

STUDIE

Die grüne Wasserstoff-Transformation in Niedersachsen

Anke Mönnig

Impressum

AUTORIN

Anke Mönnig

Tel.: +49 (0) 541 40933-210, E-Mail: moennig@gws-os.com

TITEL

Die grüne Wasserstoff-Transformation in Niedersachsen

VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

© GWS mbH Osnabrück, August 2025

LEKTORAT

Inka Peters

HINWEIS

Die Studie wurde von der Hans-Böckler-Stiftung finanziert und in Kooperation mit dem DGB Niedersachsen (DGB), dem Niedersächsischen Wasserstoff-Netzwerk (NWN), dem Netzwerk der Kooperationsstellen Hochschulen und Gewerkschaften Niedersachsen und Bremen (K-NDS) und der Niedersachsen Allianz für Nachhaltigkeit (NAN) durchgeführt.

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
Zusammenfassung	6
1 Status quo	8
2 Das Wasserstoff-Szenario	11
3 Das Referenz-Szenario	17
4 Potenzielle Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in Niedersachsen	19
5 Zusammenfassung und Diskussion	28
6 Was bleibt zu tun	31
7 Literatur	34
Anhang: Methodenmix	41
Desk Research	41
Ökonomisches Rechenmodell	41
Szenariotechnik	42

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Kapazitätsaufbau Elektrolyseleistung Deutschland, Stand 2023 und 2024 im Vergleich	9
Abbildung 2:	Wertschöpfungskette einer grünen Wasserstoffwirtschaft	11
Abbildung 3:	Wasserstoffkapazität in Niedersachsen	12
Abbildung 4:	Wasserstoffbedarf in Niedersachsen nach Wirtschaftszweigen	13
Abbildung 5:	Überblick wichtiger Kenngrößen für Niedersachsen – Differenz in Prozent zum Referenz-Szenario in Zeitabschnitten	20
Abbildung 6:	Differenz zur prozentualen Abweichung der Bruttowertschöpfung Niedersachsens zum Bund	21
Abbildung 7:	Veränderung der Branchenstruktur im Umsatz (nominale Produktion) für das Jahr 2040 im Vergleich zum Referenz-Szenario in Niedersachsen	22
Abbildung 8:	Entwicklung der Erwerbstätigen im Wasserstoff- und Referenz-Szenario sowie Erwerbstätigeneffekte des Wasserstoff-Szenarios in Tausend Personen in Niedersachsen	23
Abbildung 9:	Erwerbstätige in Niedersachsen nach Wirtschaftszweigen – die 15 höchsten Abweichungen zum Referenz-Szenario in Tausend Personen	24
Abbildung 10:	Veränderung der Arbeitsplätze in Niedersachsen und in den restlichen Bundesländern im Jahr 2040 relativ zum Referenz-Szenario in Tausend Personen	25
Abbildung 11:	Kumulierte Wertschöpfungsverluste des konservativen Wasserstoff-Szenarios zum Wasserstoff-Szenario in Niedersachsen	27
Abbildung 12:	Zusammenfassung auf einen Blick	29
Abbildung 13:	Anwendung der Szenariotechnik, schematische Darstellung	43

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Ausprägung der grünen Wasserstoff-Transformation in Deutschland und Niedersachsen	16
------------	--	----

ZUSAMMENFASSUNG

Die deutsche respektive niedersächsische Wasserstoffwirtschaft kann sich auf verschiedene Weisen entwickeln. Wie sie genau austariert sein wird, ist zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Studie noch nicht gänzlich klar, da unterschiedliche Konstellationen denkbar sind. Das hier vorgestellte Wasserstoff-Szenario ist nur eine, aber nicht die einzige Möglichkeit, wie sich die Dinge entwickeln können. In der vorliegenden Studie wird dargestellt, wie sich der niedersächsische Arbeitsmarkt unter der Annahme eines Wasserstoff-Hochlaufs entwickeln kann. Das Ziel der vorliegenden Szenarioanalyse ist es daher, nicht zu behaupten, dass es genauso kommen wird – vielmehr geht es darum, Diskussionen anzuregen, Möglichkeiten aufzuzeigen und auf die volkswirtschaftlichen Wirkungen verschiedener Pfade hinzuweisen. Dies mag Anregung für weiteres Mit- und Weiterdenken sein, aber auch zum Handeln ermutigen.

Mit heutigen Methoden und Maßnahmen ist das im Grundgesetz verankerte Ziel der Klimaneutralität bis 2045 nicht zu erreichen. Für energieintensive Industrien, für die Energieversorgung und für Teile des Transports gibt es mit Stand heute nur drei Optionen, klimaneutral zu werden, von denen zwei in der vorliegenden Studie miteinander verglichen werden. Das Wasserstoff-Szenario beschreibt den Weg in eine Wasserstoffwirtschaft, das Referenz-Szenario beschreibt die sozioökonomische Entwicklung einer inländischen Produktionsreduktion in Deutschland.

Zum heutigen Zeitpunkt ist nicht auszuschließen, dass das Referenz-Szenario die dominierende Strategie vieler Unternehmen sein wird. Das mag zwar zum heutigen Zeitpunkt und aus betriebswirtschaftlicher Sicht sinnvoll sein, da grüner Wasserstoff noch knapp und teurer als Erdgas ist, aus volkswirtschaftlicher Sicht und in langfristiger Perspektive ergeben sich allerdings mehrere Vorteile durch die Wasserstoff-Transformation, die neben der Vermeidung von CO₂-Emissionen im hochindustriellen Prozess und der Steigerung der Energieresilienz auch sozioökonomische Vorteile für die Wirtschaft und den Arbeitsmarkt mit sich bringen.

Die in dieser Studie hinterlegte Betrachtungsweise führt zu dem Ergebnis, dass die Wasserstoff-Transformation für Niedersachsen nicht nur mittelfristig, sondern auch langfristig deutlich positive Wachstums- und Beschäftigungseffekte zur Folge hat. Zudem profitiert Niedersachsen überdurchschnittlich vom in ganz Deutschland stattfindenden Wasserstoff-Hochlauf. Hierfür bietet das Bundesland mit seinen hohen Potenzialen an erneuerbaren Energien, mit seinen Häfen in Wilhelmshaven und Stade für den Wasserstoff-Import, den vielen Elektrolyseprojekten in den Kreisen und mit wichtigen Ankern Kunden wie Salzgitter Stahl AG beste Möglichkeiten. Das Wohlstandsniveau kann sich nachhaltig erhöhen. Die Beschäftigungseffekte generieren sich zu einem Großteil aus dem Ausbau erneuerbarer Energien sowie dem Aufbau der Wasserstoff-Infrastruktur. Die vielen Bauinvestitionen induzieren einen großen Teil des Beschäftigungsaufbaus und kommen somit vor allem dem Baugewerbe und den baunahen Dienstleistungen zugute. Aber auch die energieintensiven Industrien wie die Metallindustrie und die Chemieindustrie können ihren Umsatz erhöhen und damit Arbeitsplätze erhalten sowie neue schaffen. Die Transformation geht allerdings nicht ohne Kosten einher. Höhere Abschreibungen und die auch langfristig hohen Wasserstoffpreise erhöhen die Produktionskosten in Deutschland

und Niedersachsen – zum Nachteil der heimischen Produktion und der internationalen Wettbewerbsfähigkeit.

Die Szenario-Analyse der Studie verdeutlicht, dass die volkswirtschaftlichen Kosten einer Nicht-Transformation diejenigen der Wasserstoff-Transformation deutlich überlagern – auch dann, wenn ein weniger ambitionierter Wasserstoff-Hochlauf verfolgt werden würde. Neben den volkswirtschaftlichen Vorteilen und der Vermeidung von CO₂-Emissionen bedingt der Einsatz von grünem Wasserstoff auch eine Diversifizierung des Energiemixes in Deutschland und Niedersachsen und trägt somit zu einer höheren Energie-resilienz bei. Die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltschäden könnte mittels der grünen Wasserstoff-Technologie vorangetrieben werden.

Für die Realisierung des Wasserstoff-Szenarios und für die Überwindung der betriebswirtschaftlichen Herausforderungen in den Unternehmen in der Adaption der Wasserstoff-Technologie braucht es allerdings umfangreiche Gelingensbedingungen. Folgende wurden für eine erfolgreiche Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Niedersachsen identifiziert:

1. Infrastruktur ausbauen
2. Wasserstoff vergünstigen
3. Absatzmärkte für Wasserstoff schaffen
4. Qualifizierung und Mobilisierung von Arbeitskräften
5. Importpläne vorantreiben
6. Zeitliche Koordination verbessern

Im Mittelpunkt liegt die zeitliche Koordination, die elementar für eine zeitgleiche Aktivierung aller Elemente der Wasserstoff-Wertschöpfungskette ist. Unter diesem Aspekt bedarf es an Aus- und Aufbau der Infrastruktur, müssen Absatzmärkte geschaffen und der Wasserstoffpreis langfristig gesenkt werden. Zur Abdeckung der Bedarfe muss es Importquellen geben. Allumfassend ist die rechtzeitige Qualifizierung der Erwerbstätigen im Umgang mit dem Gefahrgut Wasserstoff. Gleichzeitig bedarf es der Mobilisierung von Arbeitskräften durch die Schaffung guter Arbeitsbedingungen, sodass die Transformation nicht an arbeitsmarktlichen Engpässen scheitert.

Politische Weichenstellungen und Fördermaßnahmen können dabei helfen, die Durchdringung neuer Technologien – wie bspw. bei der Elektromobilität oder beim Ausbau von erneuerbaren Energien geschehen – zu beschleunigen, damit die Klimaziele noch erreicht werden können. Die Gestaltungsräume müssen zudem vonseiten der niedersächsischen Politik aktiv genutzt werden, um im Bund verstärkt auf die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft hinzuwirken. Gleichzeitig sollte sie aktiv auf die zeitliche und interdisziplinäre Koordination der unterschiedlichen Akteur*innen der Wasserstoff-Wertschöpfungskette vor Ort einwirken.

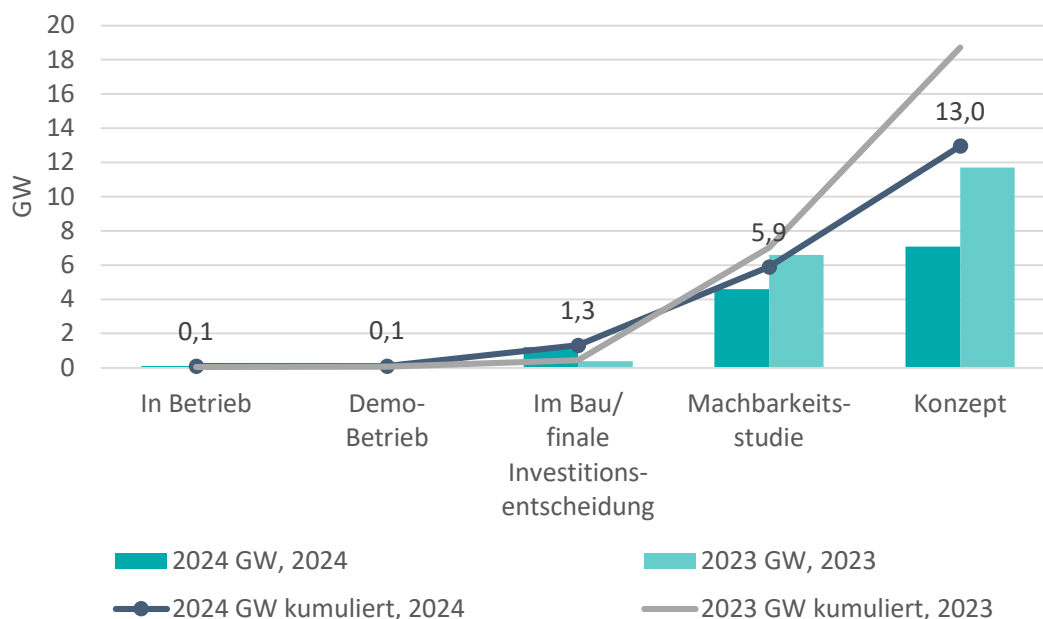
1 STATUS QUO

Die Energiewende umfasst eine Vielzahl an vor allem technologischen Neuerungen und Weiterentwicklungen, die den Übergang von der Nutzung von fossilen und nuklearen Energieträgern zu einer nachhaltigen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien (EE) beschreibt. Hauptziel der Energiewende ist es, bis 2045 klimaneutral zu werden. Niedersachsen möchte bereits 2040 klimaneutral sein (Niedersächsisches Klimagesetz 2024). Neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien, der Erhöhung der Energieeffizienz und -einsparung hat sich die Nutzung von grünem Wasserstoff als zusätzlicher Pfeiler auf dem Weg in eine dekarbonisierten Wirtschaft herauskristallisiert – insbesondere für die mit Hochtemperatur arbeitenden Industrien, aber auch als Speichermedium für EE oder in Form von Antriebsmitteln (Power-to-X) (Runge et al. 2020; Timmerberg & Kaltschmitt 2019; Agora Energiewende & Wuppertal Institut 2020; IRENA 2020).

Im Juni 2020 wurde von der damaligen Bundesregierung die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) formuliert (BMW 2020), welche anschließend von der Ampelregierung fortgeschrieben wurde (Die Bundesregierung 2023). In dieser Zeit wurden viele Weichenstellungen für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft auf den Weg gebracht – unter anderem Fördermittel bewilligt und das Wasserstoff-Kernnetz genehmigt. Mit dem Koalitionsvertrag bestätigt die neue Bundesregierung den Ausbau der Wasserstoffwirtschaft und definiert Wasserstoff als Schlüsseltechnologie (CDU, CSU & SPD 2025). Dies wird bspw. im kommenden Wasserstoffbeschleunigungsgesetz deutlich. Auch auf Bundesländerebene wurden Wasserstoffstrategien formuliert (dena 2022), die sich alle an den nationalen Plänen orientieren. Niedersachsen kooperiert im Rahmen der Norddeutschen Wasserstoffstrategie mit vier anderen Bundesländern (Bremen, Mecklenburg-Vorpommern, Hamburg und Schleswig-Holstein). Gemeinsam wollen sie bis 2035 eine selbsttragende grüne Wasserstoffwirtschaft aufbauen – mit den konkreten Zielen, bis 2025 500 MW und bis 2030 5 GW an Elektrolyseleistung zu installieren (Norddeutsche Wasserstoffstrategie 2019).

Gemäß letztem Datenstand sind in Deutschland 0,1 GW an Elektrolysekapazität in Betrieb (IEA 2024) – etwa 1 % des bis 2030 anvisierten Zieles von 10 GW installierter Leistung (Die Bundesregierung 2023). Der heutige Anteil Niedersachsens an der bislang installierten Kapazität in Deutschland liegt bei rund 25 % (25 MW).¹ Dabei ist das Niveau auch deutschlandweit noch denkbar niedrig. Allerdings konnte im Vergleich zum Vorjahr eine Kapazitätsausweitung um 65 % erreicht werden. Auch haben sich die im Bau befindlichen Projekte mit finaler Investitionsentscheidung erhöht und liegen nach aktuellen Angaben bei 1,2 GW. Würden alle derzeit angedachten Projekte realisiert werden, könnte das 10 GW-Ziel bis 2030 trotz des langsamen Startes noch erreicht werden (vgl. Abbildung 1).

¹ Berücksichtigt werden dabei die aufgebauten Elektrolyseleistungen in Lingen (14 MW, RWE Linde), Werlte (6,3 MW, kiwi AG), Wilhelmshaven (2 MW, Turneo & Winterhall DEA), Krummhörn (1 MW, OGE) und Haren (2 MW, CEC Haren).

Abbildung 1: Kapazitätsaufbau Elektrolyseleistung Deutschland, Stand 2023 und 2024 im Vergleich

Quelle: IEA 2023, 2024, eigene Darstellung

Die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft ist folglich im Gang, sie verliert jedoch aktuell an Momentum: Viele Projekte stehen unter Finanzierungsvorbehalt. Wichtige Wasserstoffnutzer – sogenannte Ankerkunden – wie ThyssenKrupp oder Arcelor Mittal haben entweder den Produktionsstart von grünem, wasserstoffbasiertem Stahl um ein Jahr nach hinten verschoben (Handelsblatt 2024) oder sich vorerst gänzlich gegen die Umstellung auf eine wasserstoffbasierte Stahlerzeugung in Deutschland entschieden (Tagesschau 2025a). Stellantis hat im Juli 2025 angekündigt, die Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie zu beenden (Handelsblatt 2025).

Die genaue Dimension einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland ist aus heutiger Sicht noch offen. Möglicherweise werden ambitionierte Pläne auf realistisch erreichbare Ziele heruntergefahren. Entscheidend ist die Praxistauglichkeit. Dies betrifft nahezu alle Ketten der Wasserstoff-Wertschöpfung – sei es die Produktion von grünem Wasserstoff, dessen Import, die Anwendung des grünen Gases, der Export von Wasserstoff-Technologien oder die Errichtung der Transportinfrastruktur. Einige Weichen sind gelegt und Fördermittel bewilligt worden. Viele Projekte starten in ihre Pilotphase – andere warten jedoch noch auf ihre Umsetzung (vgl. Abbildung 1).

Davon abhängig ergeben sich Folgen für die Wirtschaftsentwicklung und die Bedarfe auf dem Arbeitsmarkt (Steeg et al. 2022). Die Chancen und Herausforderungen eines Wasserstoff-Hochlaufes in Deutschland wurden bereits in vielen Studien diskutiert (Petersen et al. 2023, Grimm 2023, Wietschel et al. 2020, Scholz et al. 2024), allerdings gibt es nur wenige Studien, die die sozioökonomischen Effekte quantifiziert haben (Ronsiek et al. 2024, Steeg et al. 2020). Auf Bundeslandebene finden sich ebenfalls nur wenige Analysen (Lagemann & Sacht 2025a, 2025b; Mönnig et al. 2024). Meist gibt es industriespezifische Studien zu bspw. der Chemie- oder der Metallindustrie (Jürgens & Schäfer 2024,

Schütte et al. 2022). Gemeinsam ist der quantitativen Studienlage die Erkenntnis, dass die Effekte klein und zumindest mittelfristig positiv sein können. Solange der Wasserstoffpreis aber nicht konkurrenzfähig zu fossilen Energieträgern ist, können sich die langfristigen Effekte ins Negative wenden (Ronsiek et al. 2024; Lagemann & Sacht 2025a, 2025b).

In allen Studien wird die Wasserstoffwirtschaft mit einer „alten“, auf fossilen Rohstoffen basierenden Wirtschaft verglichen. Dem im Grundgesetz verankerten Ziel der Klimaneutralität bis 2045 (Tagesschau 2025b) werden diese Vergleichsszenarien nicht gerecht, denn der Umbau zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft wird gerade deshalb betrieben, um auch nach 2045 – klimaneutral – weiterproduzieren zu können. Um die Effekte einer grünen Wasserstoff-Transformation quantitativ bewerten zu können, ist daher der Vergleich mit einem anderen Dekarbonisierungspfad und nicht mit einem herkömmlich fossilen Wirtschaftspfad sinnvoll. Der Einsatz von kohlenstoffarmer Wasserstoff-Technologie stellt in der Studienperspektive den Weg dar, mit dem energieintensive Industrien ihren CO₂-Ausstoß reduzieren können. Andere Möglichkeiten wie Carbon Capture and Utilization/Storage (CCU/CCS) stellen aktuell keine gangbaren Wege dar.² Denkbar ist allerdings, dass energieintensive Industrien ins Ausland abwandern oder ihre Produktion im Inland reduzieren.³ In der vorliegenden Studie wird folglich der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft („Wasserstoff-Szenario“) mit einem Produktionsreduktionspfad („Referenz-Szenario“) von energieintensiven Industrien verglichen.

Inwiefern sich die Transformation in eine Wasserstoffwirtschaft in Niedersachsen auf die Infrastruktur, die Produktionsweisen energieintensiver Industrien oder auf die Importbedarfe und die Exportmöglichkeiten auswirkt, soll in dieser, von der Hans-Böckler-Stiftung geförderten Studie „Die grüne Wasserstoff-Transformation in Niedersachsen“ ermittelt werden. Besonderer Fokus liegt auf den Folgen für die Wirtschaft und die Bedarfe am Arbeitsmarkt im Land Niedersachsen inklusive seiner Kreise. Die vorliegende Szenarioanalyse zielt nicht darauf ab, zu behaupten, dass es genauso kommen wird. Ziel ist es, auf die volkswirtschaftlichen Wirkungen hinzuweisen, wenn die Wasserstoff-Transformation vollzogen oder nicht vollzogen werden würde. Dies mag Anregung für weiteres Mit- und Weiterdenken, aber auch zum Handeln geben. Eine Erläuterung des genutzten Methodenmixes findet sich im Anhang.

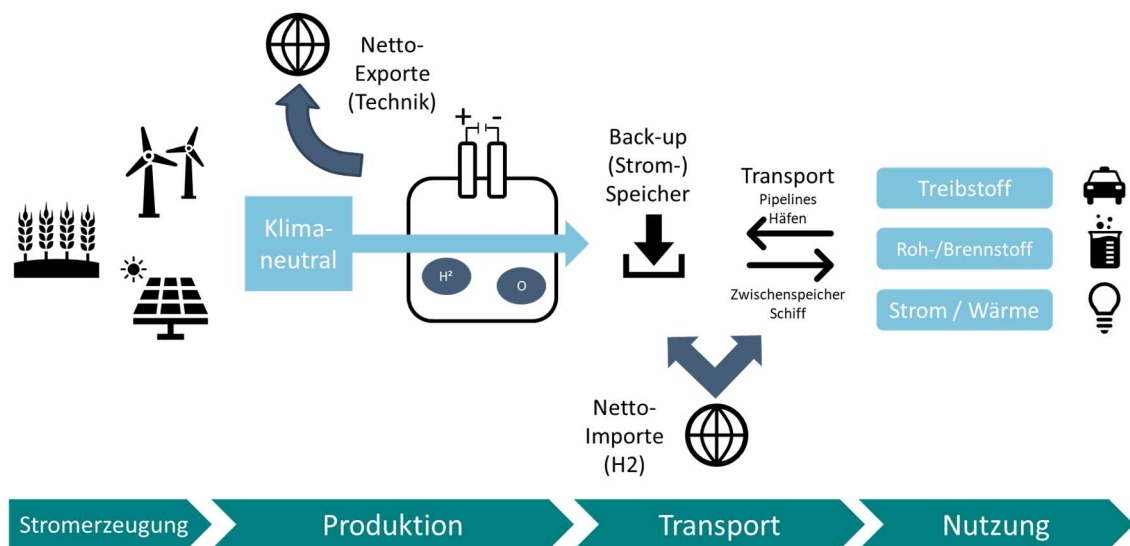
² Mit dem Gesetzentwurf zur Novellierung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes wird die Anwendung von CCUS-Technologien voraussichtlich eine weitere Klimaschutzmaßnahme. In welchem Umfang und Ausmaß, ist mit Stand heute noch nicht absehbar. Bislang hat CCUS in Deutschland außerhalb von Forschungs- und Testzwecken kaum eine Rolle gespielt. Die Technologie müsste neu eingeführt werden – verbunden mit allen Kosten für den Aufbau und der Nutzung der dafür notwendigen Infrastruktur. Bislang wurde die Anwendung von CCUS-Technologie vor allem für schwer oder nicht vermeidbare CO₂-Emissionen (wie bspw. in der Zementindustrie) für sinnvoll erachtet. Einen Überblick über die Potenziale der CCUS-Technologie und deren mögliche Kosten geben bspw. Prognos AG (2021) oder Mönnig et al. (2025).

³ Wobei zu bedenken ist, dass eine Produktionsverlagerung an andere Standorte keine tatsächliche CO₂-Emissionsminderung darstellt, da der Emissionsort lediglich geändert wird.

2 DAS WASSERSTOFF-SZENARIO

Da die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft noch in ihren Kinderschuhen steckt, ist aus heutiger Sicht noch nicht mit Sicherheit zu sagen, wie sich die deutsche respektive niedersächsische Wasserstoffwirtschaft entwickeln und wie sie aufgebaut sein wird. Unterschiedliche Konstellationen und Durchdringungspfade einer Wasserstoff-Wertschöpfungskette sind denkbar, welche sich in der Ausprägung der einzelnen Elemente der Wertschöpfungskette Wasserstoff unterscheiden, die sich von der Erzeugung von grünem Strom über die Produktion von grünem Wasserstoff bis zum Transport und zur Speicherung sowie zur Nutzung des grünen Gases erstreckt. Je nach Gegebenheiten sind Technologieexporte oder Wasserstoff-Importe möglich bzw. nötig. Abbildung 2 gibt die Wertschöpfungskette einer grünen Wasserstoffwirtschaft grafisch wieder.

Abbildung 2: Wertschöpfungskette einer grünen Wasserstoffwirtschaft



Quelle: eigene Darstellung

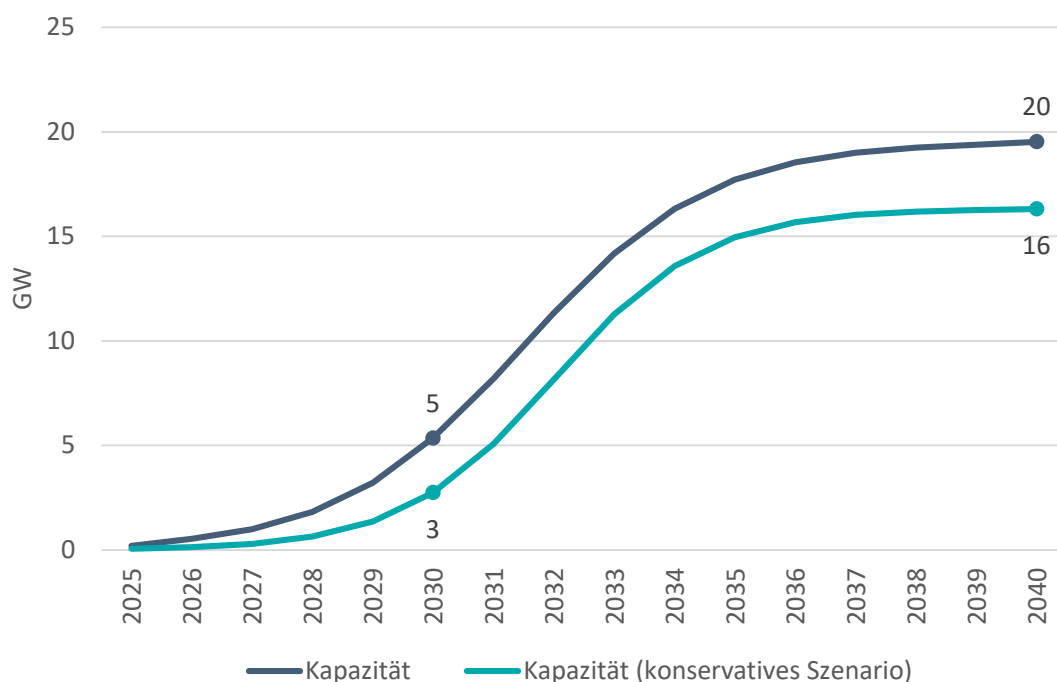
Die Implikationen, die sich aus den einzelnen Wertschöpfungsketten für die Wirtschaft und den Arbeitsmarkt ergeben, sind vielfältig. Zum einen sind dies Investitions- und Exportpotenziale, die für mehr Wachstum und Beschäftigung sorgen können. Gleichzeitig ist mit höheren Preisen zu rechnen, die die inländische Kaufkraft und die internationale Wettbewerbsfähigkeit schmälern lassen können. Außerdem wirken sich neue Vorleistungsbedarfe nach Weiterbildung oder Materialien aus, indem sich einerseits die Kosten für die Unternehmen erhöhen und andererseits zusätzliche Nachfrage bei heimischen oder ausländischen Lieferanten entsteht. Aufgrund der unterschiedlichen Einflüsse ist a priori nicht zu sagen, ob der Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft positiv, negativ oder neutral auf Wachstum und Beschäftigung wirkt. Entscheidend sind dabei die Wirkungskanäle und die Ausprägung der unterschiedlichen Kettenelemente.

Das hier vorgestellte und im weiteren Verlauf so betitelte **Wasserstoff-Szenario** ist somit nur eine, aber nicht die einzige Möglichkeit, wie sich die Dinge entwickeln können. Es wurde versucht, mit dem Wasserstoff-Szenario das aus heutiger Sicht

wahrscheinlichste Szenario herauszuarbeiten. Es basiert auf Erkenntnissen der aktuellen Literatur, den verfügbaren Daten im Themenfeld und auf aktuellen Regierungsbeschlüssen.

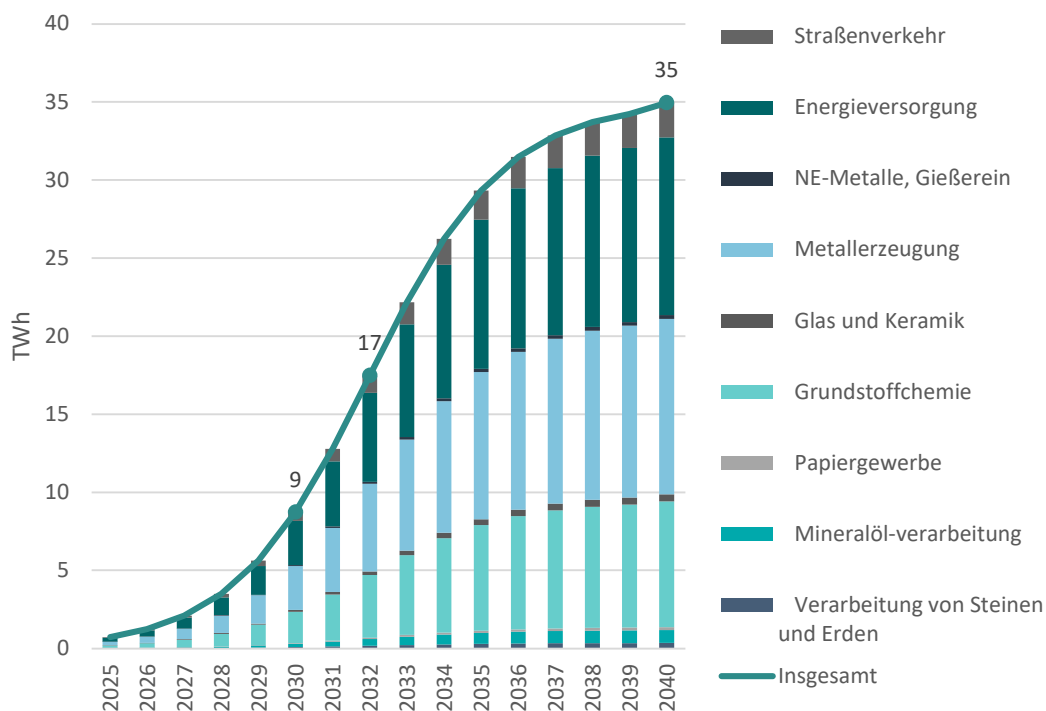
Das Wasserstoff-Szenario spiegelt die Realisierung der nationalen Wasserstoffstrategie auf Bundesebene wider – mit einer hohen Eigenproduktion in Niedersachsen. Aktuell bekannte Projekte sehen in Niedersachsen bis 2030 eine kumulierte Elektrolysekapazität von bis zu 5 GW (Walker et al. 2024). Würden alle Projekte planmäßig realisiert, könnten 50 % der erwarteten inländischen Wasserstoffkapazität in Deutschland in Niedersachsen hergestellt werden. In einer konservativen Abschätzung wird ein zeitverzögerter Hochlauf unterstellt, der sowohl langsamer als auch geringer ausfällt (vgl. Abbildung 3).

Abbildung 3: Wasserstoffkapazität in Niedersachsen



Quelle: Leibniz-Institut für Länderkunde e.V. 2025; LGLN 2025; eigene Recherche und Berechnung

Es wird unterstellt, dass grüner Wasserstoff über den gesamten Prognosehorizont derart knapp bleibt, dass Wasserstoff vorrangig für die Dekarbonisierung der Industrieprozesse und in Teilen für den Verkehr (Schwerlasttransport, Luft- und Schifffahrt) genutzt wird. Der Wasserstoffbedarf in Niedersachsen liegt bis 2040 zwischen 10 % und 12 % des deutschlandweit geschätzten Wasserstoffbedarfes und 2030 bei ca. 9 TWh. Die größten Bedarfe dürften aus der Energieversorgung, der Metallherzeugung, der Nicht-Eisen-(NE)-Metallindustrie und den Gießereien herrühren (vgl. Abbildung 4). Der anteilige Wasserstoffbedarf Niedersachsens dürfte in etwa dem Wertschöpfungsanteil Niedersachsens an Deutschland entsprechen, der 2024 bei rund 9% lag (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2025).

Abbildung 4: Wasserstoffbedarf in Niedersachsen nach Wirtschaftszweigen

Quelle: eigene Recherche und Berechnung

Zur Abdeckung des Eigenbedarfes an grünem Wasserstoff müsste Niedersachsen folglich keinen Wasserstoff importieren. Die Produktionsmöglichkeiten in Niedersachsen liegen voraussichtlich jedoch deutlich über dem Bedarf. Niedersachsen könnte daher zu einem wichtigen Erzeuger- und Transitland für Wasserstoff innerhalb Deutschlands/Europas werden.

Aufgrund der hohen Erzeugungskapazitäten erhöht sich der Strombedarf für die grüne Wasserstoffproduktion deutlich. Der grüne Strom kommt dabei aus dem niedersächsischen EE-Ausbau. Die Zusätzlichkeitsbedingung (Europäische Kommission 2023) besagt, dass Elektrolyseure zur Wasserstofferzeugung nur an neue Anlagen zur Erzeugung von Strom aus EE angeschlossen werden dürfen. Das würde dem Zweifachen der bis heute installierten Leistung aus EE in Niedersachsen entsprechen und somit einen enormen Ausbaubedarf bedeuten. Die Ausbauziele Niedersachsens bis 2035 (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz 2025) könnten den wasserstoffbedingten Ausbau an EE-Kapazität bereits abdecken, weswegen der Ausbaubedarf realisierbar erscheint.

Für die Betriebsphase entscheidend ist die Entwicklung des Wasserstoffpreises relativ zu seinen fossilen Substituten wie Erdgas. Die Herstellung von Wasserstoff bleibt bis 2040 voraussichtlich teurer als fossile Energieträger (Sacht 2024, von Düsterloh et al. 2024). Zudem bleibt die ausländische Wasserstoffproduktion auch langfristig günstiger als die inländische Produktion (vgl. Tabelle 1). Die inländische Wasserstoffproduktion ist folglich im preislichen Nachteil sowohl gegenüber fossilen Substituten als auch gegenüber ausländischen Produzenten. Zwar wird eine preisliche Lernkurve in Deutschland beschritten, wodurch die Wasserstoff-Gestehungskosten sinken werden, allerdings gibt

es keinen absoluten Preisvorteil für grünen Wasserstoff bis 2040. Dennoch wird in dem Wasserstoff-Szenario davon ausgegangen, dass fossile Energieträger mengenmäßig durch grünen Wasserstoff substituiert werden. Diese Annahme ist voraussetzungsreich. Damit sich das Wasserstoff-Szenario auch wirtschaftlich trägt, müssen die eingangs genannten und in Kapitel 6 ausgeführten Gelingensbedingungen erfüllt sein. Nur, wenn diese Beachtung finden, kann davon ausgegangen werden, dass das skizzierte Wasserstoff-Szenario auch realisierbar ist. Bei diesem Szenario wird anders als im Referenz-Szenario (vgl. Kapitel 3) von keiner Abwanderung energieintensiver Industrien ausgegangen. Auch nicht davon, dass Teile der Produktion (sei es Ammoniak in der Chemieindustrie oder Eisenschwamm in der Stahlindustrie) ausgelagert werden. Allerdings werden Umrüstungsinvestitionen von Produktionsprozessen v. a. bei Stahl, Chemie und Energieversorgern berücksichtigt. Der Großteil der Umrüstungsinvestitionen ist in der Stahlindustrie zu erwarten. Insbesondere die Umrüstung der drei Hochöfen der Salzgitter Stahl AG zu zwei Direktreduktionsanlagen und drei Elektrolichtbogenöfen beträgt nach Eigenaussagen kumuliert 4 Mrd. Euro bis Ende 2033 (Salcos).

Die Speicherkapazitäten sowie das Wasserstoff-Kernnetz werden auf- und ausgebaut. Von dem etwa 9000 Kilometer langen Wasserstoff-Kernnetz verlaufen etwa 20 % (ca. 1800 Kilometer) innerhalb der niedersächsischen Grenzen (Bundesnetzagentur 2024, NDR 2024). Rund 40 % davon werden neu gebaut. Bereits im März 2025 konnte ein erster Abschnitt des Wasserstoff-Kernnetzes in Niedersachsen/Emsland in Betrieb genommen werden, der Lingen mit Bad Bentheim verbindet. 98 % des Leitungsabschnittes besteht aus bereits vorhandenen Gasleitungen (NOZ 2025).

Niedersachsen wird an seinen Häfen in Wilhelmshaven und Stade einen Großteil der Wasserstoff-Importe für Gesamtdeutschland empfangen. Nach Eigenangaben des Wilhelmshaven Energy Hub, Uniper Green und Hanseatic Energy Hub in Stade könnten sich Importleistungen von bis zu 250 TWh pro Jahr ergeben und damit den Importbedarf von ganz Deutschland abdecken. Auch die Speicherkapazitäten in Huntorf, Etzel, Harfeld und Krummhörn versprechen die vollständige Abdeckung des Eigenbedarfs Deutschlands.

Zudem können Exportpotenziale von Wasserstoff-Technologien gehoben werden, die sich am Wertschöpfungsanteil am Bund orientieren. Des Weiteren besteht ein zusätzlicher Weiterbildungsbedarf – vor allem in Branchen, für die der Werkstoff Wasserstoff noch neu ist. Diese Weiterbildungsbedarfe beziehen sich vor allem auf die Zertifizierung von Sicherheitsaspekten für den Umgang mit Wasserstoff. Insbesondere wird dies in der Metallindustrie stattfinden müssen (Schad-Dankwart 2023) – die Chemieindustrie braucht wiederum kaum zusätzliche Weiterbildung (Felkl 2022).

Box 1: Das Wasserstoff-Szenario im Überblick

Die Kernelemente im Einzelnen

- Realisierung der nationalen Wasserstoffstrategie auf Bundesebene; hohe Eigenproduktion in Niedersachsen
- Niedersachsen ist wasserstoffautark, wird aber ein bedeutender Import-Hub für grünen Wasserstoff für Rest-Deutschland/Europa sein
- Herstellung von Wasserstoff bleibt langfristig teurer als fossile Energieträger
- Ausländische H₂-Produktion bleibt langfristig günstiger als inländische H₂-Produktion
- Fossile Energieträger sind mengenmäßig durch grünen Wasserstoff substituierbar
- Es wird von keiner Abwanderung energieintensiver Industrien ausgegangen
- Umrüstungsinvestitionen von Produktionsprozessen v. a. bei Stahl, Chemie und Energieversorgern
- Es wird unterstellt, dass grüner Wasserstoff über den gesamten Prognosehorizont derart knapp bleibt, dass Wasserstoff vorrangig für die Dekarbonisierung der Industrieprozesse und in Teilen für den Verkehr genutzt wird; grüner Wasserstoff wird begrenzt eingesetzt
- Berücksichtigung der Nutzung von grünem Wasserstoff bei Stahl, Chemie, Zement, Energieversorgern sowie zu geringem Teil im Schwerlastverkehr und als PtX im Schiffs- und Flugverkehr und für die Rückverstromung
- PtX werden zum Großteil importiert
- Speicherkapazitäten und das Wasserstoff-Kernnetz werden aus- und aufgebaut
- Exportpotenziale von Wasserstoff-Technologien können gehoben werden
- Grüner Strom für die H₂-Produktion kommt aus inländischem EE-Ausbau; Niedersachsen wird seinen Strombedarf für die Wasserstoff-Elektrolyse selbst herstellen können
- Es besteht zusätzlicher Weiterbildungsbedarf

Zusätzlich zum Wasserstoff-Szenario wird ein konservatives Szenario diskutiert, das von einer niedrigeren Elektrolysekapazität ausgeht.

Tabelle 1 fasst tabellarisch die einzelnen Annahmen zur Wasserstoffwertschöpfungskette in Deutschland und Niedersachsen zusammen.

Tabelle 1: Ausprägung der grünen Wasserstoff-Transformation in Deutschland und Niedersachsen

			Deutschland				Niedersachsen			
			2025	2030	2035	2040	2025	2030	2035	2040
Wasserstoffbedarf, -erzeugung und -import	Gesamtbedarf	TWh	7	106	236	348	1	11	25	35
	Kapazität	GW	3	10	26	36	0,2	5	18	20
	Konservatives Sz.						0,1	3	15	16
	Erzeugung	TWh	7	27	70	99	1	14	48	53
	Konservatives Sz.						0,2	7	41	45
	Benötigte Strommenge	TWh	10	40	103	144	1	21	71	78
	Konservatives Sz.						0,2	11	60	65
	Importmenge	TWh	0	79	166	248	0	0	0	0
	Konservatives Sz.						1	4	0	0
	Importquote	%	0	75	70	72	24	0	0	0
	Konservatives Sz.						81	34	0	0
Umrüstung	Umrüstungsinvestitionen	Mrd. €	2	12	29	38	0	2	5	6
Produktions- und Importkosten	Investitionskosten Elektrolyseur	€/kW	771	585	498	412	Wie im Bund			
	Wasserstoff-Gestehungskosten im Inland	€/kWh	0,17	0,14	0,13	0,12	Wie im Bund			
	Importkosten Pipeline	€/kWh	0,16	0,13	0,12	0,11	Wie im Bund			
	Importkosten Schiff mit Methan	€/kWh	0,37	0,32	0,30	0,28	Wie im Bund			
	Importkosten Schiff mit Ammoniak	€/kWh	0,23	0,21	0,19	0,18	Wie im Bund			
Exporte	Technologieexporte (kumuliert ab 2025)	Mrd. €	5	27	57	90	0,3	2	3	5
Infrastruktur	Investitionen in Infrastrukturaufbau pro Jahr	Mrd. €	3	21	53	61	1	5	10	13
Derivate	Bedarf an synthetischen Kraftstoffen (Schiff + Luft)	TWh	0	5	13	26	0	1	1	3
	Davon heimisch hergestellt	TWh	0	5	6	7	0	0	1	2
Weiterbildung	Zusätzliche Schulungskosten (kumuliert ab 2025)	Mrd. €	0,1	0,9	1,1	1,1	0	0,001	0,001	0,001

Quelle: angelehnt an Ronsiek et al. (2024) für Deutschland; eigene Recherche und Berechnung für Niedersachsen

3 DAS REFERENZ-SZENARIO

Um herauszufinden, welche Effekte der Weg in eine Wasserstoffwirtschaft auf die Wirtschaft und den Arbeitsmarkt hat, muss ein Vergleich hergestellt werden. Je nachdem, wie der Vergleichslauf definiert ist, fallen auch die Effekte einer Wasserstoff-Transformation anders aus. Der Vergleichslauf wird im Folgenden **Referenz-Szenario** genannt.

Grundlegend ist der Gedanke, dass der Wechsel in eine Wasserstoffwirtschaft kein Selbstzweck ist, sondern dem übergeordneten Ziel untersteht, 2045 CO₂-Neutralität zu erreichen. Mit der heutigen, auf fossilen Energieträgern beruhenden Wirtschaft und den heute zur Verfügung stehenden klimapolitischen Instrumenten wie bspw. dem Ausbau EE oder der Bepreisung von CO₂-Emissionen im Rahmen des Europäischen Emissionshandels ist dies nicht erreichbar (Wehmann et al. 2025; Agora Think Tanks 2024).

Für die energieintensiven Industrien gibt es aus heutiger Sicht drei Optionen, um an einem bestimmten Standort klimaneutral zu werden:

1. Anwendung von Carbon Capture and Storage/Utilization (CCUS)
2. Anwendung von grünem Wasserstoff
3. Abwanderung bzw. deutliche Reduktion fossiler Produktionsstätten

Ab dem Jahr 2036 soll gemäß dem Vorschlag der EU-Kommission zur Änderung des Europäischen Klimagesetzes ein begrenzter Anteil (maximal 3 %) von Minderungsgutschriften auf die CO₂-Emissionen angerechnet werden dürfen (IHK Karlsruhe 2025). Da dies aktuell aber nur ein Vorschlag ist und außerdem nur eine begrenzte Wirkung haben dürfte, ist es keine relevante Option zur Erreichung von Klimaneutralität.

Die großflächige Nutzung von Carbon Capture Utilization/Storage ist theoretisch eine Möglichkeit, trotz der Nutzung von fossilen Energieträgern CO₂-Neutralität zu erreichen. Allerdings sind die rechtlichen Voraussetzungen hierfür noch nicht gegeben. Bislang besteht lediglich ein Gesetzentwurf zur Novellierung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes (BMWE 2025).

Die Beibehaltung des Status quo kann langfristig nicht aufrechterhalten werden. Zum einen wird der Europäische Emissionshandel ab 2027 durch die Sektoren Verkehr und Gebäude erweitert, gleichzeitig aber die Emissionsrechte reduziert (Europäisches Parlament und Rat 2023a). Mit Einführung des CO₂-Grenzausgleichsmechanismus werden bis 2034 zudem die bisher kostenlos bereitgestellten Zertifikate für kohlenstoffintensive Industriezweige schrittweise abgebaut (Europäisches Parlament und Rat 2023b). Beide Entwicklungen führen zu einem steigenden CO₂-Preis, der die emissionsintensive Produktion in Europa sukzessive verteuert. Ohne Umstellung auf emissionsfreie Produktion wird die Weiterproduktion in Europa und Deutschland allein aufgrund preislicher Gründe merklich erschwert. Vor diesem Hintergrund ist ohne einen Technologiewechsel die Abwanderung aus bzw. Schließung von Produktionsstätten in Deutschland die wahrscheinlichste Reaktion der Betriebe auf die sich ändernden CO₂-Preise. Diese Entwicklung lässt sich aktuell schon beobachten: Der US-Chemiekonzern Dow Chemical hat unlängst die Schließung zweier Anlagen in Sachsen-Anhalt und Sachsen bis 2027 angekündigt (Tagesschau 2025c). Auch ThyssenKrupp Stahl kündigte bereits 2024 an, seine Stahlproduktion deutlich zu senken (Tagesschau 2024).

Diese Studie hält sich an die aus heutiger Sicht gesetzlich konformen Möglichkeiten, weswegen das Wasserstoff-Szenario mit einer Welt im Vergleich steht, in der energieintensive Industrien die Produktion in Deutschland so weit herunterfahren, dass ihre CO₂-Emissionsreduktion ähnlich niedrig ausfallen wie im Szenario mit Wasserstoff-Anwendung. Das bedeutet allerdings nicht, dass Deutschland weder im Wasserstoff- noch im Referenz-Szenario vollständige Klimaneutralität erreicht. Andere Sektoren wie Gebäude und Verkehr werden von der Wasserstoff-Transformation nicht oder kaum angesprochen.

4 POTENZIELLE WERTSCHÖPFUNGS- UND BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE IN NIEDERSACHSEN

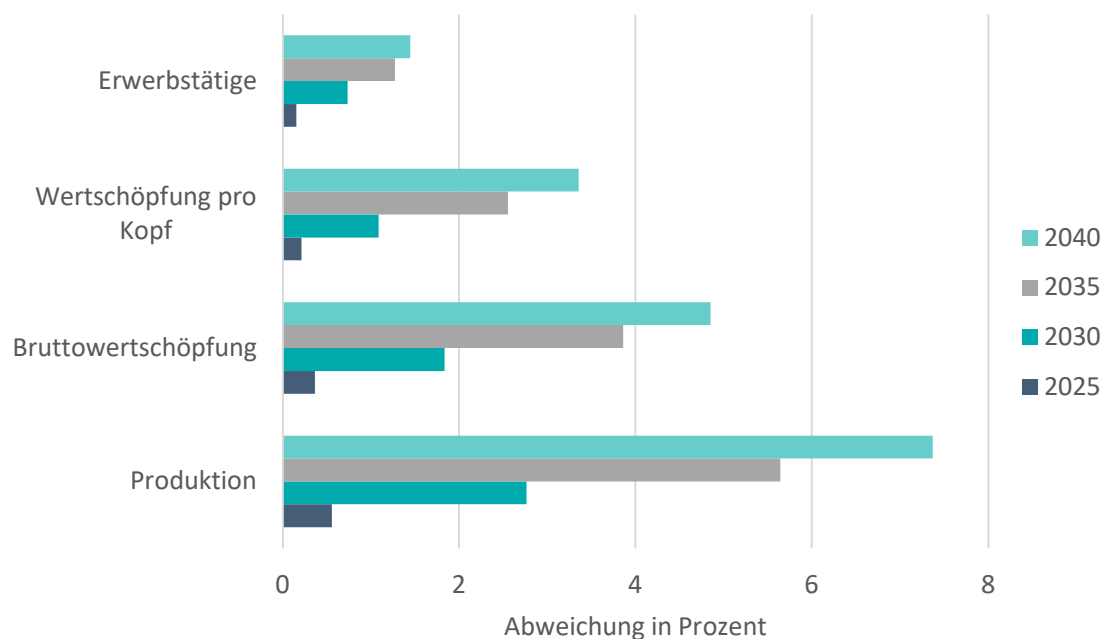
Das Ziel der CO₂-Neutralität ist politisch gesetzt, international verbindlich und ökologisch zwingend. Der Auf- und Ausbau einer Wasserstoff-Infrastruktur kann ein wesentlicher Beitrag sein, diesem Ziel näherkommen. Die derzeit einzig Möglichkeit, steigende CO₂-Preise und damit deutliche Steigerung bei den fossilen Produktionskosten zu umgehen, ist eine deutliche Produktionsreduktion im Inland. Im Vergleich zu einer Produktionsreduktion kann der Auf- und Ausbau einer Wasserstoff-Infrastruktur sowie der Wechsel von fossilen Energieträgern zu grünem Wasserstoff in energieintensiven Branchen wie der Metall- und Chemieindustrie sowie im Schwerlasttransport zu erheblichen Wachstums- und Beschäftigungseffekten führen. Abbildung 5 fasst die wichtigsten Kenngrößen für Niedersachsen zusammen.

Die Effekte der Wasserstoffwirtschaft resultieren mittelfristig vornehmlich aus Bau- und Ausrüstungsinvestitionen. Die notwendigen Umrüstungsinvestitionen der Produktionsprozesse – insbesondere bei der Stahlindustrie – treiben zusätzlich das Wertschöpfungswachstum an. Exportpotenziale können gehoben werden, sind aber gering. Die Betriebsphase der Wasserstoffwirtschaft ist aufgrund des auch langfristigen preislichen Nachteils von grünem Wasserstoff versus Erdgas durch höhere Kosten und Preise gekennzeichnet. Durch die direkten Effekte des Aufbaus einer Wasserstoffwirtschaft werden weitere Wirkungen in Gang gesetzt, welche positive, aber auch negative Nebeneffekte mit sich führen. Zum einen werden zusätzliche Einkommen generiert, die durch zusätzliche Beschäftigung ausgelöst werden und zum anderen erhöhen die notwendigen, zusätzlichen Investitionen über Abschreibungen i. d. R. die Produktionspreise und somit auch das durchschnittliche Preisniveau. Der höhere Wasserstoffpreis wirkt relativ zum fossilen Substitut nochmals preiserhöhend. Aufgrund der Integration in den Weltmarkt ziehen Investitionen auch immer zusätzliche Importe nach sich. Dies ist insbesondere bei Investitionen der Fall, in denen vor allem elektrische Teile und Ausrüstungen notwendig sind, wie bspw. für den Bau von Photovoltaikanlagen. Die steigenden Kosten verschlechtern die Wettbewerbsfähigkeit einiger Branchen und dämpfen vornehmlich bei exportintensiven Branchen das Auslandsgeschäft. Zwar führt die Wasserstoff-Transformation zu höheren Kosten und somit – infolge der steigenden Investitionen und des auch langfristig höheren Wasserstoffpreises – relativ zu fossilen Substituten auch zu höheren Preisen, dennoch tragen die Verluste der Produktionsreduktion schwerer.

Um die Reduktion der CO₂-Emissionen in diesem Umfang zu ermöglichen, wie es in einer Wasserstoffwirtschaft möglich ist, müssten die energie- und gleichzeitig auch CO₂-intensiven Branchen deutlich ihre Produktionskapazitäten reduzieren. Daher sind die Gesamteffekte des Wasserstoff-Szenarios im Vergleich zum Referenzszenario als relativ hoch zu bewerten – sowohl bei der Wertschöpfung als auch bei den Erwerbstätigen. Die Wertschöpfung liegt im Jahr 2040 kumuliert um fast 200 Mrd. Euro höher, als würden die Produktionslinien heruntergefahren werden. Die größten Zusatzgewinne sind für die Jahre nach 2030 zu erwarten, wenn die Infrastruktur aufgebaut wäre und die Investitionsphase in die Betriebsphase überginge.

Viele Arbeitsplätze können durch den Wasserstoff-Hochlauf einerseits erhalten, andererseits neu geschaffen werden. Die Produktionsverlagerung/-reduktion bedroht vor allem in den energieintensiven Industrien viele Jobs, die durch die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft erhalten werden könnten oder andernfalls abgebaut werden müssten. Der Wasserstoff-Hochlauf schafft aber auch neue, zusätzliche Jobs, die mit dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in direktem Zusammenhang stehen. Das betrifft insbesondere viele Bautätigkeiten für den Ausbau der Infrastruktur, aber auch Jobs im Zusammenhang mit der Wasserstoffproduktion und dem Transport. Relativ zum Referenz-Szenario sind die Konsummöglichkeiten aufgrund des höheren Erwerbstätigenniveaus im Wasserstoff-Szenario erhöht, was sich positiv auf konsumnahe Branchen auswirken dürfte. Insgesamt liegt das Erwerbstätigenniveau im Jahr 2040 um 1,5 % höher. Trotz des höheren Beschäftigungsstandes nimmt die Wertschöpfung pro Erwerbstätigen ebenfalls zu, wodurch mehr Geld pro Erwerbstätigen generiert werden kann.

Abbildung 5: Überblick wichtiger Kenngrößen für Niedersachsen – Differenz in Prozent zum Referenz-Szenario in Zeitabschnitten



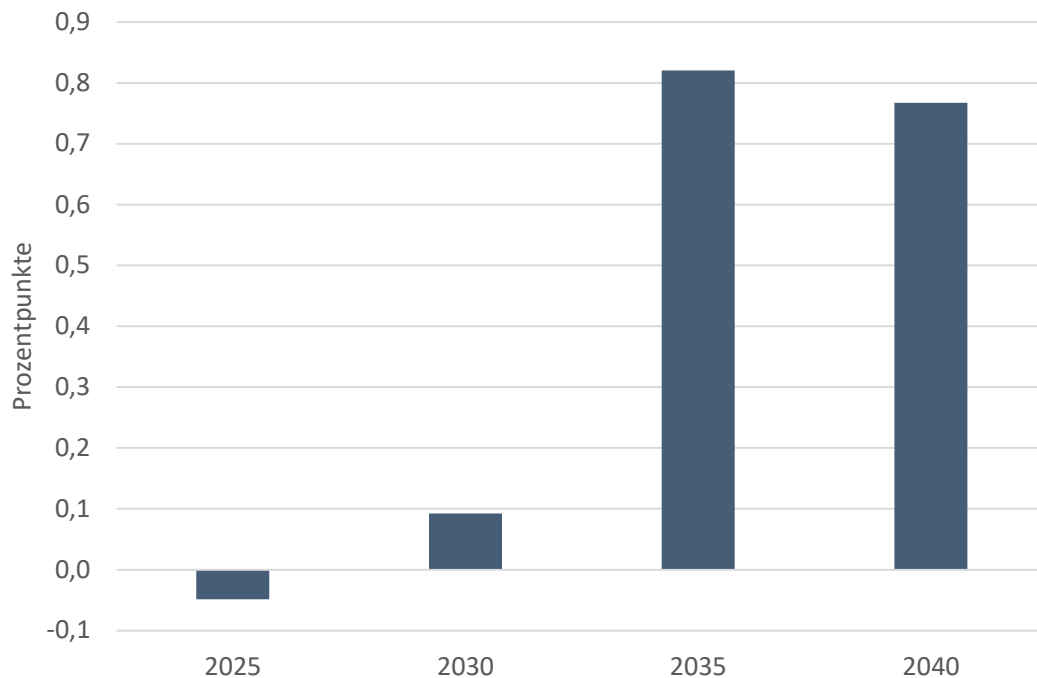
Quelle: eigene Berechnung

Nicht nur Niedersachsen, auch das übrige Deutschland wird den Wasserstoff-Hochlauf vorantreiben. Die Wertschöpfung steigt also in ganz Deutschland an. Allerdings profitiert Niedersachsen insbesondere nach 2030 überdurchschnittlich stark von dem Wasserstoff-Hochlauf (vgl. Abbildung 6), da die Wertschöpfung in Niedersachsen schneller gesteigert werden kann als in allen anderen Bundesländern, was vornehmlich an dem starken Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur (Häfen, Speicher, Wasserstoff-Kernnetz), der hohen Elektrolyseleistung und dem Ausbau der erneuerbaren Energien liegt.

Dies bestätigt die führende Rolle, die Niedersachsen bei einer Transformation in eine Wasserstoffwirtschaft spielen kann. Der Ausbau der Infrastruktur mit den Importhäfen, den Speicherkapazitäten und dem Wasserstoff-Kernnetz zeigt, dass Niedersachsen –

auch wenn nicht als großflächiger Nutzer von Wasserstoff – eine bedeutende Rolle als „Wasserstoff-Drehscheibe“ (Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen 2024) einnehmen kann. Der Vorteil kann aber erst nach 2030 ausgespielt werden. Vor allem in der kurzen Frist startet Niedersachsen etwas unterdurchschnittlich.

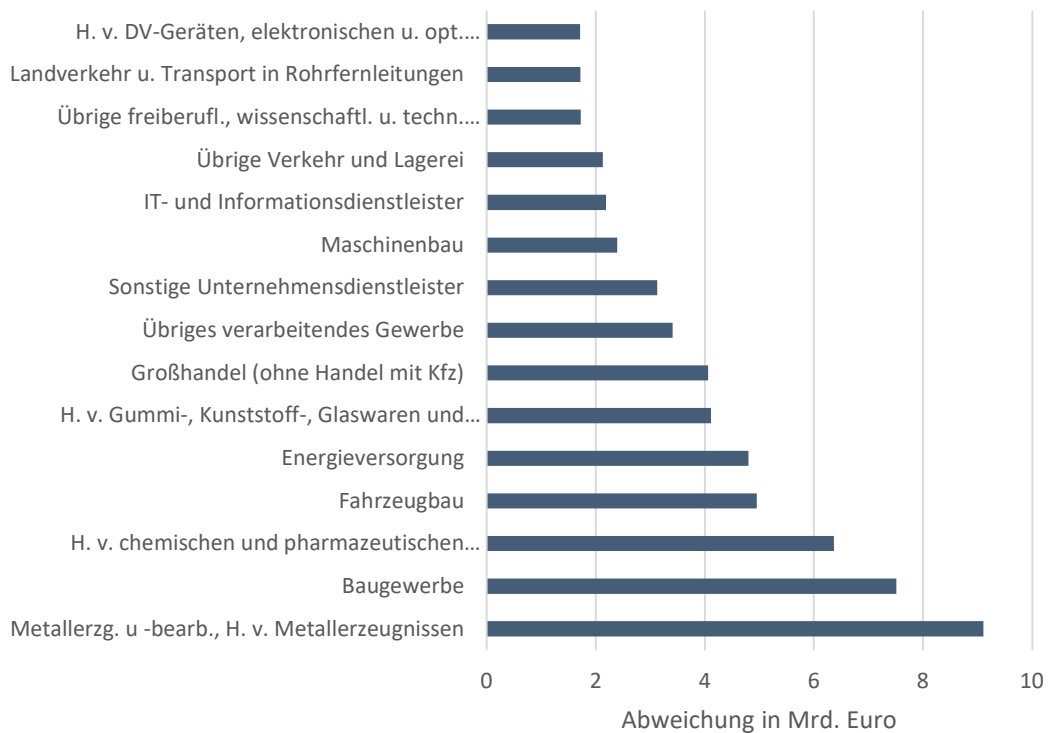
Abbildung 6: Differenz zur prozentualen Abweichung der Bruttowertschöpfung Niedersachsens zum Bund



Quelle: eigene Berechnung

Es gibt keine Branche, die durch den Wasserstoff-Hochlauf in Niedersachsen schlechter dastehen würde. Abbildung 7 zeigt die 15 am stärksten profitierenden Branchen mit den höchsten Umsatzzuwächsen für das Jahr 2040. Von dem gesamten Umsatzanstieg im Jahr 2040 in Höhe von 79 Mrd. Euro entfallen auf diese 15 Branchen 75 %. Vornehmlich die Branchen des verarbeitenden Gewerbes und hier insbesondere die energieintensiven Industrien wie die Metall- und Chemieindustrie profitieren durch die Möglichkeit der Weiterproduktion im Inland. Das Baugewerbe gewinnt durch die Investitionen in den Auf- und Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur. Dem Maschinenbau eröffnen sich Exportpotenziale. Neben den direkt betroffenen Branchen können auch andere Wirtschaftszweige ihren Umsatz steigern. Zum Beispiel werden unternehmensnahe Dienstleistungen durch mehr Aufträge aus dem produzierenden Gewerbe versorgt. Auch konsumnahe Branchen profitieren durch gestiegene Einkommen. Diese induzierten Effekte sind allerdings klein, weswegen diese Wirtschaftszweige (bspw. die Gastronomie oder der Einzelhandel) nicht in der Top-15-Liste in Abbildung 7 auftreten.

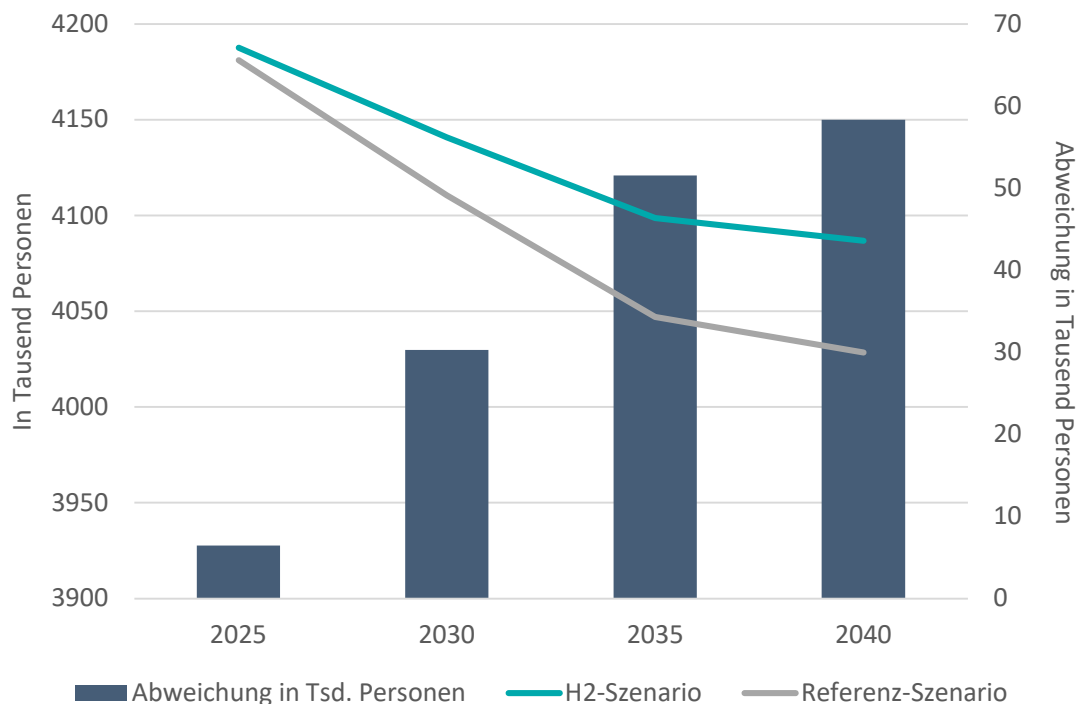
Abbildung 7: Veränderung der Branchenstruktur im Umsatz (nominale Produktion) für das Jahr 2040 im Vergleich zum Referenz-Szenario in Niedersachsen



Quelle: eigene Berechnung

In Abbildung 8 ist die Erwerbstätigenentwicklung in Niedersachsen sowohl im Referenz-Szenario als auch im Wasserstoff-Szenario in absoluten Zahlen abgebildet. In beiden Szenarien kommt es bis 2040 zu einem kontinuierlichen Abbau an Arbeitsplätzen. Diese grundlegende Entwicklung ist hauptsächlich auf demografische Ursachen zurückzuführen. Die langfristige Bevölkerungsprojektion geht von einem Rückgang nicht nur der Gesamtbevölkerung, sondern auch der erwerbsfähigen Bevölkerung wie auch der Erwerbspersonen aus. Folglich muss sich die Zahl der Erwerbstätigen der demografischen Vorgabe beugen (Maier et al. 2024). Der Wasserstoff-Hochlauf kann den Rückgang der Erwerbstätigen nicht aufhalten, die Entwicklung allerdings verlangsamen. Im Vergleich zum Referenz-Szenario der Produktionsverlagerung werden 2040 bis zu 60 000 zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen.

Abbildung 8: Entwicklung der Erwerbstätigen im Wasserstoff- und Referenz-Szenario sowie Erwerbstätigeneffekte des Wasserstoff-Szenarios in Tausend Personen in Niedersachsen

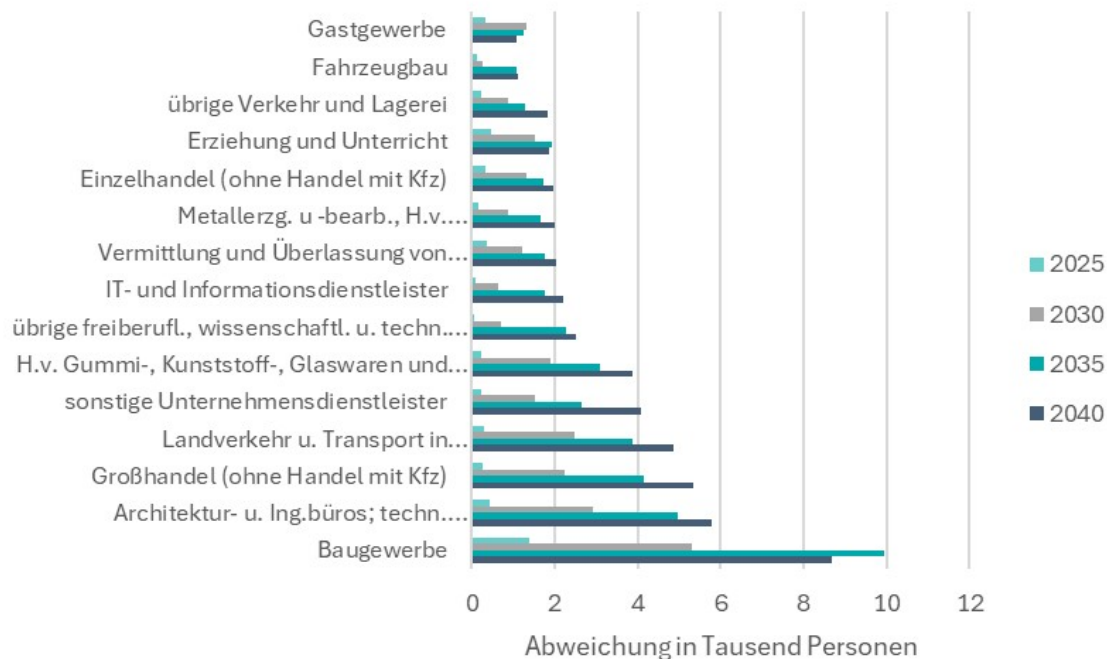


Quelle: eigene Berechnung

Werden die Erwerbstätigeneffekte des Wasserstoff-Szenarios nach Wirtschaftszweigen aufgeschlüsselt, sind es nur wenige Branchen wie bspw. die häuslichen Dienstleistungen, in denen sich die steigenden Preise besonders stark auswirken, die wiederum von dem Wasserstoff-Hochlauf nicht profitieren würden. Vor allem das Baugewerbe und baunahe Branchen gewinnen durch den Auf- und Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur (vgl. Abbildung 9). Die stimulierenden Bauinvestitionen generieren sich sowohl aus dem Ausbau der EE als auch aus dem Ausbau der Infrastruktur (Pipelinebau, Speicher und Häfen). Der Hochlauf der Bauinvestitionen aus den Infrastrukturprojekten ist 2035 erreicht. Anschließend schwächen sich die Effekte ab. Die Branche „Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen“ profitiert von dem Betrieb des Wasserstoff-Kernnetzes. Die energieintensiven Industrien wie die Metall- und Chemieindustrie können neue Arbeitsplätze schaffen und alte erhalten.

Werden Abbildung 7 und Abbildung 9 miteinander verglichen, zeigt sich, dass es Branchen gibt, die stärkere Umsatzeffekte aufweisen als Beschäftigungseffekte. Die Reihenfolge der Branchen hat sich verändert. Der Grund liegt in den unterschiedlichen Personalintensitäten in den Branchen selbst. Während das Baugewerbe für die Herstellung einer Produktionseinheit eine hohe Zahl an Beschäftigten benötigt, ist dies insbesondere in den automatisierten Arbeitsprozessen im verarbeitenden Gewerbe weniger stark der Fall. Auch konsumnahe Branchen wie das Gastgewerbe, die nur indirekt von der Wasserstoff-Transformation betroffen sind, zeigen stärkere Beschäftigungs- als Umsatzeffekte. Auch hier gilt, dass die Personalintensität größer ist als bspw. in der Metall- oder Chemieindustrie.

Abbildung 9: Erwerbstätige in Niedersachsen nach Wirtschaftszweigen – die 15 höchsten Abweichungen zum Referenz-Szenario in Tausend Personen



Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 6 hat bereits gezeigt, dass Niedersachsen bei der Bruttowertschöpfung im Vergleich zu Gesamtdeutschland durch die Wasserstoff-Transformation überdurchschnittlich stark gewinnen kann. Dies ist auch bei der Zahl der Erwerbstätigen so, jedoch in geringerem prozentualen Durchschnitt. Abbildung 10 zeigt die Erwerbstätigeneffekte Niedersachsens an den deutschlandweiten Erwerbstätigeneffekten. Insbesondere die Baubranche profitiert stärker im Vergleich zum Rest der Bundesrepublik. Dies liegt an den vielen großen Bauprojekten, die in Niedersachsen mit dem Aufbau der Wasserstoff-Infrastruktur zu tun haben (Häfen, Pipeline, Speicher, EE). Andere Branchen wie bspw. die Chemieindustrie sind im Vergleich weniger stark betroffen, was auf die spezifische Branchenstruktur in Niedersachsen zurückzuführen ist – welche einen unterdurchschnittlichen Wertschöpfungsanteil der Chemieindustrie aufzeigt.

Abbildung 10: Veränderung der Arbeitsplätze in Niedersachsen und in den restlichen Bundesländern im Jahr 2040 relativ zum Referenz-Szenario in Tausend Personen



Quelle: eigene Berechnung

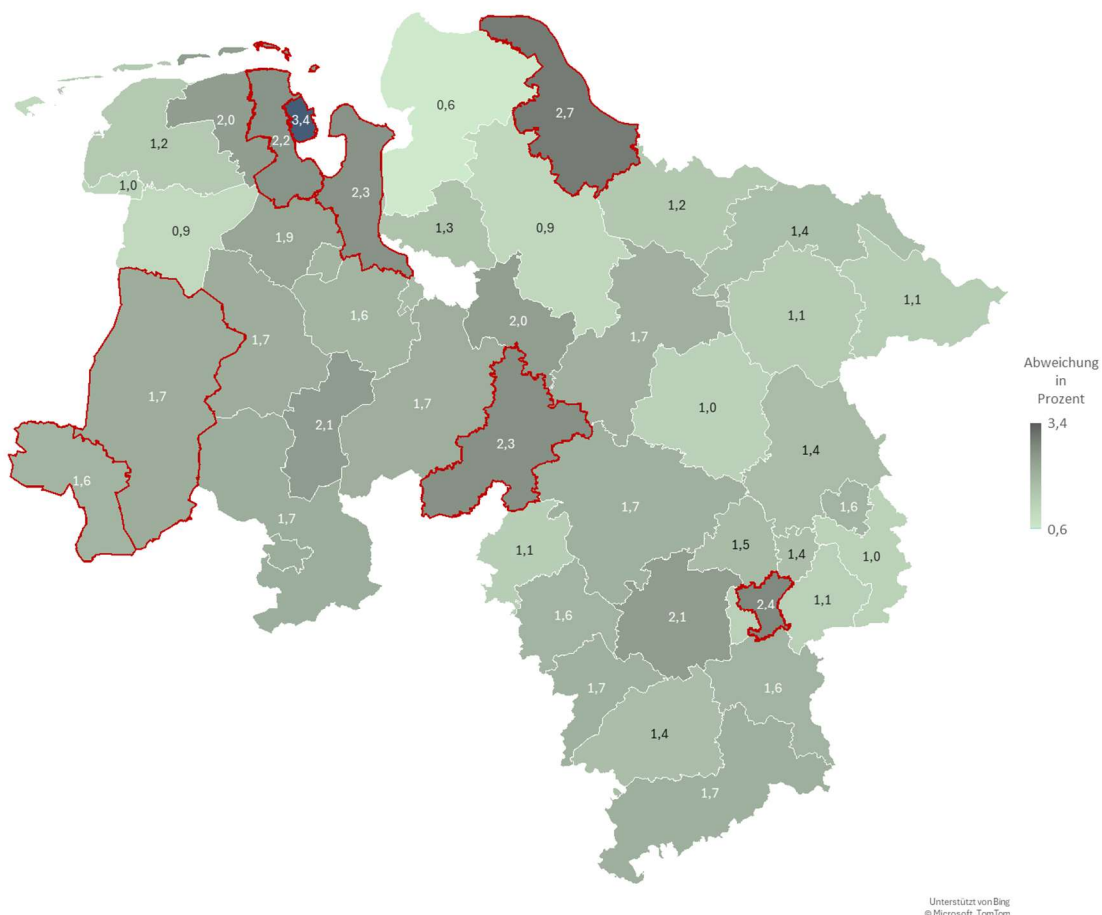
Die Arbeitsplatzentwicklung in Niedersachsen lässt sich nicht nur nach Branchen und im Vergleich zum Bund beschreiben, sondern kann auch differenziert nach Kreisen ausgewiesen werden (vgl. Karte 1). Unter den 45 Kreisen und kreisfreien Städten Niedersachsens sind insbesondere acht Kreise hervorzuheben (rot umrandete Kreise in Karte 1), die besonders stark von der Wasserstoff-Transformation beeinflusst werden dürften:

1. Die kreisfreie Stadt **Wilhelmshaven** profitiert am meisten durch die Importterminals für Wasserstoff und die Umwandlungsanlagen sowie durch den Aufbau von Elektrolysekapazitäten von bis zu 1,5 GW bis 2030.
2. Der Landkreis **Stade** wird durch die Hafeninfrastruktur, durch den Aufbau von Elektrolyseleistung (bis zu 500 MW bis 2030) und durch den Aufbau von Speicherkapazitäten in Harsefeld positiv beeinflusst.
3. Die kreisfreie Stadt **Salzgitter** kann durch den Umbau seines Stahlwerkes und den Aufbau von bis zu 500 MW an Elektrolysekapazität Jobs erhalten.
4. Der Landkreis **Nienburg (Weser)** fällt insbesondere durch den Aufbau von bedeutenden Elektrolysekapazitäten von bis zu 1 GW bis 2030 auf.
5. Der Landkreis **Wesermarsch** profitiert durch den Aufbau von Elektrolysekapazität und eines Speichers in Huntorf.
6. Im Landkreis **Friesland** wird grüner Wasserstoff vor allem in der Papierindustrie eingesetzt. Zudem werden Elektrolysekapazitäten von bis zu 400 MW aufgebaut.

7. Der Landkreis **Emsland** meldet aufgrund seiner dort ansässigen Industrie (Stahl-, Papier-, Chemieindustrie, Raffinerie) vor allem bei Lingen einen der größten Wasserstoffbedarfe an. Auch ist der Aufbau von Elektrolysekapazitäten von bis zu 614 MW bis 2030 geplant.
8. Die **Grafschaft Bentheim** gewinnt insbesondere aufgrund des Aufbaus des Wasserstoff-Kernnetzes in dieser Region.

Andere Kreise dürften etwas schwächere Erwerbstätigeneffekte aufzeigen – vor allem dort, wo es kaum Infrastrukturprojekte gibt und eine schwache Industriestruktur vorliegt. Dies dürfte vorwiegend in den östlichen Kreisen Niedersachsens der Fall sein wie bspw. Landkreis Uelzen, Lüchow-Dannenberg, Landkreis Celle oder Gifhorn. Gleichzeitig ist zu konstatieren, dass auch in den schwächer betroffenen Kreisen Arbeitsplatzaufbau zu beobachten sein wird, da arbeitsteilige Prozesse (sogenannte Vorleistungsverflechtungen) über Kreisgrenzen wirken und die Transformationsprojekte ausstrahlen. Auch über Pendelbewegungen (Unterscheidung zwischen Wohnort und Arbeitsort) kann das am Arbeitsort generierte Einkommen in den Wohnort transferiert und dort ausgegeben werden.

Karte 1: Veränderung der Arbeitsplätze nach Kreisen in Niedersachsen, Abweichung in Prozent für 2040

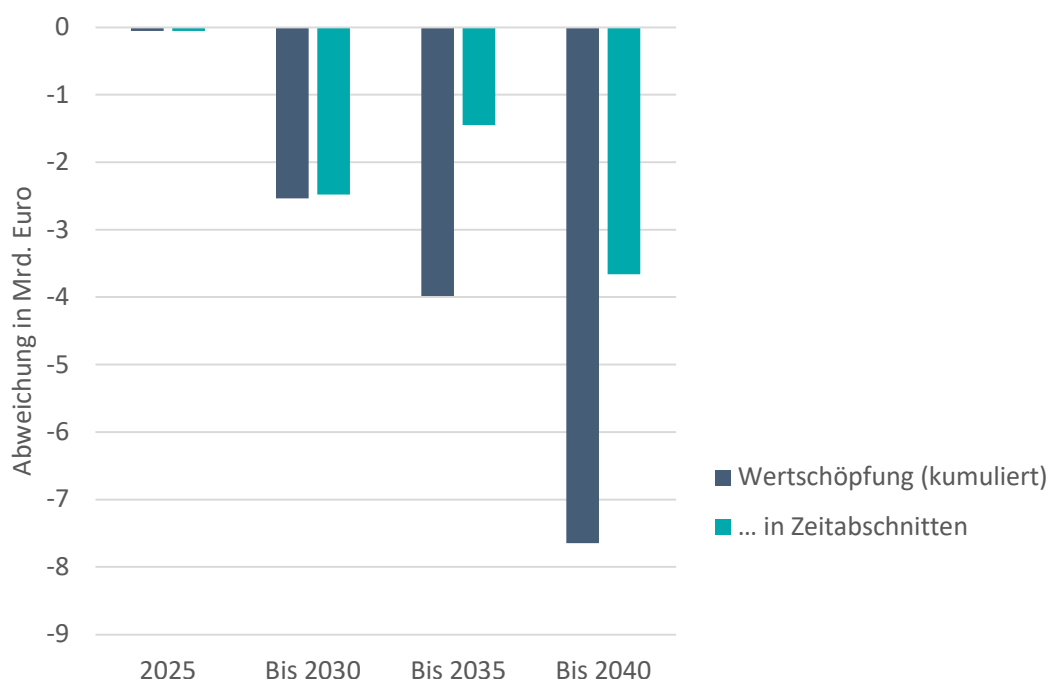


Quelle: eigene Berechnung

Zusammengenommen ist festzuhalten, dass das hier aufgezeigte Wasserstoff-Szenario grundsätzlich in zwei Phasen aufgeteilt werden kann: Die erste Phase dauert bis ca. 2030/2035 an und ist hauptsächlich durch den Aufbau der notwendigen Infrastruktur und Produktionslinien gekennzeichnet, die für eine Nutzung von grünem Wasserstoff in größerem Umfang notwendig ist. Die Jahre danach prägen die zweite Phase, welche die Verstetigung der Nutzung von grünem Wasserstoff darstellt. Während die erste Phase hauptsächlich aufgrund der hohen Investitionstätigkeit zu einer stärkeren Wirtschaftsentwicklung und einem höheren Bedarf an Arbeitskräften führt, ist die zweite Wachstumsphase von steigenden Preisen geprägt, die sich aufgrund von steigenden Abschreibungen und des weiterhin bestehenden Preisnachteils von grünem Wasserstoff gegenüber den fossilen Substituten ergeben. Dann verstärken sich aber auch der Druck, CO₂ über steigende CO₂-Preise zu reduzieren, kostenlose CO₂-Zertifikate wegfallen zu lassen sowie die Abwanderung bzw. Produktionsreduktion energieintensiver Industrien möglicherweise zu beschleunigen.

Sollte sich der Hochlauf der Eigenproduktion in Niedersachsen allerdings verzögern, die Bedarfe aber unverändert bleiben, ist mit leicht niedrigeren Effekten auf Wirtschaft und Arbeitsmarkt in Niedersachsen zu rechnen. Die Folge der niedrigeren Eigenproduktion ist ein höherer Importbedarf; die Abhängigkeit von Lieferungen aus dem Ausland steigt; inländische Investitionen fallen weg. Ein weniger ambitionierter Wasserstoff-Hochlauf könnte Wertschöpfungsverluste bis 2040 von kumuliert bis zu 8 Mrd. Euro bedeuten. Für den Arbeitsmarkt hätte das einen Verlust an Arbeitsplätzen in Höhe von knapp 2000 Personen im Jahr 2040 zur Folge. Im Vergleich zum Referenz-Szenario würden die Wachstums- und Beschäftigungseffekte zwar auch im konservativen Wasserstoff-Szenario weniger stark ausfallen, aber immer noch deutlich positiv sein.

Abbildung 11: Kumulierte Wertschöpfungsverluste des konservativen Wasserstoff-Szenarios zum Wasserstoff-Szenario in Niedersachsen



Quelle: eigene Berechnung

5 ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

Das im Grundgesetz verankerte Ziel, CO₂-Neutralität bis 2045 in Deutschland und bis 2040 in Niedersachsen (Niedersächsisches Klimagesetz 2024) zu erreichen, bedingt grundlegende Änderungen in der Art und Weise, wie in Deutschland und Niedersachsen gewirtschaftet wird – insbesondere und vor allem in den energie- und CO₂-intensiven Branchen des verarbeitenden Gewerbes, in der Art und Weise der Energieversorgung und im Schwerlast-, Schiff- und Flugtransport. Mit heutigen Methoden und Maßnahmen kann dieses Ziel nicht erreicht werden. Für die energieintensiven Industrien stehen daher nach gegenwärtigem Stand der Technik drei Szenarien zur Verfügung: 1.) Umstellung auf grünen Wasserstoff, 2.) Abfangen und Speicherung/Nutzung von CO₂ und 3.) die Abwanderung/Produktionsreduktion, um die zukünftig steigenden Kosten der emissionsintensiven Produktion in Europa mit Anstieg des CO₂-Preises und Wegfalls von kostenlosen CO₂-Zertifikaten zu vermeiden. Während für die Umstellung auf grünen Wasserstoff bereits viele Rahmenbedingungen gelten (Förderungsmöglichkeiten, Wasserstoff-Kernnetz) und Projekte gestartet und umgesetzt werden, ist das Abfangen und Speichern/Nutzen von CO₂ schon aus rechtlichen Gründen derzeit in Deutschland nicht möglich. Zuletzt bleibt noch die Abwanderung bzw. Produktionsreduktion der energieintensiven Industrien als Kontrast zur grünen Wasserstoff-Transformation übrig – gleichwohl dies global nicht nur zu einer Verlagerung der Produktion, sondern auch zu einer Verlagerung von Emissionen führen würde.

Eine Vielzahl an Studien hat die Chancen und Herausforderungen einer Wasserstoff-Transformation bereits analysiert, einige haben die sozioökonomischen Effekte auch quantifiziert. Ein breiter Konsens besteht darin, dass die Wasserstoff-Transformation zwar aufgrund ihrer hohen Investitionen vor allem in der Aufbauphase positive Wachstums- und Beschäftigungseffekte generieren kann, allerdings der langfristige Erfolg der Transformation an der Preisrelation von Wasserstoff zu seinen fossilen Substituten hängt. Damit ist die Entwicklung des Wasserstoffpreises ein entscheidender Erfolgsfaktor für die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft. Diese Aussagen gelten jedoch alle nur im Vergleich zu einer heutigen, auf fossilen Energieträgern basierenden Wirtschaftsstruktur. Diese hat unter der Prämisse des Klimaneutralitätsziels keine dauerhafte Zukunft, weshalb die Wasserstoff-Transformation mit dem beschriebenen Referenz-Szenario verglichen wird, welches eine deutliche Produktionsreduktion vorsieht.

Diese Betrachtungsweise führt zu dem Ergebnis, dass die Wasserstoff-Transformation für Niedersachsen nicht nur mittelfristig, sondern auch langfristig deutlich positivere Wachstums- und Beschäftigungseffekte bewirkt. Zudem profitiert Niedersachsen überdurchschnittlich von dem in ganz Deutschland stattfindenden Wasserstoff-Hochlauf. Hierfür bietet das Bundesland mit seinen hohen Potenzialen an erneuerbaren Energien, mit seinen Häfen in Wilhelmshaven und Stade für den Wasserstoff-Import, den vielen Elektrolyseprojekten in den Kreisen und mit wichtigen Ankerkunden wie der Salzgitter Stahl AG beste Möglichkeiten. Das Wohlstandsniveau kann sich nachhaltig erhöhen; die Wertschöpfung pro Erwerbstätigen wird größer. Die Beschäftigungseffekte generieren sich zu einem Großteil aus dem Ausbau EE sowie dem Aufbau der Wasserstoff-Infrastruktur (Pipeline, Häfen, Speicher). Die vielen Bauinvestitionen induzieren den Großteil des Beschäftigungsaufbaus und kommen somit vor allem dem Baugewerbe und den

baunahen Dienstleistungen zugute. Aber auch die energieintensiven Industrien wie die Metallindustrie und die etwas schwächer in Niedersachsen repräsentierte Chemieindustrie können ihren Umsatz deutlich erhöhen, Arbeitsplätze erhalten und neue aufbauen. Die Transformation erfolgt allerdings nicht ohne Kosten: Höhere Abschreibungen und die auch langfristig hohen Wasserstoffpreise erhöhen die Produktionskosten in Deutschland und Niedersachsen – zum Nachteil der lokalen Produktion und der internationalen Wettbewerbsfähigkeit. Dennoch ist festzuhalten, dass die volkswirtschaftlichen Kosten einer Nicht-Transformation, die der Wasserstoff-Transformation deutlich übersteigen, selbst wenn ein weniger ambitionierter Wasserstoff-Hochlauf verfolgt werden sollte. Abbildung 12 fasst die Ergebnisse auf einen Blick zusammen.

Abbildung 12: Zusammenfassung auf einen Blick



Quelle: eigene Darstellung

Neben den volkswirtschaftlichen Vorteilen bedingt der Einsatz von grünem Wasserstoff auch eine Diversifizierung des Energiemixes in Deutschland und Niedersachsen und trägt somit zu einer höheren Energieresilienz bei. Seit dem Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine im Februar 2022 haben sich die Nachteile einer einseitigen Abhängigkeit von einzelnen Energieträgern und Energielieferanten gezeigt. Die Nutzung von grünem Wasserstoff ermöglicht eine Energieresilienz in zweierlei Hinsicht:

- Zum einen stellt grüner Wasserstoff eine zusätzliche Möglichkeit der Diversifizierung von Energieträgern zur Verwendung in Hochtemperaturprozessen dar. Nicht nur Erdgas, sondern auch grüner Wasserstoff kann für die Erzeugung der notwendigen Temperaturen genutzt werden.
- Zum anderen ermöglicht der Import von grünem Wasserstoff eine Diversifizierung der Importländer. Zwar muss grüner Wasserstoff – wie die fossilen Energieträger (vornehmlich Erdöl und Erdgas) bisher auch – zu einem Großteil importiert werden, allerdings ist die Herstellung von grünem Wasserstoff weniger stark an die geologischen Beschaffenheiten (Existenz von Erdöl-/Erdgasfeldern) gebunden (Ronsiek et al. 2022).

Die ökologischen Vorteile der Wasserstoff-Transformation zeigen sich direkt an der Möglichkeit, nahezu vollständig auf CO₂-Emissionen in Hochtemperaturprozessen zu verzichten – bei gleichzeitig steigender Wertschöpfung. Die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltschäden könnte mittels der grünen Wasserstoff-Technologie vorangetrieben werden.

6 WAS BLEIBT ZU TUN

Zum heutigen Zeitpunkt ist nicht auszuschließen, dass das Referenz-Szenario die dominierende Strategie vieler Unternehmen sein wird. Noch erschwert die aus heutiger Sicht knappe und unsichere Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff als auch der gegenwärtige preisliche Nachteil des grünen Gases gegenüber Erdgas den Umstieg auf diese neue Technologie. Die vereinzelt zu beobachtende Abkehr von der Wasserstoff-Transformation ist aus diesen Gründen und zum heutigen Zeitpunkt aus betriebswirtschaftlicher Sicht nachvollziehbar. Die langfristig abzusehende Preissteigerung für emissionsintensive Produktionen im Rahmen des Europäischen Handelssystems und des CO₂-Grenzausgleichsmechanismus verteuert zukünftig allerdings merklich die auf fossilen Energieträger beruhende Produktion und sie engt die Produktionsmöglichkeiten ein, wenn nicht auf klimaneutrale Technologien wie die Wasserstoff-Technologie umgestiegen wird. Wie die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, machen sich die volkswirtschaftlichen Kosten der Nicht-Transformation in höherer Arbeitslosigkeit und in Wertschöpfungsverlusten bemerkbar.

Gleichzeitig ist die Wasserstoff-Transformation in Deutschland noch jung. Zwar ist die eigentliche Technologie – die Wasserstoff-Elektrolyse – keine neue Technologie, damit sich eine Technologie durchsetzt, bedarf es gemäß Schumpeter (1912) allerdings eines „Prozess[es] des technologischen Wandels“ (Jaffe et al. 2003: 4). Der Erfindung muss die Weiterentwicklung zu einem marktfähigen Produkt/Prozess folgen, wie bspw. die industrielle Anwendung und Herstellung von Elektrolyseuren. Entscheidend ist die Adaptionsphase, in der die Erfindung und Weiterentwicklung der Technologie bei Unternehmen und Verbrauchern angenommen wird. Erst dann ist die Wasserstoff-Transformation erfolgreich abgeschlossen.

Welche Gelingensbedingungen müssen folglich gelten, damit der Prozess „grüne Wasserstoff-Transformation“ erfolgreich zu Ende gebracht und das skizzierte Wasserstoff-Szenario Realität werden kann? Es können sechs Erfolgsfaktoren aus den Annahmen des Wasserstoff-Szenarios identifiziert werden, die hierfür notwendig sind:

1. Infrastruktur ausbauen

Der Aus- und Aufbau der Infrastruktur ist die Voraussetzung dafür, dass die Transformation in eine Wasserstoffwirtschaft gelingen kann. Dies beinhaltet jegliche Infrastrukturprojekte in allen Teilen der Wasserstoff-Wertschöpfungskette – sei es der Ausbau der EE, des Wasserstoff-Kernnetzes, der Importhäfen, der Speicher oder die Umrüstungsinvestitionen bei den Unternehmen. Diese Infrastrukturprojekte müssen zeitlich vorlaufen, um die Betriebsphase einer Wasserstoffwirtschaft einleiten zu können. Mittels Förderungen (BMWK 2022a) oder Entbürokratisierung (BMWK 2024) kann dies vonseiten der Politik positiv begleitet werden.

2. Grünen Wasserstoff vergünstigen

Der Preis für grünen Wasserstoff relativ zu seinen fossilen Substituten ist ein entscheidender Erfolgsfaktor für die Realisierung einer Wasserstoffwirtschaft. Wenn grüner Wasserstoff relativ gesehen anhaltend teuer bleibt, könnten Unternehmen vermehrt dazu bestrebt sein, so lange wie möglich an ihrer fossilen Produktionsstruktur

festzuhalten und langfristig in das energie günstigere Ausland abzuwandern oder ihre Produktionskapazitäten herunterzufahren. Je günstiger sich der Relativpreis entwickelt, desto ökonomisch vorteilhafter ist der Übergang in eine Wasserstoffwirtschaft. Gegenwärtig ist der Preis von grünem Wasserstoff noch nicht konkurrenzfähig zu seinen fossilen Substituten. Um die Preise zu beeinflussen, eignen sich insbesondere marktwirtschaftliche Instrumente wie Steuern oder Subventionen (Nigbur et al. 2023, Matthes et al. 2021).

3. Absatzmärkte für Wasserstoff schaffen

Neben dem Auf- und Ausbau der Infrastruktur und der Produktionsprozesse sowie eines günstigeren Wasserstoffpreises muss der Bedarf nach grünem Wasserstoff vorhanden sein. Ohne die Nutzung des grünen Wasserstoffes laufen alle Investitionen und Preisentwicklungen ins Leere. Insbesondere in der Anfangsphase dürfte die Nachfrage nach grünem Wasserstoff noch gering sein. Die Entwicklung und Etablierung von grünen Leitmärkten können die Nachfrage stimulieren. Hierfür können Instrumente wie Quoten oder Zertifizierungen genutzt werden (Matthes et al. 2021). Der Staat sollte als Vorbild bei der Beschaffung fungieren (BMWK 2022b).

4. Qualifizierung und Mobilisierung von Arbeitskräften

Insbesondere durch die baunahen Investitionen in die Infrastruktur werden zukünftig mehr Arbeitskräfte benötigt. Die zusätzlich benötigten Jobs können in einem heute bereits engen Arbeitsmarkt (Meier et al. 2024) zu einer Verzögerung der Wasserstoff-Transformation führen. Zudem müssen bestehende Mitarbeiter*innen befähigt werden, mit einem neuen „Arbeitsmaterial“ – dem Gefahrgut Wasserstoff – umzugehen. Die geeignete Qualifikation der Beschäftigten muss bereits vorhanden sein, wenn es zu einer vermehrten Nutzung von Wasserstoff kommt. Es sind schon heute Anstrengungen notwendig, hier voranzugehen, auch wenn die Anwendung des gelernten Wissens erst in ein paar Jahren stattfindet.

5. Importpläne vorantreiben

Für die Abdeckung des deutschlandweiten Wasserstoffbedarfes kann auf den Import von grünem Wasserstoff nicht verzichtet werden (Schur et al. 2023; Ronsiek et al. 2022). Allerdings kann nichts importiert werden, wenn nichts da ist, was importiert werden kann. Es ist daher notwendig, darauf hinzuwirken, dass ausreichend Importquellen zur Verfügung stehen. Da in den potenziellen Exportländern von grünem Wasserstoff größtenteils ebenfalls noch die Wasserstoff-Infrastruktur aufgebaut werden muss, sind hier frühzeitig Kontakte zu knüpfen, um Abnahmegarantien zu erhalten oder gegebenenfalls bei der Entwicklung der Infrastruktur zu unterstützen. Die Importhäfen Niedersachsens stellen den zentralen Knotenpunkt für Wasserstoff-Importe dar.

6. Zeitliche Koordination

Dem Zeitaspekt kommt eine entscheidende Rolle zu, denn nur wenn die einzelnen Stellgrößen zeitlich ineinandergreifen, indem sie aufeinander abgestimmt sind und aufeinander aufbauen, kann ein bedarfs- und angebotsgenauer Wasserstoff-Hochlauf gelingen. Wenn Elektrolysekapazitäten aufgebaut werden, müssen sowohl

entsprechend qualifiziertes Personal zum Betrieb der Anlagen zur Verfügung stehen als auch die notwendige Infrastruktur zur Distribution vorliegen. Zudem ist ein Abnehmer der Wasserstoffproduktion notwendig. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass ein zeitlicher Vorlauf aufgrund von Planungs-, Genehmigungs- und Bauphasen, die je nach Größe des Projektes mehrere Jahre in Anspruch nehmen können, gebraucht wird. Netzwerke mit den entsprechenden Akteuren erleichtern es, die Übergänge, Bedarfe und Herausforderungen anzusprechen, zu diskutieren und zu lösen.

Politische Weichenstellungen und Fördermaßnahmen können dabei helfen, die Durchdringung neuer Technologien – wie bspw. bei der Elektromobilität oder beim Ausbau von erneuerbaren Energien geschehen – zu beschleunigen, sodass die Erreichung der Klimaziele noch realisierbar wird. Die Gestaltungsräume können auch vonseiten der niedersächsischen Politik genutzt werden. So kann sie ihren Einfluss im Bund nutzen, um verstärkt auf die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft hinzuwirken. Auch kann sie aktiv bei der zeitlichen und interdisziplinären Koordination der unterschiedlichen Akteure der Wasserstoff-Wertschöpfungskette vor Ort einwirken.

7 LITERATUR

- Agora Energiewende & Wuppertal Institut (Hsg.) (2020): Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement, Berlin. <https://www.agora-industrie.de/publikationen/klimaneutrale-industrie-hauptstudie>, abgerufen am 22.07.2025.
- Agora Think Tanks (2024): Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung. <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/klimaneutrales-deutschland-studie>
- Ahlert, G., Distelkamp, M., Lutz, C., Meyer, B., Mönning, A. & Wolter, M. I. (2009): Das IAB/INFORGE-Modell. Ein sektorales makroökonomisches Projektions- und Simulationsmodell zur Vorausschätzung des längerfristigen Arbeitskräftebedarfs. In: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) (Hg.): Das IAB/INFORGE-Modell. Ein sektorales makroökonomisches Projektions- und Simulationsmodell zur Vorausschätzung des längerfristigen Arbeitskräftebedarfs. IAB-Bibliothek 318, Nürnberg, S. 15–175. DOI: 10.3278/300664w
- Bernardt, F., Helmrich, R., Hummel, M., Parton, F., Schneemann, C., Steeg, S., Ulrich, P. & Zika, G. (2022a): „MoveOn“ IV: Effekte eines veränderten Mobilitätsverhaltens auf die Erwerbstätigkeit aus regionaler Perspektive. IAB-Forschungsbericht 01|2022, Nürnberg. <https://doku.iab.de/forschungsbericht/2022/fb0122.pdf>. Abgerufen am 22.07.2025.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) (2025): Bundesregierung ebnet den Weg für CO₂-Speicherung und -Nutzung (CCS und CCU). Pressemitteilung vom 06.08.2025. <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2025/08/20250806-bunderegierung-ebnet-weg-fuer-co2-speicherung-nutzung-ccs-ccu.html>, abgerufen am 29.08.2025.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022a): IPCEI Wasserstoff: Gemeinsam einen Europäischen Wasserstoffmarkt schaffen. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/ipcei-wasserstoff.html>, abgerufen am 22.07.2025.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022b): Transformation zu einer klimaneutralen Industrie: Grüne Leitmärkte und Klimaschutzverträge. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Berlin.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024): Bundesregierung stellt rechtliche Weichen für den beschleunigten Ausbau der Infrastruktur für Erzeugung, für Speicherung und Import von Wasserstoff – zweiter Teil des Industriepakets. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/05/20240529->

[bundesregierung-stellt-weichen-fuer-den-beschleunigten-ausbau-von-wasserstoff-projekten.html](#), abgerufen am 22.07.2025.

Bundesnetzagentur (2024): Wasserstoff-Kernnetz. <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/start.html>, abgerufen am 22.07.2025.

CDU, CSU & SPD (2025): Verantwortung für Deutschland. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. 21. Legislaturperiode. https://www.koalitionsvertrag2025.de/sites/www.koalitionsvertrag2025.de/files/koav_2025.pdf, abgerufen am 22.07.2025.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2022): Wasserstoffstrategien der Bundesländer – Juli 2022. dena H2-Report, Berlin. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/dena-H2_Nr_3.pdf, abgerufen am 22.07.2025.

Die Bundesregierung (2023): Fortschreibung der nationalen Wasserstoffstrategie. NWS 2023. <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.pdf>, abgerufen am 22.07.2025.

Europäische Kommission (2023): Delegierte Verordnung (EU) 2023/1184 der Kommission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R1184>, abgerufen am 22.07.2025.

Europäisches Parlament und Rat (2023a): Legislative Train Schedule Revision of the EU emission trading system (ETS).

Europäisches Parlament und Rat (2023b): Gesetzgebungsakte und andere Rechtsinstrumente. Betr.: Verordnung des europäischen Parlamentes und des Rates zur Schaffung eines CO₂-Grenzausgleichssystems.

Felkl, T. (2022): Sektoranalyse der Chemie- und Raffinerieindustrie : eine Untersuchung im Rahmen des Projekts „H2PRO: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“. Version 1.0 Bonn, 2023. https://res.bibb.de/vet-repository_781297, abgerufen am 29.08.2025.

Grimm, V. (2023): Wasserstoff – Handlungsbedarf und Chancen im Zuge der Energiekrise. In: Wirtschaftsdienst 3/2023 174-178. <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2023/heft/3/beitrag/wasserstoff-handlungsbedarf-und-chancen-im-zuge-der-energiekrise-7343.html#:~:text=%C3%9Cbersicht%20%C3%BCber%20sekt-orale%20Wasserstoff%2D%20und,durch%20Importe%20gedeckt%20werden%20muss>, abgerufen am 29.08.2025.

Handelsblatt (2024): Immer mehr Konzerne kappen Klimaziele – was den Wandel bremst. Stand: 12.06.2024. <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/transformation-immer-mehr-konzerne-kappen-klimaziele-was-den-wandel-bremst-01/100040478.html>, abgerufen am 22.07.2025.

Handelsblatt (2025): Stellantis beendet Entwicklung der Brennstoffzelle. Stand: 17.07.2025. <https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/elektromobilitaet/wasserstoff->

[stellantis-beendet-entwicklung-der-brennstoffzelle/100142075.html](https://www.stellantis-beendet-entwicklung-der-brennstoffzelle/100142075.html), abgerufen am 22.07.2025.

IHK Karlsruhe (2025): Klimaschutz: EU-Kommission schlägt Klimaziele für 2040 vor. <https://www.ihk.de/karlsruhe/fachthemen/klimaschutzemissionshandel/aktuelle-meldungen-klimaschutz/klimaschutz-eu-kommission-schlaegt-klimaziel-fuer-2040-vor-6623390>, abgerufen am 29.08.2025.

International Energy Agency (IEA) (2023): Hydrogen Production and Infrastructure Projects Database Update 2023. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database>, abgerufen am 22.07.2025.

International Energy Agency (IEA) (2024): Hydrogen Production and Infrastructure Projects Database Update 2024. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database>, abgerufen am 22.07.2025.

International Renewable Energy Agency (IRENA) (2020): Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050, Abu Dhabi.

Jaffe, A. B., Newell, R. G. & Stavins, R. N. (2003): Technological change and the Environment. Handbook of Environmental Economics 2003(1), S. 461–516. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574009903010167>, abgerufen am 02.08.2024.

Jürgens, L. & H. Schäfers (2024): Green hydrogen in the chemical industry — Key factors and cost competitiveness. Technical report. Nordeutsches Reallabor. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16483.57129>, abgerufen am 29.08.2025.

Kalinowski, M., Mönnig, A. & Zika, G. (2018): Auswirkungen der Digitalisierung der Wirtschaft und der Zuwanderung Geflüchteter auf die Entwicklung der Elektroberufe bis zum Jahr 2035. In: Vollmer, T., Jaschke, S. & Dreher, R. (Hg.): Aktuelle Aufgaben für die gewerblich-technische Berufsbildung. Digitalisierung, Fachkräftesicherung, Lern- und Ausbildungskonzepte, Bd. 47. 1. Aufl. Berufsbildung, Arbeit und Innovation 47. wbv Media GmbH & Co. KG, Bielefeld, S. 87–100.

Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen (2024): 1,3 Milliarden Euro „IPCEI“-Förderung für grüne Wasserstoffprojekte in Niedersachsen. Stand 23.07.2024. <https://www.klimaschutz-niedersachsen.de/13-Milliarden-Euro-IPCEI-Foerderung-fuer-gruene-Wasserstoffprojekte-in-Niedersachsen-3926#:~:text=Niedersachsen%20als%20%E2%80%9EWasserstoff%2DDrehscheibe%E2%80%9C,ho-hes%20Angebot%20an%20Erneuerbaren%20Energien>, abgerufen am 22.07.2025.

Lagemann, A. & Sacht, S. (2025a): Deregulierung der Wasserstoffwirtschaft: Regionale Effekte in Norddeutschland. In: Wirtschaftsdienst 2025, 105(6), S. 475–476.

Lagemann, A. & Sacht, S. (2025b): The Effects of Establishing a Hydrogen Industry in Northern Germany. HWWI Working Paper Series 3/2025. Hamburgisches Weltwirtschaftsinstitut.

- Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN) (2025): Die niedersächsische Wasserstoffwirtschaft. <https://maps.lgln.niedersachsen.de/wstoff/mapbender/application/wasserstoffprojekte>, abgerufen am 29.08.2025.
- Leibniz-Institut für Länderkunde e.V. (2025): Nationalatlas. <http://www.nationalatlas.de>
- Maier, T., Kalinowski, M., Schur, A. C., Zika, G., Schneemann, Ch., Mönnig, A. & Wolter, M. I. (2024): Weniger Arbeitskraft, weniger Wachstum. Ergebnisse der achten Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen bis zum Jahr 2040. BIBB Report 1/2024.
- Matthes, F., Braungardt, S., Bürger, V. & Göckeler, K. (2021): Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland. Untersuchung für die Stiftung Klimaneutralität. Hg. v. Öko-Institut e. V., Berlin.
- Mönnig, A., Bach, N. von dem, Helmrich, R., Steeg, S., Hummel, M., Schneemann, C., Weber, E., Wolter, M. I. & Zika, G. (2021): "MoveOn" III: Folgen eines veränderten Mobilitätsverhaltens für Wirtschaft und Arbeitsmarkt. Version 1.0. Wissenschaftliche Diskussionspapiere 230, Bonn. <https://www.bibb.de/dienst/publikationen/de/download/17474>. Abgerufen am 22.07.2025.
- Mönnig, A., Ronsiek, L., Parton, F. & Bernardt, F. (2024): Wertschöpfung und Beschäftigung in der saarländischen Wasserstoffwirtschaft. Studie durchgeführt von der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) im Auftrag von TraSaar. Hrsg. v. d. Arbeitskammer des Saarlandes. Schlussbericht, Saarbrücken.
- Mönnig, A., Ronsiek, L., Schneemann, Ch., Schur, A. C. & Zenk, J. (2025): CCS/CCU-Technologie – Stand, Potentiale und mögliche Kosten der Speicherung (CCS) und Nutzung (CCU) von Kohlendioxid in Deutschland. BIBB Discussion Paper, Bonn.
- Mönnig, A., Ronsiek, L., Schneemann, Ch., Schur, A. C. & Zenk, J. (2025): CCS/CCU-Technologie – Stand, Potentiale und mögliche Kosten der Speicherung (CCS) und Nutzung (CCU) von Kohlendioxid in Deutschland. BIBB Discussion Paper, Bonn.
- Mönnig, A., Schneemann, C., Weber, E., Zika, G., Helmrich, R. & Bernardt, F. (2020): Elektromobilität 2035 – ein regionaler Blick. IAB-Forschungsbericht 6|2020, Nürnberg. <https://doku.iab.de/forschungsbericht/2020/fb0620.pdf>, abgerufen am 22.07.2025.
- NDR (2024): Niedersachsen will „Herz der Wasserstoffwirtschaft in Europa“ werden. Stand: 23.10.2024. <https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/Niedersachsen-will-Herz-der-Wasserstoffwirtschaft-in-Europa-werden,wasserstoff564.html#:~:text=Niedersachsens%20Energie,Gasleitungen%20genutzt%20werden%2C%20der%20Rest>, abgerufen am 22.07.2025.
- Niedersächsisches Klimagesetz (2024): Niedersächsisches Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes und zur Minderung der Folgen des Klimawandels. § 3 NKlimaG Niedersächsische Klimaziele, Hinwirkungsverpflichtung, Vorbildfunktion, Berücksichtigungsgebot. <https://voris.wolterskluwer-online.de/browse/document/d083c42e-5da3-3833-baba-23cde5d8b2b5>, abgerufen am 22.07.2025.

- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2025): Die Task-Force Energiewende in Niedersachsen. Stand: 07.01.2025. https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/im_fokus/taskforce_energiewende/die-task-force-energiewende-in-niedersachsen-222087.html#:~:text=Dazu%20sollen%20bis%202035%20insgesamt,Begleitung%20und%20Unterst%C3%BCtzung%20von%20Einzelprojekten, abgerufen am 22.07.2025.
- Nigbur, F., Robinius, M., Wienert, P. & Deutsch, M. (2023): Levelised cost of hydrogen. Making the application of the LCOH concept more consistent and more useful. Hg. v. Agora Energiewende und Agora Industrie, Berlin.
- Norddeutsche Wasserstoffstrategie (2019): Norddeutsche Wasserstoffstrategie. 7. November 2019. <https://www.ihk.de/blueprint/servlet/resource/blob/5207286/5c5c372640dc2c9cee7e03bce29ee7f9/norddeutsche-wasserstoffstrategie-data.pdf>, abgerufen am 22.07.2025.
- NOZ (2025): Start für Wasserstoff-Kernnetz: Erster Abnehmer ist RWE in Lingen. Stand: 02.04.2025. <https://www.noz.de/lokales/lingen/artikel/neues-wasserstoffnetz-in-nordhorn-rwe-in-lingen-erster-abnehmer-48545441>, abgerufen am 22.07.2025.
- Petersen, T. (2023): Wasserstoffwirtschaft Chancen und Herausforderungen für nachhaltige soziale Marktwirtschaft. Focus Paper #5. Bertelsmann Stiftung.
- Prognos AG (2021): Technische CO₂-Senken – Techno-ökonomische Analyse ausgewählter CO₂-Negativemissionstechnologien. Kurzgutachten zur dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena). https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/211005_DLS_Gutachten_Prognos_final.pdf, abgerufen am 26.08.2025.
- Ronsiek, L., Mönnig, A., Schneemann, Ch., Zenk, J., Schroer, J. P. & Schur, A. C. (2022): Potentielle Partnerländer für den Import von grünem Wasserstoff nach Deutschland. BIBB Discussion Paper, Version 1.0, Bonn.
- Ronsiek, L., Schneemann, Ch., Mönnig, A., Samray, D., Schroer, J. P., Schur, A. C. & Zenk, J. (2024): Arbeitskräftebedarf und Arbeitskräfteangebot entlang der Wertschöpfungskette Wasserstoff – Szenario-v2.1. IAB-Forschungsbericht 07/2024, Nürnberg.
- Runge, P., Sölch, C., Albert, J., Wasserscheid, P., Zöttl, G. & Grimm, V. (2020): Economic comparison of electric fuels for heavy duty mobility produced at excellent global sites – a 2035 Scenario.
- Sacht, S. (2024): Mind the Gap! Potentielle Preisentwicklung von Wasserstoff in Norddeutschland. In: Wirtschaftsdienst 104(6), S. 431–432. DOI: 10.2478/wd-2024-0111
- Salcos. <https://salcos.salzgitter-ag.com/de/salcos.html#c141475>, abgerufen am 22.07.2025.
- Schad-Dankwart, I. (2023): Sektoranalyse: Wasserstoff in der Stahlindustrie – eine erste Bestandsaufnahme zu technologischen Veränderungen und neuen Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung im Rahmen des Projektes „H2Pro: Wasserstoff – ein

- Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“. Version 1.0 Bonn, 2023. https://res.bibb.de/vet-repository_781673, abgerufen am 29.08.2025.
- Scholz, A., Merten, F., Kröger, J., Pastowski, A., Sebestyén, J. (2024): Perspektiven für die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Europa und für H₂-Importe nach Deutschland. Wuppertal Institut.
- Schur, A. C., Mönning, A., Ronsiek, L., Schneemann, C., Schroer, J. P. & Zenk, J. (2023): Arbeitskräftebedarf und Arbeitskräfteangebot entlang der Wertschöpfungskette „Wasserstoff“. Abschlussbericht der ersten Projektphase. Hg. v. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). Discussion Paper, Bonn.
- Schütte, C.; Neubauer, N.; Doucet Né Röben, F.; Hölling, M.; Genz, L.; Edens, T. & Schweininger, K. (2022): Decarbonization of the Metal Industry in Hamburg - Demand, Efficiency and Costs of Green Hydrogen. Technical report. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15874.96961>.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2025): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder. Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung. <https://www.statistikportal.de/de/vgrdl/ergebnisse-laenderebene/bruttoinlandsprodukt-bruttowertschoepfung/bip#9517>, abgerufen am 29.08.2025
- Steeg, S., Helmrich, R., Maier, T., Schroer, J. P., Mönning, A., Wolter, M. I., Schneemann, C. & Zika, G. (2022): Die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland: Folgen für Arbeitsmarkt und Bildungssystem. Eine erste Bestandsaufnahme. Hg. v. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB), Bonn.
- Tagesschau (2024): Thyssenkrupp-Stahlsparte streicht Tausende Stellen. Stand: 25.11.2024. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/thyssenkrupp-stellenabbau-stahlsparte-zukunftskonzept-100.html#:~:text=Kriseninder%20Konzern%20Thyssenkrupp%2DStahlsparte%20streicht%20Tausende%20Stellen&text=Die%20thyssenkrupp%2DStahltochter%20schw%C3%A4c>, abgerufen am 22.07.2025.
- Tagesschau (2025a): Arcelor Mittal stoppt Pläne für „grüne“ Stahlproduktion. Stand 20.06.2025. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/arcelor-mittal-absage-wasserstoff-100.html>, abgerufen am 22.07.2025.
- Tagesschau (2025b): Was im Grundgesetz geändert wurde 2025. Stand: 19.03.2025. <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/finanzpaket-grundgesetz-aenderungen-100.html>, abgerufen am 22.07.2025.
- Tagesschau (2025c): Dow schließt Anlagen in Sachsen und Sachsen-Anhalt. Stand 09.07.2025. <https://www.tagesschau.de/inland/regional/sachsen/dow-schliessungen-sachsen-sachsen-anhalt-100.html#:~:text=Chemische%20Industrie%20Dow%20schlie%C3%9Ft%20Anlagen%20in%20Sachsen%20und%20Sachsen%2DAnhalt&text=Der%20US%2DChemiekonzern%20Dow%20will,Deutschla>, abgerufen am 22.07.2025.
- Timmerberg, S. & Kaltschmitt, M. (2019): Hydrogen from renewables: Supply from North Africa to Central Europe as blend in existing pipelines – potentials and costs. In: Applied Energy 237. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.01.030

- Ulrich, P., Bernardt, F., Parton, F., Sonnenburg, A. & Többen, J. (2022): Das neue LÄNDER-Modell. Beispielszenario zum Ausbau der Photovoltaik. Hg. v. Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS). GWS Discussion Paper 2022/02, Osnabrück.
- Von Düsterloh, J.-E.; Lichtenberg, L. M.; Lüdemann, M. & Blohm, M. (2024): Grüner Wasserstoff für die Energiewende. Potentiale, Grenzen und Prioritäten – Teil 5: Erzeugung von grünem Wasserstoff.
- Walker, B.; Kurzke, F.C.; Stahmer, M. & Petersen, S. (2024): Quo vadis deutsche Wasserstoffwirtschaft? Stand: 27.11.2024. <https://nationalatlas.de/nadbeitrag/quo-vadis-deutsche-wasserstoffwirtschaft/>, abgerufen am 22.07.2025.
- Wehmann, K.; Koßmann, M.; Purr, K.; Pagel, M.; Steinbrenner, J. & Voß-Stemping, J. (2025): Treibhausgas-Projektionen 2025 – Ergebnisse kompakt. Umweltbundesamt. März 2025. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/ergebnisse_kompakt_2025_2_auflage.pdf, abgerufen am 29.08.2025.
- Wietschel, M., Bekk, A., Breitschopf, B., Boie, I., Edler, J., Eichhammer, W., Klobasa, M., Marscheider-Weidemann, F., Plötz, P., Sensfuß, F., Thorpe, D. & Walz, R. (2020): Chancen und Herausforderungen beim Import von grünen Wasserstoff und Syntheseprodukte. Policy Brief 3/2020. Fraunhofer ISI. Karlsruhe, Dezember 2020.
- Wolter, M. I., Mönnig, A., Schneemann, C., Weber, E., Zika, G., Helmrich, R., Maier, T. & Winnige, S. (2019): Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie – Szenario-Rechnungen im Rahmen der fünften Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen. 1. Aufl. BIBB. Wissenschaftliche Diskussionspapiere 200, Bonn, Leverkusen. <https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/download/10197>, abgerufen am 22.07.2025.
- Zenk, J., Mönnig, A., Ronsiek, L., Schneemann, C., Schur, A. C. & Steeg, S. (2023): Erste Abschätzung möglicher Arbeitsmarkteffekte durch die Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie bis 2030. Hg. v. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). BIBB Discussion Paper, Bonn.
- Zika, G., Schneemann, C., Hummel, M., Maier, T., Kalinowski, M., Bernardt, F., Mönnig, A., Parton, F., Sonnenburg, A., Ulrich, P. & Wolter, M. I. (2020): Langfristige Folgen von Demografie und Strukturwandel für regionale Arbeitsmärkte. Daten, Methoden und Ergebnisse der 5. Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen. IAB-Forschungsbericht; BIBB; GWS. IAB-Forschungsbericht.
- Zika, G., Schneemann, C., Weber, E., Zenk, J., Kalinowski, M., Maier, T. & Wolter, M. I. (2022): Die Folgen des Kriegs in der Ukraine und der Energiekrise für Wirtschaft und Arbeitsmarkt in Deutschland. IAB-Forschungsbericht 11|2022, Nürnberg. DOI: 10.48720/IAB.FB.2211.

ANHANG: METHODENMIX

DESK RESEARCH

Aufbauend auf der für Gesamtdeutschland konzipierten Studie von Ronsiek et al. (2023) sind die einzelnen Bausteine einer Wasserstoffwirtschaft für Niedersachsen mittels Desk Research herausgearbeitet worden.

ÖKONOMISCHES RECHENMODELL

Um die Beschäftigungs- und Wachstumseffekte zu ermitteln, wurde auf ein ökonomisches Rechenmodell zurückgegriffen, das sowohl die niedersächsische Wirtschaftsstruktur nach Branchen abbildet als auch die Transformationspfade in Abhängigkeit von Zeit beschreibt.

Für die Quantifizierung wurde auf das QuBe-Modellsystem QINFORGE und seine regionale Erweiterung mit dem Modell QMORE zurückgegriffen. Das Deutschlandmodell QINFORGE wird verwendet (Maier et al. 2024, Ahlert et al. 2009), um die Transformationen hin zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft für ganz Deutschland darzustellen. Das Regionalmodell QMORE dient dazu, die bundesweiten Effekte in einem konsistenten Rahmen auf das Bundesland Niedersachsen unter Berücksichtigung von regionalspezifischen Besonderheiten herunterzubrechen. Beide Modelle werden hintereinandergeschaltet.

QINFORGE ist ein makroökonomisches nationales Totalmodell, in das nur wenige Parameter als exogene Vorgabe eingehen, etwa Steuersätze, die Bevölkerungsentwicklung, aber auch Annahmen zum internationalen Handel und zu internationalen Rohstoffpreisen (Ahlert et al. 2009). Es ermittelt in Jahresschritten bis 2040 die gesamtwirtschaftliche Entwicklung, die sektorale Entwicklung nach 63 Wirtschaftsbranchen bzw. Gütergruppen einschließlich Vorleistungsverflechtung, Wertschöpfung, Produktion, Preisentwicklung und Endnachfrage, getrennt für privaten und staatlichen Konsum, unterschiedliche Investitionskategorien sowie Im- und Exporte. Auch die Energiemärkte sind sowohl monetär im Strukturzusammenhang als auch in Energieeinheiten abgebildet. Die Entwicklung auf dem Arbeitsmarkt ist detailliert abgebildet und auch der Arbeitsbedarf ist sowohl in Köpfen als auch in Stunden jeweils nach 63 Branchen dargestellt. Die Ermittlung von sektoralen Wachstums- und Beschäftigungseffekten ist eine der Kernanwendungen des Modells QINFORGE (Kalinowski et al. 2018, Mönnig et al. 2020, Mönnig et al. 2021, Zenk et al. 2023, Zika et al. 2019, Wolter et al. 2019).

Die Übertragung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung in die Regionen erfolgt im Modell QMORE (Zika et al. 2020). Das regionale Modell QMORE beruht auf regional abgestimmten Datensätzen vor allem der Statistischen Landesämter, die sich in der Regel auf einem höheren Aggregationslevel bewegen: Die Beschäftigungs- und Bruttowertschöpfungsentwicklung wird für Niedersachsen in 37 Wirtschaftszweige projiziert. Für Fragen der regionalen Verteilung von Struktureffekten ist das Modell bereits regelmäßig angewendet worden (Mönnig et al. 2020, Bernardt et al. 2022a, Zika et al. 2022).

Die Ergebnisse für Niedersachsen gehen auf empirisch fundierte Zusammenhangsanalysen und gemessene Dynamikunterschiede zwischen den Regionen zurück und beziehen die Ausgangssituation der Verteilung der Arbeitsplätze nach Bundesländern mit ein (Zika et al. 2020). In Folge der Entwicklung des Bundes und den regional-spezifischen Investitionsverteilungen werden so konsistente, bundeslandspezifische Entwicklungen aufgezeigt, die für 37 Branchen erfasst werden. Durch die Kopplung an QINFORGE besteht die Verbindung zu allgemeinen Rahmenbedingungen und übergeordneten Einflüssen. Die Regionalisierung erfolgt top-down. Das heißt, die Bundesergebnisse sind die Treiber der regionalen Dynamik. Die Wirtschaftskraft wird auf Bundesebene bestimmt.

Für die Verteilung der Bundesergebnisse auf die Ebene der Bundesländer wird ein multi-regionaler Input-Output-Ansatz verfolgt (Ulrich et al. 2022) und dadurch die Verflechtungen zwischen den Bundesländern, die einen entscheidenden Entwicklungszusammenhang darstellen, explizit berücksichtigt. Schocks, strukturelle Veränderungen oder räumliche Umverteilungen bei der Endnachfrage (insbesondere Investitionen) werden so in Projektionen und Simulationen direkt Teil des regionalen Wirtschaftskreislaufs. Die regionale Entwicklung der Produktion geht als Treiber in die Entwicklung der Zahl der Erwerbstätigen ein. Hier werden für jedes Bundesland branchenspezifische dynamische Shift-Share-Gleichungen geschätzt. Was folgt, ist die Modellierung unterhalb der Bundesländerebene mit dem Ziel, die Entwicklungen für Arbeitsmarktreionen vollständig darzustellen. Für die regionale Darstellung des Arbeitskräftebedarfs wird im Modell ebenfalls ein dynamischer Shift-Share-Ansatz verfolgt, welcher sowohl generelle branchenspezifische Trends (exogenes Potenzial) als auch regionale Disparitäten (endogenes Potenzial) bei der Übertragung der Entwicklung der Bundeentwicklung auf die Bundesländer berücksichtigt.

SZENARIENTECHNIK

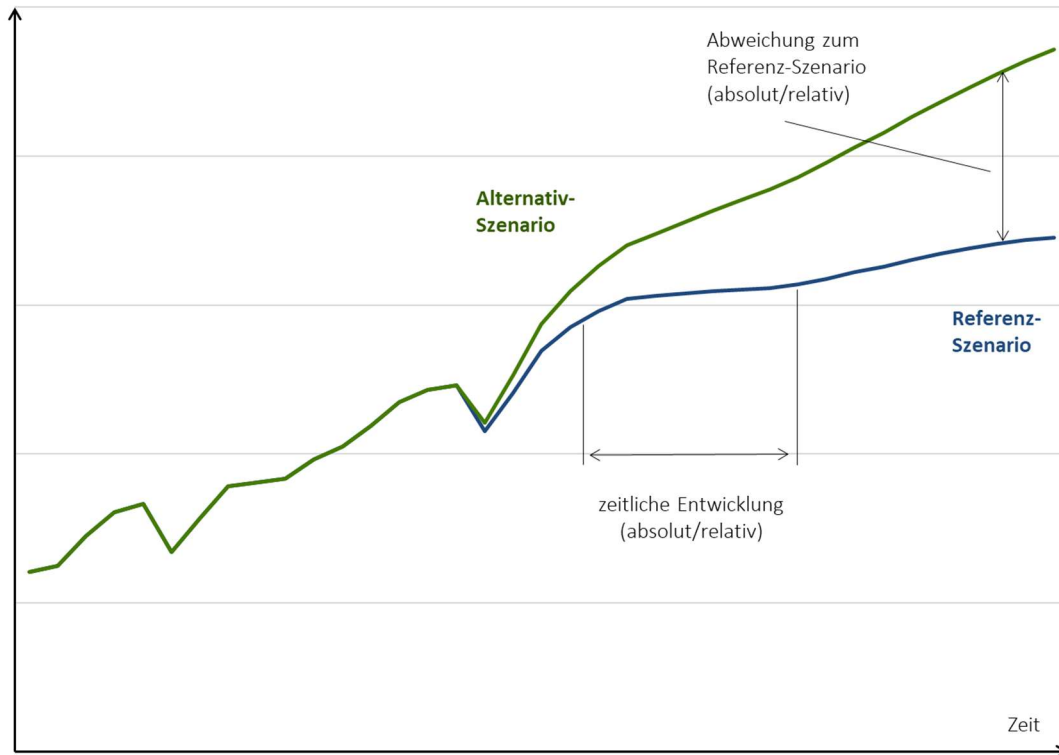
Mittels der Anwendung von Szenariotechnik werden die ökonomischen Auswirkungen der grünen Wasserstoff-Transformation quantifiziert.

Bei einer Szenarienrechnung wird ein Referenz-Szenario mit einem oder mehreren Alternativszenarien verglichen, welche sich in spezifizierten Annahmen von dem Referenz-Szenario unterscheiden. Allen Projektionen gemein sind dieselben Modellzusammenhänge und Datengrundlagen. Die Abweichungen in den Ergebnissen zwischen Referenz- und Alternativszenario sind ausschließlich auf die getroffenen Annahmen zurückzuführen.

Die vorliegenden Ergebnisse werden als Abweichung zum Referenz-Szenario ausgewiesen (vgl. Abbildung 13). Diese Darstellung zeigt, ob eine Entwicklung im Alternativ-Szenario im Vergleich zum Referenz-Szenario stärker oder schwächer ist. Allerdings gibt dies keine Auskunft darüber, ob der grundsätzliche Verlauf steigend oder fallend ist. Eine positive Abweichung zum Referenz-Szenario bei den Erwerbstätigen kann also heißen, dass die Zahl der Erwerbstätigen im Alternativ-Szenario stärker ansteigt oder schwächer abnimmt als im Referenz-Szenario – je nachdem, wie der Basisverlauf im Referenz-Szenario ausfällt. Eine Positiv- oder Negativabweichung zwischen zwei Szenarien zu

einem Zeitpunkt heißt also nicht zwingend, dass Arbeitsplätze im Zeitverlauf auf- beziehungsweise abgebaut werden.

Abbildung 13: Anwendung der Szenariotechnik, schematische Darstellung



Quelle: eigene Darstellung