf der Ebene der Herstellung von Wasserstoff birgt nicht nur die Organisation der Produktion in Deutschland Risiken, sondern auch das Entwickeln ausgewogener Importstrategien. Wird die Bereitstellung grünen Wasserstoffs nicht rechtzeitig ausreichend forciert, könnte dies dazu führen, dass Deutschlands stark importabhängige Versorgung nur unter Hinzunahme von blauem Wasserstoff sichergestellt werden kann, falls der internationale Markt sich nicht entsprechend entwickelt. Dies würde wiederum Emissionsminderungsziele an anderer Stelle unter Druck setzen. Interviewte Stakeholder aus der Zivilgesellschaft und der Forschung mahnen außerdem, durch den Import von grünem Wasserstoff keine bestehenden Abhängigkeiten von autokratischen Staaten bei der Energieversorgung weiterzuführen (Interview 1, 10). Beim Aufbau von Produktions- und Transportkapazitäten in Deutschland wird generell gezögert (Interview 1, 2, 4, 10), da Investitionsbedingungen nicht hinreichend klar sind.

3.2.2 Positionierung von Akteuren zum bestehenden Wasserstoff Policy-Mix und Auswirkungen auf Transformationspfade

Im folgenden Kapitel beschreiben wir mögliche Auswirkungen des gegenwärtigen Wasserstoff-Policy-Mix auf unterschiedliche Transformationspfade entsprechend der in Kapitel 2 beschriebenen Dimensionen (‘Farben’ und Priorisierung von Anwendungen). Da diese auch von Interessen und Strategien zentraler Akteure abhängen, analysieren wir zudem welche Änderungsvorschläge wichtige Akteure in Bezug auf den Policy-Mix vertreten und sich damit politisch positionieren, um auf den Mix einzuwirken. Nach unserem konzeptionellen Rahmen (siehe Abbildung 1) ist es dieses Wechselspiel zwischen Policy Mix und Akteursstrategien und Vice Versa, das die Entwicklung von Transformationspfaden zentral beeinflusst.

Erste Dimension: Nur grüner oder auch blauer Wasserstoff?

Unterschiedliche Produktionsverfahren zur Wasserstoffgewinnung erfordern auch unterschiedliche Ausgangsstoffe und Transportinfrastrukturen, Technologien, Wertschöpfungsketten, Zuliefernetzwerke sowie Energiebedarfe und -träger. Dadurch unterscheiden sie sich deutlich in Bezug auf die Verursachung von Treibhausgasemissionen. Zum Zeitpunkt der Erfassung des Policy-Mix (Sommer 2022) bestand **keine gesetzliche Regelung, die eine Herstellungsform eindeutig bevorzugt**. Grüner Wasserstoff wurde unter anderem durch die Befreiung von der EE-Umlage politisch gefördert (Bundestag, 2022b). Andererseits sieht die NWS vor, dass blauer Wasserstoff in Deutschland, „wenn verfügbar“ (BMW, 2020, S. 3), auch genutzt werden soll. Für blauen und türkisen Wasserstoff

benötigtes Erdgas wurde jedoch zwischenzeitlich knapper und entsprechend teurer (Witsch, 2022). Hinzu kommen finanzielle und Lock-in-Risiken, die sich aus Investitionen in neue Infrastrukturen ergeben. Diese könnten nur für begrenzte Zeit als ‚Brücke‘ genutzt werden, um das Erreichen beschlossener Klimaziele nicht weiter zu erschweren. Aus Sicht des Klimaschutzes ist auch blauer Wasserstoff nicht nachhaltig, da Restemissionen nicht vermeidbar sind. Diese gefährden das Klima auch dann, wenn sie im Ausland anfallen und „nicht weiter betrachtet werden, da es sich dabei um Emissionen handelt, deren Abbau in die Verantwortlichkeit anderer Staaten fällt“ (Nationaler Wasserstoffrat, 2022d, S. 5).

In der NWS ist klar dokumentiert: „Aus Sicht der Bundesregierung ist nur Wasserstoff, der auf Basis erneuerbarer Energien hergestellt wurde („grüner“ Wasserstoff), auf Dauer nachhaltig.“ (BMW, 2020). Die interviewten Stakeholder nehmen diesbezüglich in der Bundespolitik einen Wandel wahr, der sich mitunter **zwischen einzelnen Parteien bzw. Ressorts unterscheidet**. In einem maßgeblich beteiligten Bundesministerium wird die Frage nach der Herstellungsform derzeit so gehandhabt, „dass man sich da nur auf grünen Wasserstoff fokussiert“ (Interview 11), auch wenn es „ein paar Diskussionen gab und es schon Leitungsmitglieder gibt, die zumindest ein kleines Fragezeichen diesbezüglich haben“ (ebd.). Das Umweltministerium hat nicht zuletzt wegen veränderter Zuständigkeiten seit dem letzten Regierungswechsel in der Debatte an Bedeutung verloren. Das grün geführte BMWK scheint nicht-grünem Wasserstoff eine weniger gesicherte Rolle für den Markthochlauf zuzuschreiben als das vormals CDU-geführte BMWi, schließt ihn jedoch offenbar nicht aus (Tagesschau, 2023). An eine Fortschreibung der NWS mit klaren Akzenten zur Farbwahl werden also höchstwahrscheinlich bereits in ihrem politischen Entstehungsprozess unterschiedliche Erwartungen geknüpft.

Zentrale Stakeholder schätzten die gemeinsame Haltung der Bundesregierung vor wenigen Monaten noch als eher weniger aufgeschlossen für blauen Wasserstoff ein (Interview 3). Der seit Dezember 2022 vorliegende Förderrichtlinienentwurf für so genannte Klimaschutzverträge (siehe auch 3.1.3) sieht eine Zuwendungsfähigkeit sowohl für grünen als auch für blauen Wasserstoff vor (BMWK, 2022c, S. 8). Eine etwaige **Differenzierung ist erst ab 2030 vorgesehen**. Demnach wird dann für beide Erzeugungsformen das Preisniveau von grünem Wasserstoff angelegt werden, falls dieser günstiger sein sollte als blauer (ebd.: 14). Dies würde eine geringfügige Bevorzugung grünen Wasserstoffs bei gleichzeitiger Förderung ausdrücken. Auch von den interviewten Stakeholdern wurden die politischen Signale in Summe so wahrgenommen, dass die Frage für die nähere Zukunft noch nicht entschieden ist. Langfristig gibt es jedoch kaum Abweichungen von der These, dass grüner Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen das Mittel der Wahl sein wird und muss. In Anbetracht der politischen Zielsetzungen (siehe 3.1) scheint dies für alle Beteiligten sehr wahrscheinlich zu sein. Nicht nur aus Umweltverbänden ist zu vernehmen, „dass grüner Wasserstoff langfristig der einzige Wasserstoff ist, den wir wollen und der auch klimafreundlich ist.“ (Interview 3). Auch aus wissenschaftlicher Sicht ist dieser Impetus „im Wesentlichen [...] relativ klar“ (Interview 1). Die Farbe der Wahl soll „mittel- bis langfristig auf jeden Fall grün“ sein (Interview 6), denn auf die Dauer ist es auch für die Energiewirtschaft „der grüne Wasserstoff, der die Rechnung sinnvoll macht.“ (Interview 9). Selbst in der Erdgaswirtschaft wird anerkannt: „die Zukunft ist grüner Wasserstoff, was ja auch richtig ist.“ (Interview 7). Für den Klimaschutz ist hier allein die Frage entscheidend, wann ‚die Zukunft‘ beginnt.

Argumentativ lässt sich die hohe Bedeutung von grünem Wasserstoff nicht nur auf die **Entwicklungen der Gasmärkte** im Jahr 2022 stützen. Als die Stakeholder-Interviews für diese Studie geführt wurden, war für manche interviewte Person „klar; bei den Gaspreisen, die wir in Europa haben, brauchen wir nicht über blau oder türkis [zu] sprechen.“ (Interview 2). Auch in den nächsten Jahren

erwarten Beobachtende „perspektivisch Preise im Erdgasbereich, wo man schon sagen kann, da gibt es schon eine gute Chance, dass grüner Wasserstoff da mithalten kann.“ (Interview 1).

„Aus klimapolitischer, aber auch aus wirtschaftlicher Sicht hat sich, glaube ich, seit März [2022] noch mal gezeigt, dass Wasserstoff, der auf fossilen Brennstoffen beruht [...], nicht konkurrenzfähig ist aktuell. Wir haben eine wirkliche Gaspreiskrise in Europa und das wird auch noch einige Jahre so bleiben voraussichtlich, dass sich die Preise nicht so schnell wieder legen.“ (Interview 3).

Diese Perspektive enthält ein weiteres Argument für grünen Wasserstoff, das auch geopolitisch relevant ist. Besonders große Erdgasreserven liegen oft in Ländern, die weit entfernt sind und teils autoritär regiert werden. Norwegen und Großbritannien scheinen derzeit die einzigen Ausnahmen zu sein (acatech, 2018; Bolscher et al., 2019). Durch elektrolytische Wasserstoffherzeugung kann also nicht nur der **Aufbau oder Erhalt fossiler Infrastrukturen vermieden werden**, sondern auch konzentrierte Abhängigkeiten von einzelnen Staaten sowie handelspolitische Bündnisse, die potenzielle Spannungen, ethische Fragen, Zugeständnisse und erhebliche Abhängigkeiten mit sich bringen können (Interview 10). Stromnetze hingegen werden ohnehin ausgebaut werden müssen, um die zunehmende Elektrifizierung ganzer Sektoren zu ermöglichen. Elektrolysekapazitäten lassen sich in Ausbaupläne für Stromnetze integrieren, wohingegen erdgasbasierter Wasserstoff völlig andere Infrastrukturen benötigt. Die Puffer- und Speicherwirkung von Elektrolyseuren würde sich in ein Netz einfügen, das zukünftig sowohl im Tagesverlauf als auch saisonal viel stärkeren Angebotsschwankungen ausgesetzt ist als heute. Für grünen Wasserstoff spricht somit aus Sicht von befürwortenden Stakeholdern eine längerfristige Perspektive, die (auch soziale und wirtschaftliche) Nachhaltigkeit in den Vordergrund rückt.

Einzelne Akteure sehen die Frage als bereits beantwortet an, ob Deutschland sich auf die Nutzung grünen Wasserstoffs beschränken könne. Ihnen zufolge sei es mittlerweile unumgänglich, auch andere Arten der Wasserstoffgewinnung zu nutzen, um den deutschen Bedarf decken zu können – zumindest in einer Übergangsphase. Auch wer grünen Wasserstoff persönlich befürwortet, kann mittlerweile gar fürchten, die Frage sei schon so lange diskutiert, dass „es am Ende völlig klar ist, dass wir alles brauchen, weil wir nämlich die grüne Variante rausgezögert haben“ (Interview 8). Trotz der einheitlichen Positionen, die grünen Wasserstoff in fernerer Zukunft als nahezu unbestritten vorherrschend ansehen (siehe oben), argumentieren einzelne Akteure gegen eine gezielte politische Priorisierung gegenüber blauem Wasserstoff⁴. Diese Stimmen kommen **fast ausschließlich aus der Gaswirtschaft**, was kaum überrascht, da blauer Wasserstoff mittels Gasdampfreformierung gewonnen wird und in Deutschland Gasnetze für Importe von H₂ oder Folgeprodukten sowie etwaige CO₂-Exporte erforderlich machen würde. Die wirtschaftlichen Interessen sind daher offenkundig. Wie bereits in früheren Diskussionen um die Nutzungsdauer und -intensität fossiler Gase als Energieträger wird auch blauer Wasserstoff als mögliche Brückentechnologie dargestellt, die politisch nie ausgeschlossen wurde. Sobald das Angebotsniveau für grünen Wasserstoff ausreichend ist, so die Idee, könne die Nutzung blauen Wasserstoffs zurückgefahren werden. Der Nationale Wasserstoffrat,

⁴ Türkischer Wasserstoff wird hier nicht behandelt, da sich die hierfür benötigte Technologie in einem sehr frühen Stadium mit derzeit schwer abzusehender Weiterentwicklung befindet (Nationaler Wasserstoffrat, 2022d, S. 4). Diese Ansicht teilen auch diverse Stakeholder, ebenso wie für die politische Irrelevanz von rotem Wasserstoff aus atomstrombetriebener Elektrolyse (Interview 3, 4, 7, 10). Auch für orangenen Wasserstoff sind derzeit keine signifikanten Potenziale absehbar (Prognos, Öko-Institut, and Wuppertal-Institut, 2020, S. 127). Da die Produktion von türkischem (ebenso wie von blauem) Wasserstoff CCS erfordert, lassen sich einige Ausführungen entsprechend übertragen. Im Gegensatz zur Produktion blauen Wasserstoffs fällt bei türkischem allerdings statt CO₂ fester Kohlenstoff an. Grauer Wasserstoff aus dampfreformiertem Erdgas ist heute vorherrschend, aufgrund seiner Emissionswerte jedoch ein Auslaufmodell.

welcher auch Mitglieder aus der Gas- bzw. Netzwirtschaft umfasst, nimmt hierzu keine geschlossene Position ein (Nationaler Wasserstoffrat, 2022d).

Steht blauer Wasserstoff zur Verfügung, grüner jedoch nicht in ausreichendem Maße, könnte man sich „da so eine absolute Farbenblindheit nur auf den grünen Wasserstoff nicht leisten“ (Interview 7). Erdgasbasierte CCS-Verfahren müssten genutzt werden, „um auch in einer größeren Breite so einen Hochlauf zu ermöglichen.“ (ebd.). Blauer Wasserstoff würde folglich – sofern vorhanden – importiert, um den Markthochlauf zu beschleunigen und eine ansteigende Nachfrage zu bedienen. In der Gaswirtschaft wird zudem betont, dass kleinere Energiemengen benötigt werden, um blauen Wasserstoff zu erzeugen, als für grünen (Interview 2). Da der Energieträger Erdgas fossilen Ursprungs ist, hat dieser Vergleich jedoch Schlagseite und **disqualifiziert die Technologie aus Sicht eines konsequenten Klimaschutzes**. Diejenigen Stakeholder, die heutige Gasnetze betreiben, fühlen sich politisch unter Druck gesetzt und scheinen um ihr Geschäftsmodell zu bangen. Im Bereich der Wärmeversorgung zeigt sich die Konkurrenzsituation besonders deutlich (siehe 4.2). Hinter Plädoyers für Wasserstoff fossilen Ursprungs stehen in der Gaswirtschaft letztlich auch **Sorgen um bestehende Gasnetze**, die ohne eine gewisse Angebotsmenge entbehrlich werden könnten:

„Blöd wäre es, um das mal etwas salopp zu formulieren, wenn wir praktisch sagen, wir fokussieren uns auf grünen Wasserstoff. Das Ganze führt dazu, dass wir in Größenordnungen dann auch Gasverteilnetze, Erdgasverteilnetze aufgeben [...] und aber dann wiederum nach einigen Jahren feststellen, wäre eigentlich doch gut gewesen, [...] um eben tatsächlich auch noch eine Alternative zu haben“ (Interview 7).

Verfechterinnen und Verfechter von CCS-Technologien sehen darin größere Angebotsmengen und dementsprechend relativ breite Anwendungsbereiche für Wasserstoff. Für die Gaswirtschaft würde diese Konsequenz eine **Fortführung bisheriger Geschäftsmodelle** stützen, da für den H₂-Transport zu zahlreicheren und dezentraleren Anwendungen aller Wahrscheinlichkeit nach bestehende Verteilnetze genutzt würden. Doch auch Akteure, die in dieser Hinsicht zurückhaltender sind, schließen blauen Wasserstoff nicht immer aus. Übergangsweise könnte er kurzfristig zumindest dort genutzt werden, wo es technisch nicht anders möglich ist und grüner Wasserstoff nicht in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht. In diesem Fall könne es „schon sinnvoll [sein], eine Infrastruktur aufzubauen, die vielleicht eben auch mit CCS oder irgendwas arbeitet. Natürlich immer mit der klaren Vision, dass das mittel- bis langfristig auf jeden Fall grün sein muss“ (Interview 6). Für eine möglichst kurze Frist spricht, dass man gar „keine hundertprozentige CO₂-Abtrennung machen kann, sondern irgendwo so im Bereich von 85 bis 90 % je nach Technologie liegt.“ (Interview 1). In der CCS-Branche werden zukünftige Raten von mehr als 95 % für möglich gehalten (Kearns et al., 2021). Die Minderung gegenüber grauem Wasserstoff ist somit zwar erheblich, aber nicht vollumfänglich. Solange Resemissionen bleiben, müssen die Anlagen eher früher als später wieder heruntergefahren werden, denn

„die Kapazitäten für die benötigte CO₂-Abscheidung werden halt auf anderem Wege einfach gebraucht. Der Weltklimarat sagt ganz klar, es gibt bestimmte Emissionen, die wir nicht verhindern können und bestimmte Kapazitäten an CO₂-Entfernung und das hat dann auch wenig mit Markt zu tun, sondern es geht einfach um Emissionen, die nicht vermeidbar sind.“ (Interview 10).

Die strukturkonservativ gestellte Frage „[Wenn ich] meine Erdgasproduktion schon da habe, Reformierungsanlage kenne ich auch schon [...] – warum soll ich das nicht tun?“ (Interview 2), ist also

schnell beantwortet: Emissionen in der Wasserstoffproduktion sind vermeidbar und sollen somit möglichst keine CO₂-Speicherkapazitäten unnötig in Anspruch nehmen. Darüber hinaus existiert in Deutschland gar keine **Infrastruktur für die Abscheidung von CO₂ und dessen Transport** und auch **keine Lagerstätten**. Wegen der momentanen Erdgaskrise wird in Deutschland gleichwohl „in der aktuellen Situation [...] keiner so eine Anlage kommerziell bauen, das ist klar“ (Interview 2) und „Importbeziehungen brauchen ihre Zeit, bis entsprechende Mengen und Handelswege – oder seien es auch Pipelines – aufgebaut sind, das dauert eben“ (Interview 7). Ob eine breitere Auswahl an Produktionstechnologien (für grünen und blauen Wasserstoff) zu einer größeren Angebotsmenge führt, hängt von mehreren Faktoren ab. Den Flaschenhals bildet jedoch nicht die Abscheidung des CO₂, sondern dessen Transport und Verpressung (Dickel, 2020, S. 19). Drei zentrale Limitierungen hierfür sind die Verfügbarkeit nutzbarer Kohlenstofflagerstätten, die zeitliche Begrenzung, welche generell durch eine lediglich vorübergehende Nutzung von CCS mit Restemissionen in Frage kommt sowie das daraus resultierende Zeitfenster für einen rechtzeitigen Aufbau der erforderlichen Infrastruktur. Die Bundesregierung (2022, S. 109) ist grundsätzlich der Ansicht, dass seit dem KSG mit seinen neuen Emissionsminderungszielen „die Erfordernis von CCS [in Verbindung] mit der Zielsetzung von Netto-Null-Emissionen in den aktuellen Studien gemeinsamer Konsens“ ist. In Deutschland wurde bislang jedoch gerade einmal mit „Planungen zur Umsetzung von Pipeline-Infrastrukturprojekten begonnen“ (Bundesregierung, 2022a, S. 29). Vorherrschende gesetzliche Vorgaben lassen lediglich den Transport per Schiff zu CO₂-Lagerstätten zu (Dickel, 2020, S. 18).

Angesichts der Dringlichkeit des Markthochlaufs für grünen Wasserstoff, welcher Stakeholder-übergreifend und unumstritten angestrebt wird, lässt den notwendigen zusätzlichen Aufwand für ein solches Projekt fragwürdig erscheinen. Da in Deutschland heute **keine Infrastruktur für blauen Wasserstoff vorhanden** ist, käme ihre Bereitstellung mit hoher Wahrscheinlichkeit zu spät, um mit ihr die deutschen Klimaziele für das Jahr 2030 erreichen zu können. Aus der Industrie sind lediglich Ankündigungen und Planungen wahrzunehmen, während die EU die Förderung zweier deutscher CCS-Projekte als ‚Projekte im gemeinsamen Interesse‘ abgelehnt hat (Bundesregierung, 2022a, S. 30f). Da die Nutzung von CCS wegen Restemissionen und kaum vermeidbarer Leckagen nicht klimaneutral ist, würde sie mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits 2045 wieder enden müssen, wenn die Klimaziele erreicht werden sollen. Die Kosten für eine großangelegte Nutzung blauen Wasserstoffs über eine solch kurze Zeitspanne ist als sehr hoch anzunehmen. Auch ist es seit Beginn des Krieges in der Ukraine „natürlich unwahrscheinlich, dass ausreichend Erdgas zur Verfügung steht, um auch blauen Wasserstoff zu machen.“ (Interview 5). Die **blaue Wasserstoffwirtschaft scheint momentan nicht aufzublühen, sondern in Wartestellung auszuharren**. Für langfristig orientierte Forschungspolitik jedoch ist entscheidend:

„das, was morgen und übermorgen dann irgendwann mal an Technologien und so weiter reif wird – sich da jetzt mit einer Übergangstechnologie aufzuhalten, das macht jetzt [...] nicht so wirklich Sinn.“ (Interview 11).

In der deutschen Debatte werden Handelsbeziehungen zu **Norwegen als etwaiger Sonderfall** angesehen. Die deutsche und die norwegische Regierung haben im Rahmen einer Energiepartnerschaft gemeinsam verkündet, eine Wasserstoffpipeline bis 2030 zu bauen (Tagesschau, 2023). Entgegen einigen anderen Gaslieferländern ist Norwegen demokratisch verfasst und geografisch nicht allzu weit entfernt, was Erdgas- und Wasserstoffemissionen aus Pipelineleckagen vergleichsweise niedrig hält. Hier sollte man gegebenenfalls „nicht päpstlicher sein als der Papst. Aber das ist für mich tatsächlich eine Nische, dieser blaue Wasserstoff.“ (Interview 1). „Speziell im Fall von Norwegen haben die aber so ein absurd großes CCS-Potenzial sozusagen, dass das eventuell tragbar wäre, wenn man im

Gegenzug dafür eine Wasserstoffinfrastruktur aufbaut“ (Interview 9). Diese bestünde aus Pipelines, über die sich zunächst norwegischer blauer Wasserstoff nach Deutschland transportieren ließe oder in Deutschland abgeschiedenes CO₂ nach Norwegen exportiert würde, um es dort zu verpressen. Momentan bestehen noch rechtliche Hürden, um CCS Verfahren in Deutschland anzuwenden. Die Bundesregierung plant eine Gesetzgebung, um Kohlendioxid-Speicherung zuzulassen (Tagesschau, 2022a). Die begleitende Rechtfertigung vor dem Klimaschutz besteht hier darin, dass Norwegen in der Zwischenzeit genug Windenergie installieren könne, um grünen Wasserstoff zu liefern, sobald mit den erzeugten Mengen ein ausreichendes Druckniveau für die Transportpipeline erreicht sei. Bis dahin würde blauer Wasserstoff oder ein Gemisch geliefert.

„Norwegen wird das so oder so machen. Sie werden es dann halt bloß an die Niederlande verkaufen. Und die Niederländer haben auch schon mal keine Skrupel, im Zweifelsfall norwegisches Gas zu importieren“ (Interview 9).

Zuletzt ist bemerkenswert, dass nicht wenige Wasserstoffakteure zur Farbpalette, die im Diskurs maßgeblich auf grün und blau beschränkt ist, keine klaren Positionen äußern und auch aus der Politik bislang kein glasklares Bekenntnis für oder gegen ausschließlich grünen Wasserstoff zu vernehmen ist. Auch im Nationalen Wasserstoffrat „existieren [...] unterschiedliche Sichtweisen“ (Nationaler Wasserstoffrat, 2022d, S. 1) zur Frage der bestgeeigneten Herstellungsform und eine etwaige Übergangsphase. Ein Unsicherheitsfaktor ist sicherlich die weiterhin fehlende Definition gesetzlicher Anforderungen an grünen Wasserstoff (siehe 3.1.3). Eine Einschätzung zur richtigen ‚Farbwahl‘ zu treffen ist „eine individuelle Frage, [...] das ist ganz, ganz schwer“ (Interview 8) und auch parteipolitisch für die Gesetzgebung „am Ende fast eine Glaubensfrage.“ (ebd.). Es ist jedoch sehr eindeutig beobachtbar, dass sich **Stakeholder mit Bezug zur Gaswirtschaft für die Nutzung blauen Wasserstoffs starkmachen**. Mindestens vier Organisationen der für diese Studie interviewten Stakeholder sind diesbezüglich (intern) heterogen eingestellt.

„Da haben wir [...] unterschiedliche Meinungen und das geht im Endeffekt – das deckt das Spektrum ab [...], entweder eben ‚Die wahre Lehre, wirklich nur grün.‘ oder bis hin zu ‚Nur grün, das wird zu lange dauern‘“ (Interview 6).

Kann ein klimafreundlicher Markthochlauf mit ausschließlich grünem Wasserstoff gelingen? Die eine Seite ist überzeugt, es sei vorteilhaft, „wenn man sich da bei der Hochlaufphase nicht unnötig verengt.“ (Interview 7). Die andere geht davon aus, „dass blauer Wasserstoff gerade auch noch mal in diesem Jahr [2022] wirklich maßgeblich seine Rolle als Übergangstechnologie verloren hat“ (Interview 3). Dazwischen bestehen Abstufungen, die vor allem für eine Übergangsperiode plädieren, welche einerseits den Markthochlauf unterstützen und andererseits der vollumfänglichen Defossilierung der Wirtschaft entgegenwirken könnte. **Die angekündigte Fortschreibung der NWS könnte Sicherheit geben und insbesondere die Gaswirtschaft entscheidend lenken**. Nicht zuletzt deshalb scheint einerseits Spekulation vorzuherrschen, die einige Akteure dazu zwingt, sich verschiedene Strategien offenzuhalten. Andererseits **wird aktiv für blauen Wasserstoff als ‚Brückentechnologie‘ lobbyiert**, um einzelne Geschäftsmodelle zu schützen. Von der Gaswirtschaft hängen heute beispielsweise auch Stadtwerke auf unterschiedliche Weise ab (Interview 1, 2, 9, 14), was ihr auch dort merkliche Unterstützung einbringt (Huth & Joeres, 2023). Sie präferiert einen Markthochlauf, der (zunächst) nicht nur auf grünen Wasserstoff setzt. Besonders im vergangenen Jahr haben Lobbyaktivitäten der Gaswirtschaft drastisch zugenommen (Deckwirth & Katzemich, 2023). Bildhafte Narrative, etwa von sauberen Gasen als Brückentechnologien in eine grüne Zukunft, werden auch im Zusammenhang mit erdgasbasiertem Wasserstoff transportiert und in Szene gesetzt (ebd., S. 12). Die Politik sieht sich somit

erheblichen Kräften ausgesetzt, welche auch auf branchenspezifische, wirtschaftliche Ziele hinwirken.

Zweite Dimension: Gezielte Priorisierung von Anwendungen?

Unabhängig davon, wie Wasserstoff erzeugt wird, stellt sich die Frage, wie und wo er vorrangig genutzt wird. Wäre er zukünftig ein unschädliches und massenhaft verfügbares Gut, könnte seine Allokation freien Marktmechanismen überlassen werden. Unschädlich ist es jedoch nicht, solange seine Erzeugung (blau) und Leckagen an Transportpipelines (alle Farben) den Treibhauseffekt befeuern. Massenhaft verfügbar wird es insbesondere dann nicht sein, wenn der Markthochlauf nicht deutlich stärker an Fahrt aufnimmt (siehe 3.2.2). Es stellt sich somit die Frage, inwiefern der Staat über Priorisierungsinstrumente in eine marktbasierter Verteilung von Wasserstoffmengen eingreifen kann oder soll, um einen nachhaltigen Transformationspfad zu begünstigen. Entgegen den teils unscharfen Positionierungen zu Formen der Wasserstoffherzeugung (siehe oben), haben zentrale Akteure hierzu meist klare Positionen.

Die mit Priorisierungen zusammenhängenden Erwartungen daran, wie viel Wasserstoff in Deutschland zukünftig zur Verfügung stehen wird, gehen größtenteils vom Bild **einer tendenziell knappen Angebotslage** ab. Der allgemein vorherrschenden Einschätzung nach wird es Wasserstoff auf absehbare Zeit nicht „im Überfluss“ geben (Interview 1), er wird „ein rares Gut“ (Interview 6), „ein seltenes Gut bleiben, zumindest die nächsten paar Jahre“ (Interview 5) bzw. „mindestens für den Zeitraum bis irgendwie so Anfang Mitte der 20er-/30er-Jahre muss man irgendwie sinnvoll mit der sehr wahrscheinlichen Knappheit umgehen“ (Interview 11). In diesem Fall ist eine Priorisierung für das knappe Gut möglicherweise sinnvoll.

Dieser Perspektive hält ein Verband der Energiewirtschaft entgegen, dass es „eine große Gruppe gibt, die [...] das knappe Gut bis in die 50er-Jahre hineinzieht.“ (Interview 4). So könne jedoch eine Überbetonung dieser Knappheit irgendwann „natürlich auch eine selbsterfüllende Prophezeiung“ werden (ebd.). Dem wird ein anderes Narrativ entgegengesetzt: Es gibt „sehr, sehr viele Regionen in der Welt, die bereit sind, sich da zu engagieren. Wir haben auch in Europa sehr, sehr große Potentiale. Deswegen kein knappes Gut“ (ebd.). Diese optimistische Sichtweise geht mit einer Vision eines entsprechend breiten Wasserstoffeinsatzes einher. Als gesichert gelten jedoch nur wenige Anwendungsfälle. Unter den interviewten Stakeholdern ist die Tatsache, dass **Teile der chemischen Industrie und die Stahlerzeugung auf Wasserstoff angewiesen sind, unumstritten**. Die Rolle von Wasserstoff zur Stabilisierung des Energiesystems als **Puffer- und Speichermedium zum Lastausgleich wird als wichtig angesehen und auch die Produktion synthetischen Kerosins wird allgemein erwartet**. Der Antrieb von PKW sowie dezentrale Gebäudewärme werden mancherorts debattiert, obwohl sie in der Wissenschaft als ineffizient gegenüber alternativen Technologien zum Wasserstoff bewertet werden (Clausen, 2022).

Von unseren Interviewpartnerinnen und -partnern werden **Signale aus der Politik gemischt** wahrgenommen. Einerseits gebe es „klare Signale, dass Wasserstoff zunächst einmal nicht in alle Sektoren fließen wird, jedenfalls nehme ich das so wahr, insbesondere aus dem BMWK.“ (Interview 5). Auch andere glauben, im BMWK werde versucht „den Wasserstoff dorthin zu lenken, wo er am nötigsten benötigt wird. Und das ist halt hauptsächlich momentan der Industriesektor“ (Interview 6). Starke Signale bzw. politische Lenkung greift insbesondere in Richtung elektrifizierter Niedertemperaturwärme (Interview 7, Interview 15) und Elektromobilität (Interview 12), wodurch entsprechende Wasserstoffanwendungen entsprechend unter Druck geraten (vgl. 4.1 und 4.2). Unterschiedliche

Sichtweisen gebe es im Vergleich zwischen dem BMWK und dem vorangehenden BMWi sowie den aktuellen „FDP-geführten Ressorts“ (Interview 6), also BMDV und BMBF. Das Umweltministerium wiederum habe sich stets für eine Priorisierung und möglichst viel Direktelektrifizierung stark gemacht, sei aber „nicht mehr so prominent dabei.“ (Interview 11). In Summe

„gibt es eben keine abgestimmte Strategie der Bundesregierung, in welchen Sektoren Wasserstoff welche Rolle spielt. Und genau das ist schon auch ein Problem.“ (Interview 6).

In einem der befragten Umweltverbände besteht der Eindruck, bzgl. einer Priorisierung „sind sich die Parteien noch nicht ganz einig, was sie wollen.“ (Interview 3). Einer zweiten Person wiederum sind gar „keine Aussagen von der alten oder von der neuen Bundesregierung bekannt, die sich klar zu dieser Priorisierung von Wasserstoff irgendwie bekennen.“ (Interview 10). Einzig das BMWK scheint ein klares Profil nach außen zu tragen, während andere einflussreiche Ministerien verhaltener oder leiser sind. Formal liegt die Wasserstoffstrategie jedoch in der Hand mehrerer Ressorts und nicht nur der des BMWK.

Argumente gegen eine Priorisierung von Wasserstoffanwendungen werden oft mit dem Begriff der **Technologieoffenheit** in Verbindung gebracht. Er wird in der Politik vornehmlich von konservativen und liberalen Akteuren bemüht (Deckwirth & Katzemich, 2023, S. 15) und spiegelt eine Grundhaltung wider, die sich für einen „größeren Lösungsraum“ (Interview 7) für das Problem der Dekarbonisierung ausspricht – im Gegensatz zur politisch bewirkten Bevorzugung einer Technologie. Demnach mache es „wenig Sinn, jetzt schon zu sagen, der Wasserstoff darf nur in die chemische Industrie oder darf nur eingesetzt werden, wenn alles andere nicht funktioniert“ (Interview 2). Beide Fälle sind jedoch offensichtlich unrealistische Extrembeispiele. Die Bundesregierung solle, allgemeiner ausgedrückt, „das Risiko eingehen und halt auch vielleicht dann Sachen [möglich] machen, die sich in fünf oder zehn Jahren als nicht so effizient herausstellen“ (Interview 2). Der Begriff der Technologieoffenheit kann dafür genutzt werden, „den Unterschied zwischen fossilen und erneuerbaren Energien zu verschleiern und um politische Maßnahmen zulasten klimaschädlicher Geschäftsmodelle zu delegitimieren.“ (Deckwirth & Katzemich, 2023, S. 15). Der Einschätzung einer interviewten Person nach gibt es hier „auch so eine Art Denktradition. Also, dieses Technologieoffen-Narrativ, wer das Wort verwendet, der ist jemand, der eher in der Goldgräberstimmung ist.“ (Interview 9). Im Kern spiegeln entsprechende Argumente insbesondere eine Sorge vor vorschnellen Richtungslenkungen wider. Eine Priorisierung könne demnach bedeuten, dass Instrumente zur Lösung eines Problems übermäßig beschränkt werden, z. B. durch negative Anreize, die eine Wasserstoffnutzung hemmen.

„Das heißt, wir laufen Gefahr – und das glaube ich wirklich – wir laufen Gefahr, wenn wir die Werkzeugauswahl einschränken, dass wir irgendwann zu einem Punkt kommen, dass wir feststellen, wir können das nicht in Gänze lösen.“ (Interview 8).

Diese Situation soll vermieden werden, indem parallel an verschiedenen Lösungen gearbeitet wird, welche ein flexibles Reagieren auf zukünftige Ereignisse und Entwicklungen ermöglichen soll, die heute noch gar nicht bekannt sind. Würde sich zukünftig etwa die Produktion von Methanol oder Ammoniak wegen anhaltend hoher Energiepreise stärker von Deutschland ins Ausland verlagern, stünde mehr importierter Wasserstoff für andere Anwendungen zur Verfügung, was die deutsche Gaswirtschaft weiter auf gewisse Mengen an Wasserstoff in den Verteilnetzen hoffen lässt (Interview 2). Solche **Spekulationen haben potenziell weitreichende und riskante Konsequenzen**, sollten sie

Hoffnungen in den Erhalt fossiler Infrastrukturen nähren. Klare Signale aus der Politik könnten dem entgegenwirken und Planungen für die weitere Gasnetzentwicklung ein Stück weit absichern.

Neben der relativ günstigen Förderung prioritärer Forschungs- und Entwicklungsfelder stehen als besonders schwere politische Instrumente „Marktanreizprogramm[e] und Infrastrukturaufbau; da reden wir gleich über Milliarden.“ (Interview 13). Dass Deutschland sich den Aufbau **paralleler und teils redundanter Infrastrukturen** nicht leisten könne, ist zwar aus mancher Sicht „Blödsinn“ (Interview 8). Die gesellschaftlichen Kosten dafür wären jedoch zweifelsohne immens. Bereits der Ausbau an EE-Kapazitäten und Stromnetzen allein ist nicht weniger als eine Mammutaufgabe, die bislang nicht erfolgreich gelöst werden konnte (siehe 3.1.3). Unmittelbare und indirekte Folgen doppelter Infrastrukturen wären dabei nicht nur finanziell viel weitreichender als etwa die eines vergleichsweise leichtgewichtiges F&E-Förderprogramm, das weniger stark auf eine weitreichende Anwendungspriorisierung zugeschnitten wäre. Für Verkehrsanwendungen müsse man sich beispielsweise „die Frage stellen: Wie wahrscheinlich muss dann ein alternativer Antrieb sein, dass wir dafür in einem großen Maßstab Infrastruktur aufbauen“ (Interview 13).

Laut Stakeholdern aus der Gaswirtschaft sprechen für eine **breite Anwendung von Wasserstoff** auch systemische „Resilienz erwägungen“ (Interview 7), die mit einer erweiterten Palette an technischen Lösungen einhergehen. Ein solcher Modus sei für die Systemstabilität und Versorgungssicherheit im Energiesystem riskant (Interview 2, Interview 7). Es habe „ja seinen Grund, dass wir seit 150 Jahren oder noch länger ein Strom- und ein Gasnetz und auch Wärmenetze parallel betreiben.“ (Interview 2). Diese waren in der Vergangenheit jedoch auch für unterschiedliche Endanwendungen bestimmt, während nun mit zunehmender Elektrifizierung eine politisch gewollte Sektorenkopplung voranschreitet (Schwan et al., 2016). Der Vergleich trägt also nicht. Weiterhin müssten die parallelen Versorgungsinfrastrukturen (Tankstellen, Verteilnetze etc.) für alle Verbraucherinnen und Verbraucher aufgebaut werden, wenn das Resilienzrisiko umfänglich wirksam und sozial gerecht adressiert werden sollte. Dies wiederum ist kaum mit dem Druck auf einen zügigen Markthochlauf für Wasserstoff einerseits und auf den Ausbau eines erneuerbar gespeisten Stromnetzes mit den benötigten Lastausgleichskomponenten andererseits vereinbar, da die Investitionsmittel begrenzt sind.

Gleichzeitig verweist die Gaswirtschaft (Interview 2, Interview 7) wiederholt und einhellig auf Aspekte der **sozialen Gerechtigkeit**, die im Gebäudesektor mit einer starken Priorisierung von Wasserstoffanwendungen außerhalb von Niedertemperaturanwendungen gefährdet werden könnte. Die politisch forcierte flächendeckende Installation von Wärmepumpen könne besonders im alten Gebäudebestand energetische Sanierungen erfordern, „was dann häufig sehr, sehr teuer für die Hauseigentümer [wäre].“ (Interview 7). Diese offenbare soziale Schieflage, die wohlgerne ausschließlich in der heutigen Verteilnetzwirtschaft befürchtet wird (und genauso für den Einbau von Brennstoffzellenheizungen gelten würde), ließe sich jedoch mit flankierenden Förderinstrumenten für jene Hauseigentümerinnen und -eigentümer lösen, die dies finanziell nicht stemmen können. Clausen (2022) geht davon aus, dass elektrische Wärmepumpen langfristig günstiger sind. Dieser relative Vergleich ist hier weitaus gewichtiger als der Verweis auf die absoluten Kosten für einen bestimmten Pfad. Stärkere finanzielle Unterstützung durch die Politik, etwa für den Mehrfamilienhausbestand (BMWK, 2022b), wurde unlängst angekündigt und die Bundesförderung für effiziente Gebäude im Dezember 2022 entsprechend angepasst. In Kapitel 4.2 wird der Wärmesektor näher beleuchtet.

Aus Sicht der Befürworterinnen und Befürworter eines Transformationspfades, der Wasserstoffnutzung in bestimmten Anwendungen priorisiert, dürfe es nicht passieren, „dass man sich jetzt alle Möglichkeiten auf alle Zeiten offenlässt, weil dann werden wir auch nicht zum Ziel kommen.“ (Interview

14). Je gezielter die Anwendung in einzelnen Sektoren gefördert wird (z. B. in der Stahlproduktion), desto unwahrscheinlicher wird die breite Diffusion in andere Bereiche (z. B. im Verkehrssektor). Laut Stakeholdern könnte die **Energieeffizienz konkurrierender Lösungen** ein sinnvolles Kriterium sein, um eine politische Priorisierung zu justieren, ebenso wie die **Kosteneffizienz**, insbesondere im Lichte unsicherer Gaspreise und -verfügbarkeit in Deutschland. Vor allem aber wird Wasserstoff selbst, wie oben beschrieben, nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen. Insofern muss Deutschland in naher Zukunft mit den Kapazitäten „richtig gut haushalten und da ergibt eine Priorisierung einfach nur Sinn.“ (Interview 10).

„Ja, es braucht schon eine Priorisierung, weil tatsächlich ja die Potenziale nicht im Himmel gewachsen sind. Und man auch bei Infrastrukturen sicherlich, wenn man sie insbesondere staatlich unterstützt aufbaut, Schwerpunkte setzen muss.“ (Interview 1).

Als Gegenstück zur Technologieoffenheit hat „Technologiesicherheit“ (Interview 15) einige große Vorteile, „gerade, wenn es darum geht, Unsicherheit und Barrieren hier aus dem Weg zu räumen.“ (ebd.). Sie wäre ein starkes Signal, das neben dem (elektrischen) Wärmemarkt auch der Stahlindustrie die nötige **Planungssicherheit** gewähren würde, um milliardenschwere Investitionen mit Blick auf eine Umstellung auf grünen Wasserstoff zu tätigen (Interview 1). Sie würde somit den in 3.2.2 herausgearbeiteten Hemmnissen für den Markthochlauf entgegenwirken. An manchen Stellen würde eine Priorisierung etwa durch Anreize oder Quotenregelungen Entwicklungen unterfüttern, die sich bereits abzeichnen. Die Effekte können dennoch substantiell sein, wenn Akteure entweder in ihren Strategien bestärkt oder aber vor Fehlinvestitionen (sunk investment) bewahrt werden. Es bleibt „wichtig, dass die Politik früh entscheidet.“ (Interview 15), denn

„eine Sache, die man, glaube ich, unterscheiden muss, ist einmal das, was im Diskurs passiert und das, was quasi auf den Märkten passiert. [...] Wenn man sich natürlich die Märkte anschaut [...], wenn man einmal vergleicht, was der Absatz von Elektroautos ist und das einmal vergleicht mit dem Absatz von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen, dann hat der Markt eigentlich schon entschieden. Und genau das Gleiche hat sich auch im Wärmebereich entwickelt.“ (ebd.).

Je früher eine Richtung politisch gestützt wird, „desto schneller kann sich der Markt natürlich entwickeln und weitere Potenziale, also positive Feedbackeffekte, können dadurch entstehen.“ (ebd.). Letztlich steht jedoch, über Priorisierungsfragen, ähnlich wie auch bei der ‚Farbwahl‘ (siehe oben), das Ziel der schnellen Minderung von THG-Emissionen. Da deren Kosten bislang offenbar noch nicht ausreichend internalisiert sind, so dass bestehende Leitplanken dieses Ziel durch Marktkräfte effektiv und effizient verwirklichen könnten, wird eine **Priorisierung von Anwendungen als sehr hilfreich** eingeschätzt, um den Markthochlauf einerseits zu beschleunigen und andererseits so zu lenken, dass mit den begrenzten Mengen an erneuerbarem Strom und Wasserstoff gehaushaltet werden kann. Der Betrieb von Gasnetzen und der Bau (kleiner) Wasserstoffthermen hängt in hohem Maße davon ab, wie viel Wasserstoff in alternativlose Anwendungen gelenkt wird. Herstellerfirmen von chemischen Grundstoffen, Stahl, Kerosin oder PKWs könnten Unsicherheiten genommen werden. Andere Bereiche scheinen neben technologischen und marktlichen Entwicklungen insbesondere politische Entscheidungen abzuwarten. Auffällig ist, dass sich eine klare Linie abzeichnet zwischen einerseits Stakeholdern aus Automobil-, Gas- und Wärmewirtschaft, die sich deutlich gegen strikte Priorisierungen aussprechen sowie andererseits Akteuren, insbesondere aus der Forschung, die sie für richtig und nötig halten.

Eine mögliche Priorisierung wird oft gesehen **als notwendig in einer Übergangsphase**, in der politische Lenkung zeitlich begrenzt wirken soll. Ein Wirtschaftsverband der Energieindustrie etwa findet „Priorisierung verständlich in der Hochlaufphase. Später sollte man dann den Markt entscheiden lassen“ (Interview 4). Genauso kann sich eine Priorisierung auf bestimmte Sektoren beschränken, während andere stärker durch freie Marktkräfte geformt werden. („Ein Marktmodell ist ja auch im Grunde eine gewisse Art der Priorisierung“ (Interview 8), da sich hier erwartbar niedrigpreisige, stark nachgefragte Technologien durchsetzen.) Eine Person, die eng mit Akteuren aus Politik und Wirtschaft zusammenarbeitet, vermutet, „es wird sicherlich eine prioritäre Förderung geben für bestimmte Bereiche und die anderen werden trotzdem sich ihren Wasserstoff besorgen.“ (Interview 5). Die Förderung paralleler F&E-Stränge im Sinne der Technologieoffenheit kann als Sonderfall gewertet werden, da sie niedrigschwelliger (günstiger und weniger riskant) ist als im Bereich der Umsetzung und Anwendung. Schließlich kann während des Markthochlaufs eine innovative Technologie zur Dekarbonisierung, die heute noch nicht zur Verfügung steht, durch kontinuierliche Förderung heranreifen (oder auch nicht). Hier ist es häufiger politisch „sinnvoll, das auch weiter zu verfolgen und da offen zu bleiben und diese Option jetzt noch über einige Zeit auch offen zu halten“ (Interview 11). Schließlich besteht im richtungsweisenderen Bereich der Anwendungspriorisierung auch die Möglichkeit, diese übergangsweise anzulegen und sie in regelmäßigen Abständen anhand der Marktentwicklung bis dahin zu evaluieren.

Bereits die bloße Debatte über die Notwendigkeit einer Priorisierung scheint zentrale Akteure zu beeinflussen (siehe vorherigen Abschnitt). Weitaus mehr noch scheinen wiederum Akteure über ihre Positionierungen Einfluss auf den Policy-Mix einfließen zu wollen. Obwohl sich eine Priorisierung in einigen Bereichen deutlich abzeichnet, etwa mit der angekündigten 65%-Regelung für neue Heizungen (siehe Kapitel 4), wird sie weiterhin kontrovers diskutiert: „Die Debatten laufen und die sind aus meiner Sicht wirklich offen.“ (Interview 6). In anderen Bereichen scheint ihre Einführung weniger dringlich, da die Marktentwicklung die Entscheidung zwischen alternativen Technologiepfaden weitgehend hinfällig machen (z. B. Wasserstoff-PKW und entsprechende Tankstellen), oder weil keine Alternativen zur Verfügung stehen (z. B. für den Betrieb von Hochöfen). Es werden teils **hoch-emotionale Diskurse an verhärtete Fronten** geführt. Priorisierung wird mit Verboten assoziiert ohne Abstufungen anzuerkennen, während sich Technologieoffenheit in der tatsächlichen Praxis quasi nie beobachten lässt. Als theoretischer Begriff suggeriert Technologieoffenheit, „dass Technologien sich frei von politischen Vorgaben entwickelten“ (Deckwirth & Katzemich, 2023, S. 15), was jedoch in aller Regel nicht der Fall ist (Azar & Sandén, 2011) und nicht zuletzt Energiepolitik als solche überhaupt legitimiert. Eine drastisch formulierte Wahrnehmung aus dem Priorisierungsdiskurs in Energiewirtschaft und -politik beschreibt den Eindruck,

„zwischen Elektrifizierung und Wasserstoff [...], das ist ein bisschen wie so ein Showkampf oder so. Ich finde das total sinnfrei und es bindet völlig unnötig Ressourcen. ... Und ich glaube, dass sich damit sehr viel selbst aufgehalten wird.“ (Interview 9).

Sprachliche und gedankliche Verabsolutierungen sind häufig und erschweren womöglich eine hochdynamische Entwicklung, die nach politisch vermittelten Sicherheiten sucht, um den deutschen Markthochlauf inklusive Infrastrukturaufbau, neue Handelsbeziehungen und enorme Investitionstätigkeiten gestärkt anzugehen und einen Technologiepfad vorzuzeichnen. Dass die Bundesregierung nicht als in sich geschlossen wahrgenommen wird, steht diesem Bedarf entgegen.

Schließlich ist an beiden Dimensionen möglicher Transformationspfade – Farbenlehre und Priorisierung – zu erkennen, dass ihre Forcierung sich auf **Risiken möglicher Lock-ins** bzw. deren zeitliche Verlängerung auswirken. Erstens würde, wie oben beschrieben, der Aufbau einer Infrastruktur für blauen Wasserstoff in Deutschland wirtschaftliche Interessen nähren, diese auch möglichst lange zu nutzen, um ihre Abschreibung sowie anschließend unternehmerischen Profit zu ermöglichen (Phänomen versunkener Investitionen). Bleiben technisch bedingt Restemissionen der angeschlossenen CCS-Verfahren bestehen, wird der bislang bestehende Carbon-Lock-in in einer erdgasbasierten Wasserstoffproduktion verlängert. Grüner Wasserstoff hingegen bedeutete einen direkten Ausstieg aus fossilen Energieträgern. Gegenüber grauem Wasserstoff ist jede Produktionseinheit nicht nur ein (großer) Iterationsschritt zur klimaneutralen Bereitstellung, sondern eine vollständig dekarbonisierte Alternative. Kritische Akteure merken entsprechend an, „dass es verschenktes Investitionsgeld wäre, in fossile Infrastrukturen zu investieren“ (Interview 3). Nach Einschätzungen von Mitgliedern des Nationalen Wasserstoffrats könnten derartige Aktivitäten einen gefestigten fossilen Lock-in und somit „eine deutliche Schwächung der Hochlaufdynamik für grünen Wasserstoff und damit mittel- und langfristig kontraproduktive Effekte“ bewirken (Nationaler Wasserstoffrat, 2022d, S. 11).

Neben der Produktionsform für Wasserstoff kann, zweitens, eine zu schwache oder fehlende Priorisierung gesicherter No-Regret-Anwendungen (Wietschel et al., 2023) bewirken, dass in einzelnen Sektoren parallele Anwendungssysteme aufgebaut werden, die **zur Nutzung alternativer Technologien redundant** sind. Ein Beispiel wäre eine mit Wasserstoff betriebene Heizungsanlage in Gebäuden, deren Umfeld auch den wirtschaftlichen Anschluss und Betrieb elektrischer Wärmepumpen ermöglichen würde. Auch hier sind Lock-ins für größere Zeiträume wahrscheinlich, da eine (wiederum kostenintensive) Umrüstung erst dann Sinn macht, wenn die Gasheizung abgeschrieben ist oder ihr Betrieb so teuer wird (etwa durch hohe Wasserstoffpreise), dass sie gegenüber einer Alternative nicht mehr zu rechtfertigen ist. Wird blauer Wasserstoff genutzt, besteht zusätzlich das beschriebene Problem des verlängerten Carbon-Lock-ins. Ein forschender Stakeholder aus dem Bereich der Wärmeversorgung merkt dementsprechend an:

„Man sollte die Reinvestition wirklich auf das Minimum beschränken. Man sollte den Gebäudeeigentümern nicht suggerieren: Kauft einen Gaskessel wieder, in zehn Jahren gibt es ein Nachrüst-Kit und dann regeln wir das alles über Wasserstoff. Da manövrieren wir uns quasi in einen Lock-in.“ (Interview 6).

Für die Politik sind diesbezüglich Entscheidungen vor allen Dingen zeitkritisch, denn „Gefahren, Risiken und ungünstige Lock-in-Effekte, oder die Gefahr davon, besteht sicherlich“ (Interview 11), solange Anwendungen nicht gezielt dort priorisiert werden, wo Märkte noch keine klaren Tendenzen für oder entgegen einer breite Wasserstoffnutzung abbilden.

3.2.3 Wohin steuert die deutsche Wasserstoffpolitik?

In Deutschland spiegeln die bisher realisierten Projekte zur Erzeugung von Wasserstoff in keiner Weise die ambitionierten Ziele der aktuellen Bundesregierung wider. Von der anvisierten Gesamtleistung von 10 GW im Jahr 2030 ist der Status Quo heute sehr weit entfernt, was die These einer knappen Angebotslage in den nächsten Jahren stützt (Clausen, 2022). Zentralen Akteuren ist weitgehend unklar, woher die angestrebten Mengen bezogen werden sollen. Dennoch stehen auch sie geschlossen hinter dem Bekenntnis der Politik für grünen Wasserstoff. Auf längere Sicht wird seine Nutzung als alternativlos angesehen, um die politisch verbindlichen Emissionsminderungsziele zu erreichen. Ob auch blauer Wasserstoff dennoch eine zusätzliche Rolle spielen sollte, ist zwischen Akteuren

umstritten. Einzelne Akteure sprechen sich für befristete Übergangsperioden aus, deren Realisierbarkeit sowie Sinnhaftigkeit jedoch schwer vorstellbar sind, da die hierfür benötigten Infrastrukturen in Deutschland bisher nicht zur Verfügung stehen. Sie müssten unter erheblichem Aufwand parallel zur grünen Infrastruktur aufgebaut werden, um sie bereits nach wenigen Jahren wieder stillzulegen, da sie mit Restemissionen von THG verbunden sind. Zudem ist bereits eine ausreichende Verfügbarkeit von Erdgas im Moment für die deutsche Wirtschaft fraglich. Die Risiken versunkener Investitionen in eine Infrastruktur für blauen Wasserstoff sind erheblich, weswegen auch hier zunächst abgewartet wird.

Wie sich der in Kapitel 3.1 analysierte Policy-Mix für Wasserstoff mit seiner Komplexität auf einzelne Akteursstrategien in Deutschland auswirkt, lässt sich nur begrenzt anhand von singulären Kausalbeziehungen aufzeigen. Dennoch ist das eingangs im konzeptionellen Rahmen für diese Studie beschriebene Wechselspiel zwischen dem Policy-Mix und seinen Zielgruppen empirisch klar beobachtbar. An vielen Stellen zeigen sich Auswirkungen des Mix auf Akteure des Markthochlaufs und seiner Vorbereitung weniger in fokussierten Strategien und aktivem Handeln, sondern in notgedrungenem Abwarten. Eine kollektive Richtungssicherheit zentraler Akteure für einen bestimmten Transformationspfad kann bisher nicht konstatiert werden. Dieser Eindruck wird wiederum von einzelnen Stakeholder-Gruppen zum Anlass genommen, den Policy-Mix mit Versuchen der Einflussnahme (Lobbying) indirekt in ihrem Sinne mit zu entwickeln. Die Dimensionen ‚Farbenlehre‘ und ‚Priorisierung von Anwendungen‘ der möglichen Transformationspfade werden öffentlich intensiv diskutiert. Insbesondere die zweite Dimension polarisiert: Akteure mit Bezug zur Gaswirtschaft fürchten scheinbar um Vermögenswerte und Geschäftsmodelle und stehen einer Priorisierung entgegen, obwohl diese eine effiziente Allokation knapper Wasserstoffmengen ermöglichen könnte. Mancherorts verdecken interessengeleitete Positionen und kommunikative Zuspitzungen diejenigen evidenzbasierten Argumente, die als handlungsleitend für eine zukunftssichere Weiterentwicklung des Policy-Mix für Wasserstoff aufgefasst werden sollten.

4 Policy-Mix für konkurrierende Transformationspfade: Elektroautos, Wärmepumpen und Wirkungen auf Akteursstrategien

Als Ersatz für die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas steht neben Wasserstoff auch der Energieträger Strom zur Verfügung. Um die Wasserstoffpolitik auch mit Blick auf diesen Wettbewerb neuer klimaneutraler Lösungen untereinander beurteilen zu können, und die mögliche Herausbildung von alternativen Transformationspfaden zu beleuchten, scheint es zweckmäßig, zumindest einen groben Blick auf die auf technologische Alternativen gerichtete Politik zu werfen. Als beispielhafte Alternativen haben wir die Elektromobilität mit dem Fokus auf PKWs als Alternative zum Wasserstoff-PKW sowie die Wärmepumpe als Alternative zur mit Wasserstoff betriebenen Gasheizung gewählt. Beide potenziellen Anwendungen werden zurzeit besonders kontrovers diskutiert und bieten sich daher für unsere Analyse möglicher alternativer Transformationspfade besonders an.

Komplementär zur Analyse in Kapitel 3, wird im Folgenden der jeweilige Policy-Mix bezüglich konkurrierender Technologiepfade sowie seine Wirkungen auf Akteursstrategien untersucht. Die Analyse nutzt dabei analog die analytischen Konzepte wie die Analyse in Kapitel 3, ist notwendigerweise aber weniger detailliert als die Analyse des Wasserstoff Policy-Mix, der im Fokus des Projekts steht, da die vorhandenen Ressourcen und damit auch die Anzahl der Interviews hier geringer waren. Gleichzeitig liefert die Analyse aus unserer Sicht aber sehr interessante Erkenntnisse und trägt damit zu einem besseren Verständnis der Wasserstoffpolitik vis a vis alternativer Transformationspfade da.

4.1 Der Policy-Mix zur Förderung von Elektromobilität und seine Auswirkungen

Der elektrische Antrieb für PKWs ist eine serienreife Technologie, die weltweit in großen Stückzahlen produziert wird. Sie erfordert in jedem Fahrzeug einen Elektromotor, eine Fahrbatterie sowie eine Ladeelektronik. Zusätzlich ist ein Netz von Ladepunkten erforderlich, an denen das Fahrzeug teils im privaten Umfeld (Wallboxen), teils im öffentlichen Raum (Ladestationen und Schnelllader) aufgeladen werden kann. Anfang 2023 weist die Ladesäulenkarte der Bundesnetzagentur ca. 35.000 öffentliche Ladepunkte aus (Bundesnetzagentur, 2023).

4.1.1 Policy-Mix der Elektromobilität

Die Förderung der Elektromobilität in Deutschland begann vor ca. 15 Jahren. *„Bereits 2007 erklärte die Bundesregierung im Integrierten Energie- und Klimaprogramm die Förderung der Elektromobilität zu einem entscheidenden Baustein, mit dem sie ihre Klimaschutzziele erreichen möchte“* (Bundesregierung, 2011). Das Regierungsprogramm Elektromobilität (Bundesregierung, 2011) diente der Umsetzung des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität und setzte das Ziel von einer Million Elektrofahrzeugen für 2020 und eine weitere Zielmarke von sechs Millionen Fahrzeugen in 2030. Im Koalitionsvertrag der Ampelregierung wird zusätzlich das Ziel von 15 Millionen Elektrofahrzeugen in 2030 gesetzt (SPD et al., 2021).

In vier so genannten ‚Schaufenstern Elektromobilität‘ wurden ab 2012 bundesweit groß angelegte regionale Demonstrations- und Pilotvorhaben durchgeführt. Die Schaufenster dienten gleichzeitig als Erprobungsraum und Werkstatt. Die Wirkung all dieser Maßnahmen war begrenzt, die Absatzzahlen

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

verharrten auf niedrigem Niveau. Erst 2013 wurde ein Bestand von mehr als 10.000 Elektro-PKW erreicht, in 2019 wurden die 100.000 überschritten und in 2022 wurde dann die für 2020 versprochene Million Elektro-PKW erreicht.

Die Förderprämie für Elektroautos von 4.000 EUR wurde als sogenannte Umweltprämie im Jahr 2016 eingeführt. Sie setzte sich aus einem staatlichen Anteil von 2.000 EUR und einem Anteil des Herstellers von weiteren 2.000 EUR zusammen. Während damit bis Juni 2020 die für den Kauf von Wasserstoff- und Elektroautos gezahlten Prämien von 4.000 EUR noch niedrig waren und der Marktanteil von Elektroautos sowohl in der vollelektrischen Variante wie in der Plug-In-Variante bei ca. 3 % bis 4 % lag, stieg er sofort nach Einführung der von 4.000 EUR auf 9.000 EUR erhöhten Prämie (mit 6.000 Euro Staatsanteil), auf 10 % bis 15 % und im Dezember 2022 erstmals auf über 30 % des PKW-Absatzes.

Zu beachten ist, dass die gleichen Förderbedingungen immer auch für Wasserstoffautos galten, deren Verkaufszahlen jedoch mangels Angebots und aufgrund hoher Preise nur ca. ein Tausendstel der Verkaufszahlen batterieelektrischer Automobile und Plug-In-Hybride erreichten. So standen im Jahr 2022 den 470.559 neu zugelassenen Elektro-PKW und den 362.093 Plug-in-Hybriden (KBA, 2023) lediglich 697 Wasserstoff-PKW von Hyundai (424), Toyota (266) und BMW (17 mit Toyota-Antrieb) gegenüber (Elektro-Kraftfahrzeuge, 2023).

Neben den mehrfach geänderten Regelungen zur E-Auto Kaufprämie von 2016, 2020 und 2022 wurde eine Reihe von Regulierungen speziell für die Elektromobilität erlassen:

Tabelle 2: Wesentliche Regelungen der Elektromobilität

Gesetz	Gegenstand
Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Elektromobilitätsgesetz EmoG) von 2015	Das Gesetz regelt die bevorrechtigte Teilnahme von Elektrofahrzeugen am Straßenverkehr, um deren Verwendung zur Verringerung klima- und umweltschädlicher Auswirkungen des motorisierten Individualverkehrs zu fördern. Das Gesetz enthält außerdem eine Definition der begünstigten Fahrzeuge.
Verordnung über technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für elektrisch betriebene Fahrzeuge ¹ (Ladesäulenverordnung LSV) von 2016	Regelt technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für elektrisch betriebene Fahrzeuge
Gesetz über die Bereitstellung flächendeckender Schnellladeinfrastruktur für reine Batterieelektrofahrzeuge (Schnellladegesetz Schnell-LG) von 2021	Mit dem Gesetz schafft das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) die Rechtsgrundlage für den gezielten Ausbau eines deutschlandweiten Netzes von Schnellladepunkten. Mit 1.000 zusätzlichen Schnellladehubs soll ein engmaschiges Schnellladeinfrastruktur-Netz entstehen, das garantiert, dass die Nachfrage bei steigenden Zulassungszahlen von E-Fahrzeugen auch zu Spitzenzeiten und an bisher unwirtschaftlichen Standorten gedeckt werden kann.
Gesetz zum Aufbau einer gebäudeintegrierten Lade- und Leitungsinfrastruktur für die Elektromobilität (Gebäude	Nach § 6 GEIG muss jeder, der ein Wohngebäude errichtet, das über mehr als fünf Stellplätze innerhalb des Gebäudes oder über mehr als fünf an das Gebäude angrenzende Stellplätze verfügt,

Elektromobilitätsinfrastruktur Gesetz
GEIG) von 2021

dafür Sorge tragen, dass jeder Stellplatz mit der Leitungsinfrastruktur für die Elektromobilität ausgestattet ist. Ab mehr als 6 Stellplätzen gilt das anteilig und bei mehr als 10 Stellplätzen auch für Renovierungen.

Quelle: Borderstep

Für den Ausbau der Ladeinfrastruktur war auch der erste Masterplan Ladeinfrastruktur von 2019 und dessen Fortschreibung von 2022 von Bedeutung.

Über die speziellen Regelungen hinaus war es aber auch nötig, eine große Zahl von Gesetzen und Verordnungen so zu verändern, dass sie die Elektromobilität sowie den Ausbau der privaten und öffentlichen Ladeinfrastruktur überhaupt ermöglichen. Die Liste der dafür im Detail angepassten Regelungen ist lang:

- ▶ Batteriegesetz – BattG,
- ▶ Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG,
- ▶ Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraft- und Brennstoffen – 10. BImSchV,
- ▶ Carsharinggesetz – CsgG,
- ▶ Einkommensteuergesetz – EStG,
- ▶ PKW-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung – PKW-EnVKV,
- ▶ Energiewirtschaftsgesetz – EnWG,
- ▶ Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2021,
- ▶ Fahrerlaubnis-Verordnung – FeV,
- ▶ Fahrzeug-Zulassungsverordnung – FZV,
- ▶ Kraftfahrzeugsteuergesetz – KraftStG,
- ▶ Niederspannungsanschlussverordnung – NAV,
- ▶ Straßenverkehrsgesetz – StVG,
- ▶ Straßenverkehrs-Ordnung – StVO,
- ▶ Gesetz über das Wohnungseigentum und das Dauerwohnrecht (Wohnungseigentumsgesetz) – WEG,
- ▶ Strompreisbremsegesetz – StromPBG.

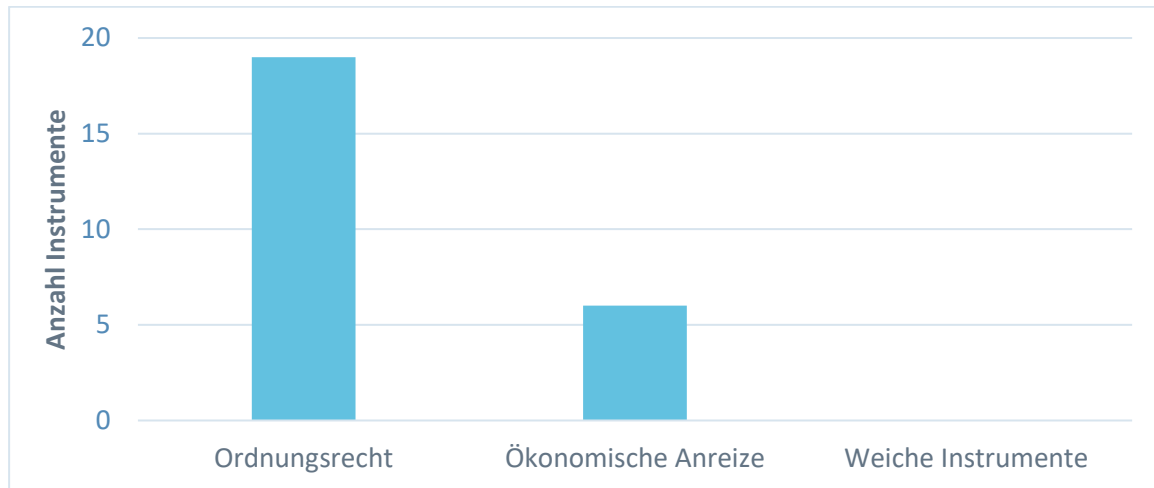
In allen diesen Regelungen erfolgten teils sehr kleine Änderungen. So wird zum Beispiel im Einkommensteuerrecht festgelegt, dass vom Arbeitgeber gewährte Vorteile für das elektrische Aufladen eines Elektrofahrzeugs oder Hybridelektrofahrzeugs steuerfrei sind. Im Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG) wird festgelegt, dass Ladepunktbetreibende als Letztverbrauchende anzusehen sind, was zur Folge hat, dass das nachgelagerte Verhältnis zum Fahrzeugnutzenden nicht streng reguliert ist. Im Gesetz über das Wohnungseigentum und das Dauerwohnrecht (Wohnungseigentumsgesetz - WEG) wurde verankert, dass Wohnungsbesitzende das Recht auf Errichtung einer Ladeinfrastruktur in einer Gemeinschaftsgarage haben und die Zustimmung aller Wohnungseigentümerinnen und Wohnungseigentümer verlangen können.

Alle diese Festlegungen sind jede für sich, vergleichsweise wenig bedeutend. Alle zusammen aber beseitigen eine große Zahl von möglichen Hemmnissen oder schaffen kleine Erleichterungen, die in Summe der Verbreitung der Elektromobilität Vorschub verschaffen.

Instrumente der Information und Beratung, die spezifisch für die Verbreitung von Elektro-PKW geschaffen wurden, konnten nicht identifiziert werden. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die allgemeinen Strukturen der Energieberatung, z. B. durch die bundesweit 111 Energieagenturen (Blazejczak et al., 2020), die Beratung zur Elektromobilität im Rahmen ihrer Aufgabe häufig mit anbieten.

Bei der Zuordnung der Instrumententypen (regulatorisch, finanziell und ‚weich‘) sind mehr als die Hälfte der Instrumente ordnungsrechtlicher Natur (siehe Abbildung 9).

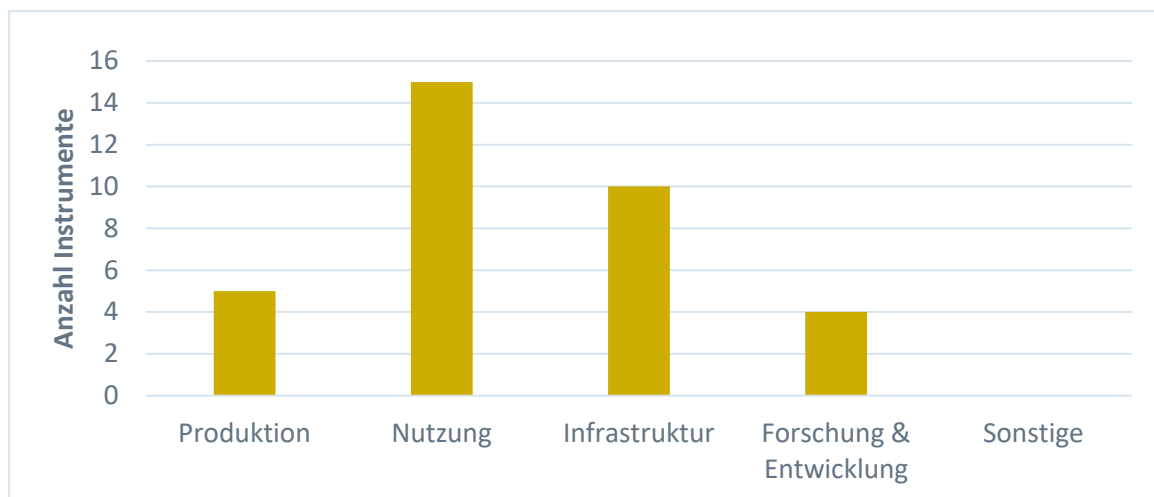
Abbildung 9: Verteilung der für Elektroautos wichtigen Instrumente nach Instrumententyp (N = 25)



Quelle: eigene Darstellung, Borderstep

In der Analyse, auf welche Stufen der Wertschöpfungskette der Policy Mix abzielt (siehe Abbildung 10), ist zu konstatieren, dass das Gros der Instrumente (15) auf die Nutzungsphase abzielt, aber immerhin 10 Instrumente sind auf die Entwicklung der Infrastruktur gerichtet. Einige Instrumente zielen auf die Entwicklung und Produktion batterieelektrischer PKWs ab.

Abbildung 10: Verteilung der für Elektroautos wichtigen Instrumente nach Stufen der Wertschöpfungskette (N = 34)



Quelle: eigene Darstellung, Borderstep

Im Zeitablauf ist festzustellen, dass unter dem Kabinett Merkel zwar für die Verbreitung von Elektroautos immer wieder Ziele gesetzt und Regierungsprogramme aufgelegt wurden, aber eine erfolgreiche Diffusion von Elektroautos in den Massenmarkt bis einschließlich 2019 nicht stattfand. Erst nach dem langjährigen und zähen Aufbau einer Basis-Ladeinfrastruktur und nach dem Impuls der Fridays-Demonstrationen sowie aufgrund der 2020 eingeführten erhöhten Förderung begannen im Juli 2020 die Marktanteile von Elektroautos (BEV und PHEV) zusammen erstmals die Marke von 10 % zu überschreiten.

Ergänzend zu der durch die Bundesregierung ausgelobten Förderung ist dann besonders die ab 2020 gültige Festsetzung von CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen mit der Festlegung des Flottenziels auf 95 g CO₂/km (Europäisches Parlament & Rat, 2019) gemeinsam mit dem geplanten Verkaufsverbot für PKWs mit Verbrennungsmotor ab 2035 laut Stakeholdern (Interviews 1, 12 und 13) als ursächlich für die ab Juni 2020 zu beobachtende beschleunigte Diffusion batterieelektrischer PKW zu sehen. Als zentrale Treiber sind damit eine hohe Förderung der Diffusion gemeinsam mit zwei sehr wirksamen Förderungen der Exnovation⁵ der Vorgängertechnologie zu benennen. Die Ampel-Koalition spielt dabei insofern eine Rolle, als unter ihr das 'Fit for 55' Programm der EU inklusive des Verbrenner-Ausstiegs 2035 (Europäische Kommission, 2021) mitbeschlossen wurde.

Eine Widersprüchlichkeit der Instrumentierung der Politik zur Förderung der Elektromobilität ist zunächst bis fast zum Ende der Regierungszeit von Kanzlerin Merkel zu konstatieren, denn statt der angepeilten 1 Million BEV in 2020 waren es Ende 2020 erst ca. 300.000 BEV. Das eingesetzte Instrumentarium war offensichtlich nicht ausreichend, um die politischen Ziele umzusetzen.

Die Zustimmung zum 'Fit for 55' Programm der EU mit dem darin beschlossenen Verbrenner-Ausstieg trägt zwar zur Glaubwürdigkeit der Ampel-Regierung bei, die u.U. zu frühe Kürzung der Förderung zum 1.1.2023 wiederum lässt an der Glaubwürdigkeit der Politik zweifeln. Um die Kassen zu schonen wäre es ja auch möglich gewesen, die Senkung der Förderung für BEV in eine Form einer Sondersteuer für Verbrennerfahrzeuge zu überführen und so den relativen Kostenvorteil auf Höhe der 2020 eingeführten Förderung zu halten.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die drei durch die Interviewpartner (Interview 1, 12 und 13) als am wirksamsten eingestuften Vorschriften, nämlich die Kaufprämie, die PKW-Emissionsnormen der EU sowie der durch das 'Fit for 55' Programm der EU angekündigte Verbrennerausstieg sich gleichermaßen auf die Marktchancen von batterieelektrischen PKWs wie auch von Wasserstoff-PKWs auswirken. Dennoch werden um den Faktor 1.000 mehr batterieelektrische PKWs als Wasserstoff-PKWs verkauft. Die Politik kann insoweit als technologieoffen eingestuft werden, der Misserfolg des Wasserstoff-PKWs muss eher im Feld von Angebot und Nachfrage zu suchen sein. Dabei mangelt es nicht an geäußertem Interesse der Kundschaft, denn 32 % der Deutschen würden nach eigener Angabe am liebsten ein Wasserstoffauto fahren, nur 14,8 % eins mit Batterie (Oppenheimer, 2022). Der Grund für den niedrigen Absatz könnte eher am Preis (beide angebotenen Fahrzeuge kosten um die 70.000 EUR vor Prämie) und dem dünnen Wasserstoff-Tankstellennetz liegen.

⁵ Unter Exnovation werden in der wissenschaftlichen Transformationsforschungsdebatte die politische Gestaltung des Ausstiegs aus nicht-nachhaltigen Technologien, Praktiken und Strukturen verstanden (siehe z.B. Arne Heyen, D., Hermwille, L., & Wehnert, T. (2017). Out of the comfort zone! Governing the exnovation of unsustainable technologies and practices. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 26(4), 326-331).

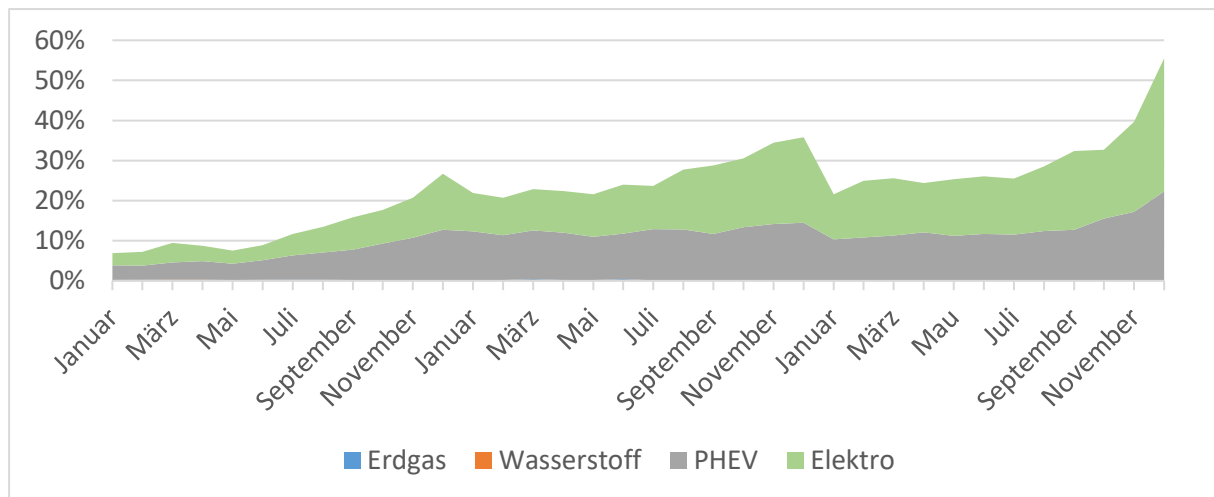
4.1.2 Wirkung der Instrumente auf die Akteure der Wirtschaft

2013 hatte Tesla mit dem Verkauf des Modell S in Deutschland begonnen (EV Sales Blogspot, 2013) und nach dem Dieselgate-Skandal 2015 begann Volkswagen im Rahmen seiner Elektrostrategie mit der Entwicklung des Modularen Elektrobaukastens und kündigte bereits 2016 Investitionen im zweistelligen Milliardenbereich an (Mortsiefer, 2016), also etwa zehnmal so viel wie im Rahmen des NIP 1 und 2 in die Wasserstoff-Mobilität investiert worden waren. Ein Interviewpartner sieht dabei auch einen Zusammenhang zwischen einer klaren Strategie der Autoherstellenden in Richtung auf klimafreundliche Fahrzeuge und dem Börsenwert:

„... sobald sich ein Hersteller jetzt zum Beispiel der Elektromobilität verschreibt oder und so weiter, ist es immer gut für den Kapitalmarkt. Also das heißt, dann kann man sich refinanzieren, man kriegt bessere Konditionen. Natürlich ist das dann gut für die Investitionssicherheit“ (Interview 12).

Ziele, Strategie wie auch die Investitionen der Fahrzeugherstellenden begannen sich also seit etwa 2015 zu verändern. Bis in die Mitte des Jahres 2020 trat aber eine den Automobilmarkt verändernde Wirkung der politischen Instrumente für Fahrzeuge mit klimafreundlichem Antrieb kaum ein. Mit Marktanteilen von 3 % bis 4 % verharren batterieelektrische PKW in einer überschaubaren Nische, Plug-In-Hybride wurden ähnlich viele verkauft, wobei deren klimaschonender Effekt aufgrund der Methodik der Verbrauchsmessungen sehr umstritten ist. Erst durch die erhöhten Fördersätze des Corona-Konjunkturpakets in Verbindung mit der ‚95 Gramm Vorschrift‘ und dem ‚Fit for 55‘ Programm der EU kam der Markt für elektrische Automobile seit dem Jahr 2020 in Schwung.

Abbildung 11: Marktanteil von Elektroautos und Plug-In-Hybriden in Deutschland 2020 bis 2022



Quelle: Borderstep auf Basis von Daten des Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)

Als ursächlich für das Marktwachstum sieht ein Interviewpartner die Förderung:

„Fangen wir mal bei der Elektromobilität an, das ist ja genau das passiert, dass man durch eine Förderung der Elektromobilität jetzt wirklich in so eine Dynamik hereingekommen ist, dass die Fahrzeuge gekauft werden. Die Hersteller bieten jetzt immer mehr Modelle an“ (Interview 1).

Schon davor kam ab 2014 die Verordnung (EG) Nr. 443/2009 hinsichtlich der Festlegung der Modalitäten für das Erreichen des Ziels für 2020 zur Verringerung der CO₂-Emissionen neuer Personenkraftwagen auf 95 gCO₂/km und im Rahmen des ‚Fit for 55‘ Programms der EU wurde dann im Sommer 2022 beschlossen, dass ab 2035 nur noch PKW ohne CO₂-Emissionen zugelassen werden dürfen. Einige Interviewte bewerteten diese Beschlüsse als deutlich pfadverstärkend zugunsten der Elektrofahrzeuge, die den Markt CO₂-freier Fahrzeuge gegenwärtig mit einem Marktanteil von 99,9 % vollständig beherrschen. Vergleichsweise stark wirkt dabei die 2014 erlassene Vorschrift, ab 2020 durchschnittlich CO₂-Emissionen von 95 gCO₂/km über die produzierte Flotte zu erreichen:

„Hinzu kommt noch Euro-7 und so weiter. Und wozu führt das? Also es führt zunächst einmal dazu, dass wir so viele batterieelektrische Fahrzeuge in den Markt bringen müssen, wie es geht, häufig mit Rabatt, damit man die Flottenziele erreicht. Diese Fahrzeuge werden natürlich innerhalb der Konzerne quer-subsidiert“ (Interview 12).

„Also, wenn wir beim PKW bleiben, ... sind die CO₂-Flottengrenzwerte eine sehr starke wirksame und auch langfristig angelegte Maßnahme, die, sozusagen was das Fahrzeugangebot angeht, die Hersteller zwingt umzusteuern mit sehr klaren langfristigen Zielvorgaben.“ (Interview 13).

Langfristig ist dann das für 2035 angekündigte Verbot, Verbrenner zu vermarkten, der größte Treiber der Transformation. Wenn auch in Zukunft 12 bis 15 Mio. Automobile jährlich in der EU abgesetzt werden sollen und diese ab 2035 ‚ohne Auspuff‘ funktionieren müssen, dann ist es nicht nur notwendig, eine große Modellvielfalt auf den Markt zu bringen, sondern auch die ca. 80 Produktionsstandorte umzubauen, in denen gegenwärtig in der EU Automobile produziert werden.

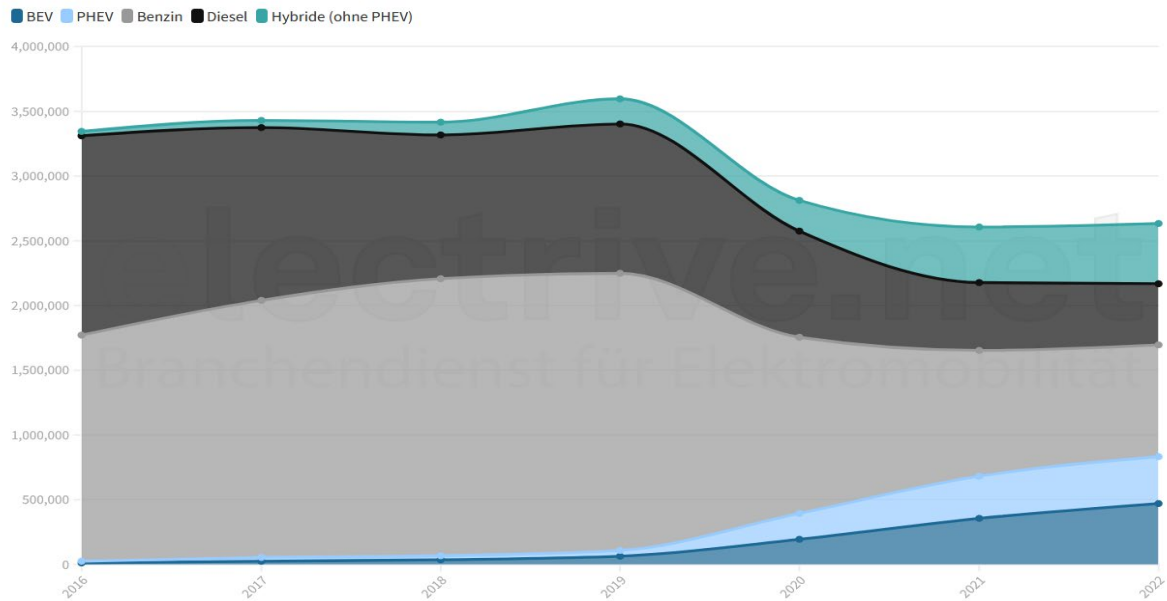
„Also im gesamten Produktspektrum gehen wir auf batterieelektrische Fahrzeuge, weil die Regulierung so ist, wie sie ist. Die Regulierung sagt, 2035 darf ein Auspuff kein CO₂ mehr ausstoßen, egal, wo das CO₂ her ist, ob das jetzt klimaneutrales CO₂ ist oder ob das fossiles ist, das spielt keine Rolle“ (Interview 12).

Zusammen mit dem durch Corona-Pandemie und Lieferkettenprobleme verursachten Einbruch der Verkaufszahlen ab dem Jahr 2020 hat sich der Automobilmarkt in den Jahren 2020 bis 2022 radikal verändert. Während bis 2019 quasi nur der Hybridantrieb in Verbindung mit dem Benzinmotor und ohne die Möglichkeit des Ladens an der Steckdose ein paar Marktanteile gewann, passierten ab 2020 gleich zwei parallele drastische Entwicklungen:

- ▶ Ein massiver Markteinbruch von ca. 3,5 Mio. Neuzulassungen in 2019 auf nur noch 2,5 Mio. Neuzulassungen in den Jahren ab 2020, in Verbindung mit
- ▶ einem massiven Wachstum der Marktanteile von batterieelektrischen PKW, Plug-In-Hybriden und normalen Hybriden auf zusammen gut 50 % Marktanteil.

Während nach der Dieselkrise 2015 zunächst nur der Anteil verkaufter Diesel zugunsten der Benziner leicht zurückgegangen war, wurden in den letzten drei Jahren die Karten im deutschen Automarkt neu gemischt.

Abbildung 12: Marktanteile verschiedener Antriebe im deutschen PKW-Markt 2016 bis 2022



Quelle: KBA

Quelle: Schaal (2023)

Die Herstellenden und Zuliefernden von elektrischen PKWs haben deutlich profitiert, die konventionellen Antriebe sind auf dem Rückzug. Von Wasserstoff-PKWs ist nach wie vor, abgesehen von einer Reihe von Demonstrationsfahrzeugen, nichts wahrzunehmen.

In den Jahren 2019 bis 2022 ist die Zahl der in Deutschland neu zugelassenen PKW mit ausschließlichem Antrieb durch Benzinmotor von 2,14 Mio. Stück auf 0,68 Mio. Stück um 68 % gesunken und die Zahl der PKW mit Dieselmotor von 1,2 Mio. Stück auf 0,47 Mio. Stück um 61 % gesunken (Schaal, 2023). Aufgrund des hohen Anteils an Modellen mit Hybridmotor ist der gesamte Anteil von PKW mit Verbrennungsmotor nur um 17,7 % reduziert, nämlich den Anteil der batterieelektrischen Fahrzeuge. Aber durch die aufgrund der Corona-Pandemie und die Lieferkettenprobleme insgesamt gesunkene Zahl von Neuzulassungen ist bei Benzin, Diesel, Hybrid und Plug-In-Hybrid in der Summe ein Minus von ca. 40 % zu konstatieren, von ca. 3,6 Mio. Stück in 2019 auf ca. 2,1 Mio. Stück in 2022.

Die Branche hat diesen Umschwung zwar finanziell durch Konzentration auf ertragsstarke Modelle mit Blick auf die Unternehmensgewinne gut verkraftet (Tagesschau, 2022b), die Zahl der Beschäftigten ist aber allein von 2019 bis 2021 um ca. 50.000 zurückgegangen (Statista, 2022). Aus Sicht der IG-Metall sind sowohl in der Fahrzeugindustrie als auch im Automobilhandel und Aftermarket bis 2040 jeweils bis zu 300.000 Arbeitsplätze gefährdet (IG Metall CO₂-AG, 2021). Wenig überraschend wären dabei am stärksten Arbeitsplätze im Antriebsstrang vom Stellenabbau betroffen. Aus Sicht der IG-Metall ist daher die Elektrifizierung nicht die einzige Lösung (IG Metall CO₂-AG, 2021, S. 12):

„Sowohl der direkte Einsatz von grünem Wasserstoff in der Brennstoffzelle als auch der Einsatz synthetischer Kraftstoffe in Verbrennungsmotoren – mit grünem Wasserstoff als Zwischenprodukt – können Beiträge zu einer klimaneutralen Mobilität leisten [...]. Insbesondere da, wo der Einsatz von Batterien

technologisch keine oder keine gute Option ist, bieten diese Technologien den besten Weg. Hier sind sie auch weitgehend unumstritten.“

Aber der Einsatz von Wasserstoff und E-Fuels kann nur fokussiert erfolgen, denn „für den Individualverkehr spielt das Elektroauto die größere Rolle und bietet den effizienteren Einsatz der ohnehin knappen Energie“ (IG Metall CO₂-AG, 2021, S. 13).

Für andere Akteure spielen E-Fuels aber unabhängig von Fragen der Effizienz und Verfügbarkeit eine Rolle als Zukunftsoption. So fordert die FDP im Rahmen des Technologiefreiheitsprinzips (FDP, 2023):

“Für die klimaneutrale Mobilität müssen wir uns alle Technologie-Optionen offenhalten. So bieten auf Basis grünen Wasserstoffs hergestellte E-Fuels die Möglichkeit, Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor klimaneutral zu betanken.“

Auch ein Interviewpartner aus der Automobilbranche sieht in der Verbrenner-Bestandsflotte eine Einsatzoption für E-Fuels:

„Also das heißt, wir müssen massiv in die Lade- und Tankinfrastruktur investieren, parallel massiv in erneuerbare Kraftstoffe. Und mit den erneuerbaren Kraftstoffen können wir eben sofort was erreichen, sogar im Bestandfahrzeug, und im Neufahrzeug kann man dann, wenn man genug Infrastruktur hat, natürlich dann auch klimaneutral fahren, sofern es genug erneuerbaren Strom gibt, natürlich grünen Wasserstoff, und das ist natürlich dann die nächste Engstelle“ (Interview 12).

Damit schafft die Aussicht auf Wasserstoff und E-Fuels quasi noch eine Zukunft für den Verbrenner, was den Lock-in in diesen Technologiepfad verlängern würde. Diese Argumente sind analog zu den Argumenten der Gasindustrie, was die Nutzung von Wasserstoff im Heizungsbereich angeht.

Aber wie sieht es jetzt mit einer Mobilität aus, die wirklich durch Wasserstoff und Brennstoffzelle angetrieben wird? Zunächst einmal ist darauf hinzuweisen, dass Wasserstofffahrzeuge gegenüber batterieelektrischen Fahrzeugen in den letzten Jahren weder bevorteilt noch benachteiligt wurden:

„Die Förderinstrumente sind da technologieneutral. Es gibt die gleichen Fördersätze für Wasserstoff-PKW wie Elektro-PKW und die gleichen Förderinstrumente für Wasserstoff-LKW wie Batterie-LKW. Bisher sind halt einfach keine Wasserstofffahrzeuge angeboten und auch kaum Wasserstofffahrzeuge gekauft. Aber die Förderung ist da ganz offen. Da haben sich einfach [...] bei [...] PKW, die Anbieter und auch die Konsumenten relativ klar mehrheitlich entschieden“ (Interview 13).

Zumindest die PR für den Wasserstoff-PKW durch die vom Verkehrsministerium verwalteten Nationalen Innovationsprogramme 1 und 2 in den letzten 17 Jahren hat deutlich Spuren in der allgemeinen Erwartungshaltung hinterlassen, so dass in der Öffentlichkeit der Wasserstoff-PKW nach wie vor beliebt ist (Oppenheimer, 2022). Aber dies kann auch in die Irre führen:

„Also in der öffentlichen Wahrnehmung erleben wir es ja sehr oft, dass viele potenzielle Kunden sagen: „Ach, das mit den Elektroautos ist doch alles Mist. Ich warte auf den Wasserstoff-PKW“. Und da werden viele vergebens warten. Bei den LKW ist es ähnlich. Da erlebe ich es ganz oft in Gesprächen mit Logistikern, dass viele davon träumen, gut, wenn sie die Diesel nicht mehr fahren dürfen, kaufen sie halt einen Wasserstoff-LKW. Und sie glauben oder hoffen, dass das

genauso wie heute sein wird, tausend, 1.500 Kilometer Reichweite, ab und zu mal an die Tankstelle fahren, nach zehn Minuten fertig“ (Interview 13).

Aber das Stimmungsmachen für unrealistische Lösungen weckt letztlich *„falsche Hoffnungen und verzögert so die Transformation. Sowohl auf der Seite der potenziellen Nutzer, PKW und LKW, als auch auf Seite der Investoren. Ich habe auch Gespräche mit Banken geführt und so was. Da hoffen auch viele, dass Wasserstoff im Straßenverkehr eine sehr, sehr, sehr, sehr große Rolle spielen wird“* (Interview 13).

Ein weiteres Argument nicht nur für den Wasserstoffantrieb, sondern auch für synthetisches Benzin ist der Glaube, dass mehrere Lösungen das Problem schneller lösen als nur eine einzige:

„Die Klimakrise ist so groß, brauchen wir nicht alle alternativen Antriebe, ja, dass wir möglichst schnell sind? Und ich finde, das ist ein interessanter Gedanke, man kann das aber auch umdrehen. In dem Moment, in dem ich irgendwie drei Pfade parallel verfolge, bin ich in keinem Pfad so schnell und effizient, wie ich sein könnte, wenn ich nur einen verfolgen würde, ja? Also dieses sogenannte F&E-Mittel auch Industrie und öffentliche Seite für Technologien aufzugeben, die keine große Rolle spielen werden, bindet natürlich personelle und finanzielle Kapazitäten“ (Interview 13).

So lässt sich auch der Wunsch nach E-Fuels durch den Wunsch begründen, die Klimakrise schnell bekämpfen zu wollen.

„Und mit den erneuerbaren Kraftstoffen können wir eben sofort Fortschritte erreichen, sogar im Bestandfahrzeug, und im Neufahrzeug kann man dann, wenn man genug Infrastruktur hat, natürlich dann auch klimaneutral fahren, sofern es genug erneuerbaren Strom gibt, natürlich grünen Wasserstoff, und das ist natürlich dann die nächste Engstelle“ (Interview 12).

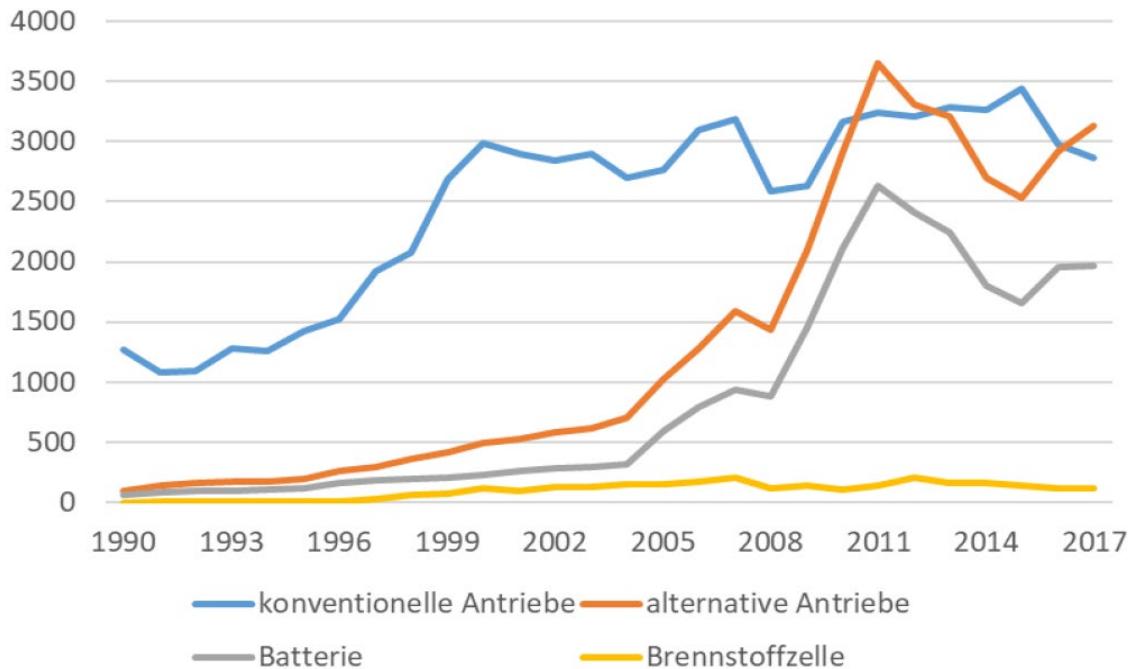
Mehreren Pfaden folgen zu wollen, würde im Verkehrsbereich aber bedeuten, mehrere Versorgungsinfrastrukturen gleichzeitig stark ausbauen zu müssen. Für eine Flotte an Elektroautos werden wir eine Ladeinfrastruktur benötigen, für eine Flotte an Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeugen wären langfristig mehrere tausend Wasserstofftankstellen erforderlich und schon für nur 20 % Verbrennerfahrzeuge, die auf Basis von mit grünem Wasserstoff hergestellte E-Fuels betrieben würden (FDP, 2023), würde genau so viel grüner Strom benötigt, wie für eine Flotte aus 100 % batterieelektrischen Fahrzeugen (Clausen, 2022). Ob der Aufbau dieser Infrastrukturen rasch erfolgen kann und es ermöglicht *„sofort Fortschritte [zu] erreichen“* (Interview 12), darf daher bezweifelt werden.

4.1.3 Wirkung der Instrumente auf die Akteure der Wissenschaft

Die Auswirkung der aufkommenden alternativen Antriebe auf die technischen Wissenschaften und die einschlägige Forschung ist anhand der Patentstatistik gut erkennbar. So haben Sievers und Grimm (2022) die Patentanmeldungen im Bereich der Fahrzeugantriebe zwischen 1990 und 2017 ausgewertet (siehe Abbildung 13). Sie stellen fest, dass Patentanmeldungen zu konventionellen Antrieben bereits ab dem Jahr 2000 stagnieren und phasenweise sogar abnehmen. Batterieelektrische Antriebe sind unter den Patentanmeldungen alternativer Antriebstechnologien stark vertreten und steigen genau wie die Patentanmeldungen zu Batterietechnologien ab 2010 auf das Niveau der konventionellen Antriebe. Patentanmeldungen zu Antrieben mit Brennstoffzelle machen dagegen keine 10 % der Patente zu Elektroantrieben aus (Sievers & Grimm, 2022). Auffällig ist, dass die

Patentanmeldungen zu Brennstoffzellen schon ab dem Jahr 1996 stark ansteigen und ähnlich die Patente zu Verbrennertechnologien seit dem Jahr 2000 auf niedrigem Niveau stagnieren.

Abbildung 13: Konventionelle und alternative Antriebe – transnationale Patentanmeldungen



Quelle: Sievers und Grimm (2022)

Neben der Umschichtung der technologischen Forschung vom Verbrennerantrieb auf den Elektroantrieb ist zu beobachten, dass sich einige Wissenschaftsakteure auf den wissenschaftlichen Diskurs mit Szenarien und Ökobilanzen verlegen, um den Gang der Dinge zu beeinflussen oder jedenfalls Aufmerksamkeit zu erregen. So veröffentlichte das Kieler Institut für Weltwirtschaft unter dem Titel „Elektromobilität und Klimaschutz: Die große Fehlkalkulation“ noch im Sommer 2020 eine für den Elektroantrieb sehr negative Studie (Schmidt, 2020), welche allerdings mit Blick auf Methode und Kernergebnisse vom Fraunhofer ISI als fehlerhaft widerlegt wurden (Wietschel, 2020). Auch Buchal et al. (2019, S. 40) äußerten sich dahingehend, „dass der CO₂-Ausstoß des Elektromotors im günstigen Fall um etwa ein Zehntel und im ungünstigen Fall um ein gutes Viertel über dem Ausstoß des Dieselmotors liegt“. Auch hier erhob sich aber rasch ein deutlicher Gegenwind und die Studie wurde aufgrund ihrer mangelnden wissenschaftlichen Grundlage stark kritisiert (Hajek, 2019; Schwierz, 2019).

Nicht weniger als 170 Professoren weltweiter Lehrstühle für Verbrennungskraftmaschinen geben zu bedenken (IASTEC, 2021):

“The point that is being missed in current regulations is that it is not the ICE that is the root cause of CO₂ emissions, but the fuels that are burnt within it. The replacement of fossil fuel based liquid hydrocarbon fuels with CO₂ neutral reFuels has the potential of significantly reducing CO₂ emissions from road transport in a progressive way (increasing reFuels blending rate over the years), without the need to build a new infrastructure for fuel distribution and delivery.

This solution could accompany and support a dedicated electric vehicle strategy and significantly improve the CO₂ reduction of transport sector.”

Auch hier wird aber der Aufbau der gigantischen zusätzlichen Anlagen zur Erzeugung regenerativen Stroms nicht ins Kalkül einbezogen, der Strom kommt offenbar einfach ‚aus der Steckdose‘.

4.1.4 Wird der Pfad zum elektrischen PKW eingeschlagen?

Wie oben gezeigt wurde, ist eine Absicht der Politik, den Fahrzeugbestand in Richtung auf klimaneutrale Lösungen zu entwickeln, seit dem Beschluss der neuen CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen mit der Festlegung des Flottenziels auf 95 g CO₂/km in 2019 und noch stärker seit dem ‚Fit for 55‘ Programm der EU mit dem Beschluss zum Ausstieg auf dem Verbrenner in 2035 aus 2022 klar erkennbar. Diese Beschlüsse lassen aber grundsätzlich verschiedene Lösungen offen, sowohl die Wasserstoff-Brennstoffzelle wie auch der batterieelektrische Antrieb werden den Anforderungen gerecht. Auf Druck der FDP wird sogar die Lösung über synthetische Kraftstoffe – E-Fuels – auf EU-Ebene und in Deutschland noch nicht verworfen.

Auf die Entwicklung seit 2010 zurückblickend ist dabei zu konstatieren, dass bis Anfang 2020 die Verkaufszahlen klimaneutraler PKW auf niedrigem Niveau verharrten. Das ambitionierte Ziel der Kabinette unter Merkel, in 2020 ca. 1 Mio. klimaneutraler PKW auf der Straße zu haben, wurde mit Ende 2020 ca. 300.000 Fahrzeugen deutlich verfehlt und dann zwei Jahre später erreicht.

Richter und Haas (2020) sehen einen Grund für die langsame Entwicklung in der Tätigkeit der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE, gegründet 2010 und aufgelöst 2018). Sie sehen innerhalb der NPE verschiedene Konfliktlinien zwischen starken Befürworterinnen und Befürwortern des Elektroantriebs, Advokaten des Verbleibens beim Verbrenner sowie eine weitere Fraktion, die eher eine ganzheitliche Verkehrswende anstrebte. Weitere Konflikte gab es um die Ladeinfrastruktur und die Batteriefabriken. Als Folge herrschte auch hinsichtlich der einzusetzenden politischen Instrumente keine Einigkeit und von der NPE ging letztlich keine transformative Wirkung aus. Politische Ambivalenzen nehmen auch Pichler et al. (2021) bei ihrer Analyse der EU-Politik wahr. Während die EU einerseits die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Automobilbranche durch Innovation steigern möchte und dabei von der Batteriebranche unterstützt wird, steht auf der anderen Seite das etablierte Regime des Verbrennungsmotors mit seiner langjährigen Erfolgsgeschichte und Profitabilität (Pichler et al., 2021). Als wirksamstes Instrument beurteilen Pichler et al. (2021) die Emissionsvorschriften und Flottengrenzwerte, erwarten aber nicht, dass es ohne eine klare Exnovationspolitik zu einem wirklichen Systemwechsel kommt. Eine Politik, die auf ordnungspolitische Vorschriften mit dem Ziel der Exnovation nicht-nachhaltiger Technologien setzt ist allerdings wenig überraschend in der Bevölkerung weniger beliebt als Förderungen (Brückmann & Bernauer, 2020). Dies zeigte sich zuletzt in Deutschland besonders am Beispiel der Heizungswende (siehe nächster Abschnitt).

Als Vertreterin einer ganzheitlichen Verkehrswende knüpft Augenstein (2015) die Zukunft des Elektroantriebs an soziale Innovationen, neue serviceorientierte Geschäftsmodelle und neue Nutzungsgewohnheiten und legt damit die Latte für ein entschlossenes politisches Handeln fast unerreichbar hoch. In Anlehnung an Loske (2014) lässt sich in diesem (vorsorglich) hohen Anspruch an ganzheitliche Transformation ein Muster erkennen, nämlich die Angst vor Substanzverlust durch ‚Mainstreaming‘ im Fall einer erfolgreichen Diffusion des Elektroantriebs. Während sich Fahrradfahren, ÖPNV und suffizienter Mobilitätsverzicht in das ökologische Narrativ eines ganzheitlichen Wandels fassen lassen, wird der Automobilindustrie unterstellt, den Elektroantrieb nur als Vehikel eines ‚Weiter so‘ zu nutzen. Selbst wenn diese Unterstellung richtig ist, verhindert aber eine Blockade der

Umstellung des Antriebs aus ‚ökologischem Fundamentalismus‘ heraus gleichzeitig mögliche Effizienzgewinne, die zur Erfüllung des Pariser Klimaabkommens dringend erforderlich sind. Mazur et al. (2015) nehmen in ihrem Vergleich der Elektroauto-Politiken von Deutschland und dem UK wahr, dass die deutsche Politik versucht, niemanden zurückzulassen, was letztlich auch zu einem konservativen und langsamen Herangehen führt.

Zu dieser bis 2020 langsamen Entwicklung beigetragen hat sicherlich, dass die Festlegung der neuen Emissionsnormen durch die EU erst 2019 erfolgte und die Erhöhung der staatlichen Kaufprämie auf 6.000 EUR erst 2020 stattfand. Der Beschluss zum Verbrennerausstieg folgte dann 2022. Parallel dürfte als Grund für die schleppende Entwicklung auch die immer noch hohe Subventionierung des verbrennungsmotorischen PKW-Verkehrs zu nennen sein (UBA, 2021). Die niedrige Besteuerung von Diesel, das unabhängig von der Antriebstechnik gewährte Dienstwagenprivileg wie auch die gleichermaßen von der Antriebstechnik unabhängige Entfernungspauschale machen das Autofahren attraktiv und preiswert und der Kostendruck reicht für die Masse der Autofahrenden nicht aus, um sich aktiv auf die Suche für alternativen Antriebstechniken zu machen oder weniger Auto zu fahren. Ebenso trat eine wirksame Reduktion der Verkaufspreise wasserstoffbetriebener PKW bisher gar nicht ein und bei batterieelektrischen PKW lässt sich ein Angebot preiswerterer Autos erst seit der Markteinführung des Tesla Modell 3 im Jahr 2017 beobachten (Clausen, 2021).

Nun könnte argumentiert werden, dass ja auch in den Jahren vor 2020 schon Fördermaßnahmen für klimaneutrale Mobilität ergriffen wurden. 2012 begannen die ‚Schaufenster-Projekte‘, seit 2016 gab es die zunächst niedrige Kaufprämie und parallel wurden erste Ladesäulen und Wasserstofftankstellen errichtet.

Wie hoch aber muss z.B. eine Kaufprämie sein, so dass eine konsumverändernde Wirkung eintritt? Dass eine Förderung grundsätzlich wichtig sein könnte, finden schon Gómez Vilchez et al. (2019) bei einer Befragung von Konsumierenden in sechs EU-Staaten, machen aber keine Aussagen zur notwendigen Förderhöhe. Mit Blick auf einen nationalen CO₂-Preis für den Wärme- und Verkehrssektor, empfahlen Edenhofer et al. (2019) einen Einstiegspreis von 50 EUR/t, der auf 130 EUR/t in 2030 gesteigert werden solle. Der ab 2021 in Deutschland geltende CO₂-Preis von 25 EUR pro Tonne CO₂ (Bundesregierung, 2019) sei noch zu niedrig, um schnell wirksame Änderungen zur Folge zu haben. Erst wenn bestimmte Schwellenwerte des CO₂-Preises überschritten würden, ab denen sich Investitionsrechnungen verändern, rechneten Edenhofer et al. (2019) mit deutlich stärkeren Mengenreaktionen. Eine solche deutlich stärkere Mengenreaktion trat nach der Einführung der erhöhten Kaufprämie in 2020 ein, was den Verdacht erhärtet, die Kaufprämie könne in 2016 zu niedrig gewesen sein, um zu wirken.

Dieser Verdacht wird auch angesichts des Vergleichs mit der norwegischen Förderpolitik gestützt (Clausen, 2019). Die folgende Tabelle vergleicht ein Volkswagen BEV-Modell mit einem ähnlichen Volkswagen-Benzinmodell und veranschaulicht, wie das norwegische Steuersystem die BEVs wettbewerbsfähig auf dem Markt machte.

Tabelle 3: Preisvergleich Volkswagen Golf und Volkswagen e-Golf

Volkswagen Golf	Volkswagen e-Golf
1.0 TSI 110 PS Businessline	Exclusive

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

Importpreis 180.624 NOK	Importpreis 259.900 NOK
CO ₂ -Steuer (109 g/km): 31.827 NOK	CO ₂ -Steuer (0 g/km): 0 NOK
NO _x -Steuer (31,9 mg/km): 2.263 NOK	NO _x -Steuer (0 mg/km): 0 NOK
Gewichts-Steuer (1162 kg): 21.526 NOK	Gewichts-Steuer (1510 kg): 0 NOK
Entsorgungsgebühr: 2.400 NOK	Entsorgungsgebühr: 2.400 NOK
25% MWSt.: 59.600 NOK	0% MWSt.: 0 NOK
Verkaufspreis 298.300 NOK (31.326 EUR)	Verkaufspreis 262.300 NOK (27.466 EUR)

Quelle: Norsk elbilforening (2019), 1 NOK = ca. 0,1 EUR

Der steuerliche Anreiz erreicht in diesem Beispiel etwa 30 % des Kaufpreises, was nicht nur den höheren Verkaufspreis des Elektroautos ausgleicht, sondern diesem sogar einen deutlichen Preisvorteil verschafft.

Auch die kritische Betrachtung des Policy-Mix vor 2020 angesichts der von Kivimaa und Kern (2016) vorgelegten Instrumentenklassifizierung lässt an der Wirkung zweifeln. Mit Blick auf die von Clausen und Fichter (2020) weiterentwickelte, in Tabelle 4 dargestellte Systematik fällt besonders das bis 2020 völlige Fehlen einer Politik der Dekonstruktion bzw. Destabilisierung oder Exnovation des Verbrenner-Regimes ins Auge.

Tabelle 4: Klassifizierung staatlicher Instrumente und Funktionen bei Systemtransformationen

‘Creative’: Förderung der Entstehung von Innovationen und Nischen	‘Destruction’: Dekonstruktion bzw. Destabilisierung von Regimen/nicht-nachhaltiger Systemen
C1: Ziele und Einfluss auf Such- und Entwicklungsrichtung	D1: Veränderungen von Netzwerkstrukturen und Schlüsselakteuren
C2: Ressourcenmobilisierung	D2: Grundlegende institutionelle Veränderungen
C3: Forschung und Entwicklung, Wissensverbreitung	D3: Steuern und sonstige Abgaben, inklusive Reduzierung von Subventionen
C4: Entrepreneurship- und Gründungsförderung	D4: Ordnungsrecht
C5: Legitimierung neuer Technologien, Praktiken, Visionen	D5: Reduzierung der F&E-Förderung nicht-nachhaltiger Technologien und Systeme
C6: Etablierung von Marktnischen, Marktformation	
C7: Infrastrukturentwicklung	
C8: Verbesserung Kosten-Nutzen Verhältnis	

Quelle: eigene aufbauend auf Kivimaa & Kern (2016)

Die von Kivimaa und Kern (2016) thematisierte Destabilisierung fand dann sowohl durch den Beschluss der neuen CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen mit der Festlegung des Flottenziels auf 95 g CO₂/km in 2019 und noch stärker durch das 'Fit for 55' Programm der EU mit dem Beschluss zum Ausstieg auf dem Verbrenner in 2035 statt.

Auf diese Weise wäre zu erklären, dass die Verbreitung klimaneutraler PKW bis 2020 sehr schleppend verlief und sich seither deutlich beschleunigt hat. Offen bleibt aber die Frage, warum in der seit 2015 erfolgten Marktentwicklung eine klare Dominanz des Elektroantriebs gegenüber dem Wasserstoffantrieb beobachtet werden kann. Denn sowohl die Förderung der Verbreitung klimaneutraler PKW wie auch das Ordnungsrecht zur Exnovation der Verbrennertechnologie ist grundsätzlich technologieoffen. Dort wo es das nicht sein kann, wie z.B. bei der Förderung von Ladeinfrastrukturen, steht dieser eine Förderung von einer parallelen Tankinfrastruktur für Wasserstoff gegenüber (siehe Kapitel 3).

Die Automobilbranche hat jedoch auf die technologieoffene Politik mit der Skalierung des batterieelektrischen Automobils reagiert. Nur drei Autoherstellende weltweit bieten überhaupt kleine Stückzahlen von Wasserstoff-PKW an. Dies sind Toyota mit dem Modell Mirai und Hyundai mit dem Modell Nexo, die beide zwischen 65.000 und 75.000 EUR vor Prämie angeboten werden. Als Dritter Anbieter hat BMW mit dem iX5 Hydrogen eine Kleinserie auf Basis der Toyota-Technologie gestartet, dessen Preis aber noch nicht kommuniziert wurde. Honda und General Motors planen ebenfalls Brennstoffzellen-Fahrzeuge mit einer gemeinsamen Stückzahl von bis zu 2.000 Exemplaren in 2025 und 60.000 Exemplaren in 2030 (Reuters, 2023). Verglichen mit der Skalierung der Produktion von batterieelektrischen Automobilen, die schon im Jahr 2022 weltweit 7,7 Mio. Stück umfasste (EV-Volumen, 2023), sind die Stückzahlen fast vernachlässigbar klein. Angesichts der Tatsache, dass Toyota bis 2030 insgesamt 30 Baureihen von batterieelektrischen Automobilen angekündigt hat (GreenCar-Congress, 2021) und auch Hyundai mit 11 neuen Baureihen (Kapoor, 2022) klar auf die Batterie setzt, keines der beiden Unternehmen aber neue PKW mit Brennstoffzelle angekündigt hat, scheint die Strategie dieser Unternehmen sich ebenso klar auf das BEV zu fokussieren und lässt bei beiden Unternehmen an der Ernsthaftigkeit des Willens zur Skalierung von Brennstoffzellenfahrzeugen zweifeln.

Die IG Metall versucht dagegen, noch ein wenig Hoffnung aufrecht zu erhalten: „*Optimistische Prognosen gehen davon aus, dass 2040 der Anteil von Brennstoffzellen-PKW noch unter 10 % liegen wird*“ (IG Metall CO₂-AG, 2021, S. 12), wirkt in dem Bemühen aber nicht sehr überzeugend.

Letztlich hat die Politik den Rahmen für einen Neu-Neu-Wettbewerb (Nill, 2009) vorgegeben, der sich primär in der Wirtschaft eindeutig entscheiden hat. Der Marktanteil von 99,9 % der batterieelektrischen Fahrzeuge im Markt der Fahrzeuge ohne CO₂-Emissionen spricht eine deutliche Sprache und es ist nicht absehbar, dass sich in den nächsten Jahren Wesentliches ändern wird. Die in Abbildung 11 und Abbildung 12 gezeigten drastischen Veränderungen der Marktanteile der unterschiedlichen Antriebe zugunsten des batterieelektrischen Antriebs und des Hybridantriebs zeigen klar eine kurzfristige Wirksamkeit des seit 2016 / 2020 neu eingeführten Policy-Mix.

Mit Blick auf die Richtungssicherheit der Politik stellt sich ganz aktuell die Frage, wie es nach der Absenkung der Staatsanteile der Fördersätze für batterieelektrische PKW von 6.000 EUR auf 4.500 EUR in 2023 weitergeht. Eine Reihe weiterer Dynamiken wird wirken:

- ▶ Die Supercredits⁶ für Zero and Low Emission Vehicles in der Errechnung von Flottengrenzwerten fallen von 2022 auf 2023 von 1,33 auf 1,0 und laufen damit aus. Das Erreichen der Flottenziele erfordert so deutlich mehr CO₂-arme Autos in der Flotte.
- ▶ Immer mehr Fabriken sind auf die Herstellung batterieelektrischer PKW umgerüstet und müssen ausgelastet werden.
- ▶ Die Förderung von Plug-In-Hybriden läuft aus, was bei ersten Dienstwagenflotten zu einem Umsteuern auf batterieelektrische PKW führt (z.B. Knauer, 2023).

Wäre der in 2023 geltende Policy-Mix wirksam, richtungssicher und ausgewogen, dann müsste der Marktanteil von batterieelektrischen PKW bis 2035 kontinuierlich weiter steigen. Der Erfolg des Policy-Mix wird sich somit jährlich anhand der Zulassungsstatistik beurteilen lassen. Es ist aufgrund unserer Analyse nicht absehbar, dass sich die Marktanteile zugunsten von mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellen-PKW deutlich verschieben werde, ohne drastische Änderungen am Policy-Mix sowie einer breiten Verfügbarkeit von Wasserstoff, die wir für unrealistisch halten (Clausen 2022).

4.2 Der Policy-Mix zur Förderung von Wärmepumpen und seine Auswirkungen

Die elektrische Alternative zur Heizung mit Erdgas oder Wasserstoff ist die Wärmepumpe (Clausen, Miara, et al., 2022):

„In einer Wärmepumpenanlage kreist ein Arbeitsfluid, oft auch als Kältemittel bezeichnet. Zum Heizen nimmt das Kältemittel Umgebungswärme auf, anschließend wird es verdichtet und dabei insbesondere seine Temperatur erhöht. Dann gibt es diese Wärme an die Heizungsanlage ab und fließt abgekühlt wieder zurück [...]. Das Prinzip der Wärmepumpe führt dazu, dass mit einem begrenzten Einsatz an elektrischem Strom ein Vielfaches an Wärme aus der Umwelt aufgenommen und genutzt werden kann. Die meisten Wärmepumpen liefern 3- bis 4-mal so viel Wärme, wie sie an Strom verbrauchen. Mit einer Kilowattstunde Strom lassen sich bis zu vier Kilowattstunden Wärme erzeugen. Unter besonders günstigen Bedingungen können es auch bis zu fünf Kilowattstunden sein.“

Die seit Mitte des 19. Jahrhunderts bekannte Wärmepumpentechnologie erlebte nach den Energiekrisen der 1970er-Jahre in den frühen 1980er-Jahren einen ersten Aufschwung (Fichter & Clausen, 2013). Aber erst seit der Jahrtausendwende begann eine langsame Verbreitung auf einen Anteil am Bestand der Wärmeerzeuger von 2,8 % im Herbst 2022 (AGEB, 2022).

4.2.1 Policy-Mix für Wärmepumpen

Durch verschiedene Förderungen unter anderem im Kontext des von 2009 bis 2020 in Kraft befindlichen Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (BMJ, 2008) wurden Wärmepumpen immer wieder in begrenztem Ausmaß gefördert. Durch die im Vergleich zu Erdgas hohe Belastung der Elektrizität mit Steuern und Abgaben fiel es den teuren Wärmepumpen aber schwer, die Wettbewerbsfähigkeit mit der kostengünstigen Gas- oder Ölheizung zu erreichen.

⁶ Die Supercredits bestehen darin, dass bei Beginn der Errechnung von Flottengrenzwerten in 2020 jeder produzierte klimaneutrale Wagen wie zwei nicht klimaneutrale Wagen gewichtet wird. Danach sank dieser Wert über 1,66 (in 2021) und 1,3 (in 2022) auf 1,0 (ab 2023).

Parallel entstanden eine Reihe ordnungsrechtlicher Vorschriften, die z. B. die notwendigen Abstände von Wärmepumpen und Erdwärmepumpen von Nachbargrundstücken festlegten, Details der Abrechnung von durch Wärmepumpen erzeugter Wärme sowie Details der Tarifordnung im Stromhandel regelten. Weitere Vorschriften im Gebäudeenergiegesetz (GEG) und in Normen regeln Details der Berechnung der energetischen Eigenschaften von Gebäuden bei der Nutzung von Wärmepumpen. Auf die EU geht eine Vorschrift zur umweltgerechten Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte zurück, die auch Anforderungen an Wärmepumpen umfasst. Aktuell konnten sieben ordnungsrechtliche Gesetze und Verordnungen mit Auswirkungen auf Wärmepumpen identifiziert werden (siehe Abbildung 14).

Wichtig für die Entwicklung neuer Wärmepumpen ist auch die EU-Verordnung Nr. 517/2014 (F-Gase-Verordnung). Sie schreibt eine kontinuierliche Reduktion des klimaschädlichen Potenzials von Kältemitteln vor.

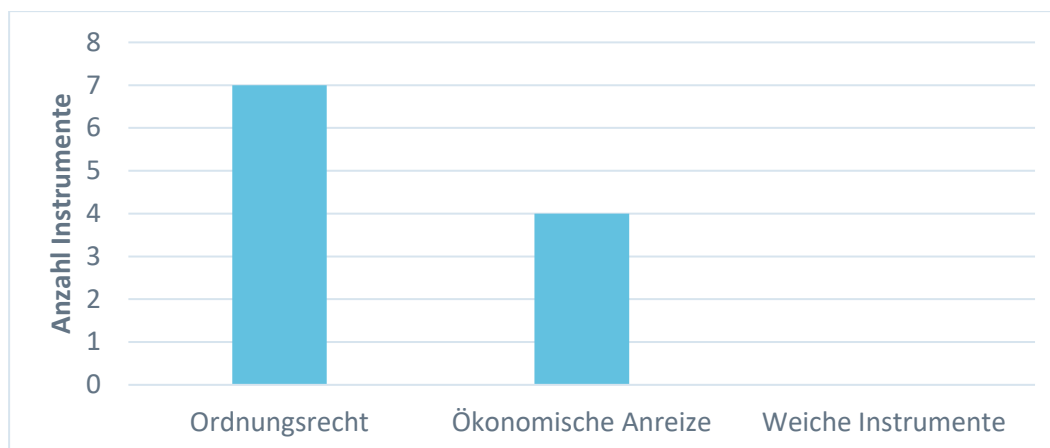
Weitere Vorschriften wirken sich ökonomisch auf den Betrieb von Wärmepumpen aus, so z. B. die seit langem geforderte und kürzlich umgesetzte Abschaffung der EEG-Umlage, die den Strompreisanstieg nach Beginn des russischen Krieges in der Ukraine ab Sommer 2022 begrenzen sollte. Auch das Strompreisbremsegesetz kann sich in einigen Fällen günstig für Betreibenden von Wärmepumpen auswirken, aufgrund des Bezugs zum historischen Verbrauch wird es aber in Fällen neuinstallierter Wärmepumpen möglicherweise nicht greifen.

Die Investition in eine Wärmepumpenanlagen kann durch die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) unterstützt werden. In Abhängigkeit von Alter der ersetzten Heizung, Typ der Wärmepumpe und Art des Kältemittels kommen unterschiedliche Fördersätze zur Anwendung (BAFA, 2023).

Das noch durch die große Koalition beschlossene GEG regelt die grundsätzliche Förderfähigkeit von Wärmepumpen und die bereits durch die Ampel Koalition angepasste BEG legt die Details der Förderung verschiedener Wärmepumpentypen und Einbaukontexte fest. Insgesamt konnten vier Vorschriften identifiziert werden, die sich ökonomisch auf Wärmepumpen auswirken.

Weiche Instrumente der Information und Beratung, die spezifisch für die Verbreitung der Wärmepumpe geschaffen wurden, konnten nicht identifiziert werden. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die allgemeinen Strukturen der Energieberatung, z. B. durch die bundesweit 111 Energieagenturen (Blazejczak et al., 2020), die Beratung zur Wärmepumpe im Rahmen ihrer Aufgabe mit anbieten.

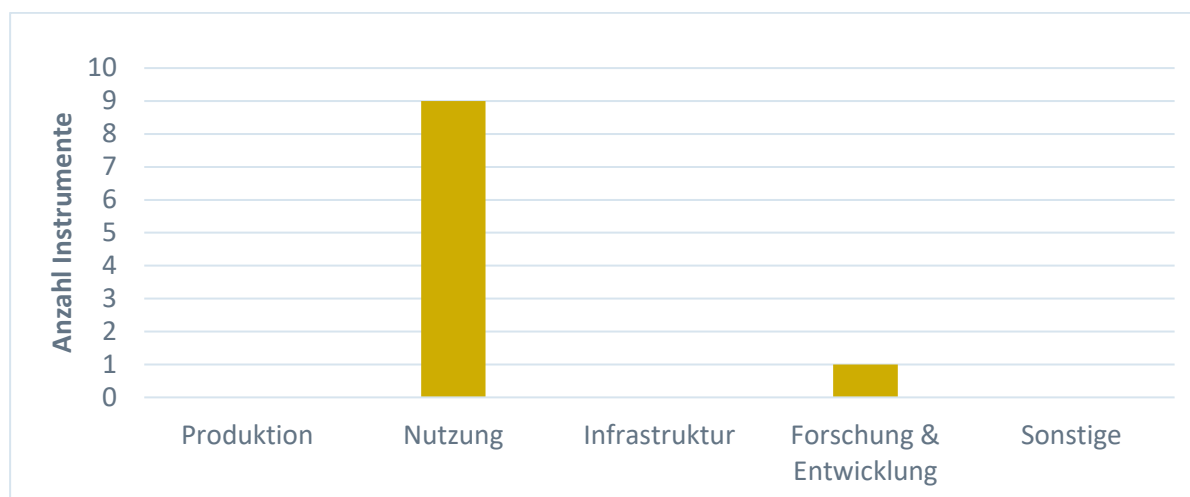
Abbildung 14: Verteilung der für Wärmepumpen wichtigen Instrumente nach Instrumententyp



Quelle: eigene Darstellung, Borderstep

Die Verteilung der für Wärmepumpen wichtigen Instrumente auf die Stufen der Wertschöpfungskette zeigt (siehe Abbildung 15), dass durch Bund und Länder fast ausschließlich die Nutzungsphase reguliert wird bzw. gefördert wird. Einzige Ausnahme sind die Anforderungen aus der EU-Ökodesign-Richtlinie, die durch die „Verordnung zur Durchführung des Gesetzes über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (EVPG-Verordnung - EVPGV)“ auf Deutschland übertragen wurde, die Mindestwerte für die Arbeitszahl sowie leistungsabhängige Höchstwerte für den Schalleistungspegel vorgibt. Auch die EU F-Gase Verordnung stellt Anforderungen an die Forschung und Entwicklung von Wärmepumpen. Das BMWK fördert weiter F&E-Projekte über den Förderaufruf „Klimaneutrale Wärme und Kälte“ und wird auch die Entwicklung umweltverträglicher Kältemittel fördern (Wärmepumpen-Gipfel, 2022).

Abbildung 15: Verteilung der für Wärmepumpen wichtigen Instrumente nach adressierten Stufen der Wertschöpfungskette



Quelle: eigene Darstellung, Borderstep

Für die Produktion von Wärmepumpen gelten die üblichen Vorschriften für die industrielle Produktion insgesamt. Bis zum Jahreswechsel 2022/23 waren aber keine explizit für die Produktion von Wärmepumpen gültigen Vorschriften bekannt. Genauso wird zwar immer wieder der aufgrund der zunehmenden Anzahl von Wärmepumpen notwendige Ausbau des Stromnetzes thematisiert, einschlägige Aktivitäten des Gesetzgebenden zur Ertüchtigung der Infrastruktur sind allerdings noch nicht zu beobachten.

Im Zeitablauf ist festzustellen, dass unter der Regierung Merkel Wärmepumpen zwar bereits gefördert wurden, z. B. im Rahmen des Erneuerbare Energien Wärmegesetzes (BMJ, 2008), insbesondere aufgrund der für einen bezahlbaren Betrieb von Wärmepumpen zu hohen Strompreise bestanden aber gleichzeitig Hemmnisse der Diffusion der Wärmepumpe in den Massenmarkt der Wärmeerzeuger, die von der Regierung nicht ausgeräumt wurden.

Ein weiteres wichtiges Hemmnis ergibt sich aus Bauvorschriften, die im deutschen föderalistischen System in der Zuständigkeit der Bundesländer liegen. So ist z. B. in der nordrhein-westfälischen Bauordnung (BauO NRW) von 2018 festgelegt sowie durch ein Urteil des Verwaltungsgerichtes Köln ((VG Köln, Urteil vom 13.03.2020 – 8 K 16093/17 –) bestätigt, dass Luftwärmepumpen einen Mindestabstand von 3 Metern zur Grundstücksgrenze zur Verhinderung von Belästigungen durch

Schallemissionen einzuhalten haben. Diese erst 2018 erlassene Vorschrift wurde am 16.12.2022 durch Runderlass aufgehoben (MHKBD, 2022). Der Erlass behebt das Problem eines Mindestabstandes von 3 Metern zur Grundstücksgrenze, welches sich besonders bei Reihenhäusern auf einem nur 6 Meter breiten oder gar schmalen Grundstück stellt. Der Mindestabstand entfällt jetzt. Zwar muss die Ausnahme von der Einhaltung des Mindestabstandes bei der Bauaufsichtsbehörde beantragt werden, einer Baugenehmigung für das Aufstellen der Wärmepumpe bedarf es aber nicht.

Unter der Ampel-Koalition wurden im Sommer und Herbst 2022 bereits zwei Wärmepumpengipfel durchgeführt und ein drastischer Hochlauf des Marktes in Aussicht gestellt. Die in diesem Kontext notwendige Gesetzgebung (GEG) ist gegenwärtig (10.2.2023) noch in Vorbereitung. Wenn die Bundesregierung ihre im Sommer 2022 angekündigten Pläne umsetzt, soll jede neu eingebaute Heizung ab 1. Januar 2024 mit mindestens 65 % erneuerbarer Energien betrieben werden (BMWK & BMWSB, 2022). Beim Neubau von Gebäuden genauso wie beim Ausfall einer alten Heizungsanlage und dem notwendigen Ersatz sind dann Anlagen gefordert, die mindestens 65 % erneuerbare Wärme nutzen, z. B. durch (BMWK & BMWSB, 2022):

- ▶ Anschluss an ein Wärmenetz,
- ▶ Einbau einer Wärmepumpe mit der Wärmequelle Luft, Erdreich oder Wasser,
- ▶ Einbau einer Biomasseheizung auf Basis von fester oder flüssiger Biomasse,
- ▶ Einbau einer Gasheizung unter Nutzung von grünen Gasen,
- ▶ Einbau einer Hybridheizung,
- ▶ Einbau einer Stromdirektheizung.

Die deutliche Warnung der Bundesregierung vor Knappheiten bei der Versorgung mit Biomasse, grünem Wasserstoff und anderen strombasierten synthetischen Brennstoffen sowie die Einschränkung der Nutzung einer Stromdirektheizung auf extrem energieeffiziente Gebäude lässt die verbleibende Auswahl in vielen Fällen auf den Anschluss an ein Wärmenetz oder den Einbau einer Wärmepumpe zusammenschmelzen. Überall dort, wo keine Wärmenetze vorhanden sind, wird die Wärmepumpe dann die vorherrschende Heizungstechnologie werden müssen.

Ein weiteres Element der neuen Wärmepolitik ist die **kommunale Wärmeplanung** (BMWK, 2022a). Ihr Ziel ist es,

„die Planungssicherheit für alle öffentlichen und privaten Investitionen zu erhöhen, die sich direkt oder indirekt auf die Wärmeversorgung vor Ort auswirken. Die Wärmeplanung soll den Akteuren verbindlich Orientierung geben, in welchem Teil des Gemeindegebiets vorrangig welche Art der Wärmeversorgung (leitungsgebunden oder dezentral, ggf. basierend auf welche klimaneutralen Energieträgern) eingesetzt werden soll.“

Auch die demnächst geplante Vorschrift zur kommunalen Wärmeplanung, die bereits in ersten Bundesländern verankert ist, wird daher für die Richtungssicherheit in der Wärmeversorgung hohe Bedeutung haben.

Eine Widersprüchlichkeit der Instrumentierung der Politik zur Förderung der Wärmewende mit Blick auf die Wärmepumpe ist zunächst während der Regierungszeit von Kanzlerin Merkel zu konstatieren. So setzte sich das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz schon 2008 folgendes Ziel (BMJ, 2008):

„Zweck dieses Gesetzes ist es, insbesondere im Interesse des Klimaschutzes, der Schonung fossiler Ressourcen und der Minderung der Abhängigkeit von

Energieimporten, eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Wärme aus Erneuerbaren Energien zu fördern.“

Auch die Verbreitung von Wärmepumpen hätte dazu beigetragen, diese Ziele zu erreichen. Das Gesetz war allerdings so angelegt, dass zentrale Ziele des Gesetzes, wie die technologische Weiterentwicklung oder die Reduktion von Energieimporten, nicht erreicht wurden (Clausen & Fichter, 2019). Denn die Mehrzahl der als Reaktion auf das EEWärmeG getroffenen Maßnahmen im Neubau wich auf Effizienzmaßnahmen aus. In etwa 90 % der Fälle wurde die Unterschreitung der EnEV angestrebt oder raumtechnische Anlagen installiert, in etwa 28 % der Fälle wurde eine Wärmepumpe installiert, in ca. 18 % eine Solarthermie und etwa 5 % der Anwendenden entschieden sich für Biomasse (Ecofys et al., 2013, S. 18). Nur ca. ein Drittel aller Maßnahmen aufgrund des EEWärmeG führte also letztlich zu mehr erneuerbarer Energie in der Wärmeversorgung.

Auch in der letzten Phase der Regierung Merkel stand die vergleichsweise geringe Wirkung des auf die Verbreitung von Wärmepumpen gerichteten Policy-Mix in klarem Widerspruch zu Zielen, wie sie z. B. im Klimaschutzgesetz festgelegt wurden (Bundestag, 2019, 2021).

Die Ziele des Koalitionsvertrages der Ampel-Koalition (SPD et al., 2021) sind genau wie die Ziele der beiden Wärmepumpengipfel (Wärmepumpen-Gipfel, 2022) anspruchsvoll und erfordern deutliche Eingriffe in das Ordnungsrecht, wie sie das BMWK und das BMWSB mit der 65 % Regel (BMWK & BMWSB, 2022) angekündigt haben, die im Rahmen einer kleinen Novelle des GEG im Frühjahr 2023 umgesetzt werden soll. Die Abschaffung der EEG-Umlage war bereits ein klarer Schritt in Richtung besserer Wettbewerbsbedingungen für Wärmepumpen, der aber angesichts der aktuellen Energiepreiskrise kaum Wirkung entfaltet.

Die Glaubwürdigkeit der Klima- und Energiepolitik der letzten Bundesregierungen ist damit gering, die der Ampel-Koalition wird nach Beschluss der 65 % Regel im novellierten GEG deutlich höher sein, aber gleichzeitig schlägt der GEG Entwurf mit der 65 % Regel gerade im gesellschaftlichen, öffentlichen Diskurs hohe Wellen und wird von vielen Menschen abgelehnt.

Man könnte hier noch Gedanken einfügen, die sich mit einer Politik beschäftigen, die den Gebäudebestand in Richtung auf Wärmepumpen-Ready entwickeln. Letztlich wäre das ein ordnungsrechtliches Instrument, um den Sanierungsstandard im Bestand anzuheben. Eine solche Aktivität schlägt z. B. die Grüne Bundestagsabgeordnete Julia Verlinden aktuell vor (Verlinden, 2023).

*„Mindestenergiestandards jetzt einführen: Was in anderen europäischen Ländern bereits geregelt ist, schafft Planungssicherheit und fehlt in Deutschland noch, die sogenannten MEPS (Minimum Energy Performance Standards). Die Mindeststandards werden sofort auch hierzulande festgelegt und Umsetzungsfristen je nach Gebäudeklasse festgelegt. Damit haben Eigentümer*innen Planungssicherheit und klare Vorgaben, bis wann sie ihre Gebäude energetisch verbessern müssen. Dabei beginnen wir mit den schlechtesten Gebäudeeffizienzklassen G und H. Insgesamt wären so etwa 30 % des Gebäudebestandes erfasst. Dieses Instrument vermeidet teure Fehlinvestitionen und stellt sicher, dass Eigentümer*innen ab sofort jegliche sowieso notwendige Investition am Gebäude bereits auf diesen Zielstandard ausrichten können.“*

Nachdem die Wärmepumpe als Heizungstechnologie über mehrere Jahrzehnte bis zum Ende der Regierungszeit von Kanzlerin Merkel eher ein klimapolitisches Feigenblatt war, entwickelt sie sich

gegenwärtig gemeinsam mit dem Ausbau der Wärmenetze zum Hauptstandbein der Wärmepolitik, soweit diese auf die Beheizung von Räumen fokussiert. Der Umbau des Erdgas-Verteilnetzes zu einem Wasserstoff-Verteilnetz ist dagegen umstritten und es ist z.Zt. weitgehend unsicher, ob er je stattfindet (siehe Kapitel 3).

Insoweit findet gegenwärtig eine Pfadverzweigung vom fossilen Pfad in Richtung des Pfades der elektrisch erzeugten Wärme durch Wärmepumpen statt. Gleichzeitig gibt es aber auch Akteure, die weiterhin die Nutzung von Wasserstoff im Heizungsbereich fordern (siehe Kapitel 3).

4.2.2 Wirkung der Instrumente auf die Akteure der Heizungsindustrie

Die zentrale Auswirkung der Anwendung wärmepolitischer Instrumente erfolgt auf die Lieferkette der Heizungsindustrie und betrifft sowohl:

- ▶ hemmend als Auswirkung einer Exnovationspolitik die Anbietenden fossiler Wärmeenergie, also die Liefernden von Erdgas und Heizöl sowie der entsprechenden Anlagen zur Wärmeerzeugung sowie deren Anwenderinnen und Anwender,
- ▶ fördernd als Auswirkung einer Diffusionspolitik die Anbietenden klimafreundlicher Alternativen wie Wärmepumpen oder auch Anbietende von Heizungen mit grünem Wasserstoff, die aber mangels Lieferbarkeit von der sich gegenwärtig bietenden Chance offenbar nicht profitieren.

Als Folge des Russischen Kriegs gegen die Ukraine wie auch der Umsetzung des Klimaschutzgesetzes erfolgt gegenwärtig die Entwicklung einer neuen Wärmestrategie mit den beiden tragenden Elementen ‚65-% Regel‘ und ‚kommunale Wärmeplanung‘. Die Einführung der 65 % Regel (BMWK & BMWSB, 2022) im novellierten GEG wird bedeuten, dass jede neue Heizungsanlage zu mindestens 65 % erneuerbare Wärme nutzen muss. Aber:

„Wir haben ja dieses 65-EE-Gebot noch nicht verankert [...]. Wir sind sicher, dass es kommt und wenn es dann die Verordnung gibt, dann sind wir auf jeden Fall einen Riesenschritt weiter, absolut“ (Interview 14).

Dieses Gebot soll ab 1.1.2024 die klassischen Erdgas- und Ölheizungen als Einzellösung sowohl aus dem Neubaumarkt wie auch aus dem Markt für Ersatzanlagen herausdrängen. Damit wird für die Herstellenden von Wärmepumpen Investitionssicherheit geschaffen und Marktwachstum quasi garantiert. Ein Interviewter bewertet:

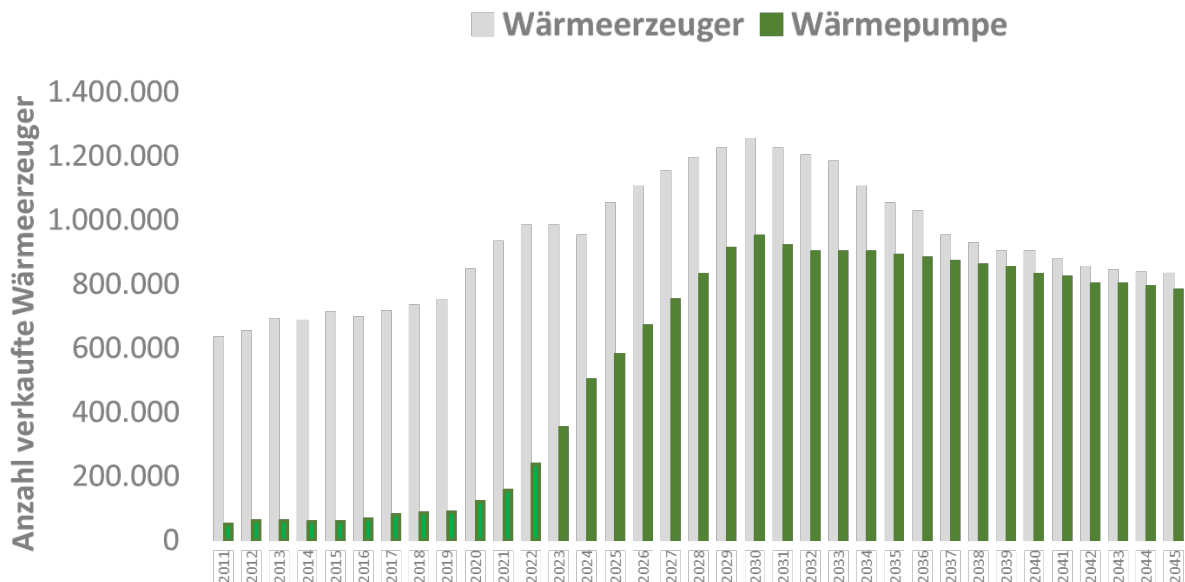
„Das sind ja alles Politikmaßnahmen von Seiten der Bundesregierung, die indirekt erstmal die Alternativen stark machen und ihnen auch helfen sich in der Breite im Markt zu verankern, dann wieder Kostenreduktionseffekte zu erschließen“ (Interview 1).

Der Bundesverband Wärmepumpe sieht als Folge der Beschlüsse des Wärmepumpengipfels (Wärmepumpen-Gipfel, 2022) folgende Entwicklung kommen: Der Plan der Bundesregierung und der Heizungsbranche ist es, den Marktanteil von Wärmepumpen von 16 % in 2021 auf 66 % in 2027 zu steigern und dabei in 2025 das erste Mal mehr als 500.000 Wärmepumpen zu installieren (Wärmepumpen-Gipfel, 2022) (siehe Abbildung 16). Mangels Lieferbarkeit von grünem Wasserstoff an die Haushalte kann dieses Window-of-Opportunity von der Wasserstoffbranche nicht genutzt werden.

„Also, wenn man da einmal vergleicht, was der Absatz von Wärmepumpen war im Vergleich zu Wasserstoff-Ready-Boilern, dann lässt sich ein klarer Trend

abzeichnen. Und deswegen ist es auch so wichtig, dass die Politik früh entscheidet, weil der Markt hat sich eigentlich schon entschieden und je schneller die Politik quasi [...] richtungsweisende Angaben vorgibt, desto schneller kann sich der Markt natürlich entwickeln und weitere Potenziale, also positive Feedbackeffekte können dadurch entstehen“ (Interview 15).

Abbildung 16: Absatzzahlen für Wärmeerzeuger und Wärmepumpen bis 2045



Quelle: BWP (2022), bis einschließlich 2022 Ist-Zahlen

Das zweite Element der neuen Wärmestrategie soll die Verpflichtung zur kommunalen Wärmeplanung werden. Zentrale Aufgabe dieser Planung ist die Festlegung von Fernwärme-Versorgungsgebieten sowie eine konsistente flächenbezogene Planung einer erneuerbaren Wärmeversorgung für die ganze Kommune. Die Vertreterinnen und Vertreter von Wärmenetzen und Wärmepumpen knüpfen deshalb Hoffnungen auf die planerische Klärung einiger Sachverhalte an den Planungsprozess.

„Und das hätte schon eine sehr, sehr hohe Lenkungswirkung. Die kommunale Wärmeplanung ist ein weiteres Instrument, wo einfach viel Steuerung mit Erfolg kann. Und auch viel Orientierung gegeben wird, wenn da klipp und klar drin steht: Wasserstoff ist nicht“ (Interview 6).

„Also ich persönlich würde sagen, dass man auch in der ganzen kommunalen Wärmeplanung und so mehr Paradigmenwechsel bräuchte, weil man da jetzt sozusagen jetzt sagen müsste, passt, wir planen das jetzt um und da gibt es jetzt sozusagen keine Gasleitungen mehr und jetzt müsst ihr da bitte auf Wärmepumpen umstellen und das macht ihr bitte in diesem ganzen Straßenzug“ (Interview 9).

Aber auch die Vertretenden der Gasversorgung durch Wasserstoff sehen den Planungsprozess als Chance:

„Kommunale Wärmeplanung ist ein Instrument, das politisch im Augenblick sehr intensiv richtigerweise auch diskutiert wird und wir treten auch ganz stark dafür ein, dass das jetzt also Fahrt aufnimmt [...]. Und die Idee, die uns daran begeistert, ist eben zum einen, dass diese kommunale Wärmeplanung den konkreten Bedürfnissen mit der Situation vor Ort eben Rechnung trägt. Also dass es eine Wärmebedarfsanalyse gibt. Es gibt eine Potenzialanalyse, natürlich auch eine Analyse der Infrastruktur, die vor Ort verfügbar ist. Und wenn man das, sowie einzelne Schichten, sich übereinanderlegt, kriegt man eben für eine Kommune, für einen Bereich, dann auch Lösungsoptionen. Das kann eben, in vielen Fällen wird es auch sein, die Elektrifizierung sein, wenn der Gebäudebestand einen gewissen Standard eben aufweist, von dem man eben sinnvollerweise dann auch hin zur Wärmepumpe direkt gehen kann (Interview 7).

Gleichzeitig sehen die Gasversorgenden aber den Planungsprozess auch als Hintertür, um doch wieder die Systemrelevanz der Gasnetze hervorzuheben:

“Aber in manchen Fällen wird es [die Möglichkeit der Wärmepumpennutzung] halt nicht der Fall sein. Und auch da brauche ich eben Lösungen. Aber diese stehen halt nicht von vornherein fest, sondern ergeben sich aus diesem Prozess. Und deswegen eben auch unter Betitelung nicht von vornherein sozusagen ex cathedra auszuschließen, dass Wasserstoff im Wärmesektor nichts verloren hat, sondern andersherum wird ein Schuh draus. Es wird nach unserer Überzeugung auch Felder, Bereiche geben, wo das eine durchaus sinnvolle technologische Option ist. Weil ich ansonsten in einen riesigen Sanierungsaufwand reinlaufe, der auch für die, ja, für die Leute, die da leben, die da in den Wohnungen als Mieter da sind, eben nicht finanzierbar ist“ (Interview 7).

Die Idee ist also, im Planungsprozess quasi hohe Wärmeverbräuche sanierungsbedürftiger Gebäudebestände als dauerhaft unabänderlich zu akzeptieren und dann eine Versorgung mit grünen Gasen zu planen, vor deren begrenzter Verfügbarkeit die Bundesregierung in ihrem Diskussionspapier zur kommunalen Wärmeplanung allerdings explizit warnt (BMWK, 2022a, S. 6)⁷.

4.2.3 Wird der Pfad zur Wärmepumpe eingeschlagen?

Wie bei batterieelektrischen PKW wird aus Sicht der interviewten Akteure eine starke transformative Wirkung zur Veränderung des Marktes für Wärmeerzeuger von einer Kombination eines attraktiv hohen Fördersatzes mit einer ordnungsrechtlich wirksamen Vorschrift zur Exnovation von reinen Öl- und Gasheizungen verbunden. Gegenwärtig sieht es so aus, dass diese politische Konstellation im Frühjahr 2023 zustandekommt. Obwohl die Novellierung des GEG die Gebäudebesitzenden vermutlich nicht wie zunächst geplant (BMWK & BMWBS, 2022) zwingt, zunächst die Möglichkeit eines Anschlusses ans Fernwärmenetz sowie die der Installation einer Wärmepumpe oder Hybridheizung zu prüfen, bevor auch die Optionen Biomethan, grüner Wasserstoff und dessen Folgeprodukte sowie andere grüne Gase und schließlich nachhaltige Biomasse gewählt werden können (Tagesspiegel, 2023), dürfte die Position der Wärmepumpe im Wettbewerb deutlich gestärkt werden. Denn weder

⁷ Es heißt dort: „Hinzu kommt, dass überregionale Restriktionen zu berücksichtigen sind, wie z. B. das insgesamt verfügbare Biomassepotenzial oder begrenzt zur Verfügung stehende Mengen klimaneutralen Wasserstoffs – Ressourcen, um die zudem mehrere Sektoren konkurrieren und verstärkt konkurrieren werden. Es liegt im Interesse aller Beteiligten, diese begrenzten Ressourcen auch hinsichtlich des Gesamtsystems möglichst effizient zu nutzen (BMWK, 2022a, S. 6).

Biomethan noch Wasserstoff oder andere grüne Gase sind in wesentlichen Mengen oder gar attraktiven Preisen kurzfristig auf dem Markt und auch der Markt für Holz, Holzhackschnitzel und Pellets ist zumindest in Kombination mit der Forderung nach „nachhaltiger Biomasse“ kaum lieferfähig (Scientists for Future, 2022).

Es deutet sich also gegenwärtig an, dass durch zentrale Elemente des im Frühjahr 2023 geplanten neuen Policy-Mix ein Pfadwechsel weg von den bisher dominierenden Heizsystemen mit Gas- und Ölbrennern hin zu klimafreundlicheren Heizungssystemen erreicht werden kann. Solange aber das novellierte GEG nicht in Bundestag und Bundesrat beschlossen wurde, kann dieser Pfadwechsel nicht als sicher gelten. Denn zumindest an einigen Stellen wie z.B. in der niedersächsischen Landesregierung (Heitmann, 2023) regt sich noch Widerstand und auch die öffentliche Debatte zu diesem Thema wird sehr kontrovers geführt. Auch die FDP-Fraktion sowie die SPD-Fraktion haben an dem im Kabinett verabschiedeten Entwurf noch Änderungsbedarf angemeldet. Damit zeigt sich nicht nur die Zerrissenheit der Koalition in dieser Frage, sondern auch die schwierige gesellschaftliche Akzeptanz von Exnovationsstrategien, die in der Literatur vielfach beschrieben ist (siehe z.B. Kivimaa und Kern 2016). Trotzdem geht wie oben gezeigt die Marktentwicklung der letzten Jahre, auch mit dem bestehenden Policy-Mix, bereits sehr deutlich in Richtung Wärmepumpen als geeigneter Transformationspfad für das Heizen von Häusern und Wohnung.

5 Schlussfolgerungen für die Entwicklung von Wasserstoff- und konkurrierenden Transformationspfaden und Ausblick

Der Ausgangspunkt dieser Untersuchung waren vier Forschungsfragen. Kapitel 3.1 untersucht die Frage, welcher Policy-Mix verwendet wird, um Wasserstoff zu fördern. Wechselwirkungen zwischen dem Mix und seinen Zielgruppen in beide Richtungen werden in Kapitel 3.2 beleuchtet. Kapitel 4 widmet sich Fragen nach konkurrierenden Transformationspfaden im Bereich der Automobilität und der Heizung von Wohnfläche. Dieses Schlusskapitel fasst die Gesamtergebnisse der Untersuchung zusammen, um die vierte Forschungsfrage zu beantworten: *Welche Konsequenzen des Wechselspiels zwischen den untersuchten Policy-Mixen und den Akteursstrategien lassen sich im Sinne der Entwicklung von Wasserstoff- und alternativen Transformationspfaden beobachten?*

Die folgenden Punkte fassen Kernergebnisse der bisherigen Analyse zusammen:

Die deutsche Wasserstoffpolitik hat nach einem längeren Nischendasein eine **rasante Entwicklung** genommen, die zunächst vom BMVI geprägt war, aber mit der Verabschiedung der NWS ein Gemeinschaftsprojekt der Bundesregierung wurde. Der Mix beinhaltet einen sehr breiten Instrumententypeneinsatz, mit einem Fokus auf Förderung, was nicht überraschend ist, da Wasserstoff noch am Anfang der Kommerzialisierung steht. Des Weiteren bietet der Mix eine gute Abdeckung der gesamten Wertschöpfungskette. Trotzdem ist die vom bisherigen (allgemein als positiv empfundenen) Policy-Mix entfachte **Dynamik bisher nicht ausreichend**, um die Investitionsbereitschaft der Unternehmen dahingehend zu beeinflussen, dass das politische Ziel eines schnellen Aufbaus einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland erreicht werden kann. Auch der zu langsame Ausbau der Erneuerbaren Energien im Stromsektor ist problematisch für die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft, die auf grünem Wasserstoff basiert.

In den letzten Monaten wurden zwar einige ‚Stolpersteine‘ für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft aus dem Weg geräumt (wie zum Beispiel die IPCEI Notifizierungen oder das Fehlen einer EU-weit gültigen Definition von grünem Wasserstoff), die die Entwicklung lange verzögert haben. Nichtsdestotrotz bleiben immer noch **grundlegende Unsicherheiten** oder zwischen verschiedenen Akteuren umstrittene Entwicklungsrichtungen einer möglichen Wasserstoffwirtschaft bestehen (nur grüner Wasserstoff, oder auch blauer? Nutzung von Wasserstoff hauptsächlich in der Industrie und für synthetisches Kerosin oder auch in Anwendungen wie Verkehr und Gebäudewärme? Wie viel Produktion in Deutschland, wie viel Import und woher?). Diese Unsicherheiten behindern das Entstehen einer Dynamik des Aufbaus einer Wasserstoffwirtschaft. Eine besonders zentrale Unsicherheit betrifft die Entwicklung der Wasserstoff-Infrastruktur in Deutschland (Erzeugung und Verteilung). Diese **hemmt die Strategieentwicklung von Akteuren**, da sie beispielsweise weder ein klares Bild vom zukünftigen ‚Backbone‘ (also einer möglichen Pipeline-Infrastruktur) noch von dezentral verfügbaren Wasserstoff-Mengen haben.

Bezüglich der vom Policy-Mix adressierten Anwendungsfelder fällt auf, dass trotz der von vielen Akteuren geteilten Perspektive, dass der Einsatz von Wasserstoff in der Dekarbonisierung der Industrie notwendig ist, in diesem Bereich **relativ wenige gezielte Politikinstrumente gibt, die H₂-Einsatz in der Industrie** anreizen. Gleichzeitig gibt bzw. gab es viele Politikinstrumente, die auf den Einsatz von Wasserstoff im Verkehr ausgerichtet sind. Dieser ‚Überhang‘ steht im Widerspruch zum erklärten Ziel der NWS, dass Wasserstoff in verschiedenen Sektoren zur Dekarbonisierung beitragen kann (inkl. Verkehr, aber eben auch als Energiespeicher, in der Sektorenkopplung (Power-to-X) oder als Grundstoff in der Industrie). Natürlich ist die Anzahl der Instrumente allein nicht ausschlaggebend für die

potenzielle Wirkung auf Zielgruppen. Die Erkenntnis könnte jedoch ein Indiz dafür sein, welchen Anwendungsfeldern bisher mehr politische Aufmerksamkeit zukam. Instrumente, die den Einsatz von Wasserstoff in der Industrie ermöglichen (wie die geplanten CCfD) sind daher sehr wichtig.

Die Frage, ob es angesichts der **absehbaren Knappheit von Wasserstoff** (Clausen, 2022) eine Priorisierung der Anwendungsfelder geben sollte, wird teilweise kontrovers diskutiert (z. B. während der Konferenz ‚Wasserstoff-Dialog‘, die 2022 vom Projekt ‚Wasserstoff-Kompass‘ veranstaltet wurde), aber es gibt bisher noch keine breite öffentliche Debatte zu dieser Thematik. Eine solche Debatte wird bisher oft mit Schlagworten wie ‚Das wäre sozialistische Planwirtschaft‘ oder ‚Das ist gegen Technologieoffenheit/Innovation‘ bekämpft, sollte aus unserer Sicht aber unbedingt geführt werden. Dabei ist es wichtig, nicht nur zu diskutieren, inwieweit ein solcher Ansatz notwendig wäre, um den Ausbau der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland zu fördern, sondern sich auch konkret damit zu beschäftigen, welche Mechanismen für eine solche Steuerung der Transformationspfade eingesetzt werden könnten. In der deutschen Wasserstoffpolitik ist bisher eine **Priorisierung verschiedener Anwendungsfelder oft sehr indirekt** und erfolgt eher über das Vorhandensein (oder das Fehlen) von spezifischen Politikinstrumenten.

Der bisherige Policy-Mix setzt vor allem auf die Unterstützung der Entwicklung von Wasserstoff als Alternative für fossile Energieträger. Die Analysen der Policy-Mixe in den Anwendungsfeldern Heizung und PKW zeigen, dass die **Dynamik der Entwicklung von Transformationspfaden (in diesen Fällen Wärmepumpen und Elektroautos) deutlich zunimmt**, wenn parallel zur Unterstützung der neuen Technologien bestehende Technologien unter Druck gesetzt werden. Das ist durch den Entwurf des Gebäudeenergiegesetzes (und insbesondere der 65 %-Regel) sowie durch das auf EU-Ebene beschlossene Aus für die Zulassung von Verbrennermotoren in PKWs der Fall. Unsere Analysen bestätigen damit die Erkenntnis aus der bestehenden Literatur, dass Policy-Mixe, die gleichzeitig sowohl auf die Förderung neuer Technologien abzielen als auch bestehende Technologien unter Druck setzen, sinnvoll und effektiv zur Beschleunigung der Transformationsdynamik beitragen können (vgl. Kivimaa & Kern, 2016). Gleichzeitig verdeutlichen die kontroversen politischen Diskussionen sowohl auf EU-Ebene (Verbrenner-Aus) als auch in Deutschland (65 % Regel im GEG) die **politische Schwierigkeit solcher Exnovations-Entscheidungen** (siehe auch Heyen et al., 2017; Turnheim, 2023).

In Summe zeigt unsere Analyse, dass sich die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland bisher nur langsam entwickelt, auch wenn es inzwischen einen breiten und relativ gut ausbalancierten Policy-Mix gibt, der auf den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft ausgerichtet ist. Dort, wo gangbare Alternativen zum Einsatz von Wasserstoff existieren, werden auch entsprechende **alternative Transformationspfade durch staatliche Politik gezielt unterstützt**, so dass derzeit kein ‚Crowding out‘ effizienterer Technologien (am Beispiel von Elektromobilität und Wärmepumpe) zu befürchten ist. Bei beiden Anwendungen zeichnet sich ein von verschiedenen Akteuren weitgehend geteiltes Bild ab, die **Wärmepumpen und E-Mobilität als bessere Option** sehen und auch die Marktentwicklung geht eindeutig in die Richtung dieser beiden Transformationspfade.

Gleichzeitig gibt es weiterhin politische Kontroversen, was zum Beispiel den Einsatz von E-Fuels oder von ‚hydrogen-ready‘ Heizungen angeht. Bisher gibt es aber keine empirischen Entwicklungen im Sinne von Diffusion in Richtung dieser Transformationspfade, so dass die Gefahr eines stärkeren Carbon Lock-ins (Unruh, 2000; Seto et al., 2016) derzeit bei diesen Pfaden nicht gegeben ist. Trotzdem ist die **Diskussion um ‚Technologieneutralität‘ und die Nutzung von E-Fuels auf der Basis von Wasserstoff ein ‚Störfeuer‘**, was zumindest bei Haushalten teilweise verfängt und möglicherweise mit zur Ablehnung von politischen Entscheidungen (wie der 65 % Regel) geführt hat. Umfragen des

Deutschlandtrends der ARD vom 06.04.2023⁸ zeigen, dass Umwelt- und Klimaschutz als wichtigstes Problem, um das sich die Politik kümmern muss, gesehen wird und auch 44 % der Menschen sich mehr Tempo beim Klimaschutz wünschen. Gleichzeitig werden aber Maßnahmen wie die vom Kabinett beschlossenen Regelungen zum Einbau neuer Heizungen ab 2024 von 43 % als zu weitgehend angesehen. Zusätzlich verfolgen einzelne Akteure (z.B. Gasnetzbetreibende) zumindest rhetorisch andere Pfade (Wasserstoff-ready Heizungen als Pfad offenzulassen) und finden auch in der öffentlichen Diskussion mit ihren (interessengeleiteten) Positionen Anklang. Die mittelfristigen Effekte dieser Situation sind unklar, aber bisher sind **bei Heizung und Automobilität die elektrischen Lösungen klar auf dem Vormarsch**, trotz der politischen ‚Störfeuer‘.

Mehr Risiken für einen verstärkten Carbon Lock-in sehen wir durch die **Nutzung von blauem Wasserstoff**, da für dessen Produktion kapitalintensive, langlebige Infrastrukturen aufgebaut werden müssten, die jedoch mittelfristig nicht mehr genutzt werden sollten, da diese Verfahren nicht vollständig klimaneutral sind. Das gleiche gilt für den Aufbau von hydrogen-ready LNG-Terminals. Es werden mit dem Aufbau solcher Infrastrukturen wirtschaftliche Anreize für die Betreibende geschaffen, diese Infrastrukturen länger zu nutzen als es die verbindlich beschlossenen Klimaziele zulassen. Bei ‚hydrogen-ready‘ **LNG-Terminals** besteht die Gefahr, dass diese auch mittel- bis langfristig mit Gas betrieben werden, wenn Wasserstoff nicht ausreichend oder nicht zu kompetitiven Preisen verfügbar sein sollte (Clausen 2022). Gleichzeitig würde die Produktion blauen Wasserstoffs die Abhängigkeit von der Nutzung von Erdgas verlängern, was auch aus Perspektive der Energiesicherheit negative Implikationen hätte.

Die Analyse zeigt, dass die bisherige Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland wahrscheinlich **gehemmt wird durch fehlende Richtungssicherheit**. Der Begriff "Richtungssicherheit" kann folgendermaßen definiert werden (Clausen & Fichter, 2020, S. 19 ff.): "Richtungssicherheit ist die kollektive Überzeugung der Richtigkeit eines sozio-technischen Transformationspfades". Das Konzept der Richtungssicherheit entstand in einer empirischen Untersuchung des grundlegenden Umbaus von Energie-, Ernährungs- und Mobilitätssystemen (Clausen & Fichter, 2020). Die Auswertung zeigte in sieben Fällen radikaler Systemtransformationen das Fehlen klarer langfristiger Ziele und Pläne. Maßnahmen zur Legitimierung der betreffenden neuen Technologien oder Systeme spielten eine wesentliche Rolle bei der Förderung von Richtungssicherheit. Weitere wichtige Faktoren für ihre Schaffung und Aufrechterhaltung waren die Veränderung von Netzwerkstrukturen und Schlüsselakteuren sowie die Etablierung grundlegender neuer Regulierungssysteme, die zu einer langfristigen institutionellen Richtungsstabilisierung beitragen können. Das Konzept der Richtungssicherheit baut daher auf der Annahme auf, dass Richtungssicherheit ein Schlüsselfaktor für die Entwicklung und das Tempo von Transformationen ist.

Gemeinsame Überzeugungen unter den Hauptakteuren scheinen einen Transformationsprozess zu fördern und zu beschleunigen; widersprüchliche Überzeugungen scheinen den Prozess zu blockieren und zu verlangsamen. Letzteres scheint im Moment (noch) der Fall bei der Entwicklung von Wasserstofftransformationspfaden in Deutschland zu sein. Weitere Untersuchungen im Rahmen des Projekts ‚Wasserstoff als Allheilmittel?‘ zielen daher darauf ab, die Entstehung von Richtungs(un)sicherheit besser zu verstehen und Erkenntnisse abzuleiten, wie sich die Richtungssicherheit möglicherweise erhöhen lässt. Dazu sind eine separate Auswertung der Stakeholder-Interviews, teilnehmende

⁸ <https://www.tagesschau.de/inland/deutschlandtrend/deutschlandtrend-3339.html>.

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

Beobachtungen von Wasserstoffveranstaltungen mit relevanten Stakeholdern aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft sowie ein Workshop mit diesem Schwerpunkt geplant.

REFERENZEN

- acatech (2018): *CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie Analyse, Handlungsoptionen und Empfehlungen*. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.acatech.de/publikation/ccu-und-ccs-bausteine-fuer-den-klimaschutz-in-der-industrie-analyse-handlungsoptionen-und-empfehlungen/> (Zugriff am: 8. Februar 2023).
- AGEB (2022): *Energieverbrauch in Deutschland Daten für das 1. bis 3. Quartal 2022*. AG Energiebilanzen e.V. Münster. Verfügbar unter: <https://www.ag-energiebilanzen.de> (Zugriff am: 2. Januar 2023).
- Augenstein, K. (2015): 'Analysing the potential for sustainable e-mobility – The case of Germany', *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 14, S. 101–115. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.05.002>.
- Azar, C. & Sandén, B.A. (2011): 'The elusive quest for technology-neutral policies', *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), S. 135–139. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.03.003>.
- BAFA (2023): *Förderübersicht: Bundesförderung für effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen (BEG EM)*. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Eschborn. Verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_em_foerderuebersicht.html (Zugriff am: 10. Februar 2023).
- Belova, A., Quittkat, C., Lehotský, L., Knodt, M., Osička, J. & Kemmerzell, J. (2023): 'The more the merrier? Actors and ideas in the evolution of German hydrogen policy discourse', *Energy Research & Social Science*, 97, 102965. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.102965>.
- Blazejczak, J., Edle, D., Gornig, M., Gehrke, B. & Schasse, U. (2020): *Ökonomische Indikatoren von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz - Aktualisierte Ausgabe 2020*. 03/2020. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekonomische-indikatoren-von-massnahmen-zur-0> (Zugriff am: 26 Januar 2023).
- BMBF (2022a): 'Stark-Watzinger: Als Wasserstoffrepublik brauchen wir verlässliche Partner wie Neuseeland', *Pressemitteilung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung*, 3 August. Verfügbar unter: <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/2022/08/010822-Wasserstoff.html> (Zugriff am: 18. Januar 2023).
- BMBF (2022b): 'Stark-Watzinger: Wir wollen Deutschland zur Wasserstoffrepublik machen', *Pressemitteilung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung*, 21 Juli. Verfügbar unter: <https://www.fona.de/de/bmbf-und-oth-regensburg-veroeffentlichen-wasserstoffatlas-deutschland> (Zugriff am: 18. Januar 2023).
- BMBF (2023): 'Stark-Watzinger: Deutsche Wasserstofftechnologien zum Exportschlager machen', *Pressemitteilung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung*, 10 Januar. Verfügbar unter: <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/2023/01/090123-Wasserstoff.html?view=renderNewsletterHtml> (Zugriff am: 18. Januar 2023).
- BMJ (2008): *Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG)*. Verfügbar unter: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&start=//%5b@attr_id=%27bgbl108s1658.pdf%27%5d#__bgbl__%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl108s1658.pdf%27%5D__1672827360598 (Zugriff am: 4. Januar 2023).

- BMVI (2019a): *Aufruf zur Antragseinreichung zur Förderung von öffentlich zugänglichen Wasserstoff-tankstellen im Straßenverkehr (05/2019)*. NOW GmbH. Berlin. Verfügbar unter: https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/06/2019-05_nip_aufruf_oeffentliche-tankstellen.pdf (Zugriff am: 23. Februar 2023).
- BMVI (2019b). *Gesetzeskarte Elektromobilität. Karte zentraler Strategien, Gesetze und Verordnungen*. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.now-gmbh.de/aktuelles/pressemitteilungen/gesetzeskarte-elektromobilitaet/> (Zugriff am: 26. April 2023).
- BMVI (2021a): *Aufruf zur Antragseinreichung - Förderung von Brennstoffzellen-Pkw in Flotten (06/2021)*. Projektträger Jülich. Berlin. Verfügbar unter: https://www.ptj.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/7481/live/lw_bekdoc/bmvi_nip_2021_06_foerder-aufruf_pkw_flotten.pdf (Zugriff am: 16. Januar 2023).
- BMVI (2021b). *Gesetzeskarte Elektromobilität. Zentrale Strategien, Gesetze und Verordnungen*. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/buendnis-fuer-moderne-mobilitaet-gesetzeskarte-elektromobilitaet.html> (Zugriff am: 26. April 2023).
- BMVI & BMWi (2017): *Evaluierung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellen-technologie Phase 1*. NOW GmbH. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/20170927-nip-evaluation-zusammenfassung.pdf> (Zugriff am: 26. März 2023).
- BMVI, BMWi, BMBF, & BMUB (2016): *Regierungsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2016 - 2026 – von der Marktvorbereitung zu wettbewerbsfähigen Produkten zur Fortsetzung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2006 - 2016 (NIP)*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/nip-regierungsprogramm.pdf> (Zugriff am: 8. März 2023).
- BMWi (2020): *Die Nationale Wasserstoffstrategie*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html> (Zugriff am: 12 April 2022).
- BMWi (2021a): *Bundesförderung für innovative Brennstoffzellenheizgeräte in Gebäuden*. Kreditanstalt für Wiederaufbau. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMWi/innovative-brennstoffzellenheizgeraete.html> (Zugriff am: 17. Januar 2023).
- BMWi (2021b). *Gesetzeskarte für das Energieversorgungssystem STRATEGIEN VERORDNUNGEN / RICHTLINIEN NATIONALE EBENE Karte zentraler Strategien, Gesetze und Verordnungen*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/gesetzeskarte-fuer-das-energieversorgungssystem-732008> (Zugriff am: 26. April 2023).
- BMWK (2022a): *Diskussionspapier des BMWK: Konzept für die Umsetzung einer flächendeckenden kommunalen Wärmeplanung als zentrales Koordinierungsinstrument für lokale, effiziente Wärmenutzung*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/diskussionspapier-waermeplanung.pdf> (Zugriff am: 29. Juli 2022).
- BMWK (2022b): *Eckpunktepapier zur Diskussion der Beschleunigung des Wärmepumpenhochlaufs - Vorhaben und Maßnahmen zum 2. Wärmepumpen-Gipfel*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/2-waermpumpen-gipfel-eckpunktepapier.html> (Zugriff am: 13. März 2023).

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

- BMWK (2022c): *Entwurf: Richtlinie zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in der Industrie durch Klimaschutzverträge*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/ksv-forderrichtlinie.html> (Zugriff am: 5. Februar 2023).
- BMWK (2022d): 'Europäische Kommission genehmigt 41 Wasserstoff-Großprojekte – Rückenwind aus Brüssel für vier erste Projekte aus Deutschland', *Pressemitteilung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz*, 15 Juli. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/07/20220715-europaeische-kommission-genehmigt-41-wasserstoff-grossprojekte.html> (Zugriff am: 19. März 2023).
- BMWK (2022e): 'Europäische Kommission genehmigt zwei wichtige Wasserstoffprojekte: BMWK darf grünen Wasserstoff bei BASF und Dekarbonisierung der Stahlproduktion bei Salzgitter fördern', *Pressemitteilung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz*, 5 Oktober. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/07/20220715-europaeische-kommission-genehmigt-41-wasserstoff-grossprojekte.html> (Zugriff am: 19. März 2023).
- BMWK (2022f): 'Häufig gestellte Fragen zur EEG-Umlage bei „Grünem Wasserstoff“'. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/FAQ/Gruener-Wasserstoff/faq-gruener-wasserstoff.html> (Zugriff am: 13. April 2023).
- BMWK (2022g): 'IPCEI Wasserstoff: Gemeinsam einen Europäischen Wasserstoffmarkt schaffen'. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/ipcei-wasserstoff.html> (Zugriff am: 27. April 2023).
- BMWK (2022h): *The Declaration of Energy Ministers on The North Sea as a Green Power Plant of Europe*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/20220518-declaration-of-energy-ministers.html> (Zugriff am: 20. März 2023).
- BMWK (2022i): *Überblickspapier Osterpaket*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/0406_ueberblickspapier_osterpaket.html (Zugriff am: 5. April 2023).
- BMWK (2023a): 'Important Project of Common European Interest (IPCEI)'. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/FAQ/IPCEI/faq-ipcei.html> (Zugriff am: 26. Januar 2023).
- BMWK (2023b): 'Transformation zu einer klimaneutralen Industrie: Grüne Leitmärkte und Klimaschutzverträge', *Presseerklärung des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz*, 8. Februar. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/W/wissenschaftlicher-beirat-presseerkl%C3%A4rung.pdf> (Zugriff am: 15. März 2023).
- BMWK & BMDV (2022): 'Europäische Kommission genehmigt 41 Wasserstoff-Großprojekte – Rückenwind aus Brüssel für vier erste Projekte aus Deutschland', *Gemeinsame Pressemitteilung*, 15 Juli. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/07/20220715-europaeische-kommission-genehmigt-41-wasserstoff-grossprojekte.html> (Zugriff am: 13 April 2022).
- BMWK & BMWSB (2022): *65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024 Konzeption zur Umsetzung*. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/bauen/konzeptpapier-65-prozent-ee.pdf> (Zugriff am: 23 Juli 2022).

- Bolscher, H., Brownsort, P., Opinska, L.G., Jordal, K., Kraemer, D., Mikunda, T., Parmiter, P., Rycroft, L. & Yearwood, J. (2019): *High Level Report: CCUS in Europe*. EU CCUS Projects Network. Verfügbar unter: https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/HLR%20_CCUS-in-Europe.pdf (Zugriff am: 18. Januar 2023).
- Borrás, S. & Edquist, C. (2013): 'The choice of innovation policy instruments', *Technological forecasting and social change*, 80(8), S. 1513–1522. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.03.002>.
- Brückmann, G. & Bernauer, T. (2020): 'What drives public support for policies to enhance electric vehicle adoption?', *Environmental Research Letters*, 15(9), S. 094002. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab90a5>.
- Buchal, C., Karl, H.-D. & Sinn, H.-W. (2019): 'Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz?', *ifo-Schnelldienst*, 72, S. 3–17. Verfügbar unter: <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2019-08-sinn-karl-buchal-motoren-2019-04-25.pdf> (Zugriff am: 27. April 2023).
- Bundesnetzagentur (2023): *Ladesäulenkarte*. Bundesnetzagentur. Verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/start.html> (Zugriff am: 6. Januar 2023).
- Bundesregierung (2011): *Regierungsprogramm Elektromobilität*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/programm_elektromobilitaet-1.html (Zugriff am: 5. Januar 2023).
- Bundesregierung (2019): 'CO₂-Bepreisung'. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/co2-bepreisung-1673008> (Zugriff am: 9. März 2023).
- Bundesregierung (2020a): 'Bundesregierung beschließt Wasserstoffstrategie', 10 Juni. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/wasserstoffstrategie-kabinett-1758824> (Zugriff am: 9. März 2023).
- Bundesregierung (2020b): 'Die Nationale Wasserstoffstrategie'. Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/nationale-wasserstoffstrategie/nationale-wasserstoffstrategie_node.html (Zugriff am: 28. März 2022).
- Bundesregierung (2021a): *Bericht der Bundesregierung zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie*. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bericht-der-bundesregierung-zur-umsetzung-der-nationalen-wasserstoffstrategie.pdf> (Zugriff am: 8. März 2023).
- Bundesregierung (2021b): 'Klimaschutz Sofortprogramm 2022'. Verfügbar unter: <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Klimaschutz/klimaschutz-sofortprogramm.html> (Zugriff am: 8. März 2023).
- Bundesregierung (2022a): *Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum Kohlendioxid-Speicherungsgesetz*. Deutscher Bundestag: Drucksache 20/5145. Verfügbar unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/051/2005145.pdf> (Zugriff am: 8. März 2023).
- Bundesregierung (2022b): *Fortschrittsbericht zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin Verfügbar unter: <https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2022/fortschrittsbericht-wasserstoffstrategie-nws.html> (Zugriff am: 8. März 2023).

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

- Bundesregierung (2022c): *Klimaschutzgesetz: Generationenvertrag für das Klima*. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> (Zugriff am: 10. März 2023).
- Bundestag (2019): 'Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften'. Bundesgesetzblatt. Verfügbar unter: <https://dejure.org/ext/e7f4350204a3846782a48af28ee32620>.
- Bundestag (2021): 'Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)'. Bundesgesetzblatt. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html> (Zugriff am: 14 Januar 2023)
- Bundestag (2022a) 'Infrastruktur stärken, Netze ausbauen und Innovation fördern – Voraussetzungen für den Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland', *Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion der CDU/CSU – Drucksache 20/2916*, 19 August. Verfügbar unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/031/2003155.pdf> (Zugriff am: 9. März 2023).
- Bundestag (2022b): 'Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor'. Bundesgesetzblatt. Verfügbar unter: <https://dejure.org/ext/3acac9a03c9f86eec186204f3b6fc047>.
- Bundestag (2023): 'Bundesnetzagentur-Präsident zur Versorgungssicherheit', *Pressemitteilung*, 8 Februar. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-933366> (Zugriff am: 8. April 2023).
- von Burchard, F. (2021): 'Wasserstoff: Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes – Update #1', 22 Juli. Verfügbar unter: <https://www.cmshs-bloggt.de/rechtsthemen/sustainability/sustainability-environment-and-climate-change/wasserstoff-novellierung-des-energiewirtschaftsgesetzes/> (Zugriff am: 13. April 2023).
- BWP (2022): *BWP zum 2. Wärmepumpengipfel in Berlin*. Bundesverband Wärmepumpe e.V. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.waermepumpe.de/presse/news/details/bwp-zum-2-waermepumpengipfel-in-berlin-auf-worte-muessen-nun-taten-folgen/> (Zugriff am: 27. April 2023).
- Cheng, W. & Lee, S. (2022): 'How Green Are the National Hydrogen Strategies?', *Sustainability*, 14(3), S. 1930. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/su14031930>.
- Clausen, J. (2019): *Verbreitung radikaler Systeminnovationen. Fallbeispiel Elektromobilität Norwegen*. Borderstep Institut. Berlin. Verfügbar unter: https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/08/AP1Go-Fall-Norwegen_20190808.pdf.
- Clausen, J. (2021): *Digitalisierung der Produktion. Elektroautos und serielles Sanieren - CliDiTrans Werkstattbericht*. Borderstep Institut. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/06/AP3-4Digitalisierung-der-Produktion2021-06-10final.pdf>.
- Clausen, J. (2022): *Das Wasserstoffdilemma: Verfügbarkeit, Bedarfe und Mythen*. Borderstep Institut. Berlin. Verfügbar unter: https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2022/06/AP2-Wasserstoff-Potenziale-Bedarfe_27-6-2022.pdf (Zugriff am: 27 Juni 2022).
- Clausen, J. & Fichter, K. (2019): *Governance radikaler Umweltinnovationen: Theoretische Grundlagen und Forschungskonzeption*. Borderstep Institut. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/07/AP1Theorie-und-Methoden-31-07-2019.pdf> (Zugriff am: 19 November 2019).
- Clausen, J. & Fichter, K. (2020): *Governance radikaler Systemtransformationen. Wirkung politischer Strategien und Instrumente in der Transformation großer Versorgungssysteme. Auswertung der Fallstudien aus Arbeitspaket 1*. Borderstep Institut. Berlin. Verfügbar unter:

<https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/02/Go-Transformations-Governance-2020-02-22.pdf>.

- Clausen, J., Fichter, K., Kern, F. & Schmelzle, F. (2022): *Wasserstoff sparsam einsetzen*. Borderstep Institut & Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. Berlin. Verfügbar unter: https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2022/09/Policy-Insights_Wasserstoff-spar-sam-einsetzen_2022.pdf (Zugriff am: 20 September 2022).
- Clausen, J., Miara, M., Weber, U., Seckmeyer, G., Linow, S., Hoffmann, R. & Huber, M. (2022): *Wärmepumpen. Die klimaneutrale Wärmeversorgung im Neubau und für Bestandsgebäude. Policy-Paper Wärmewende der ScientistsForFuture*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/> (Zugriff am: 20 Dezember 2022).
- Deckwirth, C. & Katzemich, N. (2023): *Pipelines in die Politik - Die Macht der Gaslobby in Deutschland*. LobbyControl e.V. Köln. Verfügbar unter: <https://www.lobbycontrol.de/wp-content/uploads/gaslobby-studie-lobbycontrol.pdf>.
- Dickel, R. (2020): *Blue hydrogen as an enabler of green hydrogen: the case of Germany*. Oxford Institute for Energy Studies. Oxford. Verfügbar unter: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2020/06/Blue-hydrogen-as-an-enabler-of-green-hydrogen-the-case-of-Germany-NG-159.pdf>.
- Ecofys, Fraunhofer ISI, Öko-Institut & IZES (2013): *Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichtes gemäß § 18 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz*. Berlin, Saarbrücken, Karlsruhe. Verfügbar unter: <http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-fraunhofer-2013-evaluierung-ee-waermegesetz.pdf> (Zugriff am: 12 April 2016).
- Edenhofer, O., Flachsland, C., Kalkuhl, M., Knopf, B. & Pahle, M. (2019): *Optionen für eine CO2-Preisreform*. Potsdam. Verfügbar unter: https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/B2.3_Publications/Working%20Paper/2019_MCC_Optionen_f%C3%BCr_eine_CO2-Preisreform_final.pdf.
- Elektro-Kraftfahrzeuge (2023): 'Zulassungszahlen für Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb in Deutschland'. elektro-kraftfahrzeuge.com. Verfügbar unter: <https://elektro-kraftfahrzeuge.com/e-fahrzeuge-mit-brennstoffzelle/zulassungszahlen-fuer-fahrzeuge-mit-wasserstoffantrieb-in-deutschland/> (Zugriff am: 5 Januar 2023).
- Europäische Kommission (2020): *Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Eine Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa*. Brüssel. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0301> (Zugriff am: 25. April 2023).
- Europäische Kommission (2021): *„Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030*. Brüssel. S. 1–19. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=DE> (Zugriff am: 1 November 2021).
- Europäische Kommission (2022): 'Staatliche Beihilfen: Kommission genehmigt von 15 Mitgliedstaaten geplante öffentliche Förderung von bis zu 5,4 Mrd. EUR für wichtiges Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse in der Wertschöpfungskette der Wasserstofftechnologie'. *Pressemitteilung*. 15 Juli. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_22_4544.
- Europäisches Parlament & Rat (2019): *Verordnung (EU) 2019/631 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG)*

- Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011 (Neufassung). Brüssel. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX:32019R0631>.
- EV Sales Blogspot (2013): 'Germany November 2013 (Updated)'. EV Sales Blogspot. Verfügbar unter: <http://ev-sales.blogspot.com/2013/12/germany-november-2013.html> (Zugriff am: 4 Dezember 2022).
- EV-Volumes (2023): 'Global EV Sales for 2022'. ev-volumes.com. Verfügbar unter: <https://www.ev-volumes.com/> (Zugriff am: 18 Februar 2023).
- FDP (2023): *Technologieoffen in die Zukunft – Ein Technologiefreiheitsprinzip gesetzlich verankern*. Verfügbar unter: <https://www.fdp.de/seite/technologieoffen-die-zukunft-ein-technologie-freiheitsprinzip-gesetzlich-verankern> (Zugriff am: 8 Februar 2023).
- Fichter, K. & Clausen, J. (2013): *Erfolg und Scheitern 'grüner' Innovationen*. Marburg: Metropolis.
- GASAG (2023): '8. GASAG WARM-UP: „Wasserstoff - Hoffnungsträger für die Energiewende vor Ort!?"'. Onlineveranstaltung der GASAG AG mit Jens Geier (MdEP) und Sabine Augustin (Open Grid Europe GmbH). 16 März.
- Gómez Vilchez, Smyth, Kelleher, Lu, Rohr, Harrison, and Thiel (2019): 'Electric Car Purchase Price as a Factor Determining Consumers' Choice and their Views on Incentives in Europe', *Sustainability*, 11(22), S. 6357. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/su11226357>.
- GreenCarCongress (2021): 'Toyota to introduce 30 BEV models by 2030, boost battery spending to €2T'. GreenCarCongress. Verfügbar unter: <https://www.greencarcongress.com/2021/12/20211214-toyota.html> (Zugriff am: 9 Februar 2023).
- Hajek, S. (2019): 'Was Hans-Werner Sinn bei seiner Elektroauto-Studie übersehen hat'. Wirtschaftswoche. Verfügbar unter: <https://www.wiwo.de/technologie/mobilitaet/ist-das-e-auto-ein-rueckschritt-was-hans-werner-sinn-bei-seiner-elektroauto-studie-uebersehen-hat/24237236.html> (Zugriff am: 2 September 2019).
- Hanke, S. (2023): 'Staat soll grünen Stahl abnehmen'. Tagesspiegel Background. 9 Februar. Verfügbar unter: <https://background.tagesspiegel.de/newsletter/4e3IYYq6LEaRHP3F7Jlb4W>.
- Heitmann, J. (2023): 'Keine neuen Gasheizungen mehr ab 2024? Land warnt vor plan des Bundes'. *Hannoversche Allgemeine Zeitung*, 17 Februar, S. 1.
- Heyen, D.A., Hermwille, L. & Wehnert, T. (2017): 'Out of the comfort zone! Governing the exnovation of unsustainable technologies and practices'. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 26(4), S. 326–331. Verfügbar unter: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6913/file/6913_Heyen.pdf.
- Howlett, M. & Rayner, J. (2007): 'Design Principles for Policy Mixes: Cohesion and Coherence in "New Governance Arrangements"', *Policy and Society*, 26(4), S. 1–18. Verfügbar unter: [https://doi.org/10.1016/S1449-4035\(07\)70118-2](https://doi.org/10.1016/S1449-4035(07)70118-2).
- Huth, K. & Joeres, A. (2023): 'Erdgas: Wie Stadtwerke die Gaslobby finanzieren'. *Correctiv*. 22 Februar. Verfügbar unter: <https://correctiv.org/aktuelles/klimawandel/2023/02/22/erdgas-wie-stadtwerke-gas-lobby-finanzieren/>.
- IASTEC (2021): *Position paper. Technical, regulatory and social challenges for realising CO2-neutral drive technology for cars and commercial vehicles during the coming decades*. International Association of Sustainable Drivetrain and Vehicle Technology Research. Verfügbar unter: <https://iastec.org/position-paper> (Zugriff am: 9 Februar 2023).
- IEA (2022): 'Hydrogen Projects Database'. International Energy Agency. Paris. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-projects-database>.

- IG Metall CO₂-AG (2021): *FIT FOR 55* Expertenpapier zur aktuellen Treibhausgas-Reduktion: Konsequenzen für Technologien, Antriebe und Beschäftigung*. Frankfurt am Main. Verfügbar unter: https://www.igmetall.de/download/20210714_CO2_Broschüre_dt_2021_756da5b7f74ca884c891e7e18188d29c92ec9b47.pdf (Zugriff am: 8 Januar 2023).
- Kapoor, R. (2022): *The Future Of Hyundai And Its Plans To Launch 11 New EVs By 2030*. Verfügbar unter: <https://www.hotcars.com/hyundai-launch-11-new-evs-by-2030/> (Zugriff am: 9 Februar 2023).
- KBA (2023): *Fahrzeugzulassungen im Dezember 2022 - Jahresbilanz*. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Flensburg. Verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugzulassungen/2023/pm01_2023_n_12_22_pm_komplett.html?snn=3662144 (Zugriff am: 5 Januar 2023).
- Kearns, D., Liu, H. & Consoli, C. (2021): 'Technology Readiness and Costs of CCS'. Global CCS Institute. Verfügbar unter: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/03/Technology-Readiness-and-Costs-for-CCS-2021-1.pdf>.
- Kern, F. & Howlett, M. (2009): 'Implementing transition management as policy reforms: a case study of the Dutch energy sector', *Policy Sciences*, 42(4), S. 391–408. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s11077-009-9099-x>.
- Kern, F., Kivimaa, P. & Martiskainen, M. (2017): 'Policy packaging or policy patching? The development of complex energy efficiency policy mixes', *Energy Research & Social Science*, 23, S. 11–25. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.11.002>.
- Kivimaa, P. & Kern, F. (2016): 'Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions', *Research Policy*, 45(1), S. 205–217. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.09.008>.
- Knauer, M. (2023): *Telekom rangiert Diesel-Dienstwagen aus*. Automobilwoche.de. Verfügbar unter: <https://www.automobilwoche.de/nachrichten/telekom-rangiert-diesel-dienstwagen-aus-kritik-preispolitik-der-autobauer> (Zugriff am: 18 Februar 2023).
- Lindberg, M.B., Markard, J. & Andersen, A.D. (2019): 'Policies, actors and sustainability transition pathways: A study of the EU's energy policy mix', *Research Policy*, 48(10), S. 103668. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.09.003>.
- Loske, R. (2014): 'Transformationsstrategien für eine nachhaltige Geldordnung'. *Geldgipfel 2014: Von der Energiewende zur Geldwende*. Witten/Herdecke. Verfügbar unter: http://www.glsbankstiftung.de/media/pdfs/Loske__Reinhard_Geldwende_final.pdf (Zugriff am: 28 Februar 2017).
- Mazur, C., Contestabile, M., Offer, G.J. & Brandon, N.P. (2015): 'Assessing and comparing German and UK transition policies for electric mobility'. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 14, S. 84–100. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.04.005>.
- MHKBD (2022): *Bauordnungsrecht – Ausbau von Erneuerbaren Energien*. Ministerium für Heimat, Kommunales, Bau und Digitalisierung des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf. Verfügbar unter: https://www.hausundgrund-verband.de/fileadmin/root/media/downloads/2022/MHKBD_Runderlass_Abstandsflaechen_2022-12-16.pdf (Zugriff am: 8 Januar 2023).
- Milios, L. (2018): 'Advancing to a Circular Economy: three essential ingredients for a comprehensive policy mix'. *Sustainability Science*, 13(3), S. 861–878. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0502-9>.

- Mintzberg, H. (1987): 'The Strategy Concept I: Five Ps for Strategy'. *California Management Review*, 30(1), S. 11–24. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.2307/41165263>.
- Mintzberg, H., Ahlstrand, B. & Lampel, J. (2002): *Strategy Safari. Eine Reise durch die Wildnis des strategischen Managements*. Wien: Ueberreuter.
- Mortsiefer, H. (2016): *Strategie 2015: Volkswagen baut radikal um*. Tagesspiegel. Verfügbar unter: <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/volkswagen-baut-radikal-um-7405126.html> (Zugriff am: 4 Dezember 2022).
- Nationaler Wasserstoffrat (2022a): 'Angriffskrieg Russland gegen die Ukraine – mögliche Auswirkungen auf den Wasserstoffhochlauf'. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-04-01_NWR-Stellungnahme_Ukraine.pdf.
- Nationaler Wasserstoffrat (2022b): 'Die Rolle und notwendige Ausgestaltung der Zertifizierungskriterien für einen schnellen und wirksamen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft'. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-12-09-NWR-Stellungnahme_Zertifizierungskriterien.pdf.
- Nationaler Wasserstoffrat (2022c): 'Eckpunktepapier zur -Überarbeitung der Nationalen -Wasserstoffstrategie'. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-06-20_NWR-Eckpunktepapier_Ueberarbeitung_NWS.pdf.
- Nationaler Wasserstoffrat (2022d): 'Einordnung verschiedener Pfade der Herstellung von Wasserstoff („Farbenlehre“). Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-04-01_NWR-Grundlagenpapier_Farbenlehre.pdf.
- Nationaler Wasserstoffrat (2023): 'Treibhausgaseinsparungen und der damit verbundene Wasserstoffbedarf in Deutschland'. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2023/2023-02-01_Grundlagenpapier_H2-Bedarfe.pdf.
- Nill, J. (2009): *Ökologische Innovationspolitik: eine evolutiv-ökonomische Perspektive*. 1. Aufl. Marburg: Metropolis-Verl (Wirtschaftswissenschaftliche Nachhaltigkeitsforschung, 6).
- Norsk elbilforening (2019): *Norwegian EV policy. Norway is leading the way for a transition to zero emission in transport*. Verfügbar unter: <https://elbil.no/english/norwegian-ev-policy/> (Zugriff am: 3 May 2019).
- NOW GmbH (2022): *Bewilligte Vorhaben 2017-2021*. Verfügbar unter: <https://www.now-gmbh.de/foerderung/foerderprogramme/wasserstoff-und-brennstoffzelle/>.
- Öko-Institut (2021): 'Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland'. Berlin. Verfügbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Die-Wasserstoffstrategie-2-0-fuer-DE.pdf>
- Oppenheimer, S. (2022): *Umfrage: So groß ist der Wunsch der Deutschen nach Wasserstoff-Antrieb*. Merkur. Verfügbar unter: <https://www.merkur.de/auto/umfrage-wasserstoff-antrieb-auto-zukunft-display-autonomes-fahren-benzin-mobile-de-berlin-zr-91375840.html> (Zugriff am: 27 März 2022).
- Ossenbrink, J., Finnsson, S., Bening, C.R. & Hoffmann, V.H. (2019): 'Delineating policy mixes: Contrasting top-down and bottom-up approaches to the case of energy-storage policy in California', *Research Policy*, 48(10), S. 103582. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.04.014>.
- Pichler, M., Krenmayr, N., Schneider, E. and Brand, U. (2021): 'EU industrial policy: Between modernization and transformation of the automotive industry', *Environmental Innovation and Social Transitions*, 38, S. 140–152. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.12.002>.

- Prognos, Öko-Institut, & Wuppertal-Institut (2020): 'Klimaneutrales Deutschland - In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65 % im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals'. Agora Energiewende, Agora Verkehrswende, Stiftung Klimaneutralität. Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland/>.
- Reuters (2023): *Honda to start producing new hydrogen fuel cell system co-developed with GM*. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/honda-start-producing-new-hydrogen-fuel-cell-system-co-developed-with-gm-2023-02-02>.
- Richter, I. & Haas, T. (2020): 'Greening the Car? Conflict Dynamics within the German Platform for Electric Mobility', *Sustainability*, 12(19), S. 8043. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/su12198043>.
- Rogge, K.S. & Dütschke, E. (2018): 'What makes them believe in the low-carbon energy transition? Exploring corporate perceptions of the credibility of climate policy mixes', *Environmental Science & Policy*, 87, S. 74–84.
- Rogge, K.S. & Johnstone, P. (2017): 'Exploring the role of phase-out policies for low-carbon energy transitions: The case of the German Energiewende', *Energy Research & Social Science*, 33, S. 128–137. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.004>.
- Rogge, K.S. & Reichardt, K. (2016): 'Policy mixes for sustainability transitions: An extended concept and framework for analysis', *Research Policy*, 45(8), 1620–1635. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.04.004>.
- Rosenbloom, D. (2017): 'Pathways: An emerging concept for the theory and governance of low-carbon transitions', *Global Environmental Change*, 43, 37–50. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.12.011>.
- Rosenow, J., Kern, F. & Rogge, K. (2017): 'The need for comprehensive and well targeted instrument mixes to stimulate energy transitions: The case of energy efficiency policy', *Energy Research & Social Science*, 33, 95–104. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.013>.
- Schaal, S. (2023): *Rekord-Neuzulassungen: 104.325 Elektro-Pkw im Dezember*. electrive.net. Verfügbar unter: <https://www.electrive.net/2023/01/04/rekord-neuzulassungen-104-325-elektro-pkw-im-dezember/> (Zugriff am: 7 Januar 2023).
- Schlund, D., Schulte, S. & Sprenger, T. (2022): 'The who's who of a hydrogen market ramp-up: A stakeholder analysis for Germany', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111810. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111810>.
- Schmidt, U. (2020): *Elektromobilität und Klimaschutz: Die große Fehlkalkulation*. Kiel. Verfügbar unter: https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/-ifw/Kiel_Policy_Brief/KPB_143.pdf (Zugriff am: 30. Juni 2020).
- Schneider, C. (2022): 'The energy impulse: the EU Commission's draft delegated act on the use of hydrogen in the transport sector - is the hydrogen ramp-up in Germany running out of steam?', 8 Juni. Verfügbar unter: <https://www.oppenhoff.eu/en/news/detail/the-energy-impulse-the-eu-commissions-draft-delegated-act-on-the-use-of-hydrogen-in-the-transport-sector-is-the-hydrogen-ramp-up-in-germany-running-out-of-steam/>.
- Schot, J. & Steinmueller, W.E. (2018): 'Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change', *Research Policy*, 47(9), S. 1554–1567. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.08.011>.
- Schwan, D.G., Treichel, K. & Höh, A. (2016): *Sektorkopplung – von der Stromwende zur Energiewende*. Bericht ETR/01-2016. HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform gGmbH. Berlin. Verfügbar

- unter: https://www.governance-platform.org/wp-content/uploads/2017/03/HVGP_Trialog-Bericht-Sektorkopplung.pdf.
- Schwierz, P. (2019): *Experten entlarven Elektroauto-„Studie“ von Hans-Werner Sinn als unwissenschaftliche Meinungsmache*. electrive.net. Verfügbar unter: <https://www.electrive.net/2019/04/20/experten-entlarven-elektroauto-studie-von-hans-werner-sinn-als-unwissenschaftliche-meinungsmache/> (Zugriff am: 2 September 2019).
- Scientists for Future (2022): *Heizen mit Holz: knapp, teuer und unerwartet klimaschädlich*. Berlin. Verfügbar unter: <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/> (Zugriff am: 9 November 2022).
- Seto, K.C., Davis, S.J., Mitchell, R.B., Stokes, E.C., Unruh, G. and Ürge-Vorsatz, D. (2016): 'Carbon Lock-In: Types, Causes, and Policy Implications', *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), S. 425–452. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085934>.
- Sievers, L. & Grimm, A. (2022): *Innovationstätigkeit des Automobilssektors Analyse mit Fokus auf nachhaltigen Antriebstechnologien und Digitalisierung Studie zum deutschen Innovationssystem | Nr. 8-2022*. Karlsruhe. Verfügbar unter: https://www.e-fi.de/fileadmin/Assets/Studien/2022/StuDIS_08_2022.pdf (Zugriff am: 9 February 2023).
- SPD, Bündnis 90/Die Grünen, & FDP (2021): 'Mehr Fortschritt wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit'. Koalitionsvertrag. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf>.
- Statista (2022): *Anzahl der Beschäftigten in der Automobilindustrie in Deutschland von 2011 bis 2021*, Statista.com. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/30703/umfrage/beschaefigtetenzahl-in-der-automobilindustrie/> (Zugriff am: 8 Januar 2023).
- Tagesschau (2022a): 'Habeck will CO2-Speicherung ermöglichen', *tagesschau.de*, 21 Dezember. Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/inland/gesellschaft/habeck-gasspeicherung-101.html>.
- Tagesschau (2022b): 'Luxus rechnet sich. Rekordgewinne bei Autoherstellern', *tagesschau.de*, 28 November. Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/autobauer-rekordgewinne-tesla-marge-umsatz-gewinn-premium-luxus-rabatte-101.html>.
- Tagesschau (2022c): 'Habeck will 500.000 Wärmepumpen jährlich', *tagesschau.de*, 29 Juni. Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/waermepumpen-offensive-101.html>.
- Tagesschau (2023): 'Wasserstoffpipeline aus Norwegen geplant', *tagesschau.de*, 5 Januar. Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/ausland/europa/habeck-norwegen-105.html>.
- Tagesspiegel (2023): 'Tagesspiegel Background Energie & Klima', 21 Februar. Verfügbar unter: <https://background.tagesspiegel.de/energie-klima/newsletters>.
- The Greenhouse Gas Protocol (2004): 'A Corporate Accounting and Reporting Standard'. Verfügbar unter: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>.
- Turnheim, B. (2023): 'Destabilisation, decline and phase-out in transitions research', in Z. Koretsky, P. Stegmaier, and B. Turnheim (eds) *Technologies in decline: socio-technical approaches to discontinuation and destabilisation*. 1 Edition. New York, NY: Routledge.
- UBA (2021): *Umweltschädliche Subventionen in Deutschland. Aktualisierte Ausgabe 2021*. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Rosslau. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschaedliche-subventionen-in-deutschland-0> (Zugriff am: 5 Januar 2023).

- Unruh, G.C. (2000): 'Understanding carbon lock-in', *Energy Policy*, 28(12), S. 817–830. Verfügbar unter: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00070-7).
- Verlinden, J. (2023): *Jetzt mit der Initiative „worst first“ vorsorgen – 5-Punkte-Plan für die nächsten Winter*, *julia-verlinden.de*. Verfügbar unter: <https://julia-verlinden.de/initiative-worst-first/> (Zugriff am: 10 Januar 2023).
- Wärmepumpen-Gipfel (2022): *Eckpunktepapier zur Diskussion der Beschleunigung des Wärmepumpenhochlaufs - Vorhaben und Maßnahmen zum 2. Wärmepumpen-Gipfel -*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/05_Presse/01_Pressemitteilungen/Eckpunktepapier_Waermepumpenhochlauf.pdf (Zugriff am: 7 Dezember 2022).
- Wietschel, M. (2020): *Stellungnahme zum Policy Brief Elektromobilität und Klimaschutz: Die große Fehlkalkulation*. Karlsruhe. Verfügbar unter: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2020/Stellungnahme_IfW-Langfassung.pdf (Zugriff am: 30 June 2020).
- Wietschel, M., Weißenburger, B., Rehfeldt, M., Lux, B., Zheng, L., Isi, F. & Meier, J. (2023): 'Preiselastische Wasserstoffnachfrage in Deutschland – Methodik und Ergebnisse'. Fraunhofer ISI. Verfügbar unter: https://www.hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HyPAT_Working-Paper-01_2023_Preiselastische-Nachfrage.pdf.
- Witsch, K. (2022): 'Grüner Wasserstoff ist zum ersten Mal günstiger als Wasserstoff aus Erdgas', *Handelsblatt*, 19 April. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/erneuerbare-energien-gruener-wasserstoff-ist-zum-ersten-mal-guenstiger-als-wasserstoff-aus-erdgas/28251636.html> (Zugriff am: 25 April 2022).
- WiWo (2022): 'Habeck bringt Klimaschutz-Verträge mit Industrie auf den Weg', *WirtschaftsWoche*, 30 November. Verfügbar unter: <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/energiewende-habeck-bringt-klimaschutz-vertraege-mit-industrie-auf-den-weg/28841302.html>.

ANHANG

Code-System zur Auswertung der Stakeholder-Interviews

Codes	Häufigkeiten
1 Policy Mix	18
1.1 Politische Ziele	49
1.1.1 Kohärenz der Ziele	55
1.2 Politische Instrumente	61
1.2.1 Konsistenz der Instrumente	42
1.3 Politische Glaubwürdigkeit	48
1.4 Politische Lücken (Policy Gaps)	56
1.5 Politische Priorisierung	19
1.5.1 Anwendung	73
1.5.2 Produktion	38
1.6 Historie NWS	14
2 Auswirkung des Policy-Mix	0
2.1 Wirkung auf Zielgruppen	6
2.1.1 Wirtschaft	47
2.1.2 Forschung	10
2.2 Wirkung auf Transformationspfade	32
2.2.1 Herstellung/Farben	69
2.2.2 Breite der Anwendung	122
2.3 Wirkung als Risiken	19
2.3.1 Mobilitätssektor	6
2.3.2 Wärmesektor	4
2.3.3 Industrie/sonstige	5
3 Branching Points	51
3.1 Institutionelle Entscheidungen	59
3.2 Investitionsentscheidungen	18
4 Richtungssicherheit	52
4.1 Wissenschaftliche Akteure	15

4.2 Identitätsstiftendes Narrativ	33
4.3 Langfristigkeit und Legitimität der Zielsetzung	41
4.4 Überzeugungen	8
4.4.1 Technologie	108
4.4.2 Durchführbarkeit	76
4.4.3 Wettbewerbsvorteile	37
4.5 Unterstützung durch Netzwerkstrukturen	11
4.6 Institutionelle Veränderungen	25
4.7 Planungs- und Investitionssicherheit	116
5 Sammelbecken	28
6 Paraphrasen	1

Definitionen der einzelnen Codes

1 Policy Mix

Aussagen von den Akteuren zu einzelnen politischen Zielen oder Instrumenten (positive und negative Einschätzungen) codieren

1.1 Politische Ziele

Erwähnung von politischen Zielen (ohne Information zur Kohärenz)

1.1.1 Kohärenz der Ziele

Aussagen zur (In-)Kohärenz der Ziele der aktuellen deutschen H₂-Politik in sich und bzgl. EU-Politik, z. B. Zielkonflikte // Kommentare verwenden zur Kennzeichnung positiver/negativer Einschätzungen

1.2 Politische Instrumente

Erwähnung von politischen Instrumenten (ohne Information zur Konsistenz)

1.2.1 Konsistenz der Instrumente

Aussagen zur (In-)Konsistenz der Instrumente der aktuellen deutschen H₂-Politik in sich und bzgl. EU-Politik // Kommentare verwenden zur Kennzeichnung positiver/negativer Einschätzungen

1.3 Politische Glaubwürdigkeit

Aussagen zur Glaubwürdigkeit der aktuellen deutschen Wasserstoffpolitik, z. B. zu nicht eingehaltenen Ankündigungen in der Vergangenheit („Vertrauensbrüche“) oder zu mangelnder Transparenz

1.4 Politische Lücken (Policy Gaps)

Erwähnung fehlender politischer Ziele, Maßnahmen, Instrumente, Regeln, Forschungsförderung etc.

1.5 Politische Priorisierung

Aussagen zur Notwendigkeit („Wünsche“) einer politischen Priorisierung von Anwendungssektoren oder Produktionsmethoden

1.5.1 Anwendung

1.5.2 Produktion

1.6 Historie NWS

Infos zur Entstehungsgeschichte der Wasserstoffstrategie aus zwei Spezialinterviews

2 Auswirkung des Policy-Mix

2.1 Wirkung auf Zielgruppen

Nennungen genereller Auswirkungen des Policy-Mix auf Akteure

2.1.1 Wirtschaft

Auswirkung des aktuellen Policy-Mix auf die Wirtschaft, z. B. auf Strategien, Ziele, Planungen und Investitionen

2.1.2 Forschung

Auswirkung des aktuellen Policy-Mix auf die Forschung, z. B. bestimmte mögliche Forschungszweige werden nicht berücksichtigt (ohne Policy-Mix)

2.2 Wirkung auf Transformationspfade

Aussagen, die Wirkungen der aktuellen H₂-Politik auf Wasserstoffpfade betreffen (ohne Information zu „Farben“)

2.2.1 Herstellung/Farben

Aussagen, die die zukünftige Nutzung diverser „Farben“ betreffen („nur grün“ per Kommentar kennzeichnen) // Kommentare verwenden zur Kennzeichnung von Bottom-up Aussagen zu „Nicht-Wasserstoffpolitik“ (z. B. E-Mobilität, kommunale Wärmeplanung)

2.2.2 Breite der Anwendung

Auswirkungen des aktuellen Policy-Mix auf die Anwendungsgebiete von Wasserstoff

2.3 Wirkung als Risiken

Nennung von Risiken, zu denen der aktuelle Policy-Mix beiträgt

2.3.1 Mobilitätssektor

Angesprochene Risiken von Lock-ins, versunkenen Investitionen oder Crowding-outs im Mobilitätssektor

2.3.2 Wärmesektor

Angesprochene Risiken von Lock-ins, versunkenen Investitionen oder Crowding-outs im Wärmesektor

2.3.3 Industrie/sonstige

Angesprochene Risiken von Lock-ins, versunkenen Investitionen oder Crowding-outs in anderen Anwendungsbereichen, z. B. Industrie, Energiespeicher, ...

3 Branching Points

Def.: Branching Points werden als wichtige Entscheidungspunkte definiert, an denen die von den Akteuren getroffenen Entscheidungen bestimmen, ob und auf welche Weise ein Pfad beschritten wird. Es ist ein Ansatz, der "kreative Akteure" und "einschränkende Strukturen" gleichermaßen anerkennt und den Dualismus von "Struktur" und "Handeln" im Sinne der Strukturierungs- und Interaktionstheorie überwindet.

3.1 Institutionelle Entscheidungen

- Gesetze
- Organe

3.2 Investitionsentscheidungen

4 Richtungssicherheit

Definition: Richtungssicherheit ist die kollektive Überzeugung von der Richtigkeit eines sozio-technischen Transitionspfades.

Die 10 Schlüsselmerkmale von Richtungssicherheit sind:

1. Vorherrschende Akteure in bestimmten Politikfeldern oder Sektoren teilen grundlegende Überzeugungen über bestimmte Technologien und Anwendungsfälle.
2. Gemeinsame Überzeugungen beziehen sich auf den Reifegrad (z. B. Technology Readiness Levels), die Machbarkeit und das Zukunftspotenzial bestimmter Technologien für bestimmte Anwendungsfälle.
3. Gemeinsame Überzeugungen beziehen sich auf den Wettbewerbsvorteil oder -nachteil gegenüber bestehenden oder neu entstehenden technologischen Alternativen und deren wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Nutzen.
4. Ein identitätsstiftendes Narrativ, das den Übergangspfad und ein hoffnungsgebendes Gestaltungsprogramm festlegt (Schneidewind, 2018, S. 10).
5. Es ist wahrscheinlich, dass Promotoren oder Netzwerke von Promotoren zu den dominierenden Akteuren gehören und das Entstehen oder die Aufrechterhaltung von Richtungssicherheit beeinflussen.
6. Klare langfristige Ziele und Planungen für das betreffende System sind vorhanden oder im Entstehen.
7. Den dominanten Akteuren gelingt es, Legitimität von Zielen und Entwicklungspfaden zu schaffen und aufrechtzuerhalten, z. B. durch technologische Framing Dimensionen und Taktiken (Hoppmann et al. 2022).
8. Bestehende oder sich entwickelnde Netzwerkstrukturen (Verbände usw.), die die Ziele und den Entwicklungsweg unterstützen.
9. Flankierung durch grundlegende institutionelle Veränderungen, wie z. B. neue unterstützende Gesetze.
10. Strategische Entscheidungen und Investitionen von Wirtschaftsakteuren (Unternehmen, Risikokapitalgeber, Verbraucher usw.) spiegeln das Vertrauen in eine bestimmte Technologie oder einen Transitionspfad wider.

4.1 Wissenschaftliche Akteure

Einschließlich Promotoren-Aspekt (Differenzierung erfolgt bei der Auswertung)

- Wissenschaftlichen Organisationen (Institute) - Personen (Wissenschaftler:innen) - Wissenschaftliche Studien/Gutachten - Wissenschaftliche Expertise/Wissen/Fakten

4.2 Identitätsstiftendes Narrativ

z. B. "Wasserstoffregion", "Universalenergie"

- Identitätsstiftend
- sinnstiftende Erzählung
- "transportiert Werte und Emotionen"
- "hope-giving design program" (Schneidewind)

4.3 Langfristigkeit und Legitimität der Zielsetzung

- Klare langfristige Zielsetzungen und Planungen für das betreffende System (kein kurzfristiger Aktionismus) → Vorhandensein oder Nichtvorhandensein/Bedarf
- Eine bestehende oder in Entwicklung befindliche Legitimität der Zielsetzungen und Entwicklungspfade → (Be-)Wertung der Zielsetzung

4.4 Überzeugungen

Differenzierung ob gemeinsam („shared“) oder nicht erfolgt erst in der Auswertung

4.4.1 Technologie

Überzeugungen zu bestimmten Technologien und Anwendungsfällen

4.4.2 Durchführbarkeit

Überzeugungen in Bezug auf den Reifegrad, die Durchführbarkeit und das Zukunftspotenzial von Wasserstofftechnologien

4.4.3 Wettbewerbsvorteile

Überzeugungen in Bezug auf den Wettbewerbsvorteil oder -nachteil im Vergleich zu bestehenden oder neu entstehenden technologischen Alternativen und deren wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Nutzen

4.5 Unterstützung durch Netzwerkstrukturen

- Verbände - Netzwerke - Beratungsgremien/Räte - Dialogforen

4.6 Institutionelle Veränderungen

- Fundamentale gesetzliche Rahmenbedingen/Änderungen - (Neue) Organe - Unterstützen flankierend die Richtungssicherheit

4.7 Planungs- und Investitionssicherheit

- Aussagen zum Vorhandensein, Fehlen, Bedarf (...)

- Aussagen zu Infrastruktur

5 Sammelbecken

Unverzichtbare Codes, die in keine Kategorie passen

Identifizierte Politikinstrumente des deutschen Wasserstoff-Policy-Mix

Hinweis: Die hier aufgeführten Kurzbeschreibungen zu den gelisteten Politikinstrumenten sind teils wörtlich den jeweils angegebenen Quellen entnommen und teils gekürzt oder umformuliert zusammengefasst. Die Instrumente bilden den Stand im Sommer 2022 ab.

Politikinstrument	Kurzbeschreibung
Regierungsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2016-2026 – von der Marktvorbereitung zu wettbewerbsfähigen Produkten zur Fortsetzung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2006–2016 (NIP). BMVI, BMWi, BMBF & BMUB. 2016. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/nip-regierungsprogramm.pdf	
Neufassung der Förderrichtlinie für Maßnahmen der Marktaktivierung im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, insbesondere im Straßen-, Schienen-, Wasser- und Luftverkehr sowie in Sonderanwendungen	Ziel ist Mobilität mit Wasserstoff- und Brennstoffzellen in den nächsten zehn Jahren wettbewerbsfähig im Markt zu etablieren. Dies umfasst fahrzeugseitige Technologien und Systeme ebenso wie die jeweils notwendige Kraftstoffinfrastruktur.
Die Nationale Wasserstoffstrategie. Bundesregierung. 2020. https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf	
Schaffung eines Förderrahmens für IPCEI auf EU-Ebene	Im Dezember 2020 unterzeichneten 22 EU-Länder und Norwegen ein Manifest, das den Weg für eine saubere Wasserstoff-Wertschöpfungskette ebnet und sich verpflichtet, IPCEI-Projekte im Wasserstoffsektor zu starten.
Verstärkung der Investitionen in Forschung, Entwicklung und Demonstration für grünen Wasserstoff auf EU-Ebene	Anfang 2021 starteten Deutschland und eine Reihe europäischer Partner im Rahmen der deutschen EU-Ratspräsidentschaft eine Forschungs- und Innovations-Initiative zur Nutzbarmachung von grünem Wasserstoff und zur Beschleunigung einer europäischen Wasserstoffwirtschaft.
Bekanntmachung der Förderrichtlinie für Maßnahmen der Forschung, Entwicklung und Innovation im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase II	Gefördert werden Vorhaben im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, insbesondere im Straßen-, Schienen-, Wasser- und Luftverkehr sowie in Sonderanwendungen; in Abstimmung mit anderen Ressorts konzentriert das BMDV seine FuEuL-Förderung dabei auf Maßnahmen der Demonstration, Innovation und Marktvorbereitung.
Richtlinie zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Investitionsprojekten mit dem Ziel der Treibhausgasneutralität im Industriesektor (Förderrichtlinie zur Dekarbonisierung in der Industrie)	Umstellung auf den Grund- und Brennstoff Wasserstoff, insbesondere in der Stahl- und Chemieindustrie. Förderung des H ₂ -Einsatzes in der Industrieproduktion sowie CO ₂ -Vermeidung und CO ₂ -Nutzung in den Grundstoffindustrien (seit 2021).
Senkung der EEG-Umlage bzw. Befreiung der Produktion von grünem Wasserstoff von der EEG-Umlage	Ziel der EEG-Novelle 2021 ist die Unterstützung der Wasserstoffproduktion, um „eine Abwanderung der Produktion in das Ausland zu verhindern“. Der erlassene Paragraph §64a bietet in diesem Kontext nun auch kleineren Produzenten von Wasserstoff die Möglichkeit die EEG-Umlage auf 15% zu begrenzen.
regulatorische Entflechtung für Elektrolyseurbetreiber, Strom- und Gasnetzbetreiber (Novelle EnWG)	Die im Juli 2021 im Wege einer Novellierung des EnWG eingeführte Regulierung von Wasserstoffnetzen in §§ 28j–q EnWG überlässt den Netzbetreibern die

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

	Entscheidung, ob sie unreguliert bleiben oder sich dem neu eingeführten Regulierungssystem unterwerfen wollen. Die Regelungen verstehen sich als Übergangslösung bis EU-Vorgaben vorliegen.
Umsetzung der RED II soll den Einsatz von grünem Wasserstoff bei der Kraftstoffherstellung und als Alternative zu konventionellen Kraftstoffen verankern	Das Bundesimmissionsschutzgesetzes regelt die Treibhausgasminderungsquote für Kraftstoffe. Der Einsatz von grünem Wasserstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge soll durch die Anrechenbarkeit auf die THG-Quote stärker gefördert werden. Mit dem Gesetz zur Weiterentwicklung der Treibhausgas-Minderungsquote wird die Anrechenbarkeit des Einsatzes grünen Wasserstoffs in Raffinerien geregelt.
Förderung von Entwicklung und Erzeugung regenerativer Kraftstoffe für Luft- und Seeverkehr	Das Förderkonzept umfasst mehrere Maßnahmen zur technologieoffenen Unterstützung erneuerbarer Kraftstoffe (Förderung von Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte, Innovationscluster, Anlagen zur Erzeugung und Markthochlauf). Für die Maßnahmen stehen dem BMDV aus dem EKF und aus der NWS insgesamt rund 1,54 Mrd. Euro von 2021 bis 2024 zur Verfügung.
Verstärkte Ausweisung von Flächen, die zur H2 Produktion genützt werden können	Die Verordnung zur Vergabe sonstiger Energiegewinnungsbereiche in der ausschließlichen Wirtschaftszone (SoEnergieV) tritt am 01.10.2021 in Kraft. Damit wird die Möglichkeit geschaffen, die Wasserstoffherzeugung aus Offshore-Strom praktisch zu erproben. Bisher findet die Elektrolyse zur Wasserstoffherzeugung nur an Land statt. Wirtschaft und Industrie erhalten die Möglichkeit, Offshore-Elektrolyse einzusetzen.
Verpflichtung der Inverkehrbringer zum Einsatz strombasierter Flugkraftstoffe aus grünem Wasserstoff. Eine Quote von mindestens zwei Prozent in 2030 wird angedacht und soll auf multilateraler Ebene geregelt werden. Ziel ist der Einsatz erneuerbaren Kerosins	Eine nationale Quote von 0,5 % bis 2026, 1 % bis 2028 und 2 % bis 2030 für das Beimischen strombasiert hergestellten, nachhaltigen Kerosins (PtL) zu konventionellem Kerosin im Flugverkehr eingeführt worden. Auf eine solche Quote hatten sich Bund, Länder und Industrie 2021 in der PtL-Roadmap für den Luftverkehr geeinigt. Diese soll neben der monetären Förderung die notwendige Grundlage schaffen, um bis 2030 mindestens 200.000 t nachhaltiges Kerosin jährlich für den deutschen Luftverkehr zu produzieren.
Förderung von Wasserstoff-Fahrzeugen (leichte und schwere LKW/Nutzfahrzeuge, Busse, Züge, Binnen- und Küstenschifffahrt, PKW in Flottenanwendungen)	Ziel ist, Mobilität mit Wasserstoff- und Brennstoffzellen in den nächsten zehn Jahren wettbewerbsfähig im Markt zu etablieren. Dies umfasst fahrzeugseitige Technologien und Systeme ebenso wie die jeweils notwendige Kraftstoffinfrastruktur.
Umsetzung der Clean Vehicles Directive, Einsatz für Quoten für alternative Kraftstoffe	Einführung von Quoten für "saubere" Busse (> 5 t): ab 2021 45% und ab 2026 65 % an alternativen Kraftstoffen, für LKW (>3,5 t) ab 2021 10 % und ab 2026 15 % an alternativen Kraftstoffen.
Förderung klimaschonender Antriebe im Rahmen der Eurovignetten-Richtlinie. CO2-Differenzierung der LKW-Maut	2023 soll eine CO2-Differenzierung der LKW-Maut vorgenommen werden, welche den gewerblichen Güterkraftverkehr ab 3,5 Tonnen einbezieht und einen CO2-Zuschlag einführt. Eine Doppelbelastung durch den CO2-Preis soll dabei ausgeschlossen werden.
Aufbau eines Pilotprogramms für CCFD, v.a. bzgl. Stahl- und Chemieindustrie	Im Rahmen eines CfD schließt der Staat mit einem Industrieunternehmen einen Vertrag über einen fixen CO2-Preis für ein bestimmtes Projekt ab. Solange der tatsächliche CO2-Preis unter dem vereinbarten CO2-Preis liegt, erstattet der Staat die Differenz. Steigt der

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

	tatsächliche CO2-Preis über den vereinbarten Preis, muss der Industrieunternehmer die Differenz übernehmen. So müssen Unternehmen nicht warten bis der tatsächliche Preis wirtschaftlich ist .
Prüfung einer Nachfragequote für klimafreundliche Grundstoffe, z.B. grünen Stahl	Die Nachfrage nach Industrieprodukten, die mittels emissionsarmer Prozesse und der Nutzung von Wasserstoff hergestellt wurden, soll gestärkt werden. National und auf europäischer Ebene sollen Lösungen geprüft werden, wie Märkte für klimaneutrale und Kreislaufprodukte in energieintensiven Industriesektoren stimuliert werden können. Eine Nachfragequote für klimafreundliche Grundstoffe, z. B. grünen Stahl, wird geprüft.
Schaffung branchenspezifischer Dialogformate mit Stakeholdern aus energieintensiven Industrien (Chemie-, Stahl-, Logistik- und Luftfahrtbranche)	In Stakeholder-Dialogformaten werden langfristige Dekarbonisierungsstrategien auf der Basis von Wasserstoff erarbeitet. So legt beispielsweise das Handlungskonzept Stahl erstmals ein politisches Gesamtkonzept für eine langfristig starke, international wettbewerbsfähige und klimaneutrale Stahlindustrie am Standort Deutschland vor.
Förderung von Brennstoffzellenheizgeräten im Gebäudebereich, Verzahnung Strom-, Gas- und Wärminfrastruktur	Das BMWi unterstützt mit Investitionszuschüssen den Einbau von Brennstoffzellensystemen in neue oder bestehende Gebäude.
Prüfung Möglichkeiten zur Förderung von „Wasserstoff-readiness“-Anlagen (Wärmeversorgung) im Rahmen des KWKG	Für Strom, der bei der Herstellung grünen Wasserstoffs verbraucht wird, entfällt die KWKG-Umlage nach Maßgabe des § 69b des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und nach Maßgabe der Rechtsverordnung nach § 93 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes.
Förderung des Aufbaus einer Tankinfrastruktur zur Versorgung von Fahrzeugen im schweren Straßengüterverkehr, im ÖPNV und im Schienenpersonennahverkehr	Das BMVI fördert die Errichtung von Wasserstofftankstellen für Nutzfahrzeuge, die im Betrieb 100 % erneuerbaren Wasserstoff abgeben. Bis zu 60 Mio. Euro stehen dafür zur Verfügung. Gefördert wird darüber hinaus die Errichtung von Elektrolyseanlagen zur Versorgung der Tankstellen mit Wasserstoff aus 100 % erneuerbarem Strom.
Novellierung der Richtlinie zum Aufbau von Infrastruktur für alternative Kraftstoffe	Der EU-Kommissionsvorschlag zur Revision der Richtlinie und Umwandlung in eine EU-Verordnung (AFIR) vom Juli 2021 schlägt u.a. ein verpflichtendes distanzbasiertes Ziel für Wasserstofftankstellen mit technischen Vorgaben zur Interoperabilität vor.
Aufbau einer wettbewerbsfähigen Zulieferindustrie für Brennstoffzellensysteme	Um industrielle Wettbewerbsfähigkeit zu erreichen, braucht es eine wettbewerbsfähige Zuliefererindustrie. Daher wurde 2021 ein Prozess zur Errichtung eines Innovations- und Technologiezentrum Wasserstoff gestartet. So soll der Transformationsprozess der Fahrzeughersteller und der Zuliefererindustrie über alle Verkehrsträger hinweg vorangetrieben werden.
Nutzung bestehender (Gas-)Infrastruktur für den Auf- und Ausbau von H2-Infrastruktur und die notwendigen regulatorischen Grundlagen dazu	Die Möglichkeiten zur Nutzung bestehender Strukturen (sowohl dezidierte Wasserstoff-Infrastrukturen als auch durch Anpassung und Umrüstung erreichbare H2-Readiness von Teilen der Gasinfrastruktur) sollen diskutiert und rechtzeitig angestoßen werden. Die für den Auf- und Ausbau einer Wasserstoffinfrastruktur notwendigen regulatorischen Grundlagen sollen zügig in Angriff genommen werden.

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

Roadmap zur Weiterentwicklung und Lösungsfindung von Wasserstoff-Transport-Technologien (Durchführung eines Markterkundungsverfahrens)	Das Leitprojekt TransHyDE entwickelt Transport-Technologien weiter. In vier Demonstrationsprojekten wird je eine Transporttechnologie getestet und hochskaliert: Wasserstofftransport in Hochdruckbehältern, Wasserstofftransport in bestehenden Gasleitungen, Transport von in Ammoniak gebundenem Wasserstoff und Wasserstofftransport mittels LOHC.
Reallabore der Energiewende um marktnahe PtX-Technologien im industriellen Maßstab umsetzen	Testung innovativer Technologien in der Anwendung unter realen Bedingungen und im industriellen Maßstab. Die Reallabore betrachten das systemische Zusammenspiel von Energiebereitstellung und Energiebedarf z.B. auf Quartiersebene, einer oder mehrerer ausgewählter Städte.
Erstellung einer Roadmap für die deutsche H2-Wirtschaft mit internationaler Ausstrahlungswirkung gemeinsam mit Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft	Bevor eine Wasserstoffwirtschaft im großen Stil aufgebaut wird, ist eine umfassende Prüfung aller Fakten, Abhängigkeiten und Wechselwirkungen notwendig. Das Projekt H2-Kompass erstellt Handlungsoptionen und Anwendungsszenarien für Wasserstoff und bewertet diese. Der Kompass soll als Grundlage für eine Wasserstoff-Roadmap dienen.
Förderung von Demonstrationsprojekten zu grünen internationalen H2 Lieferketten	z.B. durch HyGATE werden folgende Vorhaben gefördert: Demonstration von hoch innovativen Technologien entlang der Wertschöpfungskette, Senkung der Kosten für erneuerbaren Wasserstoff, Entwicklung einer australisch-deutschen Lieferkette, Förderung der länderübergreifenden Zusammenarbeit und Preisermittlung und -transparenz.
Erstellung eines Leitprojekts zur wissenschaftlichen Politikberatung	Im Rahmen des Leitprojekts untersuchen Akteure aus Politik, Energiewende und Gesellschaft sinnvolle Strategien für die Energiewende und ihre Akzeptanz in der Bevölkerung.
Fortsetzung des Maritimen Forschungsprogramm "Maritime.Green"	Maritime.Green erforscht grüne Antriebstechnologien sowie Maßnahmen zur Reduzierung des Schadstoffausstoßes von See- und Binnenschiffen. Fernziel ist das Null-Emissionsschiff. Gebraucht werden dazu vor allem emissionsneutrale E-Fuels.
Einrichtung von Kompetenzzentren und Berufsausbildungsk Kooperationen mit Exportländern	Mit dem "International Master Program in Energy and Green Hydrogen" wollen das West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use und das BMBF Studierende für das Zukunftsthema "Grüner Wasserstoff" qualifizieren.
Schaffung verlässlicher Nachhaltigkeitsstandards, Qualitätsinfrastruktur, (Herkunfts-)Nachweise für Strom aus erneuerbarer Energie und grünen H2 auf EU-Ebene	Die Europäische Kommission hat im Mai 2022 den Entwurf für einen delegierten Rechtsakt zur Definition und Zertifizierung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II, (EU) 2018/2001) für gasförmige und flüssige Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs wie erneuerbaren Wasserstoff vorgelegt.
Unterstützung einer EU-Wasserstoffstrategie	Die EU-Wasserstoffstrategie wurde 2020 angenommen und enthält eine Vision für die Schaffung eines europäischen Wasserstoff-Ökosystems (Forschung und Innovation, Ausbau von Produktion und Infrastruktur, internationale Dimension).
Gründung einer europäischen Wasserstoffgesellschaft, Förderung und Erschließung gemeinsamer internationaler Produktionskapazitäten und -infrastrukturen	Diskussionen zu einem derartigen europäischen Format laufen bisher bilateral mit Mitgliedstaaten, eine konkrete Umsetzung zeichnet sich zeitlich noch nicht ab.

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

Integration von H2 in Energiepartnerschaften	Energiepartnerschaften und Energiedialoge sollen den energiepolitischen Austausch auf Regierungsebene ermöglichen und setzen Impulse für energiewirtschaftliche Innovationen sowie wirtschaftliche Kooperation.
Erstellung von Potenzialatlanten zur Identifikation zukünftiger Lieferländer und Exportchancen	Um herauszufinden, welche Potenziale es für die Produktion und den Export von Grünem Wasserstoff international gibt, fördert das BMBF seit 2020 einen „Potenzialatlas Wasserstoff“. Er betrachtet Bedingungen für die Erzeugung Erneuerbarer Energien, der notwendigen Infrastruktur und Möglichkeiten der Entwicklung vor Ort.
Schaffung von Pilotvorhaben in Partnerländern zur Produktion nachhaltigen und wettbewerbsfähigen Wasserstoffs, Entwicklung von Konzepten und Umsetzungsoptionen	Das BMBF fördert Forschungsk Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette mit Eureka-Ländern, Japan, Neuseeland, Ukraine, Iran, Kanada, Australien und Ländern Zentralasiens und des Südkaukasus.
Mehr Fortschritt wagen—Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90 / Die Grünen und FDP. SPD, Bündnis 90/Die Grünen & FDP. 2021. https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf	
Förderung grüner Wasserstoffproduktion in Deutschland, Förderung von Elektrolyseuren	Anfang Januar 2022 und im Rahmen des Starts der Erarbeitung des Klimaschutz-Sofortprogramms wurde das Ausbauziel für Elektrolyseure bis 2030 gegenüber dem bisherigen Ziel auf zehn Gigawatt verdoppelt.
Einführen von Quoten für grünen Wasserstoff in der öffentlichen Beschaffung	Das Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge regelt bei der öffentlichen Auftragsvergabe verbindliche Mindestziele für emissionsarme und -freie PKW sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge, insbesondere für Busse im ÖPNV. Vorgaben gelten seit 2021 und verpflichten die öffentliche Hand sowie für einzelne Dienstleitungen auch bestimmte privatrechtlich organisierte Akteure (z.B. Post- und Paketdienste, Stadtreinigung) zu einem Anteil emissionsarm oder -frei betriebener neu angeschaffter Fahrzeuge.
Finanzielle Förderung von Wasserstoffnetzinfrastruktur	Investitionen in den Aufbau einer Wasserstoffnetzinfrastruktur sollen finanziell gefördert werden.
Einsatz für die Gründung einer "Europäischen Union für grünen Wasserstoff"	Die Bundesregierung setzt sich für die Gründung einer Europäischen Union für grünen Wasserstoff ein.
Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren für eine schnellere Planung und Realisierung von Strom- und Wasserstoffnetzen	Strom- und Wasserstoffnetze sind das Rückgrat des Energiesystems der Zukunft. Die Planungs- und Genehmigungsverfahren für eine schnellere Planung und Realisierung von Strom- und Wasserstoffnetzen sollen beschleunigt werden.
Klimaschutz Sofortprogramm 2022. Bundesregierung. 2021. https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Klimaschutz/klimaschutz-sofortprogramm-2022.pdf	
Förderung von H2 in Stahlindustrie (100 Mio. Euro Mittelaufstockung für 2022)	Das BMWK und BMDV haben insgesamt 62 Großprojekte in der Stahlindustrie ausgewählt, für die im Rahmen von IPCEI über 8 Milliarden Euro an staatlichen Fördermitteln zur Verfügung stehen.
Förderung von Offshore-Wasserstofferzeugung (Offshore Elektrolyseure)	Das Leitprojekts H2Mare (Förderzusagen über ca. 100 Mio. Euro des BMBF) soll mit Offshore-Windenergieanlagen grünen H2 im Industriemaßstab herstellen. Dabei wird die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet.

<p>Ankaufprogramm für H2 und H2-Derivate (Förderinstrument „H2Global“) wird aufgestockt (15 Mio. EUR für 2022)</p>	<p>Im Zentrum des „H2 Global“-Konzepts steht eine Stiftung, die Konsortien dabei unterstützt, in die Produktion von grünem Wasserstoff im Ausland einzusteigen. Die Konsortien müssen sich in einem Auktionsverfahren zur langfristigen Lieferung von grünem Wasserstoff nach Deutschland durchsetzen. Auf Abnehmerseite erhalten diejenigen Unternehmen einen jährlichen Zuschlag, die den höchsten Preis für den Wasserstoff zu zahlen bereit sind.</p>
<p>Förderung für hybridelektrisches Fliegen bzw. Forschung und Entwicklungen von Systemen auf Wasserstoffbasis</p>	<p>Regionalflugzeuge mit wasserstoffelektrischen Antrieben bekommen Rückenwind durch das Projekt „328H2-FC“. Im Projekt wird erstmals ein Brennstoffzellen-System mit 1,5 MW Leistung für den Einsatz im Flug entwickelt. Das BMWK fördert die Realisierung des ersten Megawatt-Wasserstoff-Brennstoffzellensystems für die Luftfahrt mit rund 30 Mio. Euro.</p>
<p>Förderung von see- und landseitiger Wasserstoff-Infrastruktur und Nutzung des Wasserstoffs in deutschen Verbrauchszentren</p>	<p>Mit der Förderrichtlinie setzt die Bundesregierung finanzielle Anreize für Investitionen in den Neubau von Betankungsschiffen für LNG und nachhaltige erneuerbare Kraftstoffalternativen.</p>
<p>Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen im Bereich des Exports von grüner und nachhaltiger (Umwelt-) Infrastruktur BMU. 2021. https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/BMZwLg5CrAEtNTbSdYD/content/BMZwLg5CrAEtNTbSdYD/BAanz%20AT%2027.05.2021%20B5.pdf?inline</p>	
<p>Förderung des Exports grüner und nachhaltiger (Umwelt-) Infrastruktur</p>	<p>Die Förderung richtet sich speziell an deutsche Technologieunternehmen im Bereich Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, die sich auf internationaler Ebene etablieren und weltweit Absatzmärkte schaffen wollen, sowie Forschungseinrichtungen mit Sitz in Deutschland, die die wissenschaftliche Ausgestaltung und Begleitung eines Projekts umsetzen.</p>
<p>Richtlinie über Zuwendungen für den Bau von Betankungsschiffen für LNG und nachhaltige erneuerbare Kraftstoffalternativen in der Schifffahrt (Betankungsschiff RL) BMWK. 2021. https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMWi/betankungsschiff-rl.html</p>	
<p>Förderung von Betankungsschiffen für LNG und nachhaltige erneuerbare Kraftstoffalternativen in der Schifffahrt</p>	<p>Das BMWK unterstützt Investitionen in den Neubau von Betankungsschiffen für LNG und nachhaltige erneuerbare Kraftstoffalternativen, die bei einer Werft mit Betriebsstätte oder Niederlassung in Deutschland in Auftrag gegeben werden.</p>
<p>Energiesofortmaßnahmenpaket. Deutscher Bundestag. 2022. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/0406_ueberblickspapier_osterpaket.pdf</p>	
<p>Novelle des EEG soll die Nachnutzung und das Repowering bestehender Offshore-Windparks regeln und Vorgaben zur Planung und Genehmigung von H2-Pipelines erlassen</p>	<p>Das Gesetz umfasst erstmals Vorgaben zur Planung und Genehmigung von Wasserstoffpipelines, durch die der offshore erzeugte grüne Wasserstoff ans Festland transportiert wird.</p>
<p>Förderung von Anlagenkombinationen, bei denen EE-Anlagen als Energielieferant um einen lokalen chemischen Stromspeicher mit H2 als Speichergas ergänzt werden</p>	<p>Um die fluktuierende Erzeugung aus erneuerbaren Energien zu verstetigen und die Speicherung in Wasserstoff und Rückverstromung in der Praxis zu erproben, sollen innovative Konzepte erneuerbarer Energien mit lokaler wasserstoffbasierter Stromspeicherung gefördert und dadurch der Markthochlauf der Wasserstofftechnologie befördert werden. Dazu werden Anlagenkombinationen gefördert, bei denen Erneuerbare-Energien-Anlagen als Energielieferant um</p>

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

	einen lokalen chemischen Stromspeicher mit Wasserstoff als Speichergas ergänzt werden.
Weiterentwicklung der Förderungen für Innovationen und Speicher von H2: Umstellung der Innovationsausschreibungen von der bisherigen fixen auf die gleitende Marktprämie	Die Ausschreibungsvolumina bisheriger Innovationsausschreibungen werden angehoben und von einer fixen auf eine gleitende Marktprämie umgestellt. Hinzu kommen Verordnungsermächtigungen für zwei neue Ausschreibungssegmente. Ausschreibungen für innovative EE-Konzepte mit lokaler H2-basierter Stromspeicherung sollen den Markthochlauf der H2-Technologie befördern und zeigen, wie sich die fluktuierende Erzeugung aus EE verstetigen lässt. Hinzu kommen Ausschreibungen für so genannte H2-Sprinterkraftwerke, welche grünen Wasserstoff/Ammoniak einsetzen.
One-Stop-Shop – Wasserstoff. Bundesregierung. 2022. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/home.html	
Schaffung einer Website im Sinne eines „One-Stop-Shop“ / einer "Lotsenstelle Wasserstoff"	Die Website gibt einen Überblick über Förderinstrumente der Bundesregierung, die den Markthochlauf nationaler, europäischer und internationaler Ebene unterstützen sollen.
The Declaration of Energy Ministers on The North Sea as a Green Power Plant of Europe. BMWK. 2022. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/20220518-declaration-of-energy-ministers.pdf	
Potenzialanalyse für Offshore-Windkraft und grüne Wasserstoffproduktion in der Nordsee	Dänemark, Deutschland, Belgien und die Niederlande planen Onshore- und Offshore-Produktion grünen Wasserstoffs mit dem Ziel einer kombinierte Produktionskapazität von etwa 20 GW bis 2030.
Fortschrittsbericht zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Bundesregierung. 2022. https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2022/fortschrittsbericht-wasserstoffstrategie-nws.html	
Schaffung von IPCEI für Wasserstoff	Förderung integrierter Projekte entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette von (grüner) Erzeugung, Infrastruktur, Technologien und Nutzung (Verkehr, Industrie, Wärme).
Studie über Arbeitskräftebedarf und Arbeitskräfteangebot entlang der Wertschöpfungskette Wasserstoff	Soll frühzeitig aufzuzeigen, welche Berufe, Qualifikationen und Kompetenzen zukünftig benötigt werden sowie evaluieren, inwieweit das Bildungssystem die Bedarfe decken kann. Laufzeit: 2021–2022, Auftraggeber: BMBF.
Errichtung einer Website über (inter)nationale Regelwerke, Durchführungsverordnungen und Normen im Bereich Mobilität	Abstimmung von Normen als Voraussetzung für die globale Kommerzialisierung von Wasserstoff als Kraftstoff sowie Brennstoffzellenanwendungen. Zweck soll die Vereinheitlichung technischer Spezifikationen sowie Definitionen von Sicherheitsanforderungen in Hinblick auf Endanwender sein.

Identifizierte Politikinstrumente des deutschen Policy-Mix zur Förderung von Elektromobilität und Wärmepumpen

Hinweis: Die folgende Tabelle wurde erstellt unter Nutzung der Gesetzkarten für das Energieversorgungssystem (BMW, 2021b) und der Elektromobilität (BMVI, 2019b, 2021b).

Politikinstrument	Kurzbeschreibung
Ordnungsrechtliche Vorschriften Wärmepumpen	
Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz und Warmwasserkosten (Verordnung über Heizkostenabrechnung - HeizkostenV)	Als Anreiz für Wärmepumpen werden diese aus einigen Abrechnungsvorschriften ausgenommen.
Verordnung zur Durchführung des Gesetzes über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (EVPG-Verordnung - EVPGV)	Die Verordnung legt Voraussetzungen für das Inverkehrbringen oder die Inbetriebnahme von energieverbrauchsrelevanten Produkten fest. Diese gelten auch für Raumheizgeräte.
Außerhalb der Untersuchung: Verordnung (EU) Nr. 813/2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Raumheizgeräten und Kombiheizgeräten	Die Verordnung legt Mindestwert für die Arbeitszahl und leistungsabhängige Höchstwerte für den Schalleistungspegel fest. Weiter wird „insbesondere festgestellt, dass die Treibhausgas- Emissionen im Zusammenhang mit Kältemitteln, die in Heizgeräten mit Wärmepumpe eingesetzt werden, für die Beheizung des gegenwärtigen europäischen Gebäudebestandes unbedeutend sind.“
Bundestarifordnung Elektrizität (BTOElt)	Bei Wärmepumpen in bivalent-alternativ betriebenen Heizungsanlagen darf die Versorgung für bis zu 960 Stunden im Jahr unterbrochen werden.
Gebäudeenergiegesetz (GEG) Stand 2022	Die Anforderungen nach § 10 "Grundsatz und Niedrigstenergiegebäude" werden durch eine Wärmepumpe erfüllt.
DIN V 18599-5:2018-09 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen.	Die Norm enthält detaillierte Auslegungs- und Berechnungsvorschriften.
Landesbaugesetze wie z.B. BauO NRW	Definition eines Mindestabstands von der Grundstücksgrenze zur Verhinderung von Belästigungen durch Schall und zur Einhaltung von Mindestabständen von Erdsonden
Beschluss LAWA aus 2002, VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1, VDI 2010.	Definition eines Mindestabstands von der Grundstücksgrenze zur Verhinderung des "Wärmeklaus"
Ökonomische Anreize Wärmepumpen	
Entwurf eines Gesetzes zur Absenkung der Kostenbelastungen durch die EEG-Umlage und zur Weitergabe dieser Absenkung an die Letztverbraucher – Drucksache 20/1025	Das Gesetz hat eine Senkung der Strompreise durch Reduzierung der Umlagelast zum Ziel.
Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) BBEG EM: Heizungsaustausch/Modernisierung	Die Vorschrift legte zum Zeitpunkt der Analyse im Sommer 2022 für Wärmepumpen als Austauschheizungen, Fördersätze von 30 bis 54 % je nach Gebäudekontext fest. Im September 2021 waren für alle Maßnahmen insgesamt 11,5 Mrd. Euro vorgesehen, die neue Bundesregierung schiebt diese aber um.
Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) BEG-WG und BEG-NWG: Förderung von Neubauten und Vollsanierung (Effizienzhäuser)	Die Vorschrift legte zum Zeitpunkt der Analyse im Sommer 2022 für Wärmepumpen im Neubau Fördersätze von 30 bis 50 % je nach Gebäudekontext fest. Im September 2021 waren für alle Maßnahmen insgesamt 11,5 Mrd. Euro vorgesehen, die neue Bundesregierung schiebt diese aber um.

Gebäudeenergiegesetz (GEG) Stand 2022	Eine Wärmepumpe zur Nutzung von Geothermie, Umweltwärme oder Abwärme ist nur förderfähig, wenn sie die Anforderungen der Richtlinie 2009/28/EG erfüllt.
Ordnungsrechtliche Vorschriften Elektromobilität	
Klimaschutzplan 2050	Mit dem Ende 2016 beschlossenen Klimaschutzplan 2050 hat die Bundesregierung die im Pariser Übereinkommen geforderte langfristige Klimaschutzstrategie vorgelegt. Für den Verkehrssektor ist eine Minderung der Emissionen bis 2030 um 40 % – 42 % (gegenüber 1990) vorgesehen. Dies macht eine hohe Marktdurchdringung der Elektromobilität erforderlich.
Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batteriegesetz - BattG)	Das Batteriegesetz setzt die Vorgaben aus der europäischen Batterierichtlinie mit dem Ziel um, eine umweltfreundliche Entsorgung von Altbatterien sicherzustellen. Das Batteriegesetz enthält auch Anforderungen an die Antriebsbatterien für Elektrofahrzeuge
Bürgerliches Gesetzbuch	Die Bestimmungen in §§ 535 ff. BGB enthalten die zivilrechtlichen Regeln für Mietverträge. Hiernach dürfen Mieter bauliche Veränderungen an der Mietsache nur mit Zustimmung des Eigentümers vornehmen. Dies beinhaltet auch die Errichtung von Ladeinfrastruktur.
Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)	Zweck des Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie die Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen. Dies umfasst auch Emissionen des Verkehrs. Das Gesetz enthält die Verpflichtung zur Minderung verkehrlicher Emissionen bei Grenzwertüberschreitungen innerhalb einer Kommune durch Luftreinhaltepläne. Eine Maßnahme ist der Einsatz von Elektromobilität und in den vergangenen Jahren auch das eine oder andere Dieselfahrverbot.
Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraft- und Brennstoffen - 10. BImSchV)	In Deutschland richten sich die Vorgaben der Ladepunkt-Kennzeichnungs-Verordnung verpflichtend an den Ladepunktbetreiber, der selbst für die korrekte Umsetzung verantwortlich ist. Demnach müssen Ladelösungen, die gewerbsmäßig oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen betrieben werden, nach der zehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes durch den Betreiber gekennzeichnet werden [10. BImSchV, § 13 Abs. (6)]. Das gilt ab dem 19. März 2021. Eine Nachrüstpflicht durch den Betreiber für „alle E-Fahrzeuga-destationen, die gewerbsmäßig oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen betrieben werden“, ist nicht explizit erwähnt, könnte aber aus diesen §§ abgeleitet bzw. interpretiert werden. Ladestationen, die im privaten Bereich betrieben werden, sind von dieser Verordnung nicht betroffen.
Gesetz zur Bevorrechtigung des Carsharing ¹ (Carsharinggesetz - CsgG)	Das Carsharinggesetz regelt die Bevorrechtigung geteilt genutzter Fahrzeuge mit dem Ziel, die Verwendung von solchen Fahrzeugen zur Verringerung der klima- und umweltschädlicher Auswirkungen des motorisierten Individualverkehrs zu fördern. Es enthält auch Bestimmungen zum Carsharing mit Elektrofahrzeugen.

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Elektromobilitätsgesetz - EmoG)	Das Gesetz regelt die bevorrechtigte Teilnahme von Elektrofahrzeugen am Straßenverkehr, um deren Verwendung zur Verringerung klima- und umweltschädlicher Auswirkungen des motorisierten Individualverkehrs zu fördern. Das Gesetz enthält außerdem eine Definition der begünstigten Fahrzeuge.
Verordnung über technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für elektrisch betriebene Fahrzeuge (Ladesäulenverordnung - LSV)	Die Vorschrift regelt technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für elektrisch betriebene Fahrzeuge.
Verordnung über Verbraucherinformationen zu Kraftstoffverbrauch, CO ₂ -Emissionen und Stromverbrauch neuer Personenkraftwagen (Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung - Pkw-EnVKV)	Die Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung informiert mit dem Pkw-Label über die CO ₂ -Efizienz von Fahrzeugen. Elektrofahrzeuge schneiden auf der CO ₂ -Efizienzska gut ab und die Information hierüber soll den Absatz von Elektrofahrzeugen fördern.
Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG)	Das Gesetz definiert die Rahmenbedingungen für eine sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche und umweltverträgliche Versorgung mit Strom und Gas, Es reguliert die Elektrizitäts- und Gasversorgungsnetze, um einen wirksamen und unverfälschten Wettbewerb zu gewährleisten. Es definiert unter anderem den Ladepunktbetreiber als Letztverbraucher und sorgt damit dafür, dass das nachgelagerte Verhältnis zum Fahrzeugnutzer nicht streng reguliert ist.
Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2021)	Mit dem Gesetz sollen die Weiterentwicklung von Technologien zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gefördert und Kostensenkungen erreicht werden. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung soll erhöht werden. Der Strombezug von Elektrofahrzeugen sollte aus Erneuerbaren Quellen erfolgen um den größten Umweltnutzen zu erzielen.
Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnis-Verordnung - FeV)	Die Verordnung enthält alle fahrerlaubnisrechtlich relevanten Bestimmungen zum Führen von Kraftfahrzeugen. Sie definiert in Umsetzung europäischen Rechts die Fahrerlaubnisklassen. Die Verordnung enthält Sonderbestimmungen für das Führen bestimmter Elektrofahrzeuge im Güterverkehr, die aufgrund alternativen Antrieben – wie Batteriebetrieb – ein höheres Gewicht haben.
Verordnung über die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr (Fahrzeug-Zulassungsverordnung - FZV)	Die Verordnung enthält die rechtlichen Anforderungen an die Zulassung von Fahrzeugen für die Teilnahme am Straßenverkehr. Über den Verweis ins europäische Typgenehmigungsrecht knüpft diese Verordnung an zahlreiche Vorgaben betreffend der technischen Genehmigung von Elektrofahrzeugen für den Straßenverkehr. Außerdem enthält die Verordnung die Bestimmungen zur Kennzeichnung von Elektrofahrzeugen.
Verordnung über Allgemeine Bedingungen für den Netzanschluss und dessen Nutzung für die Elektrizitätsversorgung in Niederspannung (Niederspannungsanschlussverordnung - NAV)	Die Verordnung regelt die allgemeinen Bedingungen, zu denen die Netzbetreiber Letztverbraucher an ihr Niederspannungsnetz anzuschließen haben. Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge sind dem Netzbetreiber hiernach vor deren Inbetriebnahme mitzuteilen.
Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)	Die Verordnung enthält die verbindlichen Vorgaben zur Regelung des Straßenverkehrs. In Umsetzung der Gesetzesinitiative zum Elektromobilitätsgesetz wurden auch

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

	Privilegierungsmöglichkeiten für Elektrofahrzeuge geschaffen.
Gesetz über das Wohnungseigentum und das Dauerwohnrecht (Wohnungseigentumsgesetz - WEG)	Das Wohnungseigentumsgesetz enthält die rechtlichen Vorgaben zur Organisation und Beschlussfassung von Wohnungseigentümer-gemeinschaften. Nach den Bestimmungen des Gesetzes bedarf die Errichtung einer Ladeinfrastruktur auf Gemeinschaftseigentum (in einer Gemeinschaftsgarage) der Zustimmung aller Wohnungseigentümer.
Masterplan Ladeinfrastruktur II	Der Masterplan Ladeinfrastruktur II greift Empfehlungen des VDA auf und teilt die Einschätzung, dass man Elektromobilität attraktiver machen muss, indem man die Ladeinfrastruktur flächendeckend so ausbaut, dass jeder ohne große Umwege Zugang zu öffentlichen Ladepunkten hat und dass auch daheim und bei der Arbeit Lademöglichkeiten geschaffen werden müssen. Der Bund will darüber hinaus betrieblich genutzte Flottenfahrzeuge, also LKW und andere schwere Nutzfahrzeuge wie Busse (auch im Fernverkehr) durch eine flächendeckende Ladeinfrastruktur auf Elektromobilität umstellen. Neben dem Nutzerfokus auf die Ladeorte soll auch das Ladeerlebnis eine Verbesserung erfahren. Kurzum: Das Laden soll so mühelos in die Alltagsabläufe integriert werden können wie aktuell das Tanken an der Zapfsäule. Der dritte Schwerpunkt, den der Masterplan Ladeinfrastruktur II zum Ausbau der Elektromobilität setzt, ist der Fokus auf Flächenabdeckung und Versorgung der Betriebe.
Gesetz über die Bereitstellung flächendeckender Schnellladeinfrastruktur für reine Batterieelektrofahrzeuge (Schnellladegesetz - SchnellLG)	Mit dem Gesetz schafft das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) die Rechtsgrundlage für den gezielten Ausbau eines deutschlandweiten Netzes von Schnellladepunkten. Mit 1.000 zusätzlichen Schnellladehubs soll ein engmaschiges Schnellladeinfrastruktur-Netz entstehen, das garantiert, dass die Nachfrage bei steigenden Zulassungszahlen von E-Fahrzeugen auch zu Spitzenzeiten und an bisher unwirtschaftlichen Standorten gedeckt werden kann.
Gesetz zum Aufbau einer gebäudeintegrierten Lade- und Leitungsinfrastruktur für die Elektromobilität (Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz - GEIG)	Nach § 6 GEIG muss jeder, der ein Wohngebäude errichtet, das über mehr als fünf Stellplätze innerhalb des Gebäudes oder über mehr als fünf an das Gebäude angrenzende Stellplätze verfügt, dafür Sorge tragen, dass jeder Stellplatz mit der Leitungsinfrastruktur für die Elektromobilität ausgestattet ist. Ab mehr als 6 Stellplätzen gilt das anteilig und bei mehr als 10 Stellplätzen auch für Renovierungen.
Ökonomische Anreize Elektromobilität	
Einkommensteuergesetz (EStG)	Das Gesetz regelt die Erhebung von Einkommensteuer auf Erwerbseinkommen. Das Gesetz enthält Privilegierungen und Steuererleichterungen für gewährten geldwerten Vorteil bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur. Steuerfrei sind zusätzlich zum ohnehin geschuldeten Arbeitslohn vom Arbeitgeber gewährte Vorteile für das elektrische Aufladen eines Elektrofahrzeugs oder Hybridelektrofahrzeugs im Sinne des § 6 Absatz 1 Nummer 4 Satz 2 zweiter Halbsatz an einer ortsfesten betrieblichen Einrichtung des Arbeitgebers oder eines verbundenen

AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN WASSERSTOFF-POLICY-MIX

	Unternehmens (§ 15 des Aktiengesetzes) und für die zur privaten Nutzung überlassene betriebliche Ladevorrichtung;"
Kraftfahrzeugsteuergesetz	Dieses Gesetz regelt die zu entrichtende Steuer für Kraftfahrzeuge. Das Gesetz enthält Vergünstigungen für Elektrofahrzeuge bei der Kraftfahrzeugsteuer.
E-Auto Kaufprämie (Umweltprämie)	Jeder Käufer eines Elektroautos soll ab 2016 dann 4.000 Euro Prämie erhalten. Für Hybride mit ergänzendem Verbrennungsmotor soll es 3.000 Euro geben. Ab 2020 wurde der Betrag für BEV auf 6.000 Euro erhöht, ab 2023 wieder auf 4.500 Euro reduziert.
Ausgleich der Biokraftstoffquote durch Fahrstrom im Rahmen der 38. BImSchV	Die Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminderung bei Kraftstoffen (38. BImSchV) vom 8. Dezember 2017 ist Teil des Regelungskomplexes um die sog. Treibhausgasminderungsquote und regelt die Modalitäten zur Erfüllung der Minderungsverpflichtung der Treibhausgasemissionen nach § 37a BImSchG. Elektroautobesitzer können nach dieser VO die von Ihnen erzielten Treibhausgasminderungen an die Mineralölwirtschaft veräußern, was Anfang 2022 ca. 340 € pro Auto und Jahr erbracht hat.
Gesetz zur Einführung einer Strompreisbremse (Strompreisbremsegesetz - StromPBG)	Eine Strompreisbremse soll dazu beitragen, dass die Stromkosten insgesamt sinken. Der Strompreis für private Verbraucher sowie kleine Unternehmen wird daher bei 40 Cent pro Kilowattstunde gedeckelt. Dies gilt für den Basisbedarf von 80 Prozent des historischen Verbrauchs – in der Regel gemessen am Vorjahr. Nur für den übrigen Verbrauch, der darüber hinausgeht, muss dann der reguläre Marktpreis gezahlt werden. Für mittlere und große Unternehmen mit mehr als 30.000 Kilowattstunden Jahresverbrauch liegt der Deckel bei 13 Cent (Netto-Arbeitspreis) für 70 Prozent des historischen Verbrauchs – in der Regel gemessen am Vorjahr. Auch sie zahlen für den darüber liegenden Verbrauch den regulären Marktpreis.
Regierungsprogramm Elektromobilität	Im Mai 2011 hat die Bundesregierung ihr Regierungsprogramm Elektromobilität vorgelegt. Es enthält die Strategie zum Ausbau der Elektromobilität und formuliert die Ziele der Bundesregierung hierbei. Deutschland soll bis zum Jahr 2020 als Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität entwickelt werden. Bis Ende des Jahres 2020 sollen eine Million Elektrofahrzeuge in Deutschland zugelassen sein. Die Maßnahmen reichen von Normen und Standards über Rohstofffragen bis zur Aus- und Weiterbildung. Auch die Ladeinfrastruktur, Anreize und internationale Kooperationen sind Thema.