



Auf dem Weg zur Klimaneutralität: Einflussgrößen für eine gelingende Trans- formation des Energiesystems –

Einblicke in die Perspektiven von Akteur*innen (2022)

Vorwort

Die notwendige Transformation des Energiesystems stellt uns alle – jeden Einzelnen, jedes Unternehmen, jede Institution und natürlich auch uns als Gesellschaft insgesamt – vor erhebliche Herausforderungen. Vor allem im Kontext der aktuellen politischen Lage, des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine, hat sich die Bedeutung einer schnellen Transformation noch einmal verstärkt. Die angestrebte Beschleunigung des Ausbaus einer nachhaltigen Energieversorgung bedarf neuer technologischer Ansätze über verschiedene Sektoren¹ hinweg. Dabei sind nicht nur die Sektorenkopplungstechnologien² selbst überaus komplex, auch ihre Integration in ein Gesamtsystem birgt Herausforderungen.

Doch wie lässt sich eine erfolgreiche und nachhaltig effiziente Transformation erreichen? Wie schätzen die Akteur*innen der Energiewirtschaft die aktuellen Entwicklungen ein? Worin liegen konkret die Treiber für eine solche Transformation, aber auch die Herausforderungen und die Barrieren?

Und welche Rolle spielt grüner Wasserstoff als nachhaltiger Energieträger in der künftigen Energieversorgung?

Um diesen Fragen näher auf den Grund zu gehen, haben wir am Competence Center für Erneuerbare Energien und EnergieEffizienz (CC4E) der HAW Hamburg im Rahmen des Forschungsvorhabens „Industrielle Transformation und gesellschaftliche Teilhabe“ des länderübergreifenden Verbundprojekts Norddeutsches Reallabor³ (NRL) jüngst mit 32 Branchenexpert*innen aus dem NRL-Netzwerk den Dialog gesucht und Interviews zu den zuvor beschriebenen Fragestellungen geführt. Im Ergebnis konnten wir nicht nur erste Antworten auf die oben genannten Fragen ableiten, sondern auch 13 Einflussgrößen für eine erfolgreiche Transformation des Energiesystems identifizieren.

Näheres zum Projekthintergrund und den Ergebnissen finden Sie auf den kommenden Seiten.

¹ Sektoren teilen die Wirtschaft in verschiedene Bereiche ein. Vereinfacht: Die Bereiche, die ähnliche Eigenschaften aufweisen bzw. Leistungen anbieten, werden zusammengefasst (vgl. Horvath o. J.). In dem Kontext des vorliegenden Papers bilden die Industrie, Wärme und Mobilität je einen Sektor.

² Durch die Sektorenkopplung wird Energie für weitere Sektoren wie den Mobilitäts- und Wärmesektor nutzbar (vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH o. J.).

³ Mit dem Norddeutschen Reallabor soll die ganzheitliche Transformation des Energiesystems erprobt und so der Weg zu einer schnellen Defossilisierung aller Verbrauchssektoren demonstriert werden. Dazu arbeiten rund 50 Projektpartner aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik in dem fünfjährigen Projekt (04/2021-03/2026) zusammen.

Das Wichtigste auf einen Blick



Die vorliegenden Ergebnisse wurden aus 32 geführten Interviews mit Experten*innen aus dem NRL-Netzwerk abgeleitet. Das Kürzel NRL steht für Norddeutsches Reallabor und das Projekt ist Bestandteil der Förderlinie „Reallabore der Energiewende“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, kurz BMWK. In diesem Fokus werden erste Erkenntnisse zu den Einflussgrößen für einen erfolgreichen Markthochlauf von (wasserstoffbasierten) Sektorenkopplungstechnologien dargestellt.



Als die zentrale Einflussgröße wird der Dreiklang aus dem „regulatorischen System“, den „Kosten der Transformation bzw. Wirtschaftlichkeit“ und den Möglichkeiten „(monetärer) Förderungen“ erachtet. Gleichzeitig stellen die genannten Größen – in ihrem derzeitigen Status – auch die größten Hürden für eine (schnelle) Umsetzung der Transformation dar. Insgesamt erscheinen die Ziele hinsichtlich des Tempos als zu ambitioniert. Bedeutend ist eine Anpassung des regulatorischen Systems, eine Entwicklung eines sektorenübergreifenden Gesamtsystems entlang der Wertschöpfungsketten, eine Ausdefinierung der Zwischenschritte sowie eine großräumige Zusammenarbeit – nicht nur auf nationaler, sondern auch auf internationaler Ebene. Als Bindeglied ist zudem die Schaffung einer zugehörigen Infrastruktur von großer Relevanz. Darüber hinaus wird mehrheitlich die Notwendigkeit der Sicherung der gesellschaftlichen Akzeptanz für die Transformation betont, um den Fortgang zum Beispiel durch Widerstände bei einzelnen Vorhaben nicht zu gefährden.



Die Technologien zur Realisierung der Industriewende befinden sich überwiegend noch im Stadium der Bewertung. Um die industrielle Transformation zu bewerk-

stelligen, wird ein Nebeneinander oder vielmehr eine Kette der Technologien und Energieträger als notwendig erachtet. Im industriellen Kontext steht primär die notwendige internationale Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaftlichkeit bzw. der Transformation entgegen. Gefordert wird, den Fokus auf eine europäische/globale Perspektive zu verschieben und den Unternehmen klare Richtlinien und damit mehr Planungssicherheit zu geben.



Für eine erfolgreiche Wärmewende betonen die Expert*innen, dass die Wahl der Technologie stark von den lokalen Gegebenheiten abhängig ist. Insgesamt sprechen sie sich für einen breiten Mix an nachhaltigen Lösungen aus. Als dominierende Technologien werden Wärmepumpen und Fernwärme genannt. Für Großstädte wird eher die Möglichkeit von zentralen Lösungen wie zum Beispiel die Nutzung von Fernwärme beschrieben. Ein Ansatz, der im ländlichen Raum hingegen eher als nicht umsetzbar erachtet wird. So wird auch die Entscheidungsfreiheit der Einzelperson, welchen Energieträger sie präferiert, als hohes Gut bewertet.



Im Rahmen der Mobilitätswende wird eine Zweiteilung hinsichtlich der Antriebsformen prognostiziert: der Individualverkehr (PKW), der kleinbetriebliche Bereich und der ÖPNV im Nahbereich werden künftig, so die Einschätzung der Expert*innen, strombasiert bzw. batterieelektrisch sein. Für den Schwerlastbereich, die Logistik, Schifffahrt und Luftfahrt wird überwiegend der Einsatz von Brennstoffzellentechnologie und E-Fuels erwartet. Als Barrieren werden im ÖPNV-Bereich beispielsweise die fehlenden Flächenverfügbarkeiten für Betriebshöfe, die sich auf die neuen Gegebenheiten umrüsten lassen, genannt. Des Weiteren werden die zum Teil fehlenden Angebote an Fahrzeugen und an notwendiger Ladeinfrastruktur angeführt.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Das Wichtigste auf einen Blick	II
Inhaltsverzeichnis	III
1. Worum geht es? Das Projekt NRL	1
1.1 Norddeutsches Reallabor	2
1.2 Das Teilvorhaben 3.1: Industrielle Transformation und gesellschaftliche Teilhabe	4
2. Wie sind wir vorgegangen? Die Interviews mit den Branchenexpert*innen	6
2.1 Ziele und Befragungsdesign	7
2.2 Übersicht Expert*innen	8
3. Wo stehen wir? Die Transformation des Energiesystems aus Sicht der Expertinnen	9
4. Wasserstoff als Schlüssel für die Transformation?	12
4.1 Die Rolle von Wasserstoff	13
4.2 Beurteilung der Technologiereife	17
5. Treiber und Barrieren – Welche Einflussgrößen sind für die Transformation ausschlaggebend?	20
6. Fazit – Und jetzt? Wie geht es weiter?	36
Anlagen	38
Literaturverzeichnis	
Abbildungsverzeichnis	
Abkürzungsverzeichnis	
Glossar	
Impressum	



©Foto von Nicholas Doherty zu finden auf unsplash.com

Kapitel 1

Worum geht es?
Das Projekt NRL

Kapitel 1.1

Norddeutsches Reallabor

Das Norddeutsche Reallabor (NRL) ist ein Verbundprojekt, das neue Wege zur Klimaneutralität aufzeigt. Ziel ist es, Produktions- und Lebensbereiche mit besonders hohem Energieverbrauch schrittweise zu defossilisieren – insbesondere in der Industrie, aber auch in der Wärmeversorgung und im Mobilitätssektor. Hinter dem im April 2021 gestarteten Projekt

steht eine wachsende Energiewende-Allianz mit mehr als 50 Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Gemeinsam erproben sie den Transformationspfad zu einem integrierten Energiesystem, mit dem es gelingt, die CO₂-Emissionen im Norden bis 2035 um 75 Prozent zu reduzieren.

Übersicht der Arbeitsgruppen des NRL

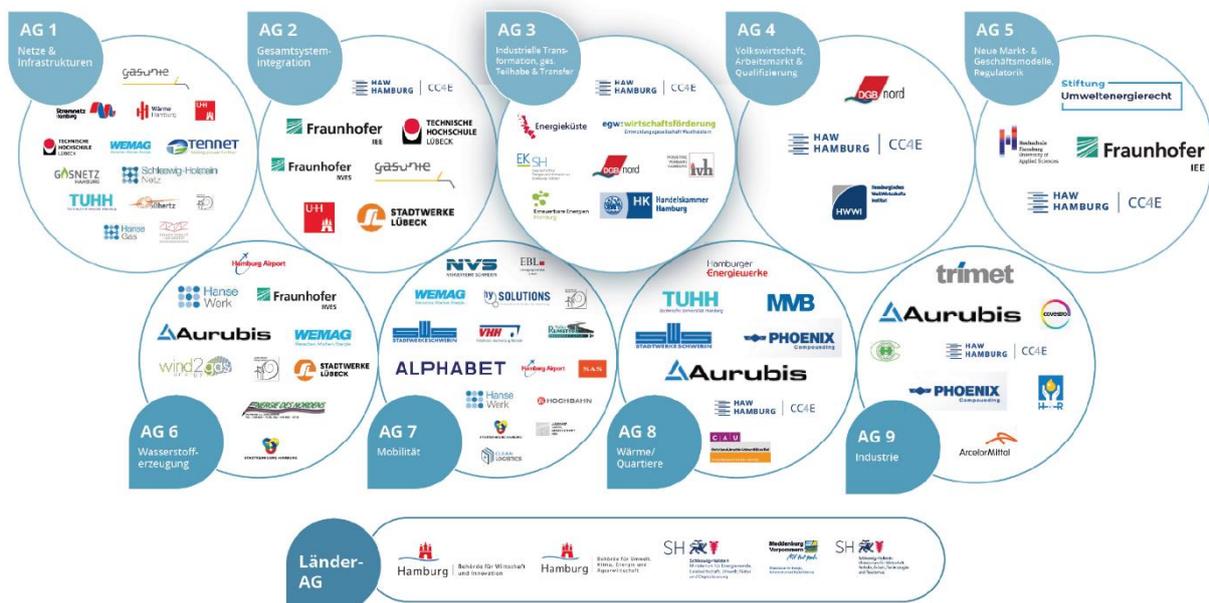


Abbildung 1: Übersicht der Arbeitsgruppen des NRL

Dazu sind die Inbetriebnahmen von acht Elektrolyseuren mit einer Wasserstoff-Erzeugungskapazität von 42 MW geplant. Sie dienen insbesondere dazu, fossile Energieträger in industriellen Prozessen durch Wasserstoff bzw. dessen Folgeprodukte zu ersetzen. Außerdem werden im NRL drei Projekte umgesetzt, die eine Abwärmenutzung in einem Umfang von 700 Gigawattstunden pro Jahr ermöglichen. Dies entspricht dem Energieverbrauch von 70.000 Haushalten pro Jahr. Im Mobilitätssektor werden mehrere Wasserstoff-Tankstellen und bis zu 200 Fahrzeuge in unterschiedlichen Nutzungsszenarien erprobt. Mit den im

Projektzeitraum geplanten Vorhaben können damit zwischen 350.000-500.000 Tonnen CO₂-Emissionen pro Jahr eingespart werden. Das Großprojekt hat eine Laufzeit von fünf Jahren (04/2021-03/2026) und die Projektregion des NRL umfasst die Bundesländer Hamburg, Schleswig-Holstein, das westliche Mecklenburg-Vorpommern und Bremerhaven. Das Investitionsvolumen der beteiligten Partner beträgt 300 Mio. Euro. Als Teil der Förderinitiative „Reallabore der Energiewende“ wird das NRL zudem mit rund 52 Mio. Euro durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert. Weitere Fördermittel

werden durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) bereitgestellt. Darüber hinaus versteht sich das NRL als auch erweiterbare Plattform für weitere Projekte.

Eine Besonderheit des Projekts ist sein gesamtsystemischer Ansatz, der neben den

geplanten Erprobungsvorhaben auch Querschnittsthemen berücksichtigt (siehe Abbildung 1), die sich mit den volkswirtschaftlich-ökonomischen, der regulatorischen sowie der gesellschaftlichen Dimensionen der Energiewende befassen.

Näheres zum Projekt lässt sich unter www.norddeutsches-reallabor.de nachlesen.

Kapitel 1.2

Das Teilvorhaben 3.1: Industrielle Transformation und gesellschaftliche Teilhabe

Das Teilvorhaben 3.1: „Industrielle Transformation und gesellschaftliche Teilhabe“ (TV 3.1) begleitet die technologischen Vorhaben des NRL mit gesellschaftlich-sozioökonomischen Fragestellungen. Es wird erforscht, wie die industrielle Nutzung und damit der Markthochlauf von Sektorenkopplungstechnologien am Beispiel der NRL-Erprobungsvorhaben durch eine gezielte Beteiligung der relevanten Stakeholder⁴ bis 2030 in der Projektregion beschleunigt werden kann. Um einen beschleunigten Markthochlauf von Sektorenkopplungstechnologien in der Projektregion zu erreichen, wird untersucht, wie die Aktivitäten der Industrie und die Einstellungen der Gesellschaft sowie weiterer Stakeholder aufeinander einwirken und zielführend miteinander verzahnt werden können.

Um diesen Forschungszielen gerecht zu werden, verfolgt das TV 3.1 methodisch, wie in Abbildung 2 dargestellt, einen integrativen Forschungs- und Diskursansatz. Dieser strebt die Einbindung der Perspektiven aller relevanten Stakeholder an, um Konflikten und nicht-intendierten Folgen der Transformation vorzubeugen. Somit soll letztlich zu einer nachhaltigen Adoption und einer effizienten, beschleunigten Transformation des Energiesystems beigetragen werden.

Der integrative Forschungs- und Diskursansatz des TV 3.1 lässt sich methodisch, wie in Abbildung 2 zu sehen, in fünf Phasen gliedern.

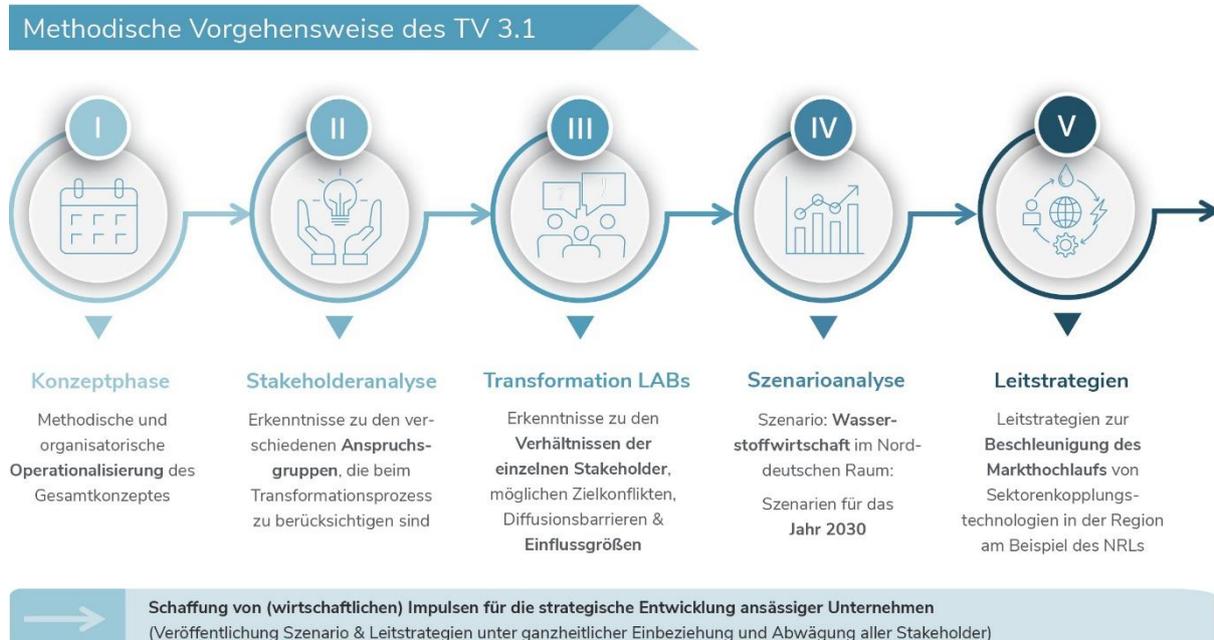


Abbildung 2: Methodische Vorgehensweise des NRL-Teilvorhabens 3.1

⁴ Stakeholder bezeichnet Interessen- bzw. Personengruppen, die direkt oder indirekt von den Aktivitäten eines Unternehmens, einer Technologie o. Ä. betroffen sind. Stakeholder können beispielsweise Personen, Institutionen oder Organisationen sein (vgl. Thommen o. J.).

Den methodologischen Schwerpunkt des Vorhabens bildet die dritte Phase, die Durchführung von sogenannten Transformation LABs mit relevanten Stakeholdern. Transformation LABs sind hier nicht als eine konkrete Forschungs- oder Dialogmethode zu verstehen, sondern fungieren als zentraler Aggregationspunkt für das weitere Vorgehen. Durch einen offenen, breiten Diskurs sollen in diesem Rahmen ganzheitliche Erkenntnisse über Wirkungsfaktoren zur Beschleunigung des Markthochlaufs von Sektorenkopplungstechnologien, aber auch zu möglichen Zielkonflikten zwischen unterschiedlichen Stakeholdern offengelegt werden. So können diese Erkenntnisse frühzeitig in den entsprechenden Transformationsprozessen berücksichtigt werden.

Die vorherigen Phasen, Phase 1 und Phase 2, sollen die Wissensbasis für die inhaltliche Konzipierung der Transformation LABs liefern. In der ersten Phase wurde zum einen eine repräsentative Gesellschaftsstudie in der Projektregion des NRL umgesetzt. Zum anderen wurden qualitative Interviews mit Expert*innen zu den Treibern und Herausforderungen der Transformation, insbesondere auf Basis von Wasserstoff, geführt. Die Erkenntnisse der Interviews

sind Gegenstand des hier vorliegenden Papers. Auf den kommenden Seiten werden dazu Einblicke zu den Einschätzungen der Expert*innen aus unterschiedlichen Branchen und Bereichen zu den Anforderungen des Transformationsprozesses gegeben, insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von Wasserstoff. Die Ergebnisse der Experten*inneninterviews dienen gemeinsam mit den Erkenntnissen der bereits veröffentlichten Gesellschaftsstudie⁵ als wichtige Basis zur Festlegung der Themenschwerpunkte der Transformation LABs und liefern Hinweise zu der weiteren inhaltlichen Ausgestaltung des TV 3.1.

Im Ergebnis werden Szenarien zu möglichen Marktentwicklungen auf Basis des zuvor ausgewerteten Diskursansatzes für das Jahr 2030 erarbeitet. Dieses Jahr wurde gewählt, weil bis 2030 laut Nationaler Wasserstoffstrategie bereits ein „Heimatmarkt“ für Wasserstofftechnologien etabliert sein soll.⁶ Die Szenarien dienen dazu, mögliche Entwicklungspfade und konkrete Handlungsoptionen aufzuzeigen. Aus diesen Szenarien werden schließlich Leitstrategien zur Beschleunigung des Markthochlaufs von Sektorenkopplungstechnologien in Norddeutschland abgeleitet.

⁵ Der Studienbericht zur Gesellschaftsstudie ist unter www.norddeutsches-reallabor.de/presse/#studien aufrufbar.

⁶ Vgl. Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstenländer 2019



Kapitel 2

Wie sind wir vorgegangen?
Die Interviews mit den Branchenexpert*innen

Kapitel 2.1

Ziele und Befragungsdesign

Das vorliegende Paper gibt Einblicke in die Perspektiven der einzelnen Akteur*innen auf den aktuellen Status und mögliche Stellschrauben für den erfolgreichen Transformationsprozess des Energiesystems. Als Zielstellung sollten mögliche Treiber, aber auch Herausforderungen und Barrieren für die Transformation des Energiesystems identifiziert werden. Dazu liefern die hier vorliegenden Erkenntnisse einen ersten Überblick über die Einflussgrößen für eine erfolgreiche Transformation des Energiesystems. Für das Forschungsvorhaben des TV 3.1 erweisen sich die Ergebnisse zudem als wichtiger Bestandteil des integrativen Forschungsansatzes, indem diese als Wissensbasis für die weiteren Forschungsaktivitäten des TV 3.1 genutzt werden (vgl. Kap. 1.2).

Um ein möglichst breit gefächertes Bild der Perspektiven der Akteur*innen zu erhalten, wurde eine Befragung mit unterschiedlichen Branchenexpert*innen aus dem NRL-Netzwerk konzipiert und durchgeführt. Zur Generierung möglichst offener und unvoreingenommener Einschätzungen wurde die Methodik qualitativer Interviews gewählt. Entsprechend der Kernthemen des NRL wurden im Rahmen der durchgeführten Interviews (wasserstoffbasierte) Sektorenkopplungstechnologien⁷ näher in den Blick genommen.

Für die Entwicklung des Interviewleitfadens, der während der Interviews als freie Gesprächsgrundlage diente, wurden zuvor folgende Indikatoren festgelegt:

- Voraussetzungen und Herausforderungen für die erfolgreiche Transformation des Energiesystems

- Bewertung der Chancen und Risiken hinsichtlich der Nutzung von (wasserstoffbasierten) Sektorenkopplungstechnologien
- Einschätzungen zu möglichen Treibern und Barrieren/Herausforderungen
- Einschätzung der Kosten bzw. Wirtschaftlichkeit
- Einschätzung der regulatorischen Rahmenbedingungen
- Rolle von grünem Wasserstoff als Energieträger
- Auswirkungen der energiepolitischen Lage auf die Transformation

Auf der Basis der aufgelisteten Indikatoren wurde schließlich ein Interviewleitfaden entwickelt, der insgesamt elf offene Leitfragen umfasst und sich in die vier folgenden Themenblöcke untergliedert: Eisbrecherfragen, Bewertung des Transformationsprozesses allgemein, die Rolle von Wasserstoff und die Bewertung von Einflussgrößen zur erfolgreichen Transformation.

Um eine gewisse Vergleichbarkeit herzustellen, wurden im letzten Themenblock konkrete Einflussgrößen abgefragt, die auf Basis einer vorherigen Sekundärrecherche ausgewählt wurden. Diese Einflussgrößen wurden fortlaufend um die in den Interviews ergänzten Einflussgrößen der Expert*innen erweitert.

⁷ Durch die Sektorenkopplung wird Energie für weitere Sektoren wie den Mobilitäts- und Wärmesektor nutzbar gemacht (vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH o. J.).

Kapitel 2.2

Übersicht Expert*innen

Insgesamt wurden im Zeitraum von April bis Mitte Mai 2022 32 Expert*innen interviewt. Überwiegend, bis auf wenige Ausnahmen, wurden mit den Expert*innen Einzelgespräche geführt, sodass insgesamt 26 Interviews stattgefunden haben. Die Interviews fanden größtenteils online statt, sodass zur Auswertung mehr als 40 Stunden Video- und Tonmaterial zur Verfügung standen. Um ein möglichst breites Spektrum an treibenden, aber auch hindernden Einflussgrößen für die erfolgreiche Transformation des Energiesystems zu erhalten, standen als Interviewpartner*innen Branchenexpert*innen aus dem NRL-Netzwerk zur Verfügung. Das NRL-Netzwerk umfasst Projektpartner aus dem Bereich Wirtschaft, Wissenschaft und Politik.

Einen Überblick über die Verteilung der Interviews gibt Abbildung 3:



Abbildung 3: Übersicht der Expert*innen

Aus dem Bereich der Wirtschaft wurden zum einen Expert*innen aus den Sektoren „Industrie“, „Wärme“ und „Mobilität“⁸ und zum anderen „Netzbetreiber“ und „Erzeuger“ interviewt. Der politische Blickwinkel wird über Interviews mit behördlichen Expert*innen abgedeckt. Zudem wurden mit zwei Wissenschaftler*innen Gespräche geführt.

Mit über 25 Prozent wurde der größte Anteil der Interviews mit Expert*innen aus dem Bereich bzw. Sektor „Industrie“ durchgeführt. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass bei den Forschungsaktivitäten des TV 3.1 neben der gesellschaftlichen Teilhabe der industriellen Transformation eine besondere Rolle zukommt. Der Anteil an Interviewpartner*innen aus den anderen Bereichen beträgt, bis auf den Bereich „Wissenschaft“, je 13 Prozent, sodass ein ausgewogener Querschnitt an Branchenspektiven vorliegt.

Zur Wahrung der Anonymität wird nicht näher auf weitere Details oder Charakteristika der Expert*innen eingegangen.

Die weiteren Ergebnisse basieren auf die Durchführung von Inhaltsanalysen, wozu die Software MAXQDA genutzt wurde. Im Rahmen der Inhaltsanalysen wurden zu den Antworten der Interviewpartner*innen über 1.400 Codes gebildet, die in anschließenden Analysen weiter ausgewertet wurden.

⁸ Da die Mobilitätsvorhaben des NRL überwiegend Projekte im Individualverkehr und ÖPNV durchführen, beschränken sich die weiteren Ausführungen größtenteils auf diese zwei Bereiche.



Kapitel 3

Wo stehen wir?

Die Transformation aus Sicht der Experten*innen

Zunächst ist zu sagen, dass die Transformation von den Expert*innen durchweg als zwingend notwendig und dringlich empfunden wird. Nichtsdestotrotz zeigt sich, dass die angestrebte Transformation die einzelnen Akteur*innen immer noch, nicht nur aus technologischer Sicht, vor erhebliche Herausforderungen stellt.

„Die eigentliche Transformation steht noch bevor.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Einig über die Notwendigkeit und Dringlichkeit der Transformation des Energiesystems, zeigen sich die Expert*innen hinsichtlich der Zielerreichung jedoch skeptisch. Die gesetzten Klimaziele erachten die Expert*innen als zu ambitioniert und für die in (Nord-)Deutschland ansässigen Unternehmen nicht realisierbar. Fehlende Wirtschaftlichkeit und damit nicht vorhandene Wettbewerbsfähigkeit sind hier die Gründe. In diesem Zusammenhang warnen die Industrieexpert*innen auch vor dem Risiko des Carbon Leakage Problems⁹.

Um wettbewerbsfähig zu bleiben, ist der Wunsch nach einer Zusammenarbeit bzw. ge-

meinsamen Strategie der einzelnen Akteur*innen, auch auf globaler Ebene, groß. Insbesondere wird das integrierte, gesamtsystemische Agieren über die Sektoren hinweg und entlang der gesamten Wertschöpfungskette als zwingend erforderlich angesehen. Dies bedarf, so die Expert*innen, einer großräumigen Zusammenarbeit, was gleichzeitig aber auch als Mammutaufgabe empfunden wird. Als große Unbekannte sehen die Expert*innen hier die Frage, wie sich ein sektorenübergreifendes Gesamtsystem erreichen lässt und wie die zugehörigen Zwischenschritte konkret aussehen könnten.

„Wir stoßen da aber an die Grenzen, die der Markt vorgibt hinsichtlich der Preise, trotz aller Bemühungen, die wir wirklich unternehmen, können mit dem doch relativ kostspieligen Produkt aktuell die Vergleichsenergien wie Erdgas [...], egal wohin und wie die sich entwickelt haben; [...] ist das nicht unterzubringen.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Gründe für den verzögerten Ausbau



Abbildung 4: Gründe für den verzögerten Ausbau aus Sicht der Expert*innen

⁹ Mit dem Begriff Carbon Leakage wird der Effekt bezeichnet, wenn innerhalb eines Sektors oder Teilsektors durch die Teilnahme am EU-Emissionshandel höhere Kosten entstehen, die wegen des intensiven Wettbewerbsdrucks gegenüber Unternehmen außerhalb der EU nicht an die Kunden weitergereicht werden können (vgl. BMWK 2021).

EINSCHÄTZUNGEN ZU DEN AUSWIRKUNGEN DES RUSSISCHEN ANGRIFFSKRIEGS

Hinzu kommt, dass sich durch den russischen Angriffskrieg die energiepolitische Lage in den letzten Monaten weiter verschärft hat. Aussagen dazu, inwiefern sich die veränderte energiepolitische Lage auf die Transformation auswirkt, möchten oder können die Expert*innen nicht beantworten: Einerseits nehmen sie die energiepolitische Lage als möglichen Beschleuniger wahr, da sich dadurch das Bewusstsein bzw. die Priorität für die Umsetzung der Transformation erhöht habe. Andererseits rufen die damit einhergehenden Risiken – bis hin zur möglichen Gefährdung der Versorgungssicherheit – bei den Expert*innen große Besorgnis hervor.

Um die Versorgungssicherheit weiterhin zu gewährleisten, sei eine sofortige breite Umstellung auf nachhaltige Energieträger nicht umsetzbar, da die Technologien aktuell noch nicht so weit verfügbar, erprobt und systemisch integriert sind.

Generell gehen die Expert*innen aufgrund der Ungewissheiten, wie sich die energiepolitische Lage weiterhin entwickeln wird, von einer sinkenden Investitionsbereitschaft aus. Vor allem die Industrieexpert*innen befürchten Streichungen von Budgets und das „Einfrieren von Projekten“, um die laufende Produktion am Laufen zu halten, was wiederum die Transformationsprozesse erheblich hemmen würde.

Als großes Risiko werden neben und im Zusammenhang mit der ungewissen energiepolitischen Entwicklung die steigenden Energiekosten angesehen.

„Ja, die Preise steigen in alle Himmelsrichtungen [...]. Das ist natürlich jetzt ganz gravierend, aber auch eben die geringere Verfügbarkeit am Markt macht einiges schwieriger und die gesamten

Produktionskosten steigen [...]“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Hinzu kommt, dass sich durch den russischen Angriffskrieg die energiepolitische Lage in den letzten Monaten weiter verschärft hat.

Auch wenn die Expert*innen langfristig von allgemeinen Preissteigerungen bereits ausgegangen sind, hat sich der Effekt von Preissteigerungen in kürzester Zeit in einem desaströsen Ausmaß verstärkt. Allerdings prognostizieren die Expert*innen auch einen Peak der Energiekosten, sodass eine (mittelfristige) Senkung der Preise von den Expert*innen, vor allem aus dem Industriebereich, erwartet wird. Inwiefern sich die Preisentwicklungen auf die industrielle Produktion auswirken, wird sehr ambivalent bewertet: Ein Teil der Expert*innen gibt an, dass selbst bei hohen Gaspreisen die Umstellung auf nachhaltige Energieträger wie zum Beispiel Wasserstoff weiterhin im Vergleich zu konventionellen Energieträgern nicht rentabel bleibt. Der andere Teil der Expert*innen schätzt hingegen ein, dass durch den stetigen Anstieg des Gaspreises der Einsatz von Wasserstoff oder anderer nachhaltiger Energieträger stetig wirtschaftlich lukrativer wird.

„Die Zukunft muss anders aussehen und Wasserstoff als Teil davon bietet sich auch als dezentrale Lösung an. [...] Das heißt durch verschiedene Effekte kommen wir jetzt im Augenblick schon relativ schnell dahin, dass dieser grüne Wasserstoff auch kostengünstiger wird. Ich habe keine Zweifel, dass der zumindest genauso kostengünstig wird wie die Fossilen, nur in anderen Strukturen.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Es bleibt abzuwarten, wie sich die Preise im Zuge der energiepolitischen Lage in den kommenden Monaten weiter entwickeln werden.



Kapitel 4

Wasserstoff als Schlüssel für die Transformation?

Kapitel 4.1

Die Rolle von Wasserstoff

Bereits Jule Verne prophezeite 1875: „Wasser ist die Kohle der Zukunft. Die Energie von morgen ist Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist. Die so zerlegten Elemente des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, werden auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern.“¹⁰

Doch wie sieht es knapp 150 Jahre später aus? Die Expert*innen stufen die Nutzung von grünem Wasserstoff¹¹ insgesamt als sehr bedeutend ein. Allerdings sehen sie Wasserstoff nicht, wie oft in der Öffentlichkeit dargestellt, als „Allheilmittel“ für die Transformation des Energiesystems an. Wasserstoff sei ein wichtiger Baustein, aber die Expert*innen sind sich auch darin einig, dass zur erfolgreichen

Transformation ein bunter Mix nachhaltiger Energieträger notwendig sein wird. Daher werde es weiterhin bei der Erprobung nachhaltiger Lösungen wichtig sein, sich dabei nicht auf einen Energieträger zu beschränken und weiterhin technologieoffen zu sein.

Rolle von Wasserstoff

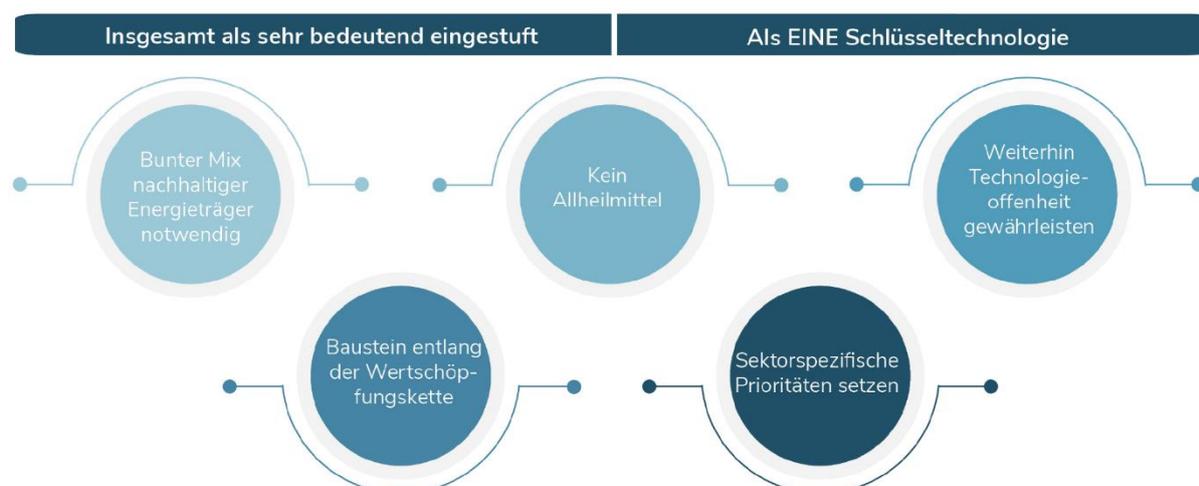


Abbildung 5: Rolle von Wasserstoff aus Sicht der Expert*innen

Gefragt nach den Vor- und Nachteilen von Wasserstoff als Energieträger, heben die Expert*innen vor allem die Möglichkeit in konventionellen Prozessen Wasserstoff als Substitut zu verwenden positiv hervor. Zudem wird die (kurzfristige) Speicher- und Transportfähigkeit sowie die Möglichkeiten der Rückverstromung und die Einfachheit des Prozesses betont.

„[...] im Prinzip ist Elektrolyse ja auch kein Hexenwerk, das ist ein relativ schöner chemischer Prozess, also man braucht Wasser, nur Wasser, das ist schon toll.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

¹⁰ Bührke, Wengenmayr 2012; S. 140

¹¹ Wasserstoff bezeichnet im vorliegenden Paper grundsätzlich grünen Wasserstoff

Demgegenüber stehen jedoch die hohen Wandlungsverluste beim Elektrolyseprozess¹²: Daher sprechen sich die Expert*innen dafür aus, genau abzuwägen, in welchen Sektoren und mit welcher Priorität Wasserstoff als Substitut für konventionelle Energieträger zum Einsatz kommen soll.

WASSERSTOFF ALS ENERGIETRÄGER IN DEN SEKTOREN:

„Es gibt nicht die EINE Lösung“.
(NRL-Experteninterviews 2022)

Wie in Abbildung 6 zu sehen, wird der Einsatz von Wasserstoff vor allem in der Industrie befürwortet. Nicht nur, dass die Expert*innen für

die Umstellung der Industrie auf nachhaltige Produktionsprozesse Wasserstoff eine wichtige Rolle zusprechen. Sie sehen Wasserstoff sogar als Beschleuniger zur Defossilisierung¹³ der Industrie an. Als Schlüsselindustrien werden hier vor allem die Stahl-, Chemie- und Grundstoffindustrie genannt.

Für die Sektoren Mobilität und Wärme wird der Einsatz von Wasserstoff hingegen kritischer beurteilt. Insbesondere im Wärmebereich wird die Substituierung bisheriger fossiler Energieträger wie zum Beispiel Erdgas durch Wasserstoff als problematisch erachtet. Im Mobilitätssektor werden künftig brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge, so die Expert*innen, überwiegend eine untergeordnete Rolle spielen.

Potenzial von Wasserstoff in den Sektoren

Substituierung problematisch,

aber bietet Potential aufgrund
Speicherfähigkeit



Ausbau Elektromobilität über-
wiegend präferiert,

aber auch regionalabhängig.
Ausnahme: Schwerlastverkehr



Transformation: Industrie
als Beschleuniger

Schlüsselindustrien: Chemie, Stahl, Grundstoffe



Abbildung 6: Potenzial von Wasserstoff in den Sektoren aus Sicht der Expert*innen

Doch welche weiteren nachhaltigen Alternativtechnologien sind für die Transformation des Energiesystems von Bedeutung?



INDUSTRIE

Bei den Industriepartnern befinden sich die Technologien

¹² Mittels Elektrolyse wird Wasser (H₂O) in Sauerstoff (O₂) und Wasserstoff (H₂) aufgespalten. Um grünen Wasserstoff via Elektrolyse herzustellen, wird Strom aus erneuerbaren Energien genutzt (vgl. BMWK o. J.)

¹³Die Umstellung wirtschaftlicher Bereiche von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Alternativen wird als Defossilisierung bezeichnet (vgl. Forschungszentrum Jülich GmbH o. J.).

überwiegend noch im Stadium der Bewertung, doch generell besteht die Auffassung:

„Die beste Energie ist die, die nicht verbraucht oder mehrfach verbraucht wird.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Als vorrangige Technologie zeichnet sich, sofern einsetzbar, die Verstromung bzw. Direkt-elektrifizierung von Produktionsprozessen ab. Gründe hierfür sind, so die Expert*innen, die Effizienz bzw. die geringen Umwandlungsverluste.

Auch der Flexibilisierung der Produktionsprozesse wird zur Defossilisierung der Industrie ein hoher Stellenwert zugesprochen, da sich dadurch besser auf Preisschwankungen und Verfügbarkeiten von nachhaltigen Energieträgern reagieren lässt. Neben der Nutzung von Abwärme als wichtigem Thema übernehmen zudem Speichertechnologien eine bedeutende Rolle zur Defossilisierung des Sektors. In Produktionsprozessen, bei denen aktuell Erdgas wegen seiner Eignung im Bereich hoher Temperaturen und hohen Drucks benötigt wird, wird künftig neben Wasserstoff insbesondere Biogas als Basisersatz als sinnvoll erachtet. Da Biogas aber nicht, so die Expert*innen, in ausreichendem Maße verfügbar sein wird, ist der Einsatz von Biogas mit Bedacht abzuwägen. Als weitere mögliche Lösungen auf dem Weg zur Defossilisierung der Industrie werden Stromkessel zur Dampferzeugung, Temperaturwärmespeicher und Hochtemperaturwärmepumpen genannt. Diese werden aktuell aber noch nicht als ausreichend entwickelt angesehen. Hier ist also noch weitere Forschung erforderlich.

Insgesamt wird im Sektor Industrie ein Nebeneinander bzw. eine Kette der Technologien und Energieträger als notwendig erachtet, um die industrielle Transformation bzw. die Defossilisierung der Industrie zu bewerkstelligen.



WÄRME

Laut Expert*innen, spielt für die Wärmewende die Nutzung von Wasserstoff, wie bereits erwähnt, lediglich eine untergeordnete Rolle. Vor allem zur Substituierung klassischer Wärmeanwendungen im Privatbereich sehen die Expert*innen Wasserstoff als nicht geeignet an. Im zentralen Bereich, insbesondere dort, wo hoher Druck und hohe Temperaturen vorherrschen, sei Wasserstoff als grünes Gas zwar denkbar, aber auch als nicht zu forcierte Lösung. Als Gründe nennen die Expert*innen die hohen Wandlungsverluste, die einen hohen Bedarf von Wasserstoff erforderlich machen. Zur Deckung des Bedarfs müsste dann zunächst eine große Importwirtschaft aufgebaut werden. Als dominierende Technologien nennen die Expert*innen den Einsatz von Wärmepumpen und Fernwärme. Allerdings betonen die Expert*innen aus dem Wärmebereich auch, dass die Wahl der Technologie stark von den lokalen Gegebenheiten abhängig ist. Demnach wird bei der Implementierung nachhaltiger Alternativen eine individuelle Betrachtung notwendig: Für Großstädte wird eher die Möglichkeit von zentralen Lösungen wie zum Beispiel auch Fernwärme gesehen, während dies im ländlichen Bereich als nicht umsetzbar erachtet wird. So wird auch die Entscheidungsfreiheit der Einzelperson, welchen Energieträger sie präferiert, als hohes Gut bewertet. Daneben lassen sich allerdings lokal bzw. regional nicht alle gewünschten Lösungen auch technisch umsetzen. Neben der Umstellung der Wärmeversorgung wird von den Expert*innen zudem der hohe Einfluss von Sanierungsmaßnahmen auf die Wärmewende betont, deren Bedeutung zu oft noch unterschätzt werde. Insgesamt sprechen sich die Expert*innen für einen breiten Mix an Lösungen für die Wärmewende aus.

Im Gebäudesektor stufen die Expert*innen die Wärmepumpe als wichtigste Technologie ein; daneben vor allem Fernwärme im städtischen Bereich. Zudem kristallisieren sich die Geothermie und Speichertechnologien für Quartierslösungen als wichtige Technologien für die Wärmewende heraus. Speichertechnologien werden insbesondere zur saisonalen Absicherung, aber auch als netzdienliche Reserve und als Flexibilisierungsoption, um auf Preis- und Verfügbarkeitschwankungen reagieren zu können, befürwortet. Als ähnlich nutzbar werden Kleinelektrolyseure bzw. Brennstoffzellenheizungen im privaten Gebäudesektor angesehen.



MOBILITÄT

Für den Bereich Mobilität wird eine Zweiteilung prognostiziert: der Individualverkehr (PKW) und kleinbetriebliche Bereich und der ÖPNV im Nahbereich werden künftig, so die Einschätzung der Expert*innen, strombasiert bzw. batterieelektrisch sein, während für den Schwerlastbereich, Logistik, Schifffahrt und Luftfahrt überwiegend Wasserstoff bzw. Brennstoffzellentechnologie und E-Fuels erwartet werden.

Einen Überblick über die genannten Technologien in den jeweiligen Sektoren gibt folgende Übersicht:

Nachhaltige Lösungen zur Transformation des Energiesystems

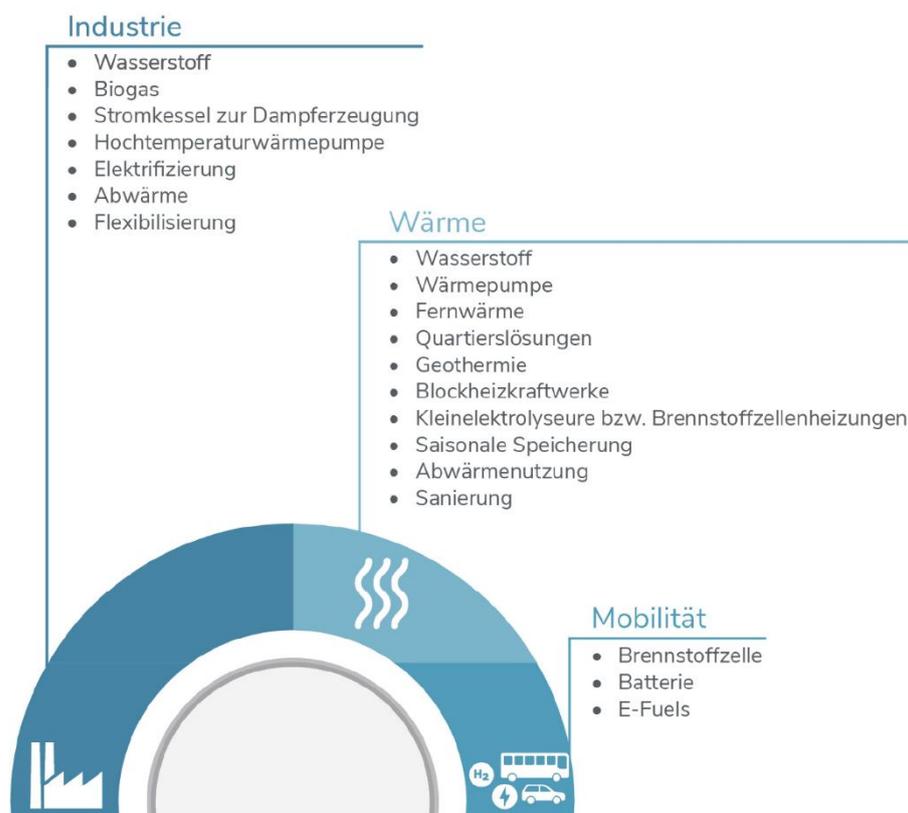


Abbildung 7: Nachhaltige Lösungen zur Transformation des Energiesystems aus Sicht der Expert*innen

Kapitel 4.2

Beurteilung der Technologiereife

Die technische Machbarkeit von wasserstoffbasierten Sektorenkopplungstechnologien stufen die Expert*innen grundsätzlich als gegeben ein, aber die breite Umstellung bzw. Adaption bleibe weiterhin eine große Herausforderung. Wie bereits erwähnt, werden insbesondere die hohen Wandlungsverluste beim Elektrolyseprozess von den Expert*innen als optimierungsbedürftig angesehen. Weiterhin fehlen für den erfolgreichen Markthochlauf von wasserstoffbasierten Sektorenkopplungstechnologien Praxis- und Langzeiterfahrungen und somit Kenntnisse über nicht-intendierte Auswirkungen des Energieträgers Wasserstoff im Zeitverlauf. Zur schnelleren Sammlung von Erfahrungen im Praxisbetrieb fordern die Expert*innen weniger Prüfaufgaben bzw. Nachweispflichten sowie eine breite Zusammenarbeit zwischen den Sektoren und entlang der verschiedenen Wertschöpfungsstufen.

Im Folgenden werden die Einschätzungen zur Technologiereife von wasserstoffbasierten Sektorenkopplungstechnologien, sektorenspezifisch betrachtet:



INDUSTRIE

Für den Sektor Industrie schätzen die Expert*innen die Technologiereife von wasserstoffbasierten Verfahren unterschiedlich ein. Dass die grundlegenden Technologien zur Umstellung auf Wasserstoff vorhanden sind, darüber sind sich die Vertreter*innen der Industrie einig. Optimierungsbedarf wird hingegen hinsichtlich des Wirkungsgrades, der Skalierung und der damit verbundenen Wirtschaftlichkeit gesehen:

„Das Medium wird einfach zu teuer und das liegt auch daran, dass wir so 20 bis 30 Prozent Wandlungsverluste haben von

Strom auf Wasserstoff.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Auch der Mangel an Langzeiterfahrungen, wie sich die Substituierung des konventionellen Energieträgers durch Wasserstoff auf die Beschaffenheit des Stoffes – auch in den weiterverarbeitenden Wertschöpfungsstufen – auswirkt, hemmt nach Ansicht der Expert*innen die breite Umstellung der Produktionsprozesse auf Wasserstoff. Dementsprechend zeigt sich, dass die Technologien noch nicht im großindustriellen Betrieb einsetzbar sind und es weiterer Forschung und Erprobung zur Integration des Wasserstoffs in die Prozesse bedarf.



WÄRME

Laut Expert*innen ist die Wärmewende kein technologisches Thema, da die Technologien weitestgehend bereitstünden. Bezüglich der Substituierung konventioneller Energieträger durch Wasserstoff haben die Expert*innen keine näheren Aussagen gemacht. Wärmepumpen werden hingegen bereits als konventionell, erprobt und serienreif erachtet. Entwicklungsbedarf wird unter anderem noch bei der Geothermie gesehen, da diese in der Anwendung noch nicht etabliert sei.



MOBILITÄT

Im Sektor Mobilität wird bei der Bewertung der Technologiereife erneut die Zweiteilung hervorgehoben: Die Serienreifen im Individualverkehr und ÖPNV seien gegeben, sowohl hinsichtlich der batteriebasierten Antriebe als auch für die Brennstoffzellentechnologie. Laut Expert*innen fehlen hier nur noch Langzeittests, vor allem zum Einsatz in verschiedenen Jahreszyklen. Dies wird aber nicht als problematisch eingestuft. Als noch nicht alltagstauglich werden hingegen sowohl

batteriebasierte und brennstoffzellenbasierte Technologien im Bereich Langstrecke und Schwerlast bewertet. Somit ist für diese beiden Bereiche noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf notwendig, bevor eine Serienreife erreicht wird.

Eine funktionierende Wasserstoffwirtschaft in den jeweiligen Sektoren setzt die ausreichende Verfügbarkeit von Wasserstoff und eine funktionierende Infrastruktur, insbesondere eines vorhandenen Wasserstoffnetzes, voraus. Daher wurden die Expert*innen ergänzend gebeten, Einschätzungen zur Erzeugung von Wasserstoff (Elektrolyseverfahren) und des Aufbaus eines Wasserstoffnetzes vorzunehmen:



ERZEUGUNG

Die Expert*innen der Erzeugerseite fokussieren sich insbesondere auf die unterschiedlichen Elektrolyseverfahren, die jeweils Vor- und Nachteile aufweisen. Die Alkali-Elektrolyse wird bereits als etabliert erachtet, da diese über Jahrzehnte bereits in großem Maßstab, vor allem in der chemischen Industrie und in Raffinerien, eingesetzt wird. Zudem werden hier auch keine größeren Umstellungsschritte durch die Substitution von grauem oder blauem Wasserstoff durch grünen Wasserstoff erwartet. Das Proton Exchange Membran Verfahren (PEM), das laut Expert*innen unter anderem den Vorteil bietet, weniger flächenintensiv zu sein, ist hingegen noch relativ neu und daher eher noch in der Entwicklung.

Allgemein wird noch Entwicklungsbedarf zu folgenden Aspekten gesehen:

- Wandlungsverluste beim Elektrolyseprozess
- Fehlende Langzeittests/Praxiserfahrungen
- Fehlende Serienreife/Skalierung

- Fehlende Kenntnis über Alterungseffekte und Lebensdauer
- Kenntnisse über die Auswirkungen des beliebigen Hoch- und Runterfahrens des Elektrolyseprozesses



SUBSTITUIERUNG BESTEHENDER ERDGASNETZE

Die Substituierung von Erdgas durch Wasserstoff in den Netzen schätzen die Expert*innen eher ambivalent ein. Zwar wird die Beimischung von Wasserstoff ins bestehende Erdgasnetz als grundsätzlich möglich eingestuft.

Doch die Einschätzungen über den Anteil einer möglichen Beimischung sind sehr unterschiedlich: Die Einen nennen eine Einspeisung von bis zu 20 Prozent als machbar und regional bereits erprobt. Die Anderen schätzen den Anteil deutlich geringer ein. Es herrscht zudem Unklarheit darüber vor, inwiefern die einzelnen Bauteile des Erdgasnetzes wasserstoffverträglich sind. Dies führt dazu, dass gegebenenfalls Anschlussstücke wie Ventile ausgetauscht werden müssen, um mögliche Schäden am Material, zum Beispiel durch Versprödung, zu vermeiden.

Auch entstehende Druckschwankungen bei der Einspeisung von Wasserstoff, die im Vergleich zu den bei Erdgas auftretenden Schwankungen deutlich größer ausfallen, werden als problematisch erachtet. Eine weitere große Herausforderung wird auf der Endkundenseite gesehen. Hier wirken sich unter anderem der mangelnde Bekanntheitsgrad über die Geräte und deren Eignung im Bestand hemmend auf die Möglichkeit zur Beimischung bzw. Substitution durch Wasserstoff aus.

Insgesamt zeigt sich, dass durchaus Lösungen zur Transformation des Energiesystems vorhanden sind. Allerdings befinden sich diese, mit Ausnahme des Mobilitätsbereichs, noch im Ausbau bzw. in der Erprobung zur Hochskalierung bzw. Serienfertigung. Bereits zeitnah bzw. mittelfristig werden Technologiesprünge erwartet; ausgelöst durch erhöhte Nachfragen

sowie die steigende Anzahl an Testanlagen und damit wachsende Erfahrungen im Praxisbetrieb. Somit stufen die Expert*innen die Technologiereife der einzelnen Lösungen zwar, wie bereits beschrieben, aktuell noch als ausbaufähig, aber für die Transformation grundsätzlich nicht im Wege stehend ein.



Kapitel 5

Treiber und Barrieren –

Welche Einflussgrößen sind für die Transformation ausschlaggebend?

Die Ausführungen in Kapitel 3 und 4 haben gezeigt, dass die technologischen Voraussetzungen für die Transformation von den Expert*innen noch nicht als vollständig erfüllt beurteilt werden. Je nach Sektor bzw. Anwendungsbereich besteht wie zum Beispiel im Schwerlastbereich noch grundsätzlicher Forschungs- und

Erprobungsbedarf. Verzögernde Auswirkungen auf die Transformation werden jedoch vielmehr noch in anderen Aspekten gesehen. So wurden im Rahmen der Experteninterviews insgesamt 13 Einflussgrößen für die erfolgreiche Transformation des Energiesystems identifiziert:

Übersicht Einflussgröße



Abbildung 8: Überblick Einflussgrößen

Als die zentrale Einflussgröße wird der Dreiklang aus „regulatorischem System“, den „Kosten der Transformation bzw. Wirtschaftlichkeit“ und den Möglichkeiten „(monetärer) Förderungen“ erachtet. Die deutliche Mehrheit hat diese Aspekte als wichtige Einflussgrößen hervorgehoben. Die „gesellschaftliche Akzeptanz“ stufen die Expert*innen ebenfalls als bedeutenden Erfolgsfaktor für das Gelingen der Transformation ein. Zudem ordnen die Expert*innen die Verfügbarkeit nachhaltiger Energieträger und die „Infrastruktur/Netze“, insbesondere die des Strom- und Gasnetzes, als weitere bedeutende Einflussgrößen ein.

EIN ERSTER ÜBERBLICK: DIE HAUPTBARIERIEN DER TRANSFORMATION

Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, beurteilen die Expert*innen das „regulatorische System“ und die „Kosten/Wirtschaftlichkeit“ nicht nur als zentrale Einflussgrößen, sondern sie sehen sie in ihrer derzeitigen Verfassung auch als hemmende Faktoren für die Transformation an. Die

Expert*innen aus dem Wärme- und Erzeugungsbereich stufen in diesem Zusammenhang insbesondere die aktuelle Ausgestaltung der Einflussgrößen „Genehmigungsverfahren“ und „Infrastruktur/Netze“ als besonders hemmend ein.

Gefährdet und in deren Bedeutung unterschätzt, so die Mehrheit der Expert*innen, wird die schnelle Transformation des Energiesystems zudem durch den (allgemeinen) Fachkräftemangel. Im Weiteren ist laut Expert*innen aus dem Wärme- und dem behördlichen Bereich die „gesellschaftliche Akzeptanz“ nicht nur zentral für die Transformation, sondern sie sehen aktuell in ihr auch einen möglichen negativen Einfluss, sofern die Akzeptanzförderung bei den Akteur*innen nicht an Bedeutung gewinnt:

„Wenn die Bevölkerung dann merkt, dass das alles mehr Geld kostet, ob die das dann immer noch will? Ob man da schon so weit ist, gesellschaftlich, ob man

das wirklich schon verstanden hat, so im Detail? Weiß ich nicht so richtig, ob die Leute das wirklich dann immer noch wollen.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Die Mobilitätsexpert*innen beurteilen in „ihrem“ Sektor im ÖPNV-Bereich vor allem die fehlenden Flächenverfügbarkeiten für Betriebshöfe, die sich auf die neuen Gegeben-

heiten umrüsten lassen – zum Beispiel Elektrifizierung der Betriebshöfe – als erhebliche Barriere. Als weitere Barriere der Mobilitätswende sticht zudem das zum Teil fehlende Angebot an Fahrzeugen und an notwendiger Ladeinfrastruktur hervor. Insbesondere im Schwerlastbereich bestehen hier noch erhebliche Lücken.

Hauptbarrieren nach Sektoren/Bereichen

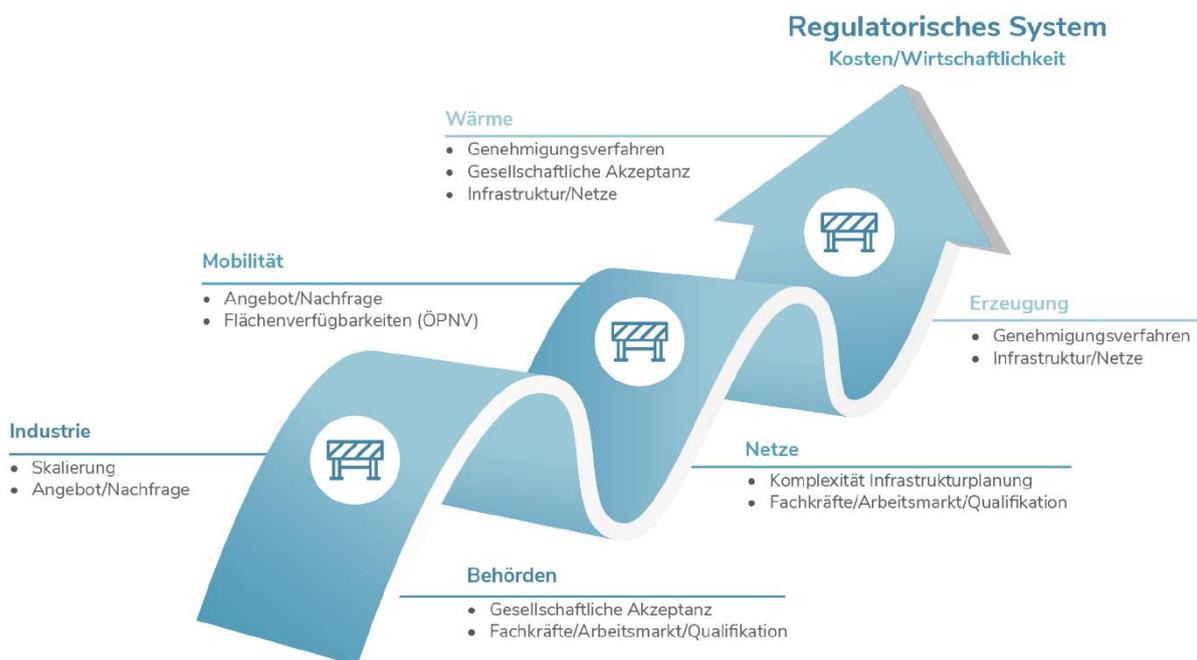


Abbildung 9: Hauptbarrieren nach Sektoren/Bereichen aus Sicht der Expert*innen

Doch inwiefern wirken sich die einzelnen Einflussgrößen aktuell und im weiteren Prozess auf die Transformation des Energiesystems aus? Worin liegen konkret die Barrieren? Worin die Treiber? Was fordern die Expert*innen? – Antworten auf diese Fragen lassen sich auf den kommenden Seiten nachlesen.

REGULATORISCHES SYSTEM | ANGEBOT/NACHFRAGE

Die Einflussgröße „regulatorisches System“ nimmt laut einem großen Teil der Expert*innen eine bedeutende Rolle ein. Sie beschreiben das

aktuelle regulatorische System als sehr hemmend für eine erfolgreiche Transformation. Es fallen Worte wie "nicht mehr zeitgemäß" oder "veraltet". Einig darüber, dass die Anpassung des Rechtssystems aufgrund seiner Komplexität eine erhebliche Herausforderung darstellt, beobachten die Expert*innen auch, zumindest zum Teil, viel Dynamik und würdigen:

„Die Regulatorik ist auf einem guten Weg.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Vor allem die behördlichen Expert*innen versichern, dass eine Anpassung des Rechts-

rahmens eine hohe Priorität in der Politik besitzt und viel Wert auf den Austausch mit den einzelnen Akteur*innen aus der Energiewirtschaft gelegt wird.

Trotz der beobachteten Dynamik, bemängeln vor allem die Expert*innen aus der Wirtschaft fehlende klare Richtlinien und stetige Richtungswechsel bei der Einführung von Gesetzen bzw. Mechanismen. Die Expert*innen fordern daher, den Fokus verstärkt darauf zu legen, Unternehmen mehr Planungssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit zu ermöglichen. Beides wird durch den aktuellen Rechtsrahmen aktuell als nicht erfüllt angesehen.

„Wenn wir jetzt darangehen und ein neues System bauen, müssen wir damit rechnen, dass das alte nicht mehr funktionieren wird. So und dann ist die Frage, schaffe ich es, ein neues regulatorisches System zu bauen, dass diese neue Wirklichkeit abbildet und eben Anreize setzt, flexibel zu verbrauchen, zeitgleich aber monetär das Gleiche bei rauskommt, wie in der jetzigen Regulatorik.“
(NRL-Experteninterviews 2022)

Die Expert*innen fordern von der Politik somit eine klare Linie, indem beispielsweise konkrete Parameter der Erfolgsmessung definiert werden. Als essenziell erachten die Expert*innen jedoch auch eine stärkere europäische bzw. globale Verzahnung, um im Zuge der Transformation weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben (siehe Einflussgröße: „Kosten/Wirtschaftlichkeit“). Zudem wünschen sie sich von der Politik zwar Steuerungsimpulse, aber auch mehr Freiräume bzw. Effizienz mit dem zunächst vorrangigen Ziel, Absatzmärkte entstehen zu lassen. Änderungen der Preisgestaltung, klare Finanzierungsrahmen, Reform der Steuern und Umlagen des Energiemarktes, Regularien rund um den Ausbau von Netzen und Netzentgelte und generell mehr Freiräume sind in diesem

Zusammenhang nur einige Forderungen der Expert*innen.

Im Zusammenhang mit dem „regulatorischen System“ taucht zudem immer wieder das Stichwort „Genehmigungsverfahren“ auf. Vor allem der bürokratische Aufwand, die Unklarheit über die konkreten Anforderungen und die Prozessdauer aufgrund von Bearbeitungs- bzw. Prüfzeiten werden hier von den Expert*innen als Hürden genannt. Die Angaben variieren je nach Bereich von 1-1,5 Jahren über 3-4 Jahren bis hin zu 5-8 Jahren Dauer bis zur endgültigen Genehmigung von Anlagen – in allen Fällen wird die Zeitdauer als zu lang eingestuft. Um die Transformation zu beschleunigen, darin sind sich die Expert*innen einig, bedarf es somit einer Reformierung bzw. erheblichen Erleichterung von Planungs- und Genehmigungsverfahren. Aufgrund der Neuartigkeit der Lösungen bedürfe es außerdem noch Entwicklungsarbeit und Praxiserfahrungen in die Ausgestaltung der entsprechenden Genehmigungsverfahren einfließen zu lassen. Zudem wünschen sich die Expert*innen eine enge Zusammenarbeit zwischen den Behörden und Antragsstellenden, um unnötige Verzögerungen zu vermeiden.

Um den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft zu fördern, halten die Expert*innen eine klare Definition von grünem Wasserstoff für notwendig. Als weitere wichtige Aspekte für die Umgestaltung der Regulatorik werden eine gemeinsame Regulatorik der Wasserstoff- und Erdgasversorgung, die Einführung einer flächendeckenden Quote für die Beimischung von Wasserstoff und die Befreiung der Wasserstoff-Elektrolyse von der EEG-Umlage genannt.

Insgesamt zeigt sich, dass die Expert*innen den derzeitigen regulatorischen Vorgaben seitens der Politik erhebliche Auswirkungen auf die Transformation des Energiesystems zuschreiben. Damit das regulatorische System nicht weiterhin der große „Hemmschuh“ der

Transformation bleibt, bedarf es einer grundsätzlichen und vor allem zeitnahen Neugestaltung der Regulatorik.

Hierzu bildet abschließend Abbildung 10 einen zusammenfassenden Überblick.

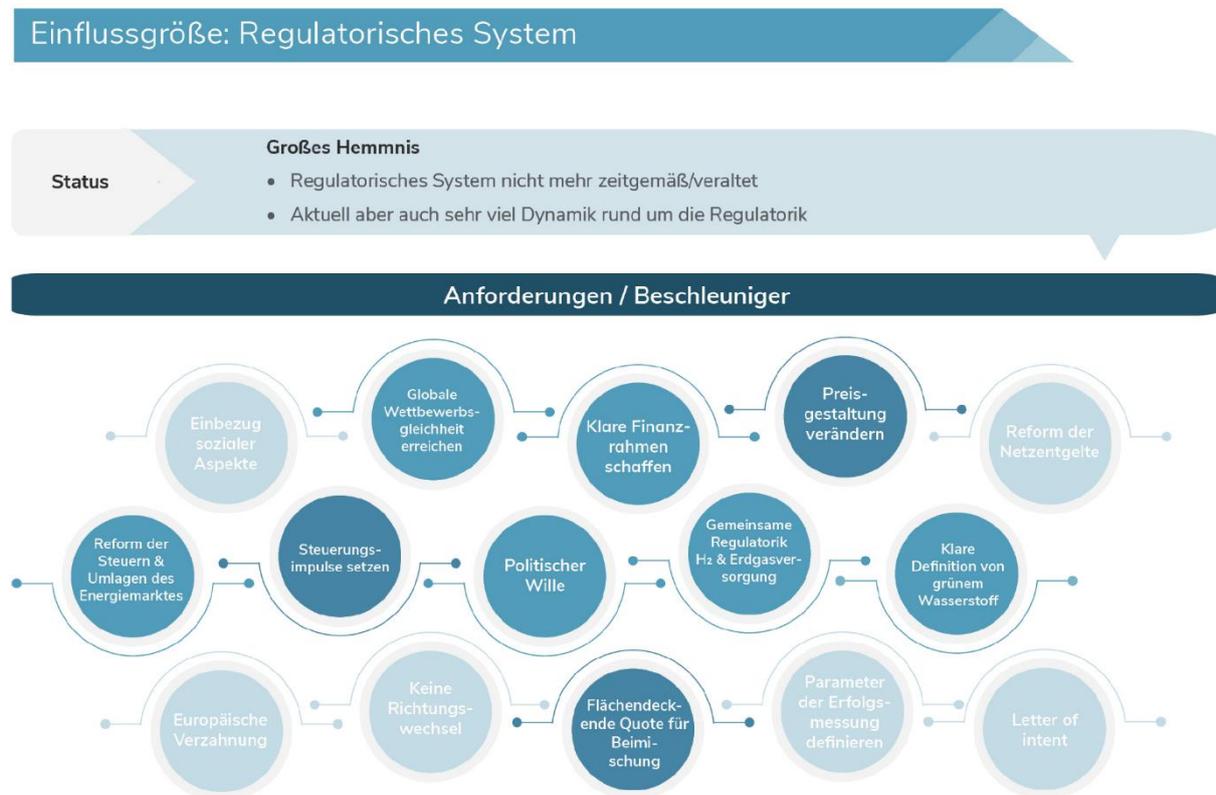


Abbildung 10: Einflussgröße: Regulatorisches System

KOSTEN/WIRTSCHAFTLICHKEIT | (MONETÄRE) FÖRDERUNGEN | ANGEBOT/NACHFRAGE

Die Expert*innen sehen, wie bereits erwähnt, einen engen Zusammenhang zwischen den Einflussgrößen „regulatorisches System“ und „Wirtschaftlichkeit/Kosten“. Beide Größen werden von den Expert*innen aktuell als „großer Hemmschuh“ für die Transformation bezeichnet. Vor allem die Industrieexpert*innen beklagen, dass eine Umstellung auf nachhaltige Energieträger – zum Beispiel auf Wasserstoff – aufgrund des Kostennachteils zu fossilen Energieträgern ohne Förderungen keine wirkliche Alternative sei:

„Aber man muss auch Realist sein; ohne Fördermechanismen wird es nicht gehen.“
(NRL-Experteninterviews 2022)

In Industrieprozessen hemmen insbesondere die im Vergleich höheren laufenden Betriebskosten die Wirtschaftlichkeit nachhaltiger Lösungen.

„Das wäre so ein bisschen unsere Forderung, dass man auch über neue Fördermechanismen nachdenkt, die sich eben auf die Betriebskosten fokussieren, weil die Betriebskosten maßgeblich sind und gar nicht die Investitionskosten.“
(NRL-Experteninterviews 2022)

Bei der Umstellung auf Wasserstoff steht beispielsweise der teurere Herstellungsprozess von Wasserstoff aufgrund der hohen Wandlungsverluste (siehe Kapitel 4) einem profitablen Betrieb entgegen. Somit verursachen nicht nur die hohen Anschaffungskosten eines

Elektrolyseurs bei der Eigenproduktion von Wasserstoff erhebliche Kosten, sondern insbesondere die laufenden Differenzkosten führen zu Mehrkosten. Darüber hinaus stehen, so die Expert*innen, die oft unterschätzten Zusatzkosten rund um Anlagen wie zum Beispiel Abwassertechnik oder Feuerwehzufahrten der Wirtschaftlichkeit entgegen.

Um der fehlenden Wirtschaftlichkeit entgegenzuwirken und somit einen erfolgreichen Markthochlauf von (wasserstoffbasierten) Sektorenkopplungstechnologien zu erreichen, ist ein marktwirtschaftlicher Rahmen zu schaffen, der darauf abzielt, Skalierungseffekte und damit verbundene Kostendegressionen zu erzielen. Vor allem im Industriesektor sei es wichtig, auch international konkurrenzfähige Preise zu erzielen, da die Industrieunternehmen (zumeist) auf einem globalen Markt agieren und somit an Weltmarktpreise gebunden sind:

„Das große Problem ist, dass wir ein sogenannter Preistaker sind, sprich sie haben [...] Weltmarktpreise für alle, [...] wo wir die Kosten reinbringen müssen. Es gibt aber niemanden, wenn wir jetzt Aufschläge aufgrund von Wasserstoff oder sonstigen Sachen haben, an dem wir diese Kosten bisher weitergeben können.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Als Beispiele zur Schaffung eines marktwirtschaftlichen Rahmens nennen die Expert*innen einerseits neben einer grundsätzlichen Änderung der Preisgestaltung die Überarbeitung des CO₂-Preises als mögliche Maßnahme. Andererseits besteht aber auch die Ansicht, dass die Akzeptanz für generell höhere Energiekosten zu schaffen ist:

„[...] natürlich sind die hohen Preise auch im Moment ein Hemmnis in einigen Anwendungsbereichen, aber durch die Illusion,

die die Politik schürt mit günstigen Preisen in der Zukunft, wird das nochmal verstärkt.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Im Weiteren verstärkt sich der Kostennachteil dadurch, dass sich bei einem Umstieg trotz steigender Kosten keine höhere Qualität oder Gesamtmenge erreichen lässt. Hinsichtlich der Bedeutung des Nachhaltigkeitsaspektes nehmen die Expert*innen zwar bereits einen Wandel im Markt wahr und damit auch eine Steigerung der Nachfrage hinsichtlich nachhaltiger Alternativen entlang aller Sektoren. Überwiegend fehlt aber am Ende noch die Bereitschaft der Abnehmenden, besonders in der Industrie, die Mehrkosten auch wirklich zu tragen:

„Dann ist aber relativ schnell der Punkt erreicht, wo dann der Einkauf doch nochmal auf den letzten Cent guckt und dass er nicht zahlen will. Das ist eigentlich das, aus meiner Sicht, mit das größte Problem, wie man sowas umsetzen kann.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Entlang aller Wertschöpfungsstufen bis hin zu den Endabnehmenden sollte daher für die Notwendigkeit einer Gesamtbetrachtung der Kosten sensibilisiert werden, die auch mittelbare Kosten wie Folgekosten, Energieabhängigkeit etc. miteinschließen.

„Und es braucht halt eine übergeordnete Instanz, die, die gesamte Wertschöpfungskette irgendwie im Blick hat. Und nicht müde wird, immer wieder das Thema aufzugreifen und auch auf Hemmschuhe, die es hier heute gibt technisch wie regulatorisch, kaufmännisch darauf hinzuweisen, um die Idee zu pflanzen bei Entscheidungsträgern, da was ändern zu müssen.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Aufgrund der Kostennachteile sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite bedarf es somit stärkerer Anreize für den Umstieg auf nachhaltige Energieträger. Auf Anbieterseite übernehmen dazu neben der Schaffung eines klaren Finanzierungsrahmens vor allem staatliche Fördermöglichkeiten eine Schlüsselrolle. Geförderte „Großprojekte wie das NRL“ fungieren hier als wichtige Anstöße, um Projekte zur Transformation voranzubringen und umzusetzen.

Auch schätzen die Expert*innen, dass sich mit Großprojekten durch die Bündelung von Themen eine höhere Durchschlagskraft erreichen lasse. Durch den übergreifenden Austausch und die Sammlung von Erfahrungen lasse sich aus Sicht der Expert*innen das Tempo der Transformation erhöhen.

„Ja, die sind Sperrspitzen oder auch Leuchttürme. [...] Wenn man in kurzer Zeit große industrielle Veränderungen herbeiführen will, dann muss man solche Großprojekte in die Welt setzen, die zeigen, dass es geht und Ansporn für andere sind, sich dran zu orientieren.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Aktuelle Fördermöglichkeiten beurteilen die Expert*innen divers: Aus Sicht der behördlichen Expert*innen sind genügend geeignete Fördertöpfe vorhanden; die anderen Expert*innen sehen hingegen den Bedarf gezieltere Förderprogramme bzw. staatliche Anreize zu schaffen. Dabei stellen die Expert*innen

folgende Ansprüche an geeignete Förderprogramme:

- Förderschwerpunkte auf Gesamtsystem-Optimum legen
- Gesamtsystemische/Integrierte Förderprogramme
- Klare Zieldefinierung vor Förderausschreibung
- Schaffung klarer, verlässlicher Fördermechanismen
- Schaffung individueller Förderquoten
- Vereinfachung der Ausschreibungsverfahren

Als zentral kristallisiert sich der Anspruch, mehr gesamtsystemische Förderprogramme mit flexiblen Förderinstrumenten zu entwickeln, heraus. Neben Forschungs- und Entwicklungs-Fördermechanismen sprechen sich die Industrieexpert*innen zudem für mehr Möglichkeiten zur Förderung von Betriebskosten bzw. OPEX-Kosten aus. Darüber hinaus ist, ähnlich wie bei den Genehmigungsverfahren, ein spezielles Augenmerk auf die Vereinfachung und Verkürzung von Förderprozessen zu legen. So lässt sich zum einen mehr Planungssicherheit für die Antragssteller erreichen und zum anderen lassen sich Verzögerungen für die Transformation aufgrund bürokratischer Anforderungen minimieren.

Abbildung 11 gibt einen zusammenfassenden Blick auf die Einflussgröße „Kosten/Wirtschaftlichkeit“.

Einflussgröße: Kosten/Wirtschaftlichkeit



Abbildung 11: Einflussgröße: Kosten/Wirtschaftlichkeit

VERFÜGBARKEIT/IMPORT | LOGISTIK/TRANSPORT | SPEICHERUNG

Zum Ausbau von Sektorenkopplungstechnologien ist die bedarfsdeckende Verfügbarkeit von nachhaltigen Energieträgern grundlegend. Da die Substituierung von konventionellen Energieträgern durch Wasserstoff ein Fokusthema des NRL ist, wurden im Rahmen der Interviews insbesondere wasserstoffbasierte Lösungen und damit die Verfügbarkeit von Wasserstoff näher beleuchtet. Aus den Interviews kristallisiert sich heraus, dass die ausreichende Verfügbarkeit von Wasserstoff aktuell und auch künftig eine erhebliche Herausforderung darstellt; vor allem im Hinblick auf die Erreichung der Ziele der Norddeutschen Wasserstoffstrategie.

Die mangelnde Verfügbarkeit, so die Expert*innen, führt zu Zielkonflikten zwischen den Sektoren – auch künftig. Daher sprechen sie sich dafür aus, sektorenspezifische Prioritäten zur Nutzung von Wasserstoff zu definieren. Wie in Kapitel 4 beschrieben, wird die Substituierung in konventionellen Produktionsprozessen durch Wasserstoff als besonders vielver-

sprechend angesehen und sollte daher präferiert gefördert werden. Aufgrund des hohen Energiebedarfs in den Produktionsprozessen geht dies allerdings mit einem hohen Bedarf an Wasserstoff einher. Auch wenn die Expert*innen der inländischen Erzeugung, vor allem in den norddeutschen Ländern, ein hohes Potenzial zusprechen, so sind sie sich auch einig, dass sich der Wasserstoffbedarf auch künftig nicht inländisch decken lassen wird.

„Was wir alle wissen ist, wir werden den Wasserstoffbedarf [...] das werden wir nicht schaffen in Deutschland zu produzieren. Das heißt, wir wissen alle, dass wir auf Importe angewiesen sind.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Aufgrund der nicht zu stemmenden Erzeugungskapazitäten befürworten die Expert*innen den Aufbau von Importketten. Zudem bewerten die Expert*innen die Kosten von importiertem Wasserstoff als vorteilhaft, da sie den Import von Wasserstoff nach aktuellem Stand trotz der Transportkosten auch künftig als günstiger und somit wirtschaftlicher einstufen.

Insgesamt zeigt sich, dass aus Sicht der Expert*innen zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft die Schaffung einer Importstruktur unabdingbar ist.

„Was ich gelernt habe, Deutschland wird immer Importnation für Energie bleiben.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Die Expert*innen prognostizieren sogar teilweise, dass der Import von Wasserstoff die inländische Erzeugung langfristig komplett verdrängen könne. Dennoch sprechen sie sich für den Aufbau von inländischen Erzeugungsstrukturen aus. Inländische Erzeugung wird einerseits benötigt, um die Verbreitung und Weiterentwicklung von wasserstoffbasierten Sektorenkopplungstechnologien zu unterstützen – und erscheint auch im Sinne der Energieunabhängigkeit von Drittstaaten sinnvoll. Um den Zielvorgaben der norddeutschen Wasserstoffstrategie zu entsprechen, mahnen die Expert*innen an, frühzeitig mit dem Aufbau von Import-Ketten zu beginnen.

„Also die Aufgabe, die Infrastruktur dafür zur Verfügung zu stellen und die Rahmenbedingungen dafür zu schaffen, dass Wasserstoff importiert werden soll, ist sehr groß, heute schon.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Zudem sollte ein spezielles Augenmerk darauf gelegt werden, aus welchen Ländern der Wasserstoff zukünftig importiert werden soll. Als potenzielle Exporteure werden vor allem die skandinavischen Länder befürwortet. Generell betonen die Expert*innen, dass eine Risikostreuung zu erreichen ist, indem aus mehreren Staaten importiert wird.

„Wir brauchen Importe aus verschiedenen Weltregionen. Das würde ich auch als ganz große Aufgabe für die Politik heute sehen.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Eine weitere Herausforderung für einen potenziellen Import von Wasserstoff ist die Schaffung einer länderübergreifenden Transportinfrastruktur. Der Aufbau stellt die Akteur*innen jedoch vor erhebliche planerische Herausforderungen – zum Beispiel hinsichtlich der Transportanforderungen und Transportmittel. Hinsichtlich der Form des Wasserstoffs empfehlen die Expert*innen, sich auf eine Form, gasförmig oder flüssig, national festzulegen, um die Komplexität zu verringern. Darüber hinaus sind Entscheidungen über eine zentrale oder dezentrale Verfahrensweise zu treffen, wobei die Mehrheit der Expert*innen einen zentralen Import und die Verteilung über künftige Wasserstoffnetze befürwortet.

Insgesamt beklagen die Expert*innen, dass diese Thematik bis dato nicht ausreichend stringent verfolgt wurde und es daher der grundlegenden Entwicklung einer Strategie und eines „Fahrplans“ zum Aufbau von Import-Ketten bedarf.

SPEICHERTECHNOLOGIEN

Wie bereits beschrieben, stufen die Expert*innen die inländische Erzeugung von Wasserstoff zur Verbreitung bzw. zum Markthochlauf wasserstoffbasierter Lösungen als sehr bedeutend ein. Darüber hinaus übernehmen in diesem Zusammenhang Technologien zur Speicherung von Wasserstoff eine wichtige Rolle. Allerdings merken die Expert*innen auch kritisch an, dass der Speicherungsprozess von Wasserstoff aufwendig sei. Die Speicherung von Wasserstoff erfordere daher die Umrüstung und auch den Neubau von Speichern. Zur Umrüstung eignen sich laut Expert*innen insbesondere Erdgas- und Kavernenspeicher. Auch die Nutzung des Gasnetzes stufen die Expert*innen – zumindest zur kurzfristigen Speicherung – als vielversprechende Möglichkeit ein.

Auch wenn die Expert*innen generell der Speicherung von nachhaltigen Energieträgern eine wichtige Rolle zuschreiben, betonen die Expert*innen in diesem Kontext auch oft die Herausforderung, dass die Umrüstung der bestehenden Speichermöglichkeiten sehr kostspielig sei und laut Einschätzungen eine hohe Anzahl an Speichertanks künftig benötigt werden. Dies macht den Bau neuer Speicher notwendig. Die damit verbundenen – aktuell langwierigen – Bauprozesse bremsen das Tempo der Transformation erheblich.

INFRASTRUKTUR/NETZE

Für die Transformation stellt die Schaffung einer zugehörigen Infrastruktur – darin sind sich die Expert*innen einig – ein wichtiges Bindeglied dar. Auch hierzu lag der Fokus in den Interviews auf der Fragestellung, wie sich für den Markthochlauf einer Wasserstoffwirtschaft eine funktionierende Infrastruktur schaffen lässt bzw. worin diesbezüglich die Herausforderungen liegen.

Auch wenn die Expert*innen der Infrastruktur eine hohe Bedeutung beimessen, bemängeln sie, insbesondere die Netzbetreiber, dass diese Thematik im Kontext der Transformation zu wenig fokussiert behandelt wird.

„Nein, das ist für mich einer der wesentlichen Faktoren. Wenn wir keine Infrastruktur aufbauen und die auch finanzieren, ohne dass sie durch die Nachfrage finanziert werden kann, weil die haben wir einfach noch nicht, werden wir keinen Markthochlauf erreichen.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Daher ist es wenig verwunderlich, dass laut Expert*innen in (Nord-)Deutschland aktuell keine geeignete Infrastruktur zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft vorhanden sei. Eine Ausnahme bildet die Infrastruktur rund um den Sektor Mobilität.

„In Bezug auf Wasserstofftankstellen wird in Deutschland und in Hamburg zur Zeit viel getan.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Hier erkennen die Expert*innen im Allgemeinen an, dass sich der Aufbau der Infrastruktur bzw. des Tankstellennetzes für brennstoffzellenbetriebene Antriebe auf einem guten Weg befindet. Zum Teil wird die Infrastruktur sogar als fortschrittlich eingestuft.

Für den Markthochlauf brennstoffzellenbetriebener Antriebe schätzen die Mobilitätsexpert*innen, zumindest für den Individualverkehr (PKW), das Tankstellennetz in Deutschland aktuell als mehr oder weniger ausreichend ein. Als nächsten Schritt erachten die Mobilitätsexpert*innen eher die Ausweitung des Angebots von brennstoffzellenbetriebenen PKWs als notwendig:

„[...] Das heißt, es gibt halt wirklich wenige Hersteller, die sich auf Wasserstoffantriebe fokussieren. Insbesondere, was ich ein bisschen erschreckend finde, dass sich fast kein deutscher Anbieter wirklich mit Wasserstoffantrieben beschäftigt. Da verlieren wir einen sehr großen Anteil an Wertschöpfung in unserem Land und wir sind dann angewiesen auf ausländische Hersteller.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Zum Bereich Schwerlastverkehr wurden keine konkreten Aussagen gemacht. Aus den Ausführungen der Expert*innen lässt sich jedoch schließen, dass das deutsche Tankstellennetz für die Streckenumschläge von Schwerlastfahrzeugen aktuell nicht ausreicht, da es bisher nur einige wenige Wasserstofftankstellen mit den jeweiligen Druckstufen für Schwerlastfahrzeuge in Deutschland gibt. Für eine funktionierende Infrastruktur im Schwerlastbereich müsste ein Autobahn-Tankstellennetz aufgebaut werden.

Auch im ÖPNV wird die Infrastruktur aktuell als herausfordernd eingestuft. Hier ergibt sich die Besonderheit, dass die Fahrzeuge des ÖPNV zumeist auf dem eigenen Betriebsgelände und damit nicht bei öffentlichen Tankstellen betankt werden. Neben dem Mangel an Flächenverfügbarkeiten (siehe Kapitel 4) stellt der Ausbau von Wasserstoff-Tankstellen eine erhebliche Kostenhürde dar. Auch die Kosten und Lieferzeiten von brennstoffzellenbetriebenen ÖPNV-Fahrzeugen erweisen sich als Hemmnis. Die Mobilitätsexpert*innen hoffen diesbezüglich auf eine stärkere politische Unterstützung.

Allgemein ist hier allerdings anzumerken, dass im ÖPNV überwiegend der Ansatz batteriebetriebener Antriebe verfolgt wird (siehe Kapitel 4) und brennstoffzellenbetriebene Antriebe eher als Ergänzung im Fuhrpark fungieren sollen, sofern die Reichweiten eines batteriebetriebenen Fahrzeugs nicht ausreichen sollten. Die Mobilitätsexpert*innen rechnen aber damit, dass sich der Markt so entwickeln wird, dass sich der Reichweitenbedarf künftig auch über batteriebetriebene Fahrzeuge im ÖPNV abdecken lässt:

„Und wenn wir jetzt 3 Jahre weiter schauen, dann werden wir ganz andere Batterien haben und ganz andere Busse, die es schon wieder weiter schaffen und dann kommen wir so immer weiter rein und ich glaube, wir sind da momentan ganz optimistisch, dass wir damit gut hinkommen.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Damit in den Sektoren Industrie und Wärme eine geeignete Infrastruktur geschaffen werden kann, nehmen der Netzbau und -ausbau eine zentrale Rolle ein. Neben dem derzeit unzureichenden Angebot an Erzeugungskapazitäten, stehen aktuell so gut wie keine Wasserstoffleitungen bzw. -netze für die Einspeisung von Wasserstoff zur Verfügung. So erweisen

sich auch oft fehlende Netzanschlüsse zur Inbetriebnahme von (potenziellen) Elektrolyseuren als Hürde für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft.

„Käme ein Kunde und würde sagen, ich möchte einen Elektrolyseur bis 2025 errichten, dann sagen Sie, ich gebe Ihnen den, aber bis 2032, das wäre der machbare Zeitraum. Das würde ja bedeuten, das ist ein ganz großer Zielkonflikt.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

„Wie können die Netze weiter ausgebaut werden?“ „Muss in jedem neu zu erschließendem Stadtteil ein Gasnetz, ein Fernwärmenetz und ein Stromnetz gelegt werden?“ „Oder gibt es vielleicht ein Optimum, was dazwischen liegt?“ „Wie ist der Umgang mit bestehenden Infrastrukturen?“ „Müssen Netze zurückgebaut oder an anderer Stelle vielleicht verstärkt werden?“

Dies sind nur einige Fragen, mit denen sich die Netzbetreiber derzeit beschäftigen. Aufgrund der Komplexität der notwendigen Entscheidungen zu dieser Thematik erachten die Expert*innen die Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen den Netzbetreibern und weiteren Stakeholdern als essenziell. In diesem Zusammenhang heben die Expert*innen Verbundprojekte wie das NRL als wichtige Chance zur Zusammenarbeit hervor.

Aktuell ist das Gasnetz zu 98/99-Prozent fossil (Erdgas mit einem kleinen Biogas-Anteil). Nach Einschätzungen der Netzbetreiber ist die bestehende Gasnetzinfrastruktur prinzipiell weitgehend auf Wasserstoff umstellbar. Für eine komplette Umstellung wird der Bau von 10-15 Prozent, so die Einschätzung, neuer Netzleitungen notwendig. Im Hinblick auf den Bau neuer Leitungen stehen allerdings lange Prozessketten und somit die Dauer des Baus von Leitungen einer schnellen Umstellung entgegen. Beim Bau neuer Netzleitungen kristallisieren

sich weitere Hürden heraus: Auf der einen Seite dürfen Netzleitungen erst nach angemeldetem Bedarf gebaut werden. Auf der anderen Seite liegen aber auch Unsicherheiten bei der Entwicklung der Leistungsbedarfe bzw. der Aufstellung von Planungsszenarien vor. Außerdem sind es oft fehlende Dokumentationen über bestehende Leitungen und fehlende Informationen über die Abnehmer, vor allem im Privatbereich, die die Planung der Netzbetreiber erschweren. Auch fehlende Flächenverfügbarkeiten bzw. die Flächenkonkurrenz verschiedener Akteur*innen und Akzeptanzschwierigkeiten von Anwohner*innen bei sichtbarer Infrastruktur werden hier als Störfaktoren genannt. Als Lösungsansätze nennen die Expert*innen die Konsolidierung von städtischen Infrastrukturprojekten und die Mehrfachnutzung von Flächen als Beispiele.

In Bezug auf die Beimischung von Wasserstoff ins bestehende Erdgasnetz liegt die Beimischungs-Norm aktuell bei 2 Prozent, sofern Erdgastankstellen im Netz enthalten sind. Die Mehrheit der Netzbetreiber schätzt allerdings, dass der Anteil auf 10-12 Prozent, zumindest wenn Erdgasfahrzeuge nicht berücksichtigt werden müssten, relativ schnell hochgefahren werden könnte. Folglich sprechen sich die Netzbetreiber überwiegend für höhere Beimischungsquoten aus. Allerdings merken die Netzbetreiber auch an, dass abschließend noch nicht erprobt ist, wie sich die Beimischung auf die Beschaffenheit der Leitungen auswirkt. Diesbezüglich wird beispielsweise vermutet, dass Materialien wie Absperrventile und Armaturen ausgetauscht werden müssten. Zudem stellen die unterschiedlichen Verträglichkeiten der Ausstattung auf der Abnehmerseite eine weitere Herausforderung dar, was wiederum eine enge Zusammenarbeit zwischen den Netzbetreibern und den Abnehmern erforderlich macht.

Um die Ziele der Norddeutschen Wasserstoffstrategie nicht zu gefährden, bedarf es des

Ausbaus einer breiten Infrastruktur, wozu wiederum eine übergeordnete Infrastrukturplanung notwendig wird. In diesem Kontext drängen die Netzbetreiber auf die Realisierung von weitreichenden Netzausbauprojekten und eine grundsätzliche Neustrukturierung der Netze. Aufgrund des enormen Investitionsaufwands, auch im Rahmen von Netzausbauprojekten, wird zur Erhöhung der Planungssicherheiten zudem ein klares Bekenntnis zu Wasserstoff seitens der europäischen Union gefordert.

„Wenn man jetzt frühzeitig das Signal bekommt, macht euch Wasserstoff ready. Aber jedes Jahr, wo es nicht tun, investieren wir eventuell in Sachen, weil die anderen teurer sind, in Infrastruktur oder Betriebsmittel, die nicht Wasserstoff ready sind und die muss ich nachher wieder austauschen.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Hinsichtlich der Neustrukturierung der Netze sehen die Netzbetreiber eine integrierte Netzplanung, sprich das Zusammenführen der Infrastruktur verschiedener Netze, als wichtige Stellschraube an.

„Wir müssen uns systematisch damit beschäftigen, damit es nicht ein unkoordiniertes ‚Rumgewurschtel‘ gibt oder man sich gegenseitig kannibalisieren oder sonstiges.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Darüber hinaus sensibilisieren die Netzbetreiber für eine frühzeitige Planung und die Anwendung eines mehrstufigen bzw. modularen Verfahrens, da zum Um- und Ausbau der Netzleitungen längere Vorlaufzeiten benötigt werden und es anders kapazitiv nicht zu stemmen wäre.

Neben einer frühzeitigen Planung sprechen sich die Netzbetreiber für die Implementierung kürzerer Prozesse aus. Schlüssel hierzu könnte das regulatorische System sein.

Die folgende Abbildung gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Barrieren und Lösungsansätze der Expert*innen:



Abbildung 12: Einflussgröße: Infrastruktur/Netze

FACHKRÄFTE/ARBEITSMARKT/QUALIFIKATION

Insgesamt wird der Fachkräftemangel als große Barriere angesehen. Auch wenn sich laut der Expert*innen das Anforderungsprofil bei den Fachkräften sich überwiegend kaum ändern wird, bedürfe es bei der Transformation – je nach Sektor – mehr oder weniger Schulungsbedarf und der Implementierung neuer Prozesse. Als weitaus bedrohlicher für die

Transformation wird der allgemeine Fachkräftemangel eingestuft. Besonders groß wird der Mangel im Handwerk, Montebereich und im Tiefbau wahrgenommen. Um dem entgegenzuwirken, sind weitgehende Analysen des Arbeitsmarktes und die Implementierung von Mechanismen wie Strukturförderung nötig.

Nähere Details und Erkenntnisse zu der Einflussgröße sind nicht darstellbar, da diese

Thematik laut eigenen Aussagen der Expert*innen über deren Expertise hinausgeht.

GESELLSCHAFTLICHE AKZEPTANZ

Die Bedeutung der Akzeptanz der Bevölkerung für das Gelingen der Transformation wird von den Expert*innen insgesamt als sehr hoch eingeschätzt. Privatpersonen sind an verschiedenen Punkten der Transformation – zum Beispiel im Bereich des Individualverkehrs – Endabnehmer*innen.

Sie haben (noch) die Wahl, für welche Antriebsform sie sich bei einem Autokauf entscheiden. Dies gilt mit gewissen Einschränkungen auch für den Bereich Wärme wie zum Beispiel bei dem Besitz privater Immobilien. Auch in Bereichen, in denen die Bevölkerung nicht direkte Endabnehmer*innen sind, kann sie durch eine veränderte Nachfrage Einfluss ausüben:

„Aber, dass die Bevölkerung den Bedarf an grünen Produkten anmeldet, dass sich eine gewisse Bereitschaft ergibt, mehr dafür zu zahlen, so sehe ich in unserem Wasserstoffumfeld die Rolle der Bevölkerung.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Vor allem aber sind sie Wähler*innen, ohne deren Rückhalt notwendige politische Weichenstellungen nicht erfolgen oder sich zumindest verzögern.

„Ich glaube, was genauso wichtig ist, ist, die Bevölkerung mitzunehmen, weil wenn man die verliert, dann haben wir vielleicht 4 Jahre jetzt die Chance, irgendwas auf den Weg zu bringen. Das wird dann aber ganz schnell wieder eingesammelt. Bei der nächsten Wahl.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Insofern werden die Bürger*innen als Gesellschaft insgesamt, ebenso wie jede Einzelperson in seiner Rolle als Endabnehmer*in, als Kund*in, als Wähler*in als Einflussgröße für den Prozess, insbesondere aber für die Geschwindigkeit der Transformation gesehen.

„Das ist so ein bisschen das Level, auf dem wir uns bewegen, also am besten nichts machen, so lassen wie es ist [...]. Doch man muss sich als Gesellschaft fragen, ob wir mit dieser Einstellung das Problem lösen können. Das ist aus meiner Sicht nicht der Fall. Wir brauchen einen gesellschaftlichen Diskurs darüber, was für Zumutungen denn auch möglich sein müssen. [...] Und es wird auch nichts dafür getan, diesen Diskurs anzustoßen. Das ist zumindest mein Eindruck.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Gerade im Diskurs über die notwendigen Weichenstellungen und über „Zumutungen“ nehmen Aspekte der Transformation, die sichtbar oder als durch erhöhte Kosten spürbar sind und die Bevölkerung als Anwohner*innen oder Nutzer*innen betreffen eine wichtige Rolle ein. Als Beispiele für „sichtbare“ Aspekte werden hier der Zubau von Anlagen zur Erzeugung von erneuerbaren Energien und den für die Verteilung notwendigen Leitungen genannt. Die Expert*innen aus den Bereichen „Behörde“, „Erzeugung“ und „Netze“ sprechen den Bürger*innen diesbezüglich eine hohe Hebelwirkung zu, die sowohl unterstützend als auch hemmend wirken kann.

„Die Gesellschaft in Gänze hat den aller-, allergrößten Hebel und wenn die Gesellschaft es akzeptiert, dass wir Leitungen bauen müssen und dass wir Infrastruktur bauen müssen und dass das auch Einschränkungen bedeutet, dann funktioniert es auch. Aber solange die Gesellschaft der Meinung ist, sie weiß das alles besser [...], dann wird das schwierig.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Insgesamt wird aber von den Expert*innen ein gewachsenes Bewusstsein für Nachhaltigkeit und die Probleme im Zusammenhang mit dem Klimawandel in der Gesellschaft konstatiert. Ein Effekt, der zum einen durch den Krieg Russlands gegen die Ukraine und die Auswirkungen im Energiebereich verstärkt wird und zum anderen durch die „Zukunftsfrage“, die die jüngere Generation immer wieder in die Öffentlichkeit trägt, aktuell bleibt. In diesem Kontext nimmt die Wasserstofftechnologie eine ambivalente Rolle ein: Einerseits fungiere Wasserstoff in der aktuellen Krise als Hoffnungsträger für eine Unabhängigkeit von russischem Gas und Öl, andererseits bestehe in Teilen der Bevölkerung Ängste hinsichtlich der Gefahren, die von Wasserstoff ausgehen könnten wie zum Beispiel die Explosivität des Stoffes. Hier setzen die Expert*innen auf Kommunikation, Aufklärung und sichtbare Anwendungen als Lösungsansätze. Aber auch die Neugier und technische Unternehmungslust des Menschen werden als positive Verstärker gesehen.

Zudem spielen Technologien wie die Elektrolyse, die für die Transformation im industriellen Bereich – insbesondere in der Chemie- und

Stahlindustrie – relevant sind, eine bedeutende Rolle. Die Elektrolyse wird in der Chemieindustrie seit Langem angewandt, der Schritt zur Umstellung auf Wasserstoff ist hier also im Vergleich zu anderen Bereichen wie zum Beispiel im Mobilitätsbereich vom Diesel- zum Brennstoffzellenantrieb deutlich geringer. Umstellungen im industriellen Bereich sind für die Bevölkerung kaum sichtbar und werden insofern weniger als Bedrohung wahrgenommen. Eine transparente Kommunikation seitens der Unternehmen und Kommunen, die auf die Erfahrungen im Umgang mit dieser Technologie verweisen und sie in einem gewissen Umfang zum Beispiel im Rahmen von Veranstaltungen wie „Tage der offenen Tür“ anfassbar machen, könne eine positive Wirkung auf die gesellschaftliche Akzeptanz erzielen.

„Das wird langsam dadurch hoffähig gemacht, dass auch Kommunalpolitik sich dafür interessiert. Das hilft an der Stelle schon und deswegen nochmal wegen Kommunikation ist da extrem wichtig.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Allerdings nehmen die Expert*innen auch regionale Unterschiede hinsichtlich der Akzeptanz zur Transformation wahr. So beobachten sie, dass sichtbare Veränderungen beispielsweise der Infrastruktur in einer urbanen Umgebung anders wahrgenommen wird als im ländlichen Raum. Aber auch die Beziehung zu erneuerbaren Energien zum Beispiel durch Formen der Beteiligung oder Eigennutzung wirke sich positiv aus; ebenso wie die langjährige Vertrautheit und Erfahrung mit diesen Energieformen.

„Akzeptanz, das kann man nicht so pauschal beobachten, sondern muss auch immer sehr lokal schauen, wie gerade die Gegebenheiten sind.“

(NRL-Experteninterviews 2022)

Insgesamt ergeben sich aus den Interviews folgende Stellschrauben zur Erzielung und Sicherung einer gesellschaftlichen Akzeptanz:

- Sicht- und spürbare Veränderungen bedürfen einer transparenten Kommunikation
- Beteiligung, Neugier und positive Erfahrungen schaffen
- Nachfragen nach „grünen“ Produkten weiterhin fördern, da sie sich unterstützend auf die Transformation auswirken
- Junge Generation als Hebel und Energiekrise als Chance zum Anstoß des notwendigen Diskurses nutzen



Kapitel 6

Fazit –

Und jetzt? Wie geht es weiter?

Kapitel 6

Fazit – und jetzt? Wie geht es weiter?

Es ist deutlich geworden, dass aus Sicht der Expert*innen sowohl die Technologien als auch der Wille zur Transformation des Energiesystems grundsätzlich vorhanden sind. Insgesamt sind sie hinsichtlich der Zielerreichung skeptisch, da sie die Ziele als zeitlich zu ambitioniert empfinden und sie als Folge eine Beeinträchtigung für die Wettbewerbs- und Leistungsfähigkeit der (nord-)deutschen Unternehmen befürchten. Insbesondere das regulatorische System erweist sich hier als Barriere zur Gewährleistung der Wirtschaftlichkeit und damit der Umsetzbarkeit der Transformation in den einzelnen Unternehmen. Diese Herausforderung wird aktuell durch die energiepolitische Lage und die damit einhergehenden Preisentwicklungen bzw. Preissteigerungen verschärft.

Technische Lösungen für die Transformation sind zwar entwickelt, aber vielfach noch in der Erprobung und somit noch nicht im großindustriellen Maßstab verfügbar. Somit bleibt die Umsetzung eine Herausforderung.

Zur Beschleunigung der Transformation wurden verschiedene Einflussgrößen – unterstützende wie hemmende – identifiziert. Zur erfolgreichen Transformation sieht der Großteil der Expert*innen den Dreiklang aus dem regulatorischen System, den Kosten der Transformation bzw. der Wirtschaftlichkeit und den monetären Förderungen als zentrale Größen – und aktuell auch als die größten Hürden an.

Um diesen Hemmnissen entgegenzuwirken, wird die zügige Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen gefordert. Es bedürfe einer Reformierung des regulatorischen Systems und die Realisierung ganzheitlicher Förderprogramme. Darüber hinaus sprechen die Expert*innen der Zusammenarbeit zwischen den Akteur*innen der Sektoren und entlang aller Wertschöpfungsstufen eine zentrale Rolle zu.

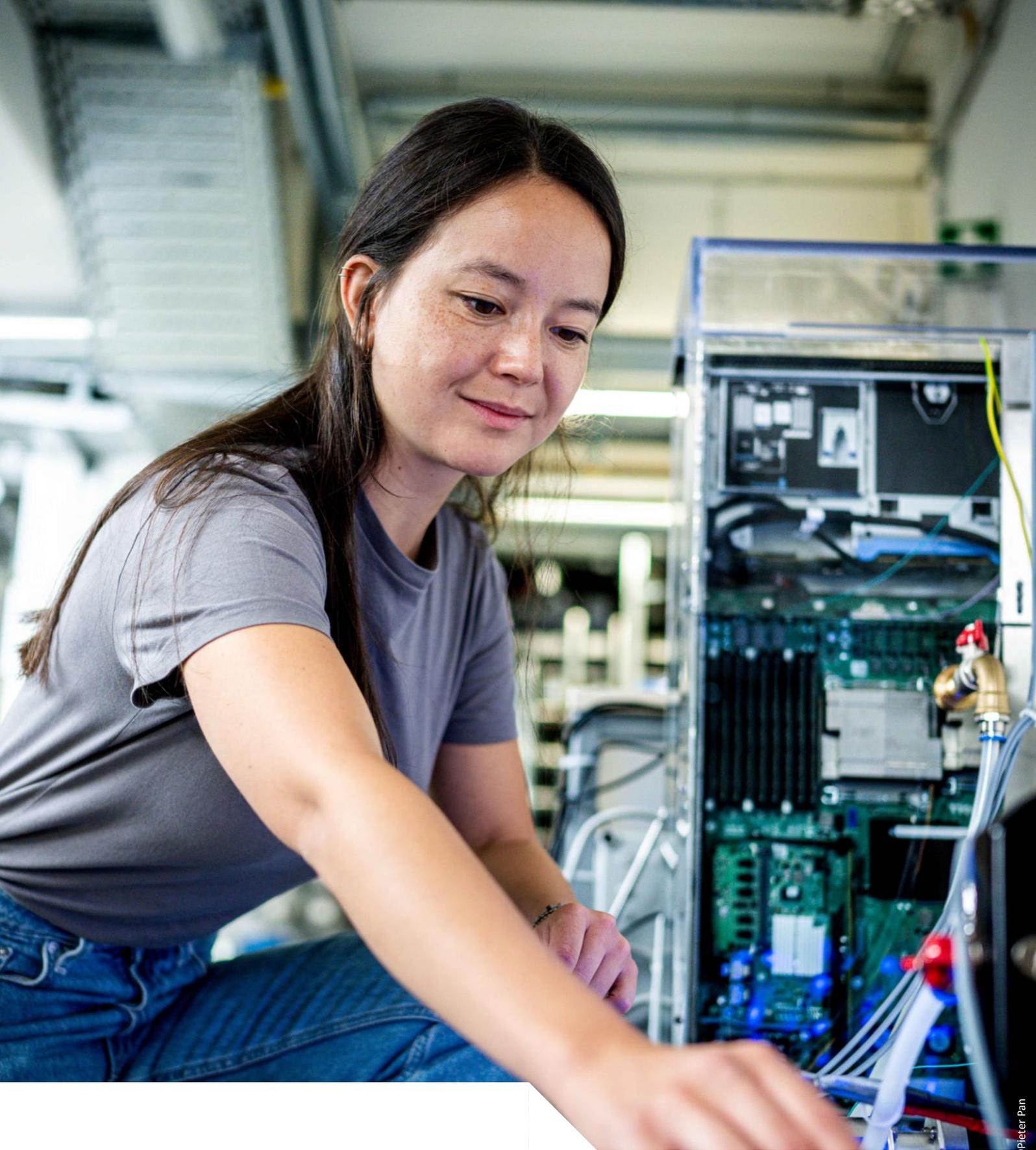
Bei der Erprobung nachhaltiger Lösungen wird weiterhin die Gewährleistung von Technologieoffenheit als essenziell beschrieben. Zum Beispiel wird Wasserstoff, anders als oft dargestellt, nicht als das „Allheilmittel“ angesehen. Es bedarf eines breiten Mixes an Energieträgern, um die vollständige Transformation des Energiesystems zu realisieren.

Darüber hinaus betonen die Expert*innen eine passende Infrastruktur, die als Bindeglied zwischen Erzeugung und Einsatz fungiert. Dies sei bislang eher vernachlässigt worden. Sofern keine Priorisierung dieses Aspekts vorgenommen werden sollte, wird das Erreichen der Ziele, wie die in der Norddeutschen Wasserstoffstrategie definierten, als kritisch erachtet.

Da die Bevölkerung die Veränderungen der Transformation letztlich mittragen muss, wird die „gesellschaftliche Akzeptanz“ generell als großer Hebel angesehen. Vor allem bei sichtbaren und spürbaren Veränderungen, wie beim Bau von Stromleitungen, sei eine klare und transparente Kommunikation notwendig. Zudem sollte die Bevölkerung fortlaufend in den Transformationsprozess integriert werden.

Aus den vorliegenden Erkenntnissen ergeben sich folgende Forschungsfragen, die im weiteren Projektverlauf des NRL-Vorhabens TV 3.1 näher beleuchtet werden (siehe Kapitel 1.2):

- Inwiefern lassen sich die identifizierten Einflussgrößen konkretisieren bzw. operationalisieren?
- Welche möglichen Zielkonflikte zwischen den Akteur*innen treten auf und wie lässt sich diesen begegnen?
- Inwiefern lassen sich praxisorientierte Stellschrauben zur Transformation aus den Einflussgrößen abbilden und in den Transformationsprozess integrieren?



Pieter Pan

Anlagen –

Literatur-, Abbildungsverzeichnis, Glossar, Impressum

Literaturverzeichnis

Beba, Werner (2021): Teilvorhabensbeschreibung „Reallabore der Energiewende des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) vom 11. Februar 2019 – TV 3.1 Industrielle Transformation und gesellschaftliche Teilhabe [nicht veröffentlichte Quelle].

Bührke, Thomas Wengenmayr, Roland (2012): Erneuerbare Energie Konzepte für die Energiewende; 3. Auflage; Hrsg.: Wiley.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hrsg.) (2021): „Was ist eigentlich Carbon Leakage?“ vom 16. November 2021; online verfügbar unter <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2021/11/Meldung/direkt-erklaert.html>; zuletzt zugegriffen am 22.10.2022.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hrsg.) (2016): Was bedeutet "Sektorenkopplung"? vom 11. Juli 2016; online verfügbar unter <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/14/Meldung/direkt-erklaert.html>; zuletzt zugegriffen am 08.07.2022.

Forschungszentrum Jülich GmbH (Hrsg.) (o. J.): Defossilisierung; online verfügbar unter <https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/glossar/Defossilisierung>; zuletzt zugegriffen am 01. Juli 2022.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (o. J.): Integriertes Energiesystem; online verfügbar unter <https://www.dena.de/themen-projekte/energiesysteme/Sektorenkopplung/>; zuletzt zugegriffen am 1.07.2022.

Horvath, Michael (o. J.): Sektoren der Volkswirtschaft; online verfügbar unter

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/sectoren-der-volkswirtschaft-45279>; zuletzt zugegriffen am 01. Juli 2022.

Rogers, Everett M. (1995): Diffusion of Innovation. 4., aktualisierte Auflage. Hrsg.: The Free Press; New York.

Thommen, Jean-Paul (o. J.): Definition: Was sind "Anspruchsgruppen"?; online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/anspruchsgruppen-27010>; zuletzt zugegriffen am 01. Juli 2022.

Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstenländer (Hrsg.) (2019): Die Norddeutsche Wasserstoffstrategie vom 7. November 2019; online verfügbar unter <https://norddeutschewasserstoffstrategie.de/wp-content/uploads/2020/11/norddt-H2-Strategie-final.pdf>; zuletzt zugegriffen am 22.10.2022.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der Arbeitsgruppen des NRL.....	2
Abbildung 2:Methodische Vorgehensweise des NRL-Teilvorhabens 3.1.....	4
Abbildung 3: Übersicht der Expert*innen	2
Abbildung 4:Gründe für den verzögerten Ausbau aus Sicht der Expert*innen	10
Abbildung 5: Rolle von Wasserstoff aus Sicht der Expert*innen	13
Abbildung 6:Potenzial von Wasserstoff in den Sektoren aus Sicht der Expert*innen.....	15
Abbildung 7: Nachhaltige Lösungen zur Transformation des Energiesystems aus Sicht der Expert*innen	16
Abbildung 8: Überblick Einflussgrößen	21
Abbildung 9: Hauptbarrieren nach Sektoren/Bereichen aus Sicht der Expert*innen.....	22
Abbildung 10: Einflussgröße: Regulatorisches System.....	24
Abbildung 11: Einflussgröße: Kosten/Wirtschaftlichkeit.....	27
Abbildung 12: Einflussgröße: Infrastruktur/Netze.....	32

Abkürzungsverzeichnis

BMWK.....	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
CC4E.....	Competence Center für Erneuerbare Energien und EnergieEffizienz
EW.....	Energiewende
HAW.....	Hochschule für Angewandte Wissenschaften
NRL.....	Norddeutsches Reallabor
NRL.....	Norddeutsches Reallabor
ÖPNV.....	Öffentlicher Personen Nahverkehr
PEM.....	Proton-Exchange-Membran-Verfahren
PKW.....	Personenkraftwagen
TV 3.1	Teilvorhaben 3.1
TVB	Teilvorhabensbeschreibung
vgl.....	Teilvorhabensbeschreibung

Glossar

Defossilisierung	Die Umstellung wirtschaftlicher Bereiche von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Alternativen wird als Defossilisierung bezeichnet (vgl. Forschungszentrum Jülich GmbH o. J.).
Diffusion	Die Diffusion beschreibt den Prozess der raumzeitlichen Ausbreitung einer Innovation im sozial-räumlichen System (vgl. Rogers 1995).
Elektrolyseprozess	Mittels Elektrolyse wird Wasser (H_2O) in Sauerstoff (O_2) und Wasserstoff (H_2) aufgespalten. Um grünen Wasserstoff via Elektrolyse herzustellen, wird Strom aus erneuerbaren Energien genutzt (vgl. BMWK o. J.)
Sektoren	Sektoren teilen die Wirtschaft in verschiedene Bereiche ein. Vereinfacht werden die Einheiten zusammengefasst, die ähnliche Eigenschaften vorweisen bzw. Leistungen anbieten (vgl. Horvath o. J.). In dem Kontext des vorliegenden Studienberichts bilden die Industrie, Wärme und Mobilität je einen Sektor.
Sektorenkopplung	Durch die Sektorenkopplung wird Energie für weitere Sektoren wie dem Industrie-, Mobilitäts- und Wärmesektor nutzbar (vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH o. J.).
Stakeholder	Stakeholder bezeichnet Interessen- bzw. Personengruppen, die direkt oder indirekt von den Aktivitäten eines Unternehmens, einer Technologie o. Ä. betroffen sind. Stakeholder können beispielsweise Personen, Institutionen oder Organisationen sein (vgl. Thommen o. J.).

Impressum

Herausgeber

Prof. Dr. Werner Beba
NRL Projektkoordinator

CC4E/HAW Hamburg
Steindamm 96
20099 Hamburg
Telefon: +49 40 428 75-6937
E-Mail: werner.beba@haw-hamburg.de

Autorinnen

Pia Arndt, Astrid Saidi
Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen NRL TV 3.1

CC4E/HAW Hamburg
Steindamm 96
20099 Hamburg
Telefon: +49 40 428 75-5831
E-Mail: pia.arndt@haw-hamburg.de

Grafiken: ©Nina Laskowski (CC4E/HAW Hamburg); Frederik Engelbrecht (CC4E/HAW Hamburg)
Foto Titelblatt: ©Foto von Nicholas Doherty zu finden auf unsplash.com



Das CC4E

Das Competence Center für Erneuerbare Energien und EnergieEffizienz (CC4E) ist eine zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg). Entwickelt werden praxisnahe Lösungen für ein breites Spektrum an technologischen, gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Problemstellungen – von der Idee bis zur Umsetzung.

Norddeutsches Reallabor

Das Norddeutsche Reallabor (NRL) ist ein innovatives Verbundprojekt, das neue Wege zur Klimaneutralität aufzeigt. Dazu werden Produktions- und Lebensbereiche mit besonders hohem Energieverbrauch schrittweise defossilisiert – insbesondere in der Industrie, aber auch in der Wärmeversorgung und dem Mobilitätssektor. Hinter dem im April 2021 gestarteten Projekt steht eine wachsende Energiewende-Allianz mit mehr als 50 Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Das Großprojekt hat eine Laufzeit von fünf Jahren (04/2021-03/2026). Das Investitionsvolumen der beteiligten Partner beträgt 300 Mio. Euro. Das NRL ist Teil der Förderinitiative „Reallabore der Energiewende“ und wird mit rund 52 Mio. Euro durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert. Weitere Fördermittel werden durch das BMDV bereitgestellt. Das NRL versteht sich als ausbaufähige Plattform auch für weitere Projekte.

www.norddeutsches-reallabor.de

<https://de.linkedin.com/showcase/norddeutsches-reallabor>

10/2022



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages