

Ariadne-Analyse

Systementwicklung – Wasserstoff, Infrastruktur- planung und der geltende Rechtsrahmen

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

KOPERNIKUS
Ariadne **PROJEKTE**

Die Zukunft unserer Energie

Autorinnen und Autoren



» Dr. Jörg Kemmerzell
Technische Universität
Darmstadt



» Dr. Michael Kalis
Institut für Klimaschutz, Energie
und Mobilität e.V.



» Jens Hartmann
Technische Universität
Darmstadt



» Prof. Dr. Michèle Knodt
Technische Universität
Darmstadt

Herausgegeben von
Kopernikus-Projekt Ariadne
Potsdam-Institut für Klimafolgen-
forschung (PIK)
Telegrafenberg A 31
14473 Potsdam

Januar 2024

Dieses Papier zitieren:

Jörg Kemmerzell, Michael Kalis, Jens Hartmann, Michèle Knodt (2024): Systementwicklung – Wasserstoff, Infrastrukturplanung und der geltende Rechtsrahmen. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

<https://doi.org/10.48485/pik.2023.026>

Kontakt zu den Autorinnen und Autoren:

Jörg Kemmerzell, kemmerzell@pg.tu-darmstadt.de

Die vorliegende Ariadne-Analyse wurde von den oben genannten Autorinnen und Autoren des Ariadne-Konsortiums ausgearbeitet. Die Analyse spiegelt nicht zwangsläufig die Meinung des gesamten Ariadne-Konsortiums oder des Fördermittelgebers wider. Die Inhalte der Ariadne-Publikationen werden im Projekt unabhängig vom Bundesministerium für Bildung und Forschung erstellt.

Inhalt

Kernaussagen	1
1 Einleitung	3
2 Problemhintergrund: Wasserstoffinfrastruktur und Energiewende	5
2.1 Wasserstoff und seine Rolle in der Energiewende.....	6
2.2 Wasserstoffinfrastruktur: Anspruch und Wirklichkeit	7
3 Planung, Systeme und Systementwicklungsplanung	12
3.1 Sektorale Infrastrukturplanung.....	13
3.2 Systementwicklungsplanung	16
3.3 Stakeholderpositionen zur Wasserstoffinfrastruktur	18
4 Wasserstoff als Bindeglied der Systeme: Wie viel Systementwicklungsplanung steckt bereits im Recht des Wasserstoffs?	24
4.1 Wasserstoff, Wasserstoffwirtschaftsrecht und Wasserstoff-Infrastrukturplanung	24
4.2 Systeme und Elemente der Systemplanung im bestehenden Recht des Wasserstoffs....	25
4.2.1 <i>Energiewirtschaftsgesetz</i>	25
4.2.2 <i>Erneuerbare-Energien-Richtlinie</i>	27
5 Ergebnisse	30
6 Fazit und nächste Schritte	32
Literaturangaben	33
Anhang	38

Kernaussagen

Wasserstoff ist durch seine vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten ein Schlüsselement der Sektorenkopplung auf dem Weg zur Klimaneutralität. Damit Wasserstoff aber für unterschiedliche, momentan noch nicht abschließend definierte Anwendungsbereiche genutzt werden kann, sind entsprechende technologische Infrastrukturen notwendig. Diese umfassen die Produktion, die Speicherung und den Transport von Wasserstoff. Während bei der Bereitstellung von Wasserstoff konkrete Ziele formuliert wurden und auch hinsichtlich der Anwendungsbereiche deutliche, wenn auch konkurrierende Vorstellungen bestehen, sind bei der Wasserstoffinfrastruktur viele grundsätzliche Fragen offen.

Vor diesem Hintergrund diskutiert diese Analyse, unbeschadet der Tatsache, dass bislang weder eine Systementwicklungsplanung noch ein abgeschlossenes Wasserstoffwirtschaftsrecht in Deutschland bestehen, wie viel „System“ und „Planung“ bereits jetzt durch Stakeholder und den einschlägigen Rechtsrahmen mit Blick auf Wasserstoff mitgedacht werden. Dabei orientiert sich die Analyse an folgenden Fragen: Erfolgt die Regulierung in Sachen Wasserstoff bereits jetzt aus der Sicht eines geschlossenen Energiesystems? Sehen die Stakeholder Wasserstoff bereits systemisch und interpretieren sie den bestehenden Rechtsrahmen zur Planung der Infrastrukturen entsprechend? Folgen die Vorstellungen der Wasserstoffinfrastruktur schon jetzt systemischen Ansätzen oder stellen sie vielmehr eine weitere sektorale Infrastruktur und Planung dar?

Die vorliegende Analyse zeigt, dass Stakeholder nicht grundsätzlich einen systemischen Blick auf Wasserstoff haben und gerade bei wirtschaftlichen Akteuren teilweise eine sektorale Betrachtung überwiegt. Hier sollte beobachtet werden, in welcher Weise bei der Realisierung des seit dem Sommer 2023 vorliegenden Vorschlag des Wasserstoffkernnetzes (FNB Gas 2023), Nutzerbedarfe in die Planungsprozesse einbezogen werden. Noch weniger berücksichtigen einschlägige Rechtsvorschriften die systemische Bedeutung von Wasserstoff. Beachtenswert ist dabei unter anderem, dass die bestehenden nationalen Vorschriften zur Einführung einer Wasserstoffnetzplanung wenig bis gar keine Bezugnahme zur systemischen Funktionsweise von Wasserstoff aufweisen. Im europäischen Recht entfaltet die Erneuerbare-Energien-Richtlinie durch das Kriterium der Zusätzlichen

keit bei neu in Betrieb genommenen Anlagen hingegen durchaus eine vorgelagerte systemische Entscheidungswirkung. In der deutschen Planungspraxis könnte der systemische Aspekt dadurch gestärkt werden, dass Strom- und Wasserstoffnetzplanungen über Einzelaspekte wie Power-to-Gas-Anlagen in Zukunft von vornherein integriert angelegt werden.

1. Einleitung

Wasserstoff wird eine wichtige Rolle bei der Erreichung der gesteckten Klimaziele zugeschrieben. Zur Herstellung von Wasserstoff können verschiedene Verfahren, von der Elektrolyse über die Dampfreformation, mit und ohne Abscheidung von CO₂, bis hin zur thermischen Spaltung, genutzt werden. Für die herzustellenden Mengen an Wasserstoff wurden auf nationaler und europäischer Ebene konkrete Ziele formuliert (BMWi 2020, Europäische Kommission 2020) und auch hinsichtlich der Anwendungsbereiche existieren klare, wenn auch zwischen den politischen Akteuren konkurrierende Vorstellungen (Kemmerzell et al. 2021, Knodt et al. 2022). Dagegen besteht bei der Wasserstoffinfrastruktur zwar weitgehende Übereinstimmung über deren Wichtigkeit, hinsichtlich der Realisierung sind aber viele grundsätzliche Fragen offen (Odenweller et al. 2022). Dies ist umso überraschender, da letztlich die Infrastruktur, zum Beispiel Transportnetze, darüber entscheidet, wie Wasserstoff vom Hersteller oder den Importpunkten zu den Anwendern kommt. Aufgrund der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten in der Industrie, im Transportsektor sowie als Energiespeicher, besitzen Wasserstoff sowie Wasserstoffderivate eine systemische Rolle bei der Transformation zu einem klimaneutralen Energiesystem (Edenhofer et al. 2023). Die systemische Bedeutung des Ausbaus der Wasserstoffinfrastruktur wird auch durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) betont, das in einem „Werkstattbericht“ vom „koordinierten und systemdienlichen Aufbau eines Wasserstoffnetzes“ als prioritärer Aufgabe bei der Vertiefung der Energiewende spricht (BMWK 2023: 27). Daher möchte diese Ariadne-Analyse die Frage der Wasserstoffinfrastruktur im Kontext der Systementwicklung betrachten und nimmt dabei eine Governance-Perspektive ein, die politik- und rechtswissenschaftliche Ansätze verknüpft.

Deutschland setzt in seiner Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) schwerpunktmäßig auf grünen Wasserstoff, da dieser für die Erreichung der festgesetzten Klimaziele die beste Bilanz aufweist (BMWi 2020, BMWi 2021) sowie für eine „Übergangszeit“ von etwa 20 Jahren auf blauen Wasserstoff (BMWK 2023: 23). Wasserstoff ist durch seine vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten ein Schlüsselement der Sektorenkopplung. Grüner Wasserstoff kann als Speichermedium für erneuerbaren Strom dienen. Wasserstoff kann so-

wohl direkt als Energieträger oder indirekt, beispielsweise durch Umwandlung in synthetisches Methan (Power-to-Gas) oder Rückverstromung, genutzt werden (DIHK 2020). Damit Wasserstoff aber für die verschiedenen Anwendungsgebiete großflächig genutzt werden kann, sind geeignete Infrastrukturen notwendig. Diese umfassen die Produktion, die Speicherung und den Transport von Wasserstoff (Meyer et al. 2021, Ueckerdt et al. 2021). Hierzu kann sowohl die Umwidmung bestehender Infrastrukturen als auch der Bau neuer Infrastrukturen vorgenommen werden (Meyer et al. 2021). Die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten von Wasserstoff machen die Wasserstoffinfrastruktur zu einem kritischen Faktor einer Systementwicklungsstrategie. Um allen beteiligten Sektoren und Bereichen beim notwendigen und gewünschten Einsatz von Wasserstoff zur Umsetzung der Energiewende gerecht werden zu können, scheint die Gestaltung eines Systementwicklungsplans zielführend (Dena 2022). Dieser setzt den langfristigen Rahmen, in welchem sich die jeweiligen Infrastrukturplanungen bewegen.

2. Problemhintergrund: Wasserstoffinfrastruktur und Energiewende

Wasserstoff und die Wasserstoffinfrastruktur sind nicht nur ein kritischer Faktor der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz initiierten Systementwicklungsstrategie (BMWK 2022). Vielmehr ist Wasserstoff im Energiesystem und dessen Funktion als Bindeglied der Sektoren und Schlüsselement der Sektorenkopplung, so dass eine systemische, das heißt sektorenübergreifende, Betrachtung notwendig ist. Anders gesagt: Wasserstoff kann im Energiesystem und dessen Rechtsrahmen unter Anerkennung seiner Rolle in der Energiewende nur mit Blick auf mehrere Sektoren und das gesamte Energiesystem zweckmäßig adressiert werden. Eine ausschließlich sektorale Einordnung, etwa im Sinne eines Wasserstoff- oder Gassektors, ließe sich angesichts der vielfältigen Herstellungsverfahren und Nutzungsmöglichkeiten unter Einbeziehung zahlreicher Sektoren nicht schlüssig aufbauen und rechtfertigen. Die systemische Bedeutung wird dabei nicht durch den Wasserstoff geschaffen, sondern ist ihrerseits Ausdruck einer zunehmenden Vernetzung des Energiesystems. Damit aber wird Wasserstoff auch im einschlägigen Rechtsrahmen per se systemisch. Vor diesem Hintergrund fragt diese Analyse, unbeschadet der Tatsache, dass bislang weder eine Systementwicklungsplanung noch ein abgeschlossenes Wasserstoffwirtschaftsrecht in Deutschland bestehen, wie viel „System“ und „Planung“ bereits jetzt durch die Stakeholder und den einschlägigen Rechtsrahmen mit Blick auf Wasserstoff mitgedacht werden. Erfolgt die Regulierung in Sachen Wasserstoff schon heute aus der Sicht eines geschlossenen Energiesystems? Sehen die Stakeholder Wasserstoff aktuell durch eine System-brille und interpretieren sie den bestehenden Rechtsrahmen zur Planung der Infrastrukturen entsprechend? Folgen die Vorstellungen zur Wasserstoffinfrastruktur schon jetzt systemischen Ansätzen oder stellen sie vielmehr eine weitere sektorale Infrastruktur und Planung dar?

Ausgehend von diesen Leitfragen werden einschlägige Stakeholderpositionen und ausgewählte Rechtsnormen analysiert. Damit werden sowohl Akteursperspektiven als auch regulative Ansätze daraufhin untersucht, inwiefern Wasserstoff und die zugehörige Infrastruktur systemisch gedacht werden sowie mögliche Defizite und Leerstellen in beiden Perspektiven herausgearbeitet, die Infrastrukturplanung in Zukunft berücksichtigen sollte.

2.1 Wasserstoff und seine Rolle in der Energiewende

Wasserstoff als Schlüsselement der Sektorenkopplung wird zu einem zentralen Faktor einer Energiewende, die über die Transformation des Stromsystems hinausgeht (ESYS 2017). Er kann dort eingesetzt werden, wo die direkte Elektrifizierung an ihre Grenzen stößt. Aufgrund der aktuellen und wohl noch geraume Zeit weiterbestehenden Knappheit von grünem Wasserstoff, erscheint eine Priorisierung der Verwendung durchaus angebracht. So wird gefordert, dass Wasserstoff zu Beginn vor allem in schwer zu elektrifizierenden Bereichen eingesetzt wird, insbesondere in der Industrie für die Produktion von Ammoniak, Primärstahl, Methanol oder Olefinen wie Ethylen, außerdem im Flug-, Schiffs- und sonstigem Schwerlastverkehr. Bei industriellen Anwendungen ist Wasserstoff beispielsweise bei der Bereitstellung von Prozesswärme im Vergleich zu Direktelektrifizierung umso mehr im Vorteil, je höher die zu erreichende Temperatur ist (Ueckerdt et al. 2021). Auch der perspektivische Einsatz in Gaskraftwerken gehört zu den no-regret-Anwendungen. Eine solche Priorisierung, so argumentieren etwa Agora Energiewende und Agora Industrie (2022), stelle für den Markthochlauf keinen begrenzenden Faktor dar, da die industrielle Nachfrage nach Wasserstoff das vorhandene Angebot auf absehbare Zeit übersteigen werde.

Die Frage, welche Infrastruktur benötigt wird, ergibt sich aus verschiedenen Aspekten. Wenn grüner Wasserstoff weitgehend am Entstehungsort auch verbraucht würde, sind eine nachhaltige Stromquelle, ein Elektrolyseur, Speicher und ein vergleichsweise kleines lokales Verteilnetz erforderlich, wie es das Projekt „eFarm“ von GP JOULE zeigt (GP JOULE 2020). Da eine lokale Produktion in den benötigten Mengen vor Ort in Deutschland nicht überall möglich ist, wird Wasserstoff allerdings importiert und aus anderen Regionen zu den Verbrauchern transportiert werden müssen. Dies setzt das Vorhandensein von Import- und Transportinfrastrukturen voraus. Grüner Wasserstoff stellt eine Speicheroption für Strom aus Erneuerbaren Energien (EE) dar, der wiederum selbst in Gasspeichern vorgehalten werden kann. Aktuell existieren allerdings weder die entsprechenden Speicher noch Transportnetze. Beides sind aber kritische Faktoren für die Zukunft der Energiewende, die auf Systemintegration beziehungsweise eine verstärkte Sektorenkopplung zielt.

2.2 Wasserstoffinfrastruktur: Anspruch und Wirklichkeit

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Analyse im Sommer 2023 existiert in Deutschland keine eigenständige öffentliche Wasserstoffinfrastruktur. Lediglich einige wenige Industrieakteure wie die Gaserzeuger Linde AG oder AirLiquide liefern Wasserstoff über ihre eigenen Netze an andere Industrieabnehmer. Dabei handelt es sich um ein sogenanntes Business-to-Business (B2B) Angebot, welches nicht öffentlich zugänglich ist. So betreibt die Linde AG ein kleines Verteilnetz in Ostdeutschland und AirLiquide ein weiteres im Ruhrgebiet. Wasserstoff, der häufig als industrielles Nebenprodukt anfällt, wird dort über kurze Strecken transportiert. Die Pipelines werden direkt von den Gaserzeugern betrieben, die auf diesem Weg den Wasserstoff zu anderen Unternehmen transportieren (Bundesnetzagentur 2020b). AirLiquide betreibt im Rhein-Ruhr-Gebiet das mit 240 Kilometern aktuell größte Wasserstoffnetz in Deutschland. Ausgangspunkt dieses Netzes ist der Firmenstandort im Chemiapark Marl. Solche kleinen Verteilnetze für Wasserstoff kann man als lokale Inselnetze betrachten. Über die reine Netzinfrastruktur hinaus ist bei AirLiquide ein 30-Megawatt-Elektrolyseur in Oberhausen in Planung (AirLiquide 2022a, 2022b).

In seiner aktuellen H₂-Bilanz stellt das Energieunternehmen E.on fest, dass im Jahr 2022 insgesamt erst 417 Kilometer reines Wasserstoffnetz in Deutschland existieren und kommt zu dem Schluss, dass ein schneller Netzausbau daher zwingend notwendig ist (E.on 2022). Um eine öffentlich zugängliche Wasserstoffinfrastruktur aufzubauen, bestehen verschiedene Möglichkeiten, darunter die Umwidmung bereits vorhandener und der Neuaufbau einer separaten Infrastruktur, wobei sich beide Optionen ergänzen können. Diese Frage ist auch aus der Perspektive des Klimaschutzes wichtig, fällt die Klimabilanz einer gänzlich neuen Infrastruktur schlechter aus als eine Umnutzung (Meyer et al. 2021). Für die heimische Produktion von grünem Wasserstoff muss die verfügbare Menge an EE-Strom weiter stark ausgebaut werden. Für das Jahr 2045 wird damit gerechnet, dass, um den gesamten Strombedarf Deutschlands inklusive der Elektrolyse von grünem Wasserstoff zu decken, eine heimische Erzeugung von mindestens 800 TWh/jährlich notwendig sein wird (Ueckerdt et al. 2021), was nahezu einer Verdreifachung der EE-Stromerzeugung im Vergleich zu 2022 entspricht. Hinzu kommen noch Strom- und Wasserstoffimporte aus dem Ausland.

Für die Entwicklung eines Wasserstoffnetzes entwirft die Bundesnetzagentur (2020b) drei idealtypische Szenarien. Dabei handelt es sich um (1) lokale Inselnetze, (2) lokale Inselnetze mit einzelnen langen Transportleitungen und (3) engmaschige Verteilnetze mit einzelnen langen Transportleitungen. Im ersten Szenario entwickeln sich kleine Inselnetze rund um wasserstoffnutzende Industriestandorte. Dies entspricht weitgehend dem Status quo, erscheint durch die inzwischen vorliegende Planung der Fernleitungsbetreiber Gas, wie im Folgenden dargelegt, aber obsolet (FNB Gas 2023). Das zweite Szenario geht ebenfalls von lokalen Netzen um große Industriestandorte aus. Allerdings reicht hier die lokale Produktion des nachgefragten Wasserstoffs nicht aus, sodass zusätzlich aus anderen Regionen Wasserstoff dorthin transportiert oder aus dem Ausland importiert werden muss. Im letzten Szenario gehört neben der Industrie auch der Verkehrssektor zu den Abnehmern des Wasserstoffs, wobei die Anzahl der benötigten Tankstellen und damit die Implikationen für die Ausgestaltung des Netzes auch im Verkehrsbereich von der angenommenen Nutzungsbreite abhängen. Die Abhängigkeit der Infrastrukturgestaltung von den Bedarfen wird am folgenden Beispiel deutlich, wobei der Verkehrssektor hier aus Gründen der Anschaulichkeit gewählt wird: Ein Szenario, in dem lediglich im Fernlastschwerverkehr Brennstoffzellen zum Einsatz kommen, geht von einem Bedarf an etwa 140 Wasserstofftankstellen aus (Rose et al. 2020). Würde hingegen die flächendeckende Vollversorgung mit Wasserstofftankstellen angestrebt, müssten in Deutschland etwa 1.000 Wasserstofftankstellen eingerichtet werden (H2BZ Hessen 2012). Wäre die erste Variante vermutlich auch mit untereinander verbundenen Inselnetzen zu realisieren (Szenario 2), würde für die zweite Variante auf jeden Fall ein engmaschiges Verteilnetz benötigt (Szenario 3).

Die Fernleitungsnetzbetreiber Gas (FNB Gas) sind die zentralen Akteure bei der Planung des deutschen Wasserstoffnetzes. Ihren Vorschlag eines „visionären Wasserstoffnetzes“ veröffentlichten sie rund ein halbes Jahr vor der Deutschen Wasserstoffstrategie (NWS). Dort zeigen sie eine mögliche Weiternutzung der vorhandenen Erdgasnetze auf, auf denen das Wasserstoffnetz zu 90 Prozent basieren könnte. Sie betonen dabei, dass die Schaffung einer „ausschließlich für den Transport von Wasserstoff vorgesehene überregionale Infrastruktur“ ein zentraler Punkt für die Energiewende sein wird. Neben dem Aufbau des Wasserstoffnetzes ist ein Markthochlauf der Elektrolyseure sowie die Ausgestaltung von Nachfrageanreizen wichtig (FNB Gas 2020).

Im Jahr 2022 haben die FNB Gas einen Wasserstoffbericht veröffentlicht, in dem der aktuelle Stand der Infrastruktur für Wasserstoff dargestellt wird. Neben den beiden bereits genannten lokalen Industrienetzen bestehen zudem einzelne Modellprojekte, die als Inselnetze fungieren und im Verlauf der Netzentwicklung zusammengeschlossen werden könnten. Bis zum Jahr 2027 ergibt sich aus Modellierungen der FNB Gas ein Wasserstoffnetz mit einer Gesamtleitungslänge zwischen 2.900 und 3.000 Kilometern. Dieses wird zuerst noch aus Teilnetzen bestehen, bis 2032 sollen die Teilnetze aber zu einem Gesamtnetz verbunden werden. Im Juli 2023 erfolgte durch die FNB Gas eine Konkretisierung des Modells eines „Wasserstoffkernnetzes“ für 2032, das von Leitungsinfrastrukturen mit einem Umfang von 11.200 km ausgeht (FNB Gas 2023: 18).¹ Im Ergebnis folgt diese Modellierung am ehesten dem zweiten Szenario der Bundesnetzagentur, allerdings stellt sich das Fernleitungsnetz erheblich umfangreicher dar, als die von der Bundesnetzagentur angedachten einzelnen Transportleitungen. Schwerpunkte der „Auspeisung“ von Wasserstoff werden unabhängig von der „Einspeisung“ identifiziert. Ebenso sieht das Modell „Speicherpunkte“ vor, denn im Hinblick auf die Nutzungsmöglichkeiten gehen die FNB Gas von einem noch nicht abschließend bestimmten offenen Nutzungsspektrum aus, das neben der Industrie etwa auch Kraft-Wärme-Kopplungs-Standorte sowie die „regionale Ausgewogenheit“ berücksichtigt (FNB Gas 2023: 11). Insofern ist die Modellierung durchaus offen für das dritte Szenario der Bundesnetzagentur.

Auch für den Import kann nicht auf vorhandene Infrastruktur zurückgegriffen werden, diese muss daher zwingend neu geschaffen werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass diese Importinfrastruktur robust und diversifiziert ist, also mehrere Importwege bereitstehen. So wäre es am sinnvollsten, wenn neben Pipelines auch Importterminals für verflüssigten Wasserstoff und Ammoniak berücksichtigt werden. Auch sollten im selben Zug neue Speichermöglichkeiten erschlossen werden (Piria et al. 2021). Für einen Import mittels Schiff wird Ammoniak als vielversprechender Transportvektor für Wasserstoff angesehen. Um diesen zurückzugewinnen, ist zusätzliche Infrastruktur in Form von Ammoniak-Crackern notwendig, allerdings verbunden mit hohen Kosten durch Umwandlungsverluste. Perspektivisch wäre auch ein Schiffstransport von flüssigem Wasserstoff oder die Nutzung von sogenannten Carrier-Molekülen (LOHC) denkbar (Odenweller et al.

¹ In einer Präsentation des BMWK wurde die Gesamtlänge auf 9.721 km reduziert, was die grundlegende Struktur des geplanten Fernleitungsnetzes aber nicht verändert (<https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/>).

2022). Am 15. November 2022 wurde das erste von zwei geplanten LNG-Terminals in Deutschland eröffnet. Als Standorte wurden Wilhelmshaven und Brunsbüttel ausgewählt. Über diese beiden LNG-Terminals soll zuerst Flüssiggas importiert werden (Bundesnetzagentur 2022), ab voraussichtlich 2025 auch grüner Wasserstoff (KfW 2022). Wichtig wäre zudem, dass die Wasserstoffimportinfrastruktur mit ausreichend hohen Investitionen bedacht wird, um die Voraussetzungen für den geplanten Markthochlauf zu schaffen (Gracceva/Zeniewski 2014). Um die Importe zwischenzulagern, könnte gezielte öffentliche Förderung für den Ausbau von Wasserstoffspeicherkapazitäten bereitgestellt werden, wobei die FNB Gas inzwischen erste konkrete Vorschläge vorgelegt haben (FNB Gas 2023: 12). Eine Koordination des europäischen und internationalen Wasserstoffmarkts in Bezug auf Sicherheitsnormen und Regulierungsrahmen würde Importe langfristig zudem vereinfachen (Piria et al. 2021).

Die Entwicklung sowohl der Transport- als auch der Importinfrastruktur sind in einen durch die Europäische Union vorgegebenen Rahmen eingebettet (Europäische Kommission 2020, 2022b). Im Jahr 2022 wurden von der Kommission dafür zwei wichtige Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse (Important Project of Common European Interest – IPCEI) unterstützt: Erstens das im Juli 2022 gestartete Projekt „IPCEI Hy2Tech“, welches von 15 Mitgliedern der Europäischen Union beantragt wurde, und mit bis zu 5,4 Mrd. Euro unterstützt wird.² „IPCEI Hy2Tech“ bündelt 41 Vorhaben, welche die Projektziele der „Förderung von Forschung und Innovation sowie der ersten gewerblichen Nutzung in der Wertschöpfungskette der Wasserstofftechnologie“ unterstützen (Europäische Kommission 2020c). Zweitens wurde Ende September 2022 das Projekt „IPCEI Hy2Use“ genehmigt. In diesem sollen zum einen der Aufbau wasserstoffbezogener Infrastrukturen für die Erzeugung, Speicherung und den Transport von CO₂-armem Wasserstoff und zum anderen die Entwicklung neuer Technologien zur Integration von Wasserstoff in industrielle Prozesse gefördert werden. Das Projekt mit einem Volumen von bis zu 5,2 Mrd. Euro und umfasst 35 Vorhaben. Es wurde von 13 Mitgliedsstaaten und Norwegen beantragt.³

² <https://ipcei-hydrogen.eu/cms/view/d85ef96a-4ae9-4f03-b51d-6e9bc4caf094/hy2tech>

³ <https://ipcei-hydrogen.eu/cms/view/980c9e77-9251-49cc-8037-dd1355c7d550/hy2use>

Die Anforderungen an das Wasserstofftransportnetz werden größer, je umfangreicher dieses Netz ausfällt. Um vorhandene Erdgas-Transportinfrastrukturen zu nutzen, müssen diese umgewidmet und teilweise ertüchtigt werden. Zudem bedarf es einer Transformation der gesamten Prozesskette (Ueckerdt et al. 2021). Für eine solche Umwidmung der deutschen Gasverteilnetze für den Wasserstoffbetrieb werden bis zum Jahr 2050 je nach Szenario Kosten zwischen 3,1 und 6,2 Mrd. Euro geschätzt. Hinzu kommen Stilllegungskosten in einer Höhe von 7,6 bis 17,2 Mrd. Euro (Wachsmuth et al. 2019). Im Vergleich dazu würden sich die Mehrinvestitionen in den Aufbau einer parallelen Wasserstoffinfrastruktur bis 2050 auf etwa 45 Mrd. Euro belaufen (Müller-Syring et al. 2018).

Für den Aufbau einer europaweiten Transportnetzinfrastruktur bis 2040 werden zwischen 27 und 64 Mrd. Euro veranschlagt (Wang et al. 2020), eine Bandbreite, die mit großen Unsicherheiten behaftet ist und vermutlich deutlich unterhalb der tatsächlichen Kosten liegt. Odenweller et al. (2022) gehen davon aus, dass um 2030 substantielle Mengen an grünem Wasserstoff via Schiff oder Pipeline importiert werden könnten, eine Kostendegression wäre dabei vor allem durch Pipelineimporte realisierbar. Einige europäische Gasnetzbetreiber haben sich das Ziel gesetzt, ein europäisches Transportnetz, das „European Hydrogen Backbone“, aufzubauen. Bis zum Jahr 2030 werden bis zu sechs Pipeline-Importkorridore nach Deutschland in Betracht gezogen (EHB 2022).

Zur Finanzierung des Wasserstoffmarkthochlaufes wurde ein EU-weiter Förderbedarf für grünen Wasserstoff, sowohl auf der Angebots- als auch Nachfrageseite, von 10 bis 24 Mrd. Euro pro Jahr bis etwa 2030 errechnet (Agora 2021). Eine Konsultation der Bundesnetzagentur hat eine Ablehnung langfristiger Anreizmechanismen ergeben, welche die Wasserstoffnachfrage steuern soll. Um den Markthochlauf zu beschleunigen, wären allerdings anfängliche Rabatte denkbar (Bundesnetzagentur 2020a, 2020b).

3. Planung, Systeme und Systementwicklungsplanung

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen zum einen den Mengenbedarf an Wasserstoffherstellungs- und damit einhergehenden Transportkapazitäten, zum anderen wird die Abhängigkeit der Mengen vom jeweiligen Anwendungsgebiet des Wasserstoffs deutlich. Dies wird nicht zuletzt im Strategiepapier der Bundesnetzagentur herausgestellt (Bundesnetzagentur 2020b). Hier steigen die Anforderungen an Wasserstoffherzeugung und Transport und damit die Wasserstoffinfrastruktur insgesamt drastisch in der dritten Variante, das heißt der angenommenen Bereitstellung und Verwendung von Wasserstoff über (industrielle) Insellösungen hinaus in mehreren Sektoren (Bundesnetzagentur 2020b).

Die Wechselwirkungen von Wasserstoffherzeugung und Wasserstoffanwendung sowie der hierbei zwischengeschaltete Wasserstofftransport lassen sich unbeschadet dessen bereits in der Einordnung von Wasserstoff als Schlüsselement der Energiewende verdeutlichen. Wasserstoff als integratives Element erzeugt Abhängigkeiten zwischen sektoralen Infrastrukturen. So kann beispielsweise die erhöhte Nachfrage von Wasserstoff im Verkehrssektor zu gleichermaßen erhöhter Nachfrage nach Elektrizität im Stromsektor führen. Der hiermit verbundene Streit über die „Zusätzlichkeit“ der Stromversorgung bei der strombasierten Wasserstoffherzeugung ist Ausdruck dieser Interdependenzen und damit einhergehender Konfliktpotentiale (Kalis & Antoni 2022). Ein weiteres Beispiel ist der steigende Bedarf Erneuerbarer Energien in der Gebäudewärme, der nicht ohne Auswirkungen auf die Gasversorgung und potentiell die Wasserstoffbereitstellung bleibt. Anders gesagt: Als Schlüsselement der Sektorenkopplung kann Wasserstoff nicht sachgerecht sektorenscharf gedacht werden, sondern muss vielmehr über die Sektoren hinaus, also systemisch betrachtet werden.

Die angesprochenen Interdependenzen und Abhängigkeiten schlagen, nicht zuletzt angesichts einer noch nicht bestehenden Wasserstoffwirtschaft und -infrastruktur, auf deren Planung, aber auch die Planung in den jeweiligen Sektoren durch. Ausgehend von den obigen Ausführungen zu Wasserstoff und seiner systemischen Betrachtung liegt auch in der Planung eine solche systemische Einordnung nahe. Nachfolgend sollen die bestehenden sektoralen Planungsregime und die Systementwicklungsplanung in gebotener Kürze dargestellt werden.

3.1 Sektorale Infrastrukturplanung

Ausgehend von der nunmehr durch die sprachliche Änderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) eingeführten Unterscheidung zwischen Planung und Strategie soll hier eine kurze Begriffserläuterung geleistet werden. Planung stellt einen administrativen und gedanklichen Prozess auf die Zukunft gerichteter Vorstellungen dar (Engelbert 2019). Sie beruht auf einem erkenntnisbasierten voluntativen Entschluss des Plangebers. Planung ist geprägt durch ein Mindestmaß der Unvorhersehbarkeit (blinder Fleck) (Engelbert 2019: 74; Luhmann 2015: 18), der nicht zuletzt dem der Planung inhärenten Element der vorgelagerten Entscheidung und Abschichtung geschuldet ist. Ausgehend hiervon ist Planung von einer Komplexitätsreduktion geprägt, wobei sich letztlich Simplifizierung und maximierte Rationalisierung gegenüberstehen (Engelbert 2019: 86). Planung ist dem Wesen nach eine Abwägungsentscheidung. Unbeschadet dieser wohl gängigen Wesenselemente der Planung besteht keine abschließende Definition des Begriffs. Vielmehr liegt mit der Planung, abseits von Kategorisierungs- und Typisierungsversuchen, ein spezifischer Entscheidungsmodus vor (Engelbert 2019: 87). Für diesen Entscheidungsmodus kommt es auf drei wesentliche Fragestellungen an: Wem kommt die Planungsträgerschaft zu, wer plant und wägt ab (Buus 2018: 138)? Was ist in der Planung zu berücksichtigen, worauf ist die Entscheidung eingegrenzt? Wie viele Alternativen werden eingeplant?

Anschließend soll cursorisch auf die bestehende sektorale Infrastrukturplanung anhand der Stromnetzplanung, Gasnetzplanung, Wärmenetzplanung, Anlagenplanung und Wasserstoffnetzplanung geblickt werden.

Gemäß § 11 Abs. 1 S. 1 des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) sind die Betreiber von Energieversorgungsnetzen verpflichtet, ein sicheres, zuverlässiges und leistungsfähiges Energieversorgungsnetz diskriminierungsfrei zu betreiben, zu warten, bedarfsgerecht zu optimieren, zu verstärken und auszubauen, soweit es wirtschaftlich zumutbar ist. Diese Pflicht gilt sowohl für Strom- als auch Gasnetzbetreiber (§ 3 Abs. 16 EnWG). Die Aufgaben für ihr Energieversorgungsnetz nehmen die Netzbetreiber in eigener Verantwortung wahr (§ 11 Abs. 1 S. 3 EnWG). Hierbei kooperieren sie und unterstützen sich wechselseitig (§ 11 Abs. 1 S. 4 EnWG). § 11 Abs. 1 S. 2 EnWG verweist sodann ausdrücklich auf die weiteren Pflichten der Netzbetreiber im Hinblick auf den Netzausbau und dessen Planung. Mit

der Verpflichtung, das von ihnen betriebene Netz bedarfsgerecht auszubauen, kommt den Verteilnetzbetreibern eine zentrale Bedeutung für die Entwicklung von Übertragungs- bzw. Fernleitungsnetzen (§ 12 *EnWG*) zu, die ja gemäß den Entflechtungsvorschriften von anderen Unternehmen betrieben wird.

Die Stromnetzplanung ist dreistufig aufgebaut und kann in den Szenariorahmen, den Netzentwicklungsplan und den Bundesbedarfsplan gegliedert werden. Gemäß § 12a *EnWG* erarbeiten die Betreiber von Übertragungsnetzen alle zwei Jahre einen gemeinsamen Szenariorahmen, der Grundlage für die Erstellung des Netzentwicklungsplans und des Offshore-Netzentwicklungsplans ist. Der Szenariorahmen umfasst mindestens drei Entwicklungspfade (Szenarien), die für die mindestens nächsten zehn und höchstens 15 Jahre die Bandbreite wahrscheinlicher Entwicklungen im Rahmen der klima- und energiepolitischen Ziele der Bundesregierung abdecken. Drei weitere Szenarien müssen das Jahr 2045 betrachten und eine Bandbreite von wahrscheinlichen Entwicklungen abbilden, welche sich an den gesetzlich festgelegten sowie langfristigen klima- und energiepolitischen Zielen der Bundesregierung ausrichten. Dabei legen die Netzbetreiber Annahmen für die jeweiligen Szenarien zu Erzeugung, Versorgung, Verbrauch von Strom sowie dessen Austausch mit anderen Ländern und zusätzlich zur Spitzenkappung zu Grunde und berücksichtigen geplante Investitionsvorhaben der europäischen Netzinfrastruktur. Die Verteilnetzbetreiber werden nach § 12a *EnWG* „angemessen“ in die Erstellung des Szenariorahmens eingebunden. Der Szenariorahmen wird der Regulierungsbehörde vorgelegt und der Öffentlichkeit wird Gelegenheit zur Stellungnahme eingeräumt. Die Genehmigung des Szenariorahmens durch die Regulierungsbehörde erfolgt schließlich unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Öffentlichkeitsbeteiligung.

Die Übertragungsnetzbetreiber legen auf Grundlage des Szenariorahmens der Regulierungsbehörde einen gemeinsamen nationalen Netzentwicklungsplan zur Bestätigung vor. Dieser muss alle wirksamen Maßnahmen zur bedarfsgerechten Optimierung, Verstärkung und zum Ausbau des Netzes enthalten, die für einen sicheren und zuverlässigen Stromnetzbetrieb erforderlich sind. Auch hier erhält die Öffentlichkeit Gelegenheit zur Stellungnahme.

Mindestens alle vier Jahre übermittelt die Regulierungsbehörde den Netzentwicklungsplan als Entwurf für einen Bundesbedarfsplan an die Bundesregierung. Diese wiederum legt den Entwurf alle vier Jahre dem Bundesgesetzgeber vor (§ 12e Abs. 1 EnWG).

Für Gasnetzbetreiber gilt zunächst § 11 Abs. 1 EnWG gleichermaßen, mithin die Pflicht zu bedarfsgerechter Optimierung, Verstärkung und Ausbau. Fernleitungsnetzbetreiber legen der Regulierungsbehörde in jedem geraden Kalenderjahr einen gemeinsamen nationalen Netzentwicklungsplan vor (§ 15a Abs. 1 S. 1 EnWG). Auch dieser muss alle wirksamen Maßnahmen zur bedarfsgerechten Optimierung, Verstärkung und zum bedarfsgerechten Ausbau des Netzes sowie zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit enthalten, die in den nächsten zehn Jahren netztechnisch für einen sicheren und zuverlässigen Netzbetrieb erforderlich sind (§ 15a Abs. 1 S. 2 EnWG). Ebenfalls wird der Öffentlichkeit Gelegenheit zur Stellungnahme eingeräumt.

Die Anlagenplanung, obgleich bereits Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen (Buus 2018), ist nicht geregelt. Abseits der raumplanerischen Instrumente auf Ebene der Länder findet eine Planung der Anlagen nicht statt. Dies gilt sowohl für die Onshore- als auch Offshore-Planung.

Mit dem Gesetz zur Umsetzung unionsrechtlicher Vorgaben und zur Regelung reiner Wasserstoffnetze im Energiewirtschaftsrecht vom 16. Juli 2021 hat der Bundesgesetzgeber Wasserstoff ausdrücklich – als eigenständig von der Regulierung adressierter Energieträger – in das Energiewirtschaftsrecht aufgenommen. In § 3 Nr. 39a EnWG wurden zugleich Betreiber von Wasserstoffnetzen begrifflich im Gesetz eingeführt. Diese sowie Betreiber von Fernleitungsnetzen müssen der Bundesnetzagentur seit 1. September 2022 in jedem geraden Kalenderjahr einen gemeinsamen Bericht zum aktuellen Ausbaustand eines Wasserstoffnetzes und zur Entwicklung einer zukünftigen Netzplanung Wasserstoff mit dem Zieljahr 2035 vorlegen (§ 28q Abs. 1 EnWG). Der Bericht umfasst mögliche Kriterien zur Berücksichtigung von Wasserstoff-Projekten sowie Anforderungen zur Ermittlung von Ausbaumaßnahmen. Diese Kriterien enthalten insbesondere die Anforderungen einer zukünftigen Bestimmung von Standorten für Power-to-Gas-Anlagen sowie Aufkommensquellen und Abnahmeregionen für Wasserstoff, wobei auch Wasserstoffspeichereinrichtungen zu berücksichtigen sind (§ 28q Abs. 1 EnWG).

3.2 Systementwicklungsplanung

Die bestehende sektorale Infrastrukturplanung und die damit einhergehende planerische Trennung der Sektoren kritisiert u.a. die Dena in ihrem Vorschlag für die Einführung einer Systementwicklungsplanung (Dena 2022). Die Überlegung folgt der Annahme, dass sowohl die Europäische Union als auch Deutschland ein integriertes Energiesystem anstreben, weshalb hinter diesem Ziel eines integrierten Energiesystems sogleich die Notwendigkeit einer integrierten Planung der Infrastrukturen besteht (Dena 2022). Unbeschadet dieser Annahme und des durchaus in der Europäischen Union und in Deutschland gebrauchten Begriffs des integrierten Energiesystems, fehlen im Vorschlag der Dena nähere Ausführungen zum Begriff des Systems, sodass hier weitere Anmerkungen notwendig erscheinen.

System erfordert zunächst eine holistische Betrachtung untergliederter oder teilbarer Bestandteile. Dabei ist die Verwendung des Systembegriffs zugleich mit der Einsicht verbunden, dass das System mehr ist als die bloße Summe der einzelnen Bestandteile. Im System bestehen Wechselwirkungen, die erst eine systemische Betrachtung erforderlich machen. Letztlich steht der Systembegriff als Metapher für eine die Sektorengrenzen überschreitende Betrachtung und betrifft kompetenzielle, regulatorische, sektorale und Akteurs-Grenzen.

Mit ihrem Vorschlag führt die Dena soweit ersichtlich erstmals den Begriff der Systementwicklungsplanung (SEP) ein. Nach dem Vorschlag der Dena gliedert sich die Systementwicklungsplanung in drei Phasen: Grundlagen schaffen, Handlungsoptionen bewerten und Entscheidungen herbeiführen (Dena 2022).

Phase 1 meint dabei das Identifizieren übergreifender gesellschaftlicher Ziele und maßgeblicher Weichenstellungen sowie das Ermitteln des aktuellen Wissensstands aus Gesellschaft, Politik sowie Energiewirtschaft und die anschließende Gestaltung von Szenarien; Phase 2 zielt auf die modellgestützte sektorübergreifende Optimierung und Bewertung der Szenarien. Dabei sollen verschiedene Zukunftsbilder als Basis für gesellschaftliche Diskussion entstehen; in Phase 3 soll sodann ein abschließendes Zielbild definiert werden.

Die Systementwicklungsplanung soll als Grundlage für die weiteren einzelnen Planungsprozesse dienen. Nach dem Modell der Dena ist die Systementwicklungsplanung eine den weiterhin bestehenden sektoralen Planungen vorgelagerte Planung, in welcher systemische Vorabentscheidungen getroffen werden sollen (Dena 2022). Damit sollen Optimierungspotentiale genutzt, konsistente Ausgangspunkte für Planprozesse geschaffen, der gesellschaftliche und politische Beratungsbedarf abgebildet und Akzeptanz ermöglicht sowie gestärkt werden. Die SEP bildet demnach die abgestimmte Gesamtstrategie für das (integrierte) Energiesystem.

Hier kann auf den Vorschlag der Dena und dessen Eignung zur Überwindung der bislang weitgehend sektoralen Infrastrukturplanung auf dem Weg hin zu einem integrierten Energiesystem nicht näher eingegangen werden. Vielmehr sollen aufbauend auf den obigen Ausführungen zur sektoralen Planung und zur Systementwicklungsplanung wesentliche Elemente einer systemischen Planung identifiziert werden. Sodann soll zu prüfen überprüft werden, ob und inwieweit bereits im bestehenden Rechtsrahmen systemische Planungselemente für Wasserstoff bestehen. Dabei wird freilich nicht verkannt, dass eine Systementwicklungsplanung, wie sie etwa von der Dena vorgeschlagen wird (Dena 2022), in Deutschland bislang nicht besteht. Zum anderen soll zunächst überprüft werden, ob und inwieweit Stakeholder im Hinblick auf Wasserstoff – unbeachtet des Mangels einer Systementwicklungsplanung – eine solche voraussetzen, mitdenken oder aber Elemente einer systemischen Planung aufgreifen. Dieser Schritt entspricht dem von der Dena vorgeschlagenen Ermittlung des Wissenstandes gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Akteure.

Aus den vorangegangenen Ausführungen lassen sich folgende Wesenselemente einer Systementwicklungsplanung entnehmen. Dies sind die sektorenübergreifende, systemische Betrachtung, die weiteren Planschritten vorgelagerte Entscheidung, das heißt Abschtichtung, sowie die Entscheidung im Hinblick auf ein zuvor definiertes Systemziel, hier richtigerweise das integrierte Energiesystem.

3.3 Stakeholderpositionen zur Wasserstoffinfrastruktur

Um der Frage nachzugehen, ob und inwieweit Stakeholder bereits einen systemischen Blick auf die Entwicklung von Wasserstoffinfrastrukturen einnehmen, wurde eine explorative Stakeholderanalyse durchgeführt. Dabei wurden 308 Dokumente für den Zeitraum von November 2019 bis September 2022 gesichtet, von denen schließlich 206 als inhaltlich relevant eingestuft und analysiert wurden (Abbildung 1). Dabei handelt es sich um Stellungnahmen und Positionspapiere zum Thema Wasserstoff.



Abbildung 1: Vorgehen bei Stakeholderanalyse; eigene Darstellung

Zur besseren Interpretierbarkeit der Ergebnisse wurden die Dokumente einer von fünf Stakeholdergruppen zugeteilt: Wissenschaft, Beratung, NGO, Verbände, Mitglieder des Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband DWV (siehe Anhang). Der Gruppe „Wissenschaft“ wurden 18 Dokumente zugewiesen, der Gruppe „Beratung“ 22, der Gruppe „NGO“ 7, der Gruppe „Verbände“ 40 und den Einzelunternehmen der Gruppe „Mitglieder des Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband DWV“ 113 (Abbildung 2). In diesem Abschnitt werden zentrale Ergebnisse dieser Stakeholderanalyse dargestellt. Zudem sei an dieser Stelle darauf verwiesen, dass sich nicht alle Akteure zu allen untersuchten Themen geäußert haben und deshalb nicht zu jedem Thema, z.B. Umnutzung der Erdgasinfrastruktur, eine explizite Aussage vorliegt.

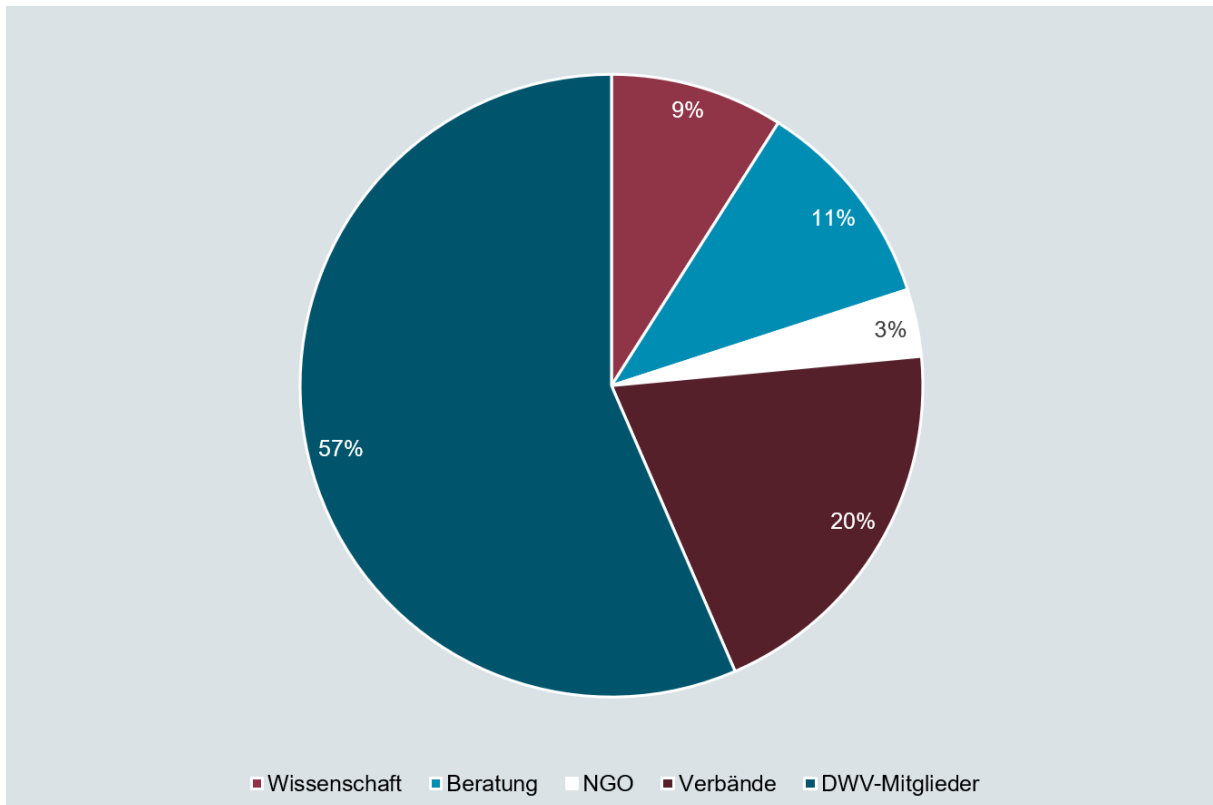


Abbildung 2: Verteilung nach Stakeholdergruppen; eigene Darstellung

Stakeholder aus allen Gruppen sprechen sich für eine Umwidmung der vorhandenen Erdgasinfrastrukturen aus (Abbildung 3). Sie sehen die Umnutzung als kostengünstigste Alternative für den Wasserstofftransport über mittlere Strecken, was die mitunter hohen Investitionskosten in die Ertüchtigung sowie notwendigen Neubauten rechtfertigen würde (Egenolf-Jonkmanns et al. 2021: 36, BDEW 2021a: 7). Stakeholder aus den Bereichen Wissenschaft, Beratung und NGO betonen, dass teilweise auch neue, reine Wasserstoffleitungen gebaut werden müssen (Nationaler Wasserstoffrat 2021: 20). Ebenso solle eine Verpflichtung von „H₂-Readiness“ bei Investitionen in Verteil- und Fernleitungsnetze zur Bedingung gemacht werden (Matthes et al. 2020: 7).

Allerdings wird bei Forderungen zur Umnutzung der Erdgasinfrastruktur deutlich, dass Aussagen nicht durchgehend begründet werden (Abbildung 3). Offensichtlich liegt den Stellungnahmen einzelner Akteure keine tiefere Analyse zugrunde, sondern lediglich eine oberflächliche Beschäftigung mit der Nutzung der Erdgasinfrastruktur (vgl. IG

Metall 2021). Zudem besteht die Möglichkeit, dass Stakeholder befangen sind und vorwiegend in eigenem Interesse handeln und daher ihre Haltung nicht oder nur unzureichend begründen (vgl. GASAG AG 2022).

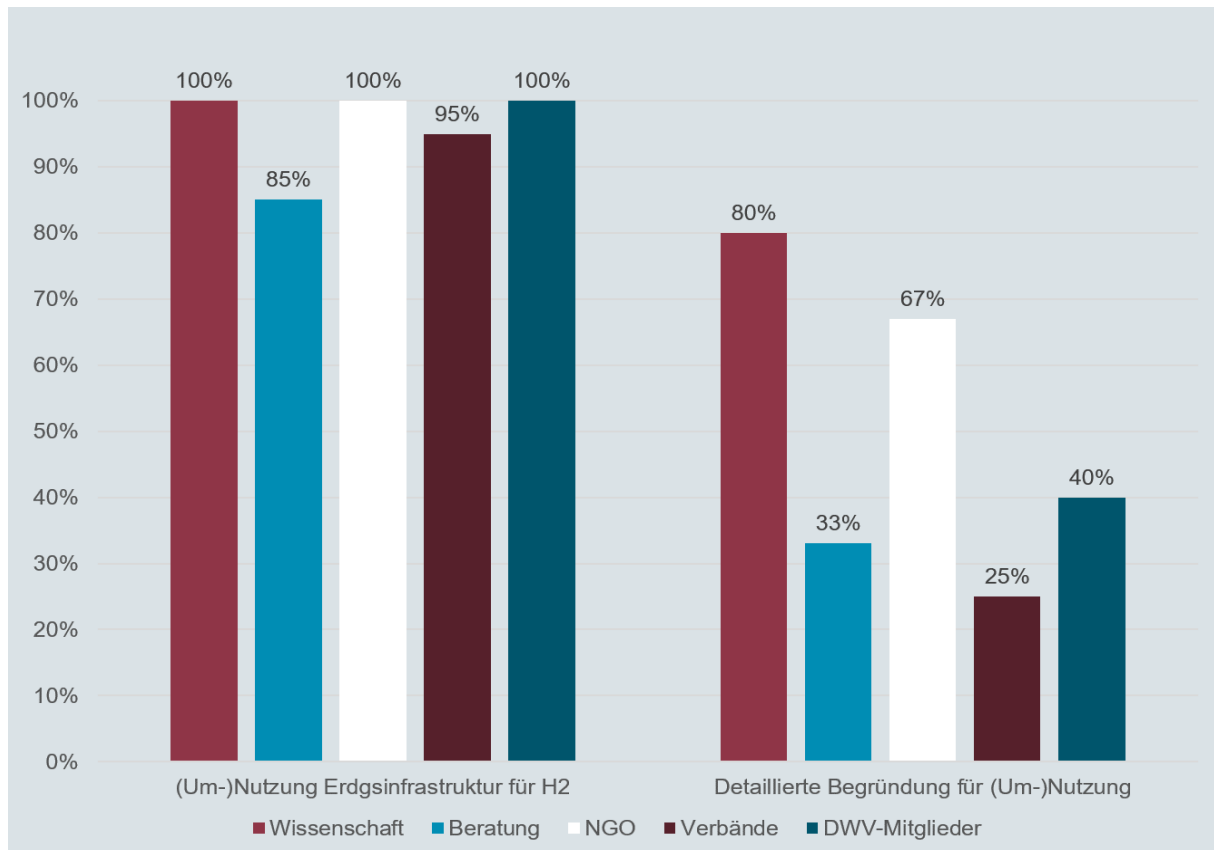


Abbildung 3: Zustimmung zur (Um-)Nutzung der Erdgasinfrastruktur/ Anteil mit detaillierter Begründung; eigene Darstellung

Es gibt nur wenige Akteure, die konkret kommunizieren, welche Anforderungen und Schwierigkeiten eine solche Anpassung mit sich bringen würde, wie zum Beispiel die Siemens Energy AG oder die Deutsche Umwelthilfe. Sie gehen davon aus, dass teils massive Anpassungen und Tests nötig sein könnten sowie auch Wechselwirkungen mit anderen Energiebereichen bestehen (Adam et al. 2021: 11-12; Deutsche Umwelthilfe 2021: 2). Vor allem die Stakeholder aus den Gruppen Wissenschaft (ca. 80 %) und NGO (ca. 67 %) weisen vergleichsweise häufig auf die Risiken und Wechselwirkungen bei der Nutzung der Erdgasinfrastruktur hin – sehen sie mehrheitlich dennoch als kostengünstige Möglichkeit an. Unter diesem Gesichtspunkt lässt sich bei den Stakeholdern aus den Gruppen NGO und Wissenschaft am ehesten ein systemischer Blick erkennen. Stakeholder aus den Gruppen Beratung (ca. 33 %), Verbände (ca. 25 %) und DWV-Mitglieder (ca. 40 %) weisen

seltener auf die technischen Voraussetzungen und Schwierigkeiten hin. Dieser Sachverhalt lässt wiederum die Annahme zu, dass diese Stakeholder insbesondere aus sektoralen Interessen heraus argumentieren und die systemische Ebene ausblenden oder nicht kommunizieren. Wenn Verbands- und DWV-Stakeholder ein Systemziel (die Nutzung der Erdgasinfrastruktur) nennen, aber keine Wechselwirkungen mit dem Erdgasbereich antizipieren oder andere Schwierigkeiten erkennen, kann davon ausgegangen werden, dass die systemische Perspektive für sie eine nachgeordnete Rolle spielt. Dennoch lässt sich – über die verschiedenen Themen hinweg – erkennen, dass in den Papieren aus dieser Gruppe mehrheitlich systemisch argumentiert wird. Es besteht ein weitgehender Konsens, dass große Speicher eine besonders wichtige Infrastruktur darstellen, da sie sowohl den Beginn der Heizperiode als auch Dunkelflauten ausgleichen könnten. Die vorhandenen Erdgastransportinfrastrukturen könnten, allerdings nur in engen Grenzen, als Zwischenspeicher genutzt werden, vorhandene Erdgasspeicher könnten in Teilen als Wasserstoffspeicher genutzt werden (Nationaler Wasserstoffrat 2021: 20, 35; RWE Gas Storage West GmbH 2022). Als Standorte für den priorisierten Ausbau von Erneuerbaren Energien und Elektrolysekapazitäten würde sich die Nähe zu Kavernenspeichern anbieten. Bei der Ausgestaltung möglicher Wasserstoffnetze zeigen sich unterschiedliche Herangehensweisen zwischen den Stakeholdergruppen. Die meisten Wissenschaftsakteure gehen davon aus, dass zuerst Inselnetze um Industriecluster herum entstünden, wie aktuell offensichtlich zwischen den Häfen Rostock, Hamburg, Rotterdam, Antwerpen und Duisburg (Grinschgl et al. 2021: 6). Der Sachverständigenrat für Umweltfragen empfiehlt daher den Bedarf reiner Wasserstoffleitungen zu prüfen und H₂-Cluster aufzubauen (Egenolf-Jonkmanns et al. 2021: 35). Diese Cluster würden zusammen mit dem „European Hydrogen Backbone“ die Voraussetzung für regionale Märkte sein. Ähnlich äußern sich auch Akteure aus der Gruppe „Beratung“, die sich ebenfalls auf den „European Hydrogen Backbone“ beziehen, allerdings häufig mit dem Verweis auf mögliche Importe von Wasserstoff (Matthes et al. 2020: 91-92). Die NGOs äußern sich nur in der Hinsicht zum Thema Netze, als dass diese ihrer Meinung nach prioritär zur Versorgung der Industrie gedacht seien (Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. 2020: 7). Viele der Verbands-Stakeholder thematisieren den Aufbau von Inselnetzen. Allerdings besteht keine Einigkeit darüber, ob dieser Ansatz sinnvoll sei. So befürworten gemäß unserer Auswertung der

Stakeholderpositionen ca. 70 % der Akteure den Aufbau von Inselnetzen und eine spätere Überführung in regionale, nationale und europaweite Netze. Der BDEW argumentiert beispielsweise, dass der Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur so am schnellsten zu bewerkstelligen sei (BDEW 2021b: 4). Gleichzeitig kritisieren etwa 60 % der Akteure – wobei sich Befürwortung und Bedenken durchaus überlappen können – dieses Szenario mit der Befürchtung einer Verfestigung bestehender lokaler Strukturen. Stellvertretend dafür sieht der Verband der chemischen Industrie die europäische Integration durch den Aufbau von Inselnetzen gefährdet, wenn nicht rechtzeitig gemeinsame Standards eingeführt würden (Verband der chemischen Industrie e.V. 2021: 2). Bei der Untersuchung der DWV-Mitglieder zeigten sich klare Vorstellungen. So ist zu erkennen, dass einige kleine lokale Projekte zur Wasserstoffversorgung geplant oder in Umsetzung sind und gleichzeitig auch Planungen für den innerdeutschen und europäischen Netzausbau vorliegen. Projekte, die eine regionale Wasserstoffversorgung gewährleisten sollen, zeichnen sich dadurch aus, dass sie sektorübergreifend angelegt sind und die Versorgung für alle Sektoren in die Planung miteinbeziehen (vgl. HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e.V. 2020), während andere Akteure keine Aussagen über die systemische Perspektive treffen (vgl. Daimler Truck AG 2021). Bei diesen Akteuren lassen jedoch ihre wirtschaftlichen Aktivitäten darauf schließen, dass sie sehr wohl systemisch denken, dies aber nicht unmittelbar kommunizieren und externalisieren, wie im Beispiel von der Daimler Truck AG durch eine Kooperation mit Energiekonzernen (ebd.).

Es lässt sich bilanzieren, dass die meisten Stakeholder aus den Kategorien Wissenschaft, Beratung und NGO über einen systemischen, sektorübergreifenden Blick verfügen, ein entsprechendes Systemziel formulieren, aber auch die Wechselwirkungen mit anderen Energieträgern antizipieren. Für die Verbände und DWV-Mitglieder fällt dieses Fazit gemischt aus. Einige dieser Stakeholder verfügen durchaus über eine systemische Perspektive. Vor allem in diesen beiden Gruppen gibt es aber auch ambivalente Akteure, die zwar nicht explizit systemisch kommunizieren, deren Geschäftsaktivitäten aber auf systemisches Denken schließen lassen. Zudem finden sich insbesondere in diesen beiden Gruppen Akteure, die nur über einen oberflächlichen systemischen Blick verfügen und eher in einem sektoralen Denkmuster verbleiben. Hier könnte eingewendet werden, dass die Aufgabe der wirtschaftlichen Akteure gerade nicht darin besteht, die systemischen Implikationen von Wasserstoff zu durchdenken, sondern Wertschöpfung zu betreiben. Dies

könnte allerdings insofern problematisch sein, da es sich um potentielle Nutzer von Wasserstoff handelt und davon ausgegangen werden kann, dass die Wechselwirkungen mit anderen Planungen möglicherweise nicht ausreichend antizipiert wurden. Ein systemischer Blick ermöglicht potentiellen Nutzern eine realistischere Antizipation entstehender Kosten und Abschätzung des eigenen Bedarfs. Angesichts des noch offenen und von Unsicherheiten geprägten Transformationsprozesses, erschien es uns daher geboten, auch die Perspektive der Nutzer in die Analyse einzubeziehen, gerade in Bezug auf Fragen einer realistischen Netzplanung (siehe Abschnitt 4.2).

4. Wasserstoff als Bindeglied der Systeme: Wie viel Systementwicklungsplanung steckt bereits in der aktuellen Wasserstoffregulierung?

Wasserstoff gilt, wie bereits festgehalten, als Bindeglied der Systeme. Diese nunmehr unstrittige Einschätzung hat bis vor kurzem keinen Niederschlag im Rechtsrahmen gefunden. Bis zur Verabschiedung des Gesetzes zur Umsetzung unionsrechtlicher Vorgaben und zur Regelung reiner Wasserstoffnetze im Energiewirtschaftsrecht vom 16. Juli 2021 war bereits die Einordnung von Wasserstoff im regulierten Netzbetrieb fraglich (Kalis 2019). Wasserstoff wurde bis vor kurzem außerhalb der Regulierung als ein ausschließlich zwischen Unternehmen vertriebenes Gut behandelt.

4.1 Wasserstoff, Wasserstoffwirtschaftsrecht und Wasserstoff-Infrastrukturplanung

Wasserstoff wird abseits der bereits zuvor bestehenden Einordnung als Biogas (§ 3 Nr. 19a EnWG) (vgl. Kalis 2019), nunmehr explizit als Energieträger aufgegriffen. Stellenweise wird von einem zumindest in Entstehung befindlichen Wasserstoffwirtschaftsrecht gesprochen (Hoffmann et al. 2021). Die Einführung einer zukünftigen Netzplanung Wasserstoff mit dem Zieljahr 2035 im Energiewirtschaftsrecht (§ 28q Abs. 1 EnWG) ermöglicht grundsätzlich auch den Betrieb von Wasserstoffnetzen und einer einschlägigen Wasserstoffinfrastrukturplanung. Darüber hinaus bestehen auf nationaler und europäischer Ebene zahlreiche weitere Regelungen, die unmittelbar und mittelbar Auswirkungen auf den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur haben. So sieht beispielsweise § 112b Nr. 2 EnWG die Erstellung eines Berichts durch die Bundesnetzagentur über „Erfahrungen und Ergebnisse mit der Regulierung von Wasserstoffnetzen sowie Vorschläge zu deren weiterer Ausgestaltung“ für die Bundesregierung bis zum 30. Juni 2025 vor.

Diese Regelungen können planerische Wirkung in zweifacher Hinsicht entfalten. Erstens, indem sie eine direkte gesetzliche Planungsentscheidung vornehmen, zweitens durch Beeinflussung der Planentscheidungen der Stakeholder. Nachfolgend sollen ausgewählte

Regelungen dahingehend untersucht werden, ob und inwieweit sie bereits eine systemische, also eine sektorenübergreifende, Betrachtung aufnehmen und zugleich Elemente eines planerischen Entscheidungsmodus aufzeigen. Hier werden sowohl die gesetzlichen Grundlagen zur Einführung eines nationalen Netzentwicklungsplans Wasserstoff als auch die europäischen Grundlagen für die Anforderungen an grünen Wasserstoff analysiert. Für die Untersuchung wurden die hierfür zu Grunde liegenden Normen ausgewählt, da sie zum einen erstmalig und ausdrücklich eine Wasserstoffinfrastrukturplanung aufgreifen und zum anderen, im Falle der europäischen Grundlagen, Gegenstand zahlreicher Stellungnahmen der Stakeholder waren. So war etwa der Diskurs um die Anforderungen an grünen Wasserstoff in der Erneuerbaren-Energie-Richtlinie Ausgangs- und Fixpunkt der anhaltenden Debatte zur Rolle von und Unterscheidung zwischen *grünem* und sogenanntem *low-carbon* Wasserstoff und den dahinter stehenden Infrastrukturen (zu Details der EU-Wasserstoffregulatorik siehe Bruch & Knodt 2023).

4.2 Systeme und Elemente der Systemplanung im bestehenden Recht des Wasserstoffs

Kern der Betrachtung sind hier § 28q *EnWG* und damit die Grundlage für einen nationalen Netzentwicklungsplan Wasserstoff sowie Art. 27 der *Erneuerbaren-Energie-Richtlinie* und der zugehörige *delegierte Rechtsakt* der Kommission zu den Anforderungen an grünen Wasserstoff.

4.2.1 Energiewirtschaftsgesetz

§ 28q Abs. 1 S. 1 *EnWG* verpflichtet die Wasserstoffnetzbetreiber, die sich durch Erklärung der Regulierung unterworfen haben (§ 28j Abs. 3 *EnWG*), sowie die Fernleitungsnetzbetreiber zur Abgabe eines Berichts an die Bundesnetzagentur zum aktuellen Ausbaustand des Wasserstoffnetzes und zur Entwicklung einer zukünftigen Netzplanung Wasserstoff mit dem Zieljahr 2035. Die übrigen Wasserstoffnetzbetreiber sind zur sachgerechten Zusammenarbeit verpflichtet (§ 28q Abs. 1 S. 1 *EnWG*). Gemäß § 28q Abs. 2 *EnWG* umfasst der Bericht mögliche Kriterien zur Berücksichtigung von Wasserstoffprojekten sowie An-

forderungen zur Ermittlung von Ausbaumaßnahmen. Diese Kriterien enthalten insbesondere die Anforderungen einer zukünftigen Bestimmung von Standorten für Power-to-Gas-Anlagen sowie Aufkommensquellen und Abnahmeregionen für Wasserstoff, wobei auch Wasserstoffspeicheranlagen zu berücksichtigen sind.

Mit § 28q *EnWG* hat der nationale Gesetzgeber erstmals die Grundlagen für eine Wasserstoff-Netzentwicklungsplanung gelegt. Doch weist die so eingeführte bzw. vorbereitete Netzentwicklungsplanung auch bereits wesentliche Elemente einer systemischen Planungsentscheidung auf? Erfolgt eine systemische, sektorübergreifende und vorgelagerte Planungsentscheidung auf ein Systemziel gerichtet, etwa ein integriertes Energiesystem?

§ 28q *EnWG* sieht mit dem Modus des Berichts zum Ausbaustand und zur zukünftigen Netzplanung Wasserstoff grundsätzlich einen mehrstufigen Prozess vor. Der Bericht der Wasserstoff- und Fernleitungsnetzbetreiber ist einer zukünftigen Netzentwicklungsplanung insoweit tatsächlich vorgelagert. Abseits der möglichen Empfehlungen der Bundesnetzagentur auf Grundlage des Berichts für die rechtliche Einführung eines verbindlichen Netzentwicklungsplans Wasserstoff besitzt § 28q *EnWG* jedoch keinerlei Entscheidungswirkung für eine zukünftige Netzentwicklungsplanung. Eine vorgelagerte Planungsentscheidung im Sinne einer Abschichtung der Abwägungsentscheidungen erfolgt damit nicht. Eine weitgehende Übernahme der Praxis bei den NEP Gas und Strom dürfte allerdings nicht zielführend sein. Denn bei Wasserstoff handelt es sich um einen Energieträger, bei dem Annahmen über die zur Verfügung stehenden Mengen als auch die Kosten mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Insofern kann eine Marktabfrage nach gewohntem Muster durch die Fernleitungsnetzbetreiber derzeit nur wenig belastbare Daten liefern. Vielmehr sollte stärker berücksichtigt werden, wo Fördermittel bereits vergeben wurden oder voraussichtlich vergeben werden, um den tatsächlichen Bedarf realistischer abzuschätzen.

Der so eingeführte Bericht als Vorlage für eine mögliche zukünftige Netzentwicklungsplanung Wasserstoff ist auch – trotz der dem Wasserstoff inhärenten System- und Sektorenkopplungsrolle – nicht systemisch und sektorenübergreifend. Richtigerweise sind im Bericht auch Power-to-Gas Anlagen und damit Wechselwirkungen mit dem Stromsektor zu berücksichtigen. Ausdrücklich sind auch Wechselwirkungen mit dem Netzentwicklungsplan Gas zu beachten. Abseits dieser spezifischen Verknüpfung von Stromsektor und

Gasnetzplanung erfolgt keine Betrachtung anderer Sektoren oder gar des gesamten Energiesystems. Im Sinne der obigen Ausführungen zur systemischen Bedeutung von Wasserstoff, stellt die bislang fehlende Kopplung mit der Stromnetzplanung eine erhebliche regulative Unsicherheit dar.

Abgesehen vom Bericht der Wasserstoff- und Fernleitungsnetzbetreiber ruht § 28q EnWG auch kein eigenständiges Systemziel im Sinne eines integrierten Energiesystems inne. Abseits der allgemeinen Ziele des Energiewirtschaftsgesetzes zielt § 28q EnWG zunächst auf eine mögliche zukünftige Netzplanung Wasserstoff 2035. Ausgehend hiervon erfolgt mit dem neu eingeführten Paragraphen lediglich eine Einführung bzw. Vorbereitung einer Netzplanung Wasserstoff, integriert in die bestehende fragmentierte sektorale Infrastrukturplanung. Ungeachtet der dem Wasserstoff als Schlüsselement der Sektorenkopplung inhärenten Funktion im Energiesystem, wird mit der Vorbereitung einer Netzplanung Wasserstoff keine systemische Betrachtung eingeführt.

4.2.2 Erneuerbare-Energien-Richtlinie

Mit der Zweitfassung der Erneuerbaren-Energie-Richtlinie (RL 2018/2001/EU, kurz RED II) greift die Europäische Union erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs (RFNBO) als Erneuerbare Energie im Verkehrssektor auf (Art. 2 Nr. 36 RED II). Im Fokus steht hierbei der Einsatz von Wasserstoff. Für die Ermittlung des Anteils an Erneuerbaren Energien beim Einsatz von Wasserstoff, der unter Einsatz von Elektrizität produziert wurde, wird zunächst der durchschnittliche Anteil Erneuerbarer Energien im Stromnetz zwei Jahre vor Ermittlungszeitpunkt herangezogen (Art. 27 Abs. 3 UAbs. 5 RED II). Abweichend hiervon kann aus dem Netz entnommene Elektrizität – eingesetzt zur Produktion von Wasserstoff – vollständig als Erneuerbare Energie angerechnet werden, wenn sie ausschließlich mittels Erneuerbarer Energiequellen produziert wurde und nachweislich die Eigenschaften Erneuerbarer Energie aufweist sowie sonstige entsprechende Kriterien erfüllt, so dass sichergestellt ist, dass ihre Eigenschaften als Erneuerbare Energie nur einmal und nur in einem Endverbrauchssektor geltend gemacht werden (Art. 27 Abs. 3 UAbs. 6 RED II). Unter welchen Bedingungen diese Anforderungen als erfüllt und nachgewiesen gelten, bleibt in der Richtlinie zunächst offen. Gemäß Art. 27 Abs. 3 UAbs. 7 RED II oblag es der Kommission bis zum 31. Dezember 2021 in einem delegierten Rechtsakt die

Einführung einer europäischen Methode zur Einhaltung der Anforderungen zu erlassen. Mit dem (nicht verbindlichen) „Erwägungsgrund 90“ der Richtlinie wurden wesentliche Kriterien eingeführt: Erstens soll der RFNBO-Produzent einen bilateralen Vertrag über den Bezug von erneuerbarem Strom geschlossen haben; zweitens sollen die Strom- und Kraftstoffproduktion zeitlich und geografisch korrelieren; drittens soll ein Element der „Zusätzlichkeit“ gewährleisten, dass der Kraftstoffproduzent zusätzlich zur Nutzung oder Finanzierung erneuerbarer Quellen beiträgt. Mit dem zwischenzeitlich verabschiedeten delegierten Rechtsakt wurde insbesondere dieses Element der Zusätzlichkeit dahingehend umgesetzt, dass die Stromerzeugungsanlage den Betrieb nicht früher als 36 Monate vor der Wasserstoffproduktionsanlage aufnehmen darf. Gemeint ist die erste Inbetriebnahme oder die Inbetriebnahme nach dem Repowering, das mindestens 30 % der Investitionskosten für eine vergleichbare Neuanlage übersteigen muss. Mithin muss eine zusätzliche Erzeugungskapazität im Stromsektor geschaffen werden.

Richtigerweise ist der delegierte Rechtsakt als Konkretisierung von *Art. 27 Abs. 3 UAbs. 6 RED II* kein originäres Planungsinstrument des europäischen Gesetzgebers. Jedoch wird der Rechtsakt tatsächliche planerische Wirkung haben bzw. Auswirkungen auf die tatsächlichen Planungsprozesse der Stakeholder nehmen, womit auch dessen konfliktreiche Entstehungsgeschichte erklärt werden kann (Kern et al. 2023). Der delegierte Rechtsakt gibt nicht nur Anforderungen zum Nachweis des Einsatzes von Erneuerbaren Energien bei der elektrolytischen Wasserstoffproduktion an, sondern verbindet hierüber gerade den Stromsektor, den Verkehrssektor und, mit Blick auf die Anpassung der RED II und Erweiterung des Anwendungsbereichs des Wasserstoffs, den Industriesektor. Die Anforderungen an die Zusätzlichkeit der Erzeugungskapazität im Stromsektor stehen damit in Wechselwirkung zu den Bedarfen und der Nachfrage auf Seiten des Verkehrs- und Industriesektors.

Auch hier stellt sich daher die Frage, ob und inwieweit mit dem delegierten Rechtsakt und *Art. 27 RED II* bereits eine systemische, sektorübergreifende und vorgelagerte Entscheidung mit planungsähnlicher Wirkung eingeführt wird.

Mit Blick auf das Kriterium der mengenmäßigen Zusätzlichkeit und damit der Notwendigkeit eines Zubaus von Erneuerbaren-Energien-Anlagen, hier umgesetzt in Form der Anforderungen an den Inbetriebnahmezeitpunkt, entfaltet *Art. 27 RED II* in Verbindung mit

dem delegierten Rechtsakt durchaus eine vorgelagerte Entscheidungswirkung. So hat die für die Anrechnung von Wasserstoff im Verkehrssektor sogleich notwendige Anlagenplanung, hier also sowohl der Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien als auch der Kraftstoffproduktionsanlage (Elektrolyseur), abseits der bestehenden Übergangsregelungen erhebliche Auswirkungen auf den Aufbau von Geschäftsmodellen und wohl auch Standortfragen. Für die Planung eines Elektrolyseurs zur Produktion von Wasserstoff (als erneuerbarer Kraftstoff im Sinne der RED II) stellt das Kriterium der mengenmäßigen Zusätzlichkeit eine vorgelagerte Entscheidung dar. Diese entfaltet eine Wirkung auf die Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien bzw. die Errichtung entsprechender Kapazitäten.

Das Kriterium der Zusätzlichkeit ist zudem ausdrücklich auf eine sektorenübergreifende und systemische Betrachtung gerichtet, zielt es doch darauf, eine Kannibalisierung von Erneuerbaren Energien zu vermeiden und damit insgesamt zu einer Defossilisierung im gesamten Energiesystem beizutragen. Dabei zielt *Art. 27 RED II* in Verbindung mit dem delegierten Rechtsakt explizit auf die Kopplung mehrerer Sektoren.

In diesem Sinne wird mit dem Kriterium der Zusätzlichkeit zugleich ein der Richtlinie und dem delegierten Rechtsakt zu Grunde liegendes Systemziel deutlich. Das Vermeiden bloßer Verschiebungen von Erneuerbaren Energien aus einem Sektor in einen anderen, verbunden mit der Kopplung von Sektoren und Defossilisierung dieser, ist gerade Ausdruck eines integrierten Energiesystems. Mit *Art. 27 RED II* und dem delegierten Rechtsakt schafft der europäische Gesetzgeber somit durchaus Grundlagen für vorgelagerte, systemische Entscheidungen unter Beachtung des Systemziels eines integrierten Energiesystems.

5. Ergebnisse

Ausgangspunkt dieser Ariadne-Analyse war die Annahme, dass Wasserstoff ein zentrales Element der Sektorenkopplung darstellt, dem zukünftig eine Schlüsselrolle in der Energiewende zukommen wird.

Die Analyse fußt auf zwei Prämissen: Erstens, dass Wasserstoff und insbesondere die Wasserstoffinfrastruktur sinnvollerweise nur in einer Systementwicklungsperspektive zu diskutieren ist, die das gesamte Energiesystem in den Blick nimmt; zweitens der Einsicht, dass dessen ungeachtet weder ein abgeschlossenes Planungsregime für die Wasserstoffinfrastruktur noch eine Systementwicklungsplanung vorliegt. Diese Lücke wird auch vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz adressiert, das eine Systementwicklungsstrategie als lernenden, wiederkehrenden Prozess zur Ausgestaltung der Sektorenkopplung initiiert hat (BMWK 2022).

Ausgehend von diesen Prämissen und dem Vorschlag einer Systementwicklungsplanung der Dena, wurden anhand dreier Kriterien einer solchen systemischen Planung der geltende Rechtsrahmen sowie einschlägige Stakeholderdokumente dahingehend untersucht, ob sie bereits jetzt eine systemische Betrachtung von Wasserstoff aufweisen. Analysiert wurde also, ob eine sektorenübergreifende, systemische Betrachtung, die weiteren Planschritten vorgelagerte Entscheidung, das heißt Abschtichtung, sowie die Entscheidung im Hinblick auf ein zuvor definiertes Systemziel, erfolgt. Damit sollte erstmals illustriert werden, inwiefern sowohl Stakeholder aus den Bereichen Wirtschaft, Wissenschaft, Beratung und NGO als auch die derzeitige Rechtsentwicklung die systemische Funktionsweise von Wasserstoff und Wasserstoffinfrastruktur berücksichtigen.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass entgegen dieser Ausführungen Stakeholder nur teilweise einen systemischen Blick auf Wasserstoff haben. Wissenschaftliche Akteure heben die systemische Bedeutung von Wasserstoff eher hervor, was abgeschwächt auch für Beratungsunternehmen und NGOs gilt. Aber gerade bei wirtschaftlichen Akteuren, die ja zu den Nutzern bzw. Herstellern von Wasserstoff gehören, dominiert vielfach ein quasi sektoraler Blick, der Wasserstoffinfrastruktur aus der eigenen Perspektive in den Blick nimmt. Mögliche Interdependenzen und damit auch Schranken, die durch die Infrastruktur geschaffen werden, bleiben hier außen vor. Richtigerweise ist eine systemische Betrachtung

in zahlreichen Ausführungen zu einem zukünftigen Wasserstoffnetz impliziert. Es fehlt jedoch durchgehend eine starke Positionierung zur Notwendigkeit einer vorgelagerten und sektorenübergreifenden Betrachtung. Hierzu finden sich nur wenige einschlägige Aussagen. Vielmehr kreisen viele der Ausführungen um einzelne Fragen der Wasserstoffherstellung und die Umwidmung und Weiternutzung der Erdgasinfrastruktur bzw. den Aufbau von Wasserstoff-Inselnetzen. So kann sich für Wasserstoff und die Wasserstoffinfrastruktur durchaus das Bild eines „content-switch“ und einer weiterhin sektorenscharf getrennten Betrachtung der Infrastrukturen aufdrängen. Hier ist es notwendig zu beobachten, inwieweit die im Juli 2023 erfolgte stärkere Konkretisierung der Netzplanung durch die Fernleitungsnetzbetreiber Gas insbesondere von den wirtschaftlichen Stakeholdern in Planungsprozesse einbezogen wird. Es ist anzunehmen, dass die nun weitergeführte Modellierung des Wasserstoffkernnetzes und die Verknüpfung mit der Verteilnetzebene wirtschaftliche Akteure dazu bewegen, ihre Positionen zu schärfen, sofern konkrete Förder- und Investitionsentscheidungen betroffen sind. Dies konnte aufgrund des Erhebungszeitraums der Daten noch nicht in die Analyse einbezogen werden.⁴

Noch weniger berücksichtigen einschlägige Rechtsvorschriften die systemische Bedeutung von Wasserstoff. Beachtenswert ist dabei unter anderem, dass die bestehenden nationalen Vorschriften zur Einführung einer Wasserstoffnetzplanung wenig bis gar keine Bezugnahme zur systemischen Funktionsweise von Wasserstoff aufweisen. Ein erster Schritt zu einer stärkeren Integration könnte in der wechselseitigen Verzahnung der Wasserstoff- und Stromnetzplanung bestehen, die über die Berücksichtigung von Einzelaspekten wie Power-to-Gas-Anlagen hinausgeht.

Demgegenüber legen die europäischen Vorschriften zur Anwendung von grünem Wasserstoff im Verkehrs- und zukünftig Industriesektor deutlich eine systemische und sektorenübergreifende Betrachtung an. Gerade diese war sodann Gegenstand zahlreicher politischer Auseinandersetzungen von Stakeholdern und zwischen Mitgliedsstaaten der EU.

⁴ Im laufenden Projekt Ariadne II soll eine systematische Untersuchung auf Ebene der Verteilnetzbetreiber und der von diesen getätigten Marktabfragen erfolgen, wodurch auch die potentiellen Nutzer erfasst werden.

6. Fazit und nächste Schritte

Folgt man der obigen Prämisse zur Schlüsselrolle, systemischen Funktionsweise und notwendigerweise systemischen Betrachtung von Wasserstoff und Wasserstoffinfrastrukturen, erweisen sich die bisherigen Regelungen als stark im bestehenden, sektoral differenzierten Energiesystem verhaftet. Dies gilt auch für die Positionierung insbesondere der wirtschaftlichen Akteure, während wissenschaftliche Stakeholder stärker eine systemische Perspektive einnehmen. Für die sachgerechte Implementierung von Wasserstoff und einer Wasserstoffinfrastruktur auf dem Weg zu einem integrierten Energiesystem bedarf es aber einer stärker systemischen Betrachtung, unabhängig von einer noch zu etablierenden Systementwicklungsplanung. Daraus folgt jedoch keineswegs, dass für die Einführung eines adäquaten Rahmens für die Wasserstoffinfrastruktur auf den Diskurs und die Verabschiedung einer vollumfänglichen Systementwicklungsplanung gewartet werden soll. Vielmehr kann und muss bereits im geltenden Rechtsrahmen, unabhängig von einer solchen integrierten Systemplanung, Wasserstoff systemisch mitgedacht und entsprechend sektorenübergreifend adressiert werden.

Literaturangaben

- Adam, P.; Heunemann, F.; von dem Bussche, C.; Engelshove, S.; Thiemann, T. (2021): Hydrogen infrastructure – the pillar of energy transition. The practical conversion of long-distance gas networks to hydrogen operation. https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:3d4339dc-434e-4692-81a0-a55adbcaa92e/200915-whitepaper-h2-infrastructure-en.pdf?ste_sid=fb01735800f16085602bb7e9463e77c2 (abgerufen am 05.10.2023).
- Agora Energiewende (2021): Making renewable hydrogen cost-competitive (Study). Policy instruments for supporting green H2. Agora Energiewende, Berlin.
- Agora Energiewende, Agora Industrie (2022): 12 Thesen zu Wasserstoff. Agora Energiewende, Berlin.
- AirLiquide (2022a): Air Liquide ist neues Mitglied im Wasserstoff-Verein Hy.Region.Rhein.Ruhr. <https://de.airliquide.com/news/air-liquide-ist-neues-mitglied-im-wasserstoff-verein-hyregionrheinruhr> (abgerufen am 05.10.2023).
- AirLiquide (2022b): Wasserstoffanlagen: Unsere Wasserstoff-Pipeline. <https://de.airliquide.com/unser-equipment/wasserstoffanlagen#:~:text=Die%20AIR%20LIQUIDE%20Deutschland%20GmbH,Wasserstoff%20in%20ganz%20Europa%20betrieben> (abgerufen am 05.10.2023).
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2021a): Beitrag der Gasverteilernetze zur Erreichung der Klimaziele. https://www.bdew.de/media/documents/20211207_Begleitpapier_H2-in-GasVN.pdf (abgerufen am 05.10.2023).
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2021b): Wasserstoffmarkt – ein Commodity Handelssystem. Von den Evolutionsschritten des Erdgasmarktes zu einem zukünftigen Wasserstoffmarktdesign. https://www.bdew.de/media/documents/2021-07-BDEW_Positionspapier_Wasserstoffmarkt-Commodity_Handelssystem.pdf (abgerufen am 05.10.2023).
- Bruch, N.; Knodt, M. (2023): A Coherent Regulatory Framework for Low Carbon Hydrogen in the European Union, Ariadne Analyse. Potsdam: Kopernikus-Projekt Ariadne.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie, Strategiepapier. Berlin.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2021): Dialog klimaneutrale Wärme. Zielbild, Bausteine und Weichenstellungen 2030/2050, Impulspapier, Berlin.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022): Pressemitteilung zur Systementwicklungsstrategie als Rahmen für die Transformation zum klimaneutralen Energiesystem. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/10/20221014-systementwicklungsstrategie-als-rahmen-fur-die-transformation-zum-klimaneutralen-energiesystem.html> (abgerufen am 05.10.2023).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023): Wohlstand klimaneutral erneuern. Werkstattbericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Berlin. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/werkstattbericht-des-bmwk.pdf?__blob=publicationFile&v=14 (abgerufen am 05.10.2023).
- Bundesnetzagentur (2020a): Dialog klimaneutrale Wärme. Zielbild, Bausteine und Weichenstellungen 2030/2050, Impulspapier.
- Bundesnetzagentur (2020b): Regulierung von Wasserstoffnetzen – Bestandsaufnahme, Bericht.
- Bundesnetzagentur (2022): Bewirtschaftungskonzept für schwimmende LNG-Terminals bis 2024 im Einklang mit den Regulierungszielen. Pressemitteilung. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Presse/Pressemitteilungen/2022/20220928_FSRU.pdf;jsessionid=5CC43370880D8340436B2BD43C607047?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 05.10.2023).
- Buus, M. (2018): Bedarfsplanung durch Gesetz, Baden-Baden, Nomos-Verlag.

- DENA (2022): Abschlussbericht dena-Netzstudie III. Stakeholderdialog zur Weiterentwicklung der Planungsverfahren für Energieinfrastrukturen auf dem Weg zum klimaneutralen Energiesystem.
https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/Abschlussbericht_dena-Netzstudie_III.pdf (abgerufen am 05.10.2023).
- Deutsche Umwelthilfe (2021): Mythenpapier: Wasserstoff für Gebäudewärme.
https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Pressemitteilungen/Energie/Wasserstoff/Mythenpapier_Wasserstoff_f%C3%BCr_Geb%C3%A4ude.pdf (abgerufen am 05.10.2023).
- DIHK (Deutscher Industrie- und Handelskammertag) (2020): Wasserstoff: DIHK-Faktenpapier, Berlin.
- Edenhofer, O.; Grimm, V.; Haug, G.; Marotzke, J.; Marquardt, W.; Schlögl, R.; Schmidt, C.M.; Schüth, F.; Wagner, U. (2023): Den kritischen Zeitpunkt nicht verpassen: Leitideen für die Transformation des Energiesystems. Halle (Saale), Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina.
- Egenolf-Jonkmanns, B.; Glasner, C.; Seifert, U.; Küper, M.; Schaefer, T.; Merten, F.; Scholz, A.; Taubitz, A.; Heck, S.; Lange, S. (2021): Wasserstoffimporte. Bewertung der Realisierbarkeit von Wasserstoffimporten gemäß der Zielvorgaben der Nationalen Wasserstoffstrategie bis zum Jahr 2030. Ein Ergebnis der Themenfelder 1 (Technologien und Infrastrukturen) und 4 (Rahmenbedingungen und Geschäftsmodelle) des Forschungsprojektes SCI4Climate.NRW.
<https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/pressemitteilungen/2021/Bereitstellung%20von%20Wasserstoff%20bis%202030.pdf> (abgerufen am 05.10.2023).
- Engelbert, J. (2019): Die abschichtende Planungsentscheidung unter Vorläufigkeitsbedingungen, Baden-Baden, Nomos Verlag.
- Eon (2022): H2Bilanz: Das H2-Netz ist das Rückgrat der Energiewende.
<https://www.eon.com/de/wasserstoff/h2-bilanz/infrastruktur.html> (abgerufen am 10.11.2022).
- ESYS (Akademieprojekt Energiesysteme der Zukunft) (2017). Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende, Stellungnahme, München.
- Europäische Kommission (2020): Eine Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa. COM(2020) 301 final.
- Europäische Kommission (2022a): In focus: Renewable hydrogen to decarbonise the EU's energy system. https://ec.europa.eu/info/news/renewable-hydrogen-decarbonise-eus-energy-system-2022-nov-15_en?pk_campaign=ENER%20Newsletter%20NOVEMBER%202022 (abgerufen am 16.11.2022).
- Europäische Kommission (2022b): REPowerEU-Plan. COM(2022) 230 final.
- Europäische Kommission (2022c): Staatliche Beihilfen: Kommission genehmigt von 15 Mitgliedsstaaten geplante öffentliche Förderung von bis zu 5,4 Mrd. EUR für wichtiges Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse in der Wertschöpfungskette der Wasserstofftechnologie. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_22_4544 (abgerufen am 05.10.2023).
- Europäische Kommission (2022d): Staatliche Beihilfen: Kommission genehmigt von 13 Mitgliedsstaaten geplante öffentliche Förderung von bis zu 5,2 Mrd. EUR für das zweite wichtige Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse in der Wasserstoff-Wertschöpfungskette. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_22_5676 (abgerufen am 05.10.2023).
- European Hydrogen Backbone (EHB) (2022): The European Hydrogen Backbone (EHB) initiative. <https://ehb.eu/> (abgerufen am 05.10.2023).
- Fernleitungsnetzbetreiber Gas (FNB Gas) (2020): Karte für ein visionäres Wasserstoffnetz: Fernleitungsnetzbetreiber veröffentlichen Karte für visionäres Wasserstoffnetz. <https://fnb-gas.de/news/fernleitungsnetzbetreiber-veroeffentlichen-karte-fuer-visionaeres-wasserstoffnetz/> (abgerufen am 05.10.2023).
- Fernleitungsnetzbetreiber Gas (FNB Gas) (2022): Wasserstoffbericht: Bericht zum aktuellen Ausbaustand des Wasserstoffnetzes und zur Entwicklung einer zukünftigen Netzplanung

- Wasserstoff gemäß § 28q EnWG. https://fnb-gas.de/wp-content/uploads/2022/08/2022-09-01_FNB-Gas_Wasserstoffbericht.pdf (abgerufen am 05.10.2023).
- Fernleitungsnetzbetreiber Gas (FNB Gas) (2023): Planungsstand Wasserstoff-Kernnetz. https://fnb-gas.de/wp-content/uploads/2023/07/2023-07-12_FNB-Gas_Planungsstand-Wasserstoff-Kernnetz.pdf (abgerufen am 05.10.2023).
- GASAG AG (2022): Wasserstoff-Infrastruktur: Das Netz für die neue Energie. <https://www.gasag.de/magazin/nachhaltig/wasserstoff-infrastruktur> (abgerufen am 05.10.2023).
- GP JOULE (2020): eFarm – Wasserstoff echt nordisch: GP JOULE startet größtes, grünes H₂-Mobilitätsprojekt in Deutschland. <https://www.gp-joule.de/newsroom/presse/artikel/efarm-wasserstoff-echt-nordisch> (abgerufen am 16.11.2022).
- Gracceva, F., Zeniewski, P. (2014): A systemic approach to assessing energy security in a low-carbon EU energy system. *Applied Energy*, 123, S. 335-348. doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.048
- Grinschgl, J.; Pepe, J.; Westphal, K. (2021): Eine neue Wasserstoffwelt. Geotechnologische, geoökonomische und geopolitische Implikationen für Europa. SWP Aktuell Nr. 78. <https://www.swp-berlin.org/publikation/eine-neue-wasserstoffwelt> (abgerufen am 05.10.2023).
- H2BZ Hessen (2012): Wasserstoff- Tankstellen Ein Leitfaden für Anwender und Entscheider. Band 1 der Schriftenreihe Wasserstoff und Brennstoffzellen, Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- Hoffmann, B.; Halbig, A.; Senders, J.; Nysten, J.; Antoni, O.; Müller, T. (2021): Auf dem Weg zum Wasserstoffwirtschaftsrecht? Rechtsgrundlagen und Entwicklungslinien für die Regulierung der grünen Wasserstoffwirtschaft. Würzburger Studien zum Umweltenergierecht. https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2021/07/Stiftung_Umweltenergierecht_Wuerzburger-Studie-zum-Umweltenergierecht_21_Wasserstoffwirtschaftsrecht_2021-07-12-2.pdf (abgerufen am 05.10.2023).
- HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e.V. (2020): „H₂R -Wasserstoff Rheinland“ – Präsentation des Konzeptes am Flughafen Köln-Bonn. <https://www.hycologne.de/h2r-wasserstoff-rheinland-praesentation-des-konzeptes-am-flughafen-koeln-bonn/> (abgerufen am 05.10.2023).
- IG Metall (2021): Sieben Forderungen an die Politik – Was die künftige Bundesregierung in Sachen Wasserstoff angehen muss. https://www.igmetall.de/download/20210930_IG_Metall_Wasserstofftagung_Forderungen_3281336380ebf0109e5042f4d51e3c9ffead73a6.pdf (abgerufen am 05.10.2023).
- Kalis, M. (2019): Rechtsrahmen für ein H₂-Teilnetz. Nukleus einer bundesweiten, öffentlichen Wasserstoffinfrastruktur. <https://usercontent.one/wp/www.ikem.de/wp-content/uploads/2021/03/Rechtsrahmen-fuer-ein-H2-Teilnetz.pdf?media=1667839188> (abgerufen am 05.10.2023).
- Kalis, M.; Antoni, J. (2022): Was lange währt, wird endlich „grün“ – RFNBOs und die Anforderungen an grünen Wasserstoff im Recht der Europäischen Union. *EnWZ* 2022, 243.
- Kemmerzell, J.; Flath, L.; Knodt, M. (2021): „Champagner“ oder „Tafelwasser“ der Energiewende: Wie weiter mit dem Wasserstoff in der nächsten Bundesregierung? Ariadne Hintergrund. Potsdam, Kopernikus-Projekt Ariadne. <https://ariadneprojekt.de/publikation/champagner-oder-tafelwasser-der-energiewende-wasserstoff-bundesregierung/> (abgerufen am 05.10.2023).
- 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.
- Knodt, M.; Rodi, M.; Flath, L.; Kalis, M.; Kemmerzell, J.; Leukhardt, F.; Flachsland, C. (2022): Mehr Kooperation wagen: Wasserstoff-Governance im deutschen Föderalismus. Interterritoriale Kooperation, Planung und Regulierung. Ariadne Analyse. Potsdam, Kopernikus-Projekt Ariadne.

- <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoffgovernance-im-deutschen-federalismus/> (abgerufen am 05.10.2023).
- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) (2022): Energiesicherheit: Versorgung mit Flüssiggas LNG. https://www.kfw.de/stories/energiesicherheit_film.html (abgerufen am 05.10.2023).
- Luhmann, N. (2015): Die Paradoxie des Entscheidens. In: Balke, F.; Schwering, G.; Stäheli, U. (Hg.): Paradoxien der Entscheidung. Wahl/ Selektion in Kunst Literatur und Medien. S. 18-55.
- Matthes, F.; Heinemann, C.; Hesse, T.; Karsten, P.; Mendelewitsch, R.; Seebach, D.; Timpe, C.; Cook, V. (2020): Wasserstoff sowie wasserstoffbasierte Energieträger und Rohstoffe. Eine Überblicksuntersuchung. Berlin. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Wasserstoff-und-wasserstoffbasierte-Brennstoffe.pdf> (abgerufen am 05.10.2023).
- Meyer, R.; Herkel, S.; Kost, C. (2021): Die Rolle von Wasserstoff im Gebäudesektor – Vergleich technischer Möglichkeiten und Kosten defossilisierter Optionen der Wärmeerzeugung. Ariadne Analyse. Potsdam, Kopernikus-Projekt Ariadne. <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoff-im-gebauedesektor/> (abgerufen am 05.10.2023).
- Müller-Syring, G.; Henel, M.; Poltrum, M.; Wehling, A.; Dannenberg, E.; Glandien, J.; Krause, H.; Möhrke, F.; Zdrallek, M.; Ortloff, F. (2018): Transformationspfade zur Treibhausgasneutralität der Gasnetze und Gasspeicher nach COP 21, energie wasser praxis.
- Nationaler Wasserstoffrat (Hg.) (2021): Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021-2025. https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021-07-02_NWR-Wasserstoff-Aktionsplan.pdf (abgerufen am 05.10.2023).
- Odenweller, A.; George, J. F.; Müller, V. P.; Verpoort, P. C.; Gast, L.; Pfluger, B.; Ueckerdt, F. (2022): Wasserstoff und die Energiekrise: fünf Knackpunkte. Ariadne Analyse. Potsdam, Kopernikus-Projekt Ariadne. <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoff-und-die-energiekrise-funf-knackpunkte/> (abgerufen am 05.10.2023).
- Piria, R.; Honnen, J.; Pfluger, B.; Ueckerdt, F.; Odenweller, A. (2021): Wasserstoffimportsicherheit für Deutschland: Zeitliche Entwicklung, Risiken und Strategien auf dem Weg zur Klimaneutralität. Ariadne Analyse. Potsdam, Kopernikus-Projekt Ariadne. <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoffimportsicherheit-fuer-deutschland-zeitliche-entwicklung-risiken-und-strategien-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitaet/> (abgerufen am 05.10.2023).
- Rose, P.; Wietschel, M.; Gnann, T. (2020): Wie könnte ein Tankstellenaufbau für Brennstoffzellen-Lkw in Deutschland aussehen? Working Paper Sustainability and Innovation No. S 09/2020. Karlsruhe, Fraunhofer ISI.
- RWE Gas Storage West GmbH (2022): Planungen für Wasserstoffspeicher in Gronau laufen an. <https://www.rwe.com/presse/rwe-gasstorage-west-gmbh/2022-03-04-planungen-fuer-wasserstoffspeicher-in-gronau-laufen-an/> (abgerufen am 05.10.2023).
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (2021): Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse. Berlin.
- Ueckerdt, F.; Pfluger, B.; Odenweller, A.; Günther, C.; Knodt, M.; Kemmerzell, J.; Rehfeldt, M.; Bauer, C.; Verpoort, P. C.; Gils, H. C.; Luderer, G. (2021): Durchstarten trotz Unsicherheiten: Eckpunkte einer anpassungsfähigen Wasserstoffstrategie. Wie die Politik Wasserstoffpfade hin zur Klimaneutralität 2045 finden kann. Ariadne Kurzdossier. Potsdam, Kopernikus-Projekt Ariadne. <https://ariadneprojekt.de/publikation/eckpunkte-einer-anpassungsfahigen-wasserstoffstrategie/> (abgerufen am 05.10.2023).
- Verband der chemischen Industrie e.V. (2021): VCI-Stellungnahme zum: Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung unionsrechtlicher Vorgaben zur Regelung reiner Wasserstoffnetze im Energiewirtschaftsrecht. <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/firstspirit-16251246836502021-01-27-vci-sn-enwg-novelle-final.pdf> (abgerufen am 05.10.2023).
- Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (2020): Wasserstoffnetze nicht zu Lasten der Verbraucher finanzieren und regulieren. Positionspapier des Verbraucherzentrale Bundesverbands zur Regulierung von Wasserstoffnetzen.

https://www.vzbv.de/sites/default/files/2020_09_25_vzbv_position_h2_final-br.pdf (abgerufen am 05.10.2023).

Wachsmuth, J.; Michaelis, J.; Neumann, F.; Wietschel, M.; Duscha, V.; Degünther, C.; Köppel, W.; Zubair, A. (2019): Roadmap Gas für die Energiewende – Nachhaltiger Klimabeitrag des Gassektors, Bericht. Karlsruhe, Fraunhofer ISI.

Wang, A.; van der Leun, K.; Peters, D.; Buseman, M. (2020): European Hydrogen Backbone. How a dedicated Hydrogen Infrastructure can be created. Utrecht, Guidehouse.

https://ehb.eu/files/downloads/2020_European-Hydrogen-Backbone_Report.pdf (abgerufen am 05.10.2023).

Anhang

Nennung und Eingruppierung der Stakeholder:

Wissenschaft: Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum, DIW, Fraunhofer-Gesellschaft, FZ Jülich, Stiftung Wissenschaft und Politik

Beratung: adelphi, Agora Energiewende, Deutsche Energie Agentur (DENA), E3G, IKEM, Nationaler Wasserstoffrat, Öko-Institut e.V., Sachverständigenrat für Umweltfragen, Stiftung Klimaneutralität

NGO: Deutsche Umwelthilfe, Greenpeace Energy, Verbraucherzentrale Bundesverband

Verbände: bdew, BDI, bne, Deutscher Städtetag, DIHK, DVGW, FNB Gas, IG Metall, VCI, VKU, VIK, Zukunft Gas

Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. (DWV): ABO Wind AG, AGFW – Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., Air Liquide Advanced Technologies GmbH, Air Products GmbH, Airbus Operations GmbH, ALSTOM Transport Deutschland GmbH, ArcelorMittal Germany Holding GmbH, Aspens GmbH, Bayerische Motoren Werke AG, bbs – Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., BeBa H2 Speichersysteme GmbH & Co. KG, BVEG – Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., BWO – Bundesverband Windparkbetreiber offshore e.V., DACHSER Service und Ausbildungs GmbH, Daimler Truck AG, DCSP – Deutscher Industrieverband Concentrated Solar Power e.V., DEBRIV – Deutscher Braunkohlen-IndustrieVerein e.V., Deutsche Kreditbank AG, DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., DWV – Der Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V., EFET Deutschland – Verband Deutscher Energiehändler e.V., eFuel Alliance e.V., en2x – Wirtschaftsverband Fuels und Energie e.V., E.ON Hydrogen GmbH, Europäisches Institut für Energieforschung EDF-KIT-EWIV, IFAM, GASAG AG, GP Joule Hydrogen GmbH, GEODE, Graforce GmbH, Grant Thornton AG, H-TEC Systems GmbH, HyCologne e.V., HYPOS e.V., INES – Initiative Energien Speichern e.V., Maritime LNG Plattform e.V., McPhy Energy Deutschland GmbH, NEUMANN & ESSER GmbH & Co. KG, Nowega GmbH, ONTRANS Gastransport GmbH, Orsted Wind Power Germany GmbH, RWE AG, Salzgitter AG, Siemens Energy AG, Storengy Deutschland GmbH, thyssenkrupp Steel Europe AG, TotalEnergies Marketing Deutschland GmbH, TÜV SÜD Industrieservice GmbH, Uniper Hydrogen GmbH, VDA – Verband der Automobilbranche e.V., VDI – Verband Deutscher Ingenieure e.V., VDIK – Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e.V., ver.di – Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft, VIK – Verband der Industriellen Energie- & Kraftwirtschaft e.V., VKU – Verband kommunaler Unternehmen e.V., WV Stahl – Wirtschaftsvereinigung Stahl, Zukunft Metropolregion Rhein-Neckar e.V.



Der rote Faden durch die Energiewende: Das Kopernikus-Projekt Ariadne führt durch einen gemeinsamen Lernprozess mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, um Optionen zur Gestaltung der Energiewende zu erforschen und politischen Entscheidern wichtiges Orientierungswissen auf dem Weg zu einem klimaneutralen Deutschland bereitzustellen.

Folgen Sie dem Ariadnefaden:

 @AriadneProjekt

 Kopernikus-Projekt Ariadne

 ariadneprojekt.de

Mehr zu den Kopernikus-Projekten des BMBF auf kopernikus-projekte.de

Wer ist Ariadne? In der griechischen Mythologie gelang Theseus durch den Faden der Ariadne die sichere Navigation durch das Labyrinth des Minotaurus. Dies ist die Leitidee für das Energiewende-Projekt Ariadne im Konsortium von 27 wissenschaftlichen Partnern. Wir sind Ariadne:

adelphi | Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) | Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) | Ecologic Institute | Forschungsinstitut für Nachhaltigkeit – Helmholtz-Zentrum Potsdam (RIFS) | Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems (CINES) | Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg | Hertie School | ifo Institut – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München | Institut der deutschen Wirtschaft Köln | Julius-Maximilian-Universität Würzburg | Mercator Research Institutes on Global Commons and Climate Change (MCC) | Öko-Institut | Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) | RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | Stiftung Umweltenergierecht | Stiftung Wissenschaft und Politik | Technische Universität Berlin | Technische Universität Darmstadt | Technische Universität München | Universität Duisburg-Essen | Universität Greifswald | Universität Hamburg | Universität Potsdam | Universität Stuttgart – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) | ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung