

ZBT Wasserstofftage 2025

Die Rolle von Wasserstoff bei der Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele und resultierende Herausforderungen

04.02.2025

Prof. Dr. Manfred Fishedick

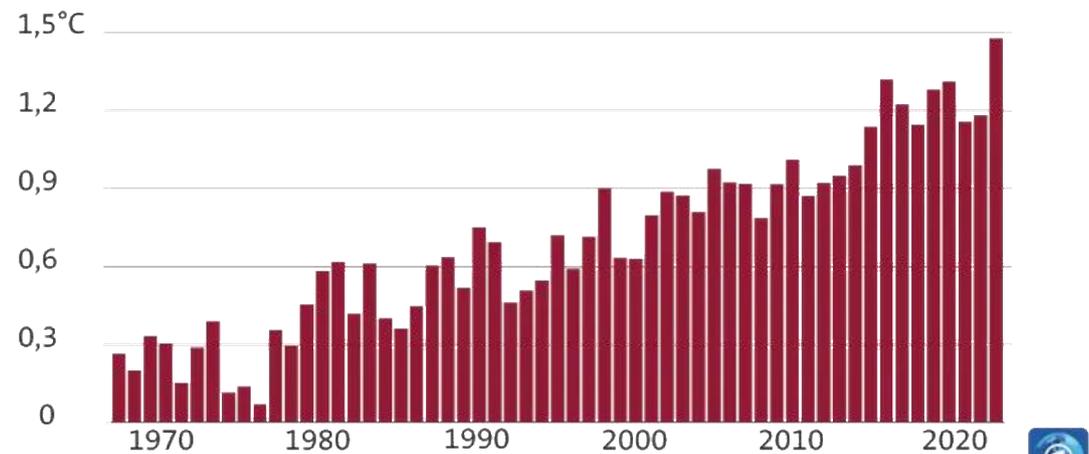
Präsident und wissenschaftlicher Geschäftsführer Wuppertal Institut

Wissenschaftlicher Vorstand Johannes Rau Forschungsgemeinschaft

Klimaschutz ist aus der Nachhaltigkeitsperspektive eine der zentralen Herausforderungen und eine Mammutaufgabe für alle Ebenen

Globale Erwärmung

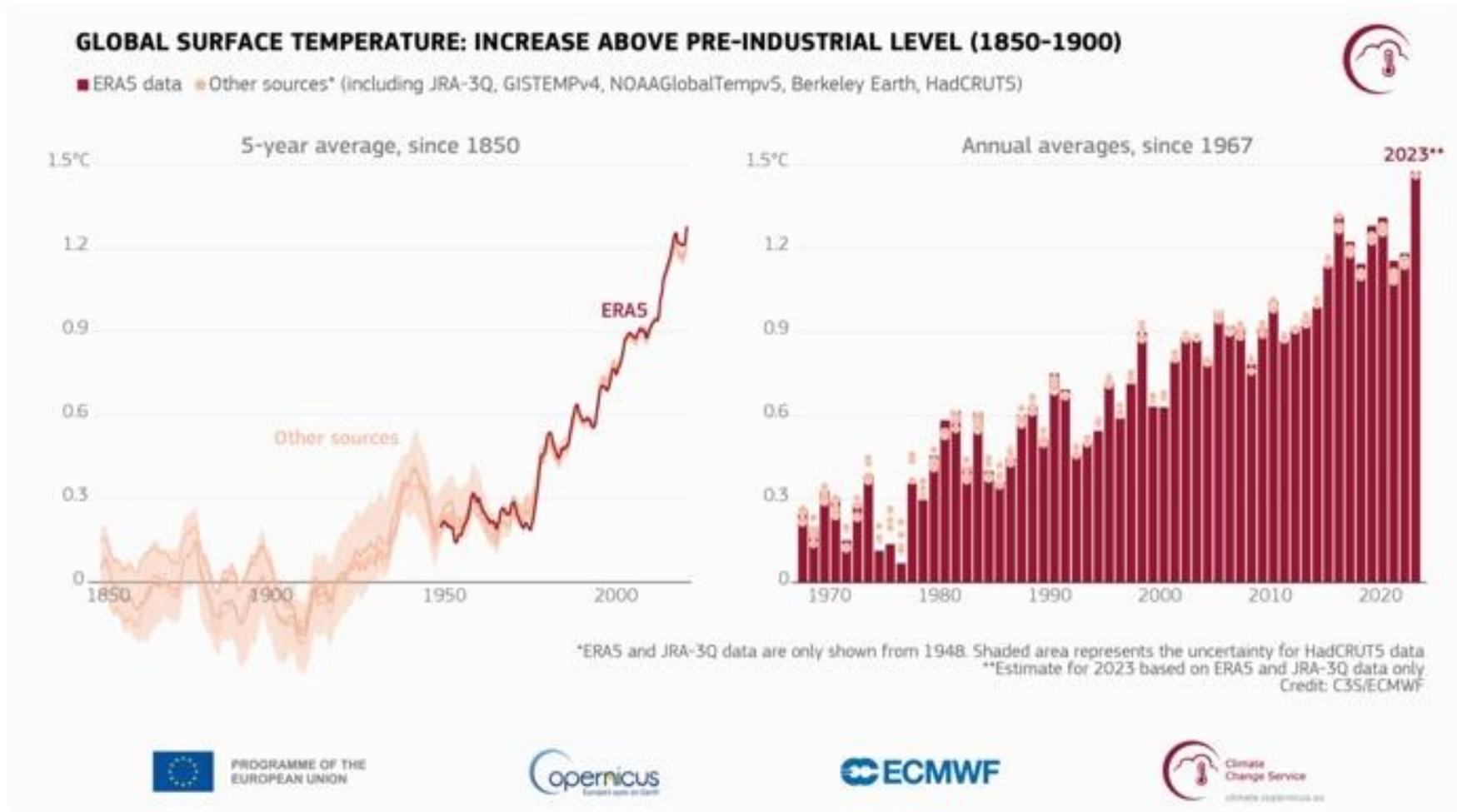
Anstieg gegenüber vorindustrieller Zeit



Quelle: EU-Klimawandeldienst Copernicus

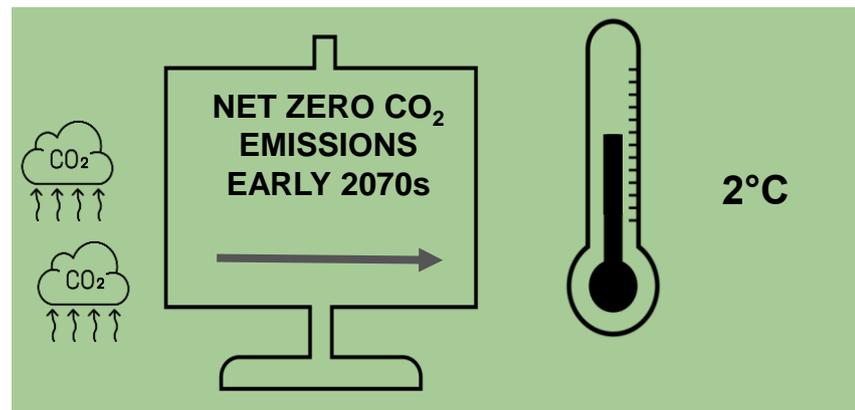
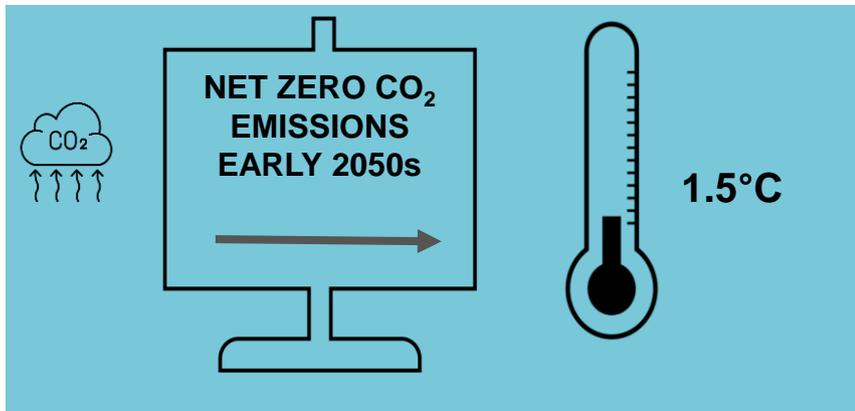


- **2024 war das wärmste Jahr seit mindestens 100.000 Jahren** – die globale Mitteltemperatur lag um mehr als 1,5 °C oberhalb des vorindustriellen Niveaus und **überschritt** damit zum ersten Mal **eine der Zielmarken des Pariser Klimaschutzabkommens**

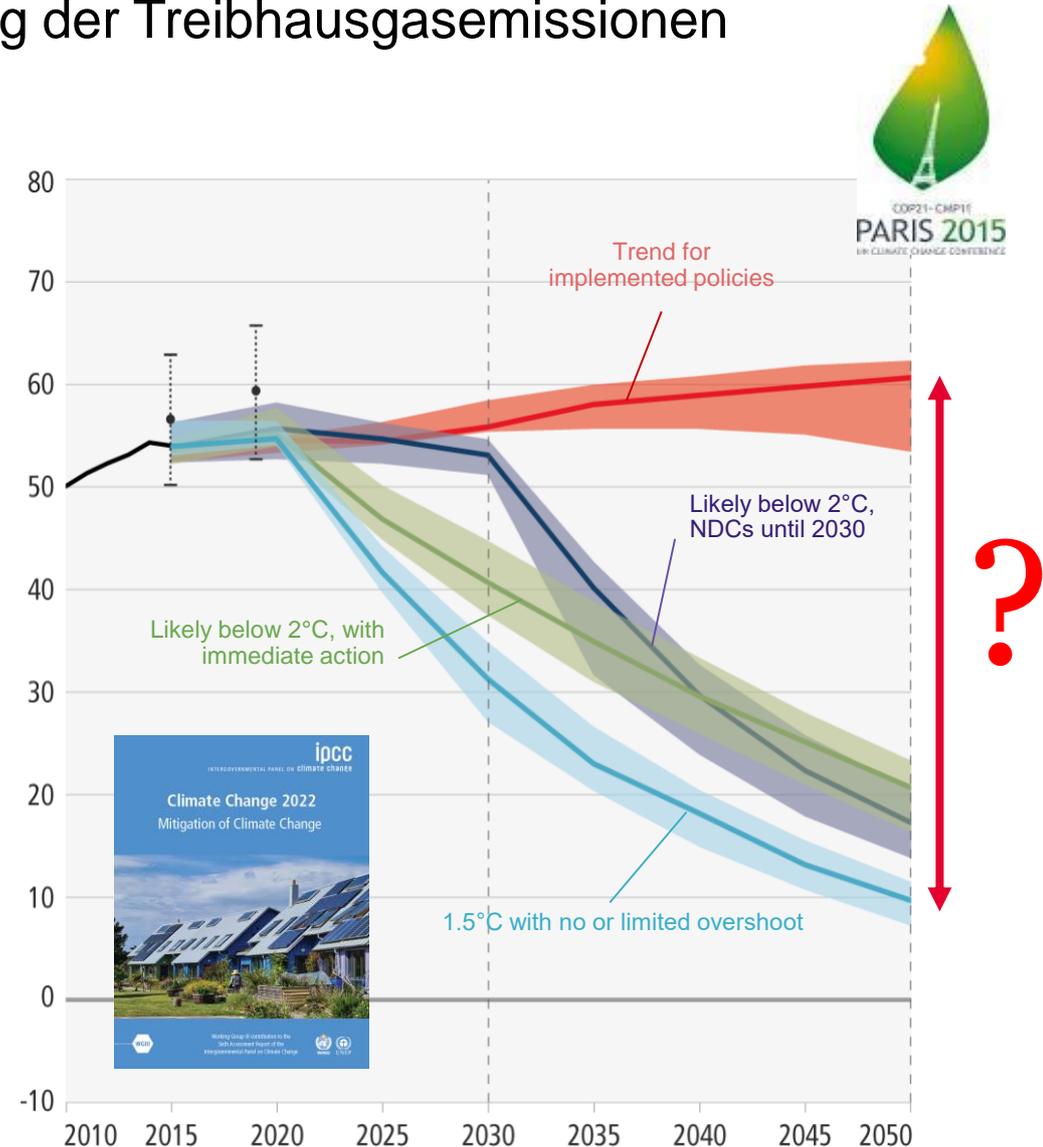


- Zum Erreichen der internationalen Klimaschutzziele (Paris Agreement 2015) braucht es eine drastische Minderung der Treibhausgasemissionen

When reaching net zero carbon dioxide emissions is necessary to limit increase of global surface temperature



Source: IPCC WG III Assessment Report 2022



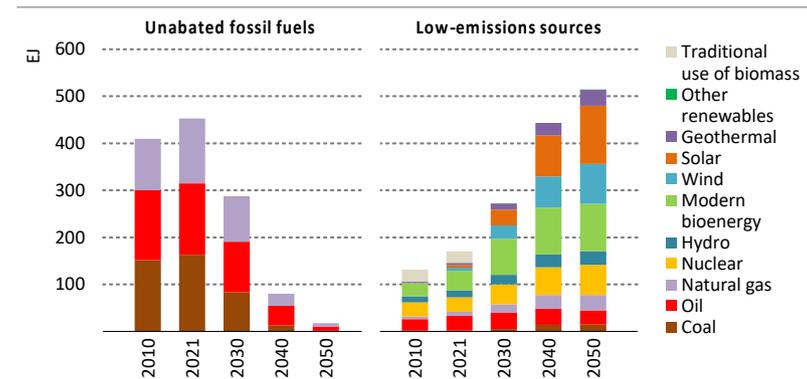
Herausforderung Klimawandel

Wie könnte das 1,5 Grad C Ziel noch erreicht werden – IEA-Analysen (Net Zero Emissions Pathway) betonen fünf wesentliche Maßnahmen als Zwischenschritt für das Jahr 2030

Ausbau erneuerbare Energien

- Verdreifachung der installierten Erneuerbaren Energien Kapazität – inkl. Aufbau H₂-Wirtschaft
 - Verdopplung der Energieeffizienzsteigerungsrate
 - Verringerung des Einsatzes fossiler Energieträger um 25% (bis 2030) und 95% (bis 2050) + CCS/CCU
 - Vermeidung von 75% der mit fossilen Energien zusammenhängenden Methan-Emissionen
 - Verdreifachung der Investitionen in „clean technologies“ in sich entwickelnden Ländern
- und
- Erreichen des Scheitelpunktes der globalen THG-Emissionen bis 2025

Figure 3.3 Total energy supply of unabated fossil fuels and low-emissions sources in the NZE Scenario, 2010-2050

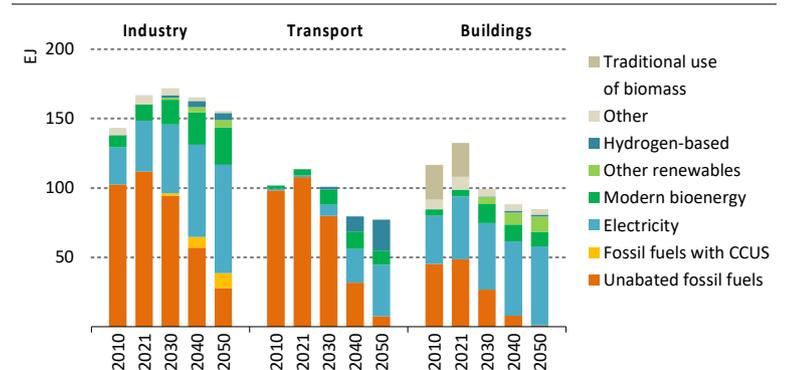


IEA. CC BY 4.0.

A profound change in global energy supply underpins the NZE Scenario, with low-emissions sources increasing by around 125 EJ by 2030

Energie- und Material-effizienz

Figure 3.4 Total final consumption by source in the NZE Scenario, 2010-2050



IEA. CC BY 4.0.

End-use sectors come to be dominated by electricity, which provides more than half of total final consumption by 2050

Note: Other renewables include solar thermal and geothermal used directly in end-use sectors.

Source: IEA World Energy Outlook 2022

In Deutschland bestimmt das nationale Klimaschutzgesetz den Handlungsrahmen

Das neue Klimaschutzgesetz

Wir sorgen für mehr Klimaschutz und Generationengerechtigkeit



Ehrgeizigere Klimaziele: Bis 2030 müssen mind. 65 % Treibhausgase eingespart werden (statt bisher nur 55 %), bis 2040 mind. 88 % (jeweils ggü. 1990).



Treibhausgasneutralität: Deutschland darf bereits 2045 nur noch so viele Treibhausgase emittieren, wie durch die Einbindung von Kohlenstoff z. B. in Wäldern wieder abgebaut werden können.



Verbindliche Emissionshöchstmengen: Die jährlichen Emissionsmengen für alle Bereiche bis 2030 werden weiter reduziert, zudem gibt es jährliche Minderungsziele von 2031 bis 2040.



Herausforderung Klimawandel

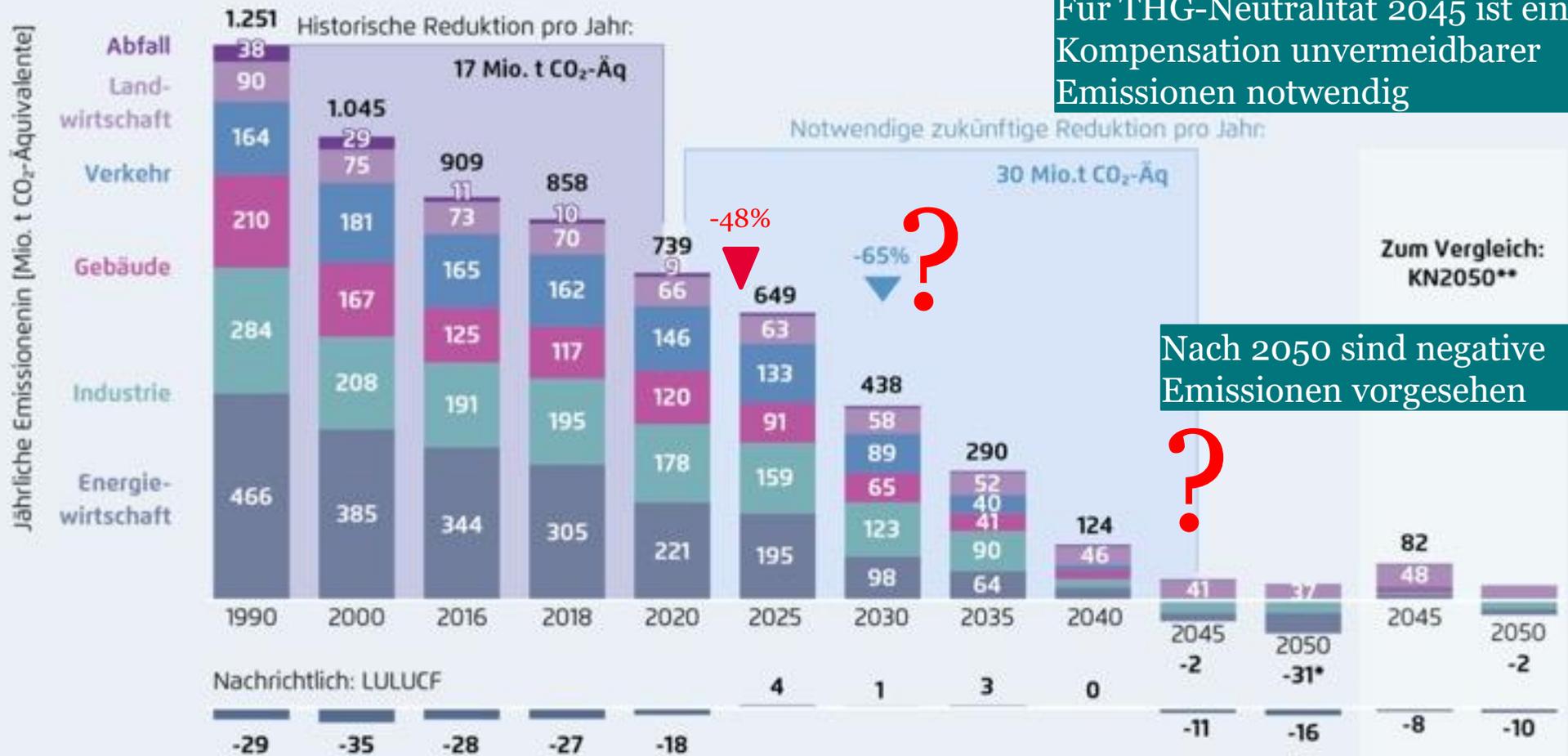
Ziele des Klimaschutzgesetzes erfordern eine dauerhaft
deutlichere Reduktion der THG-Emissionen als bisher

Von 1990 bis 2024 konnten die THG-Emissionen um ca. 48% gg. 1990 gesenkt werden



Für THG-Neutralität 2045 ist eine absolute Verdoppelung der jährlichen THG-Minderung gg. 1990-2024 notwendig

Für THG-Neutralität 2045 ist eine Kompensation unvermeidbarer Emissionen notwendig



Negative Emissionen werden direkt in den Sektoren berücksichtigt.

* Nach 2045 lediglich Trendfortschreibung, weitere Reduktion der Emissionen ist möglich. ** Klimaneutrales Deutschland 2050

Herausforderung Klimawandel - in 3 Schritten zur Klimaneutralität

Die Studie Klimaneutrales Deutschland – eine der „big five“

Transformationsstudien ist upgedated worden (Oktober 2024)



Studie „**Klimaneutrales Deutschland 2045**“, gemeinsam in Auftrag gegeben von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität

Durchgeführt von Prognos/Öko-Institut/Wuppertal-Institut (Oktober 2024)

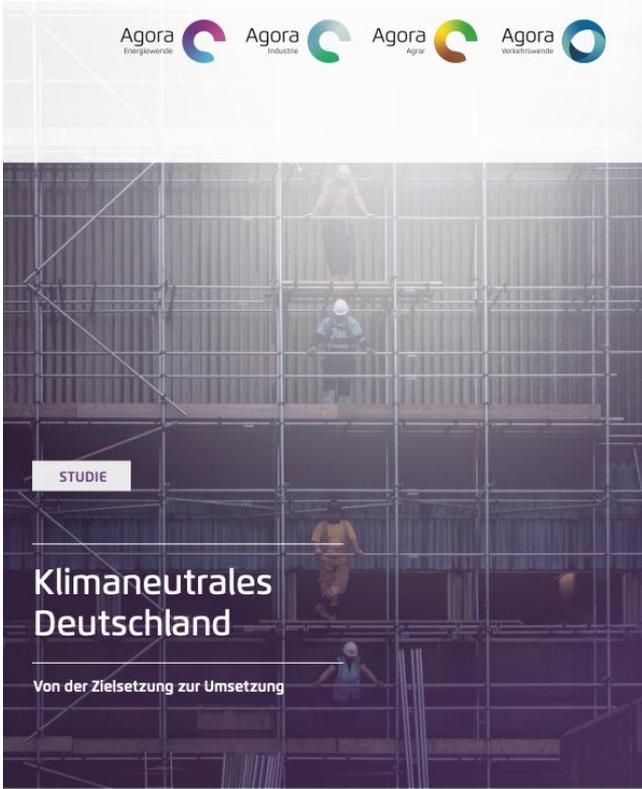
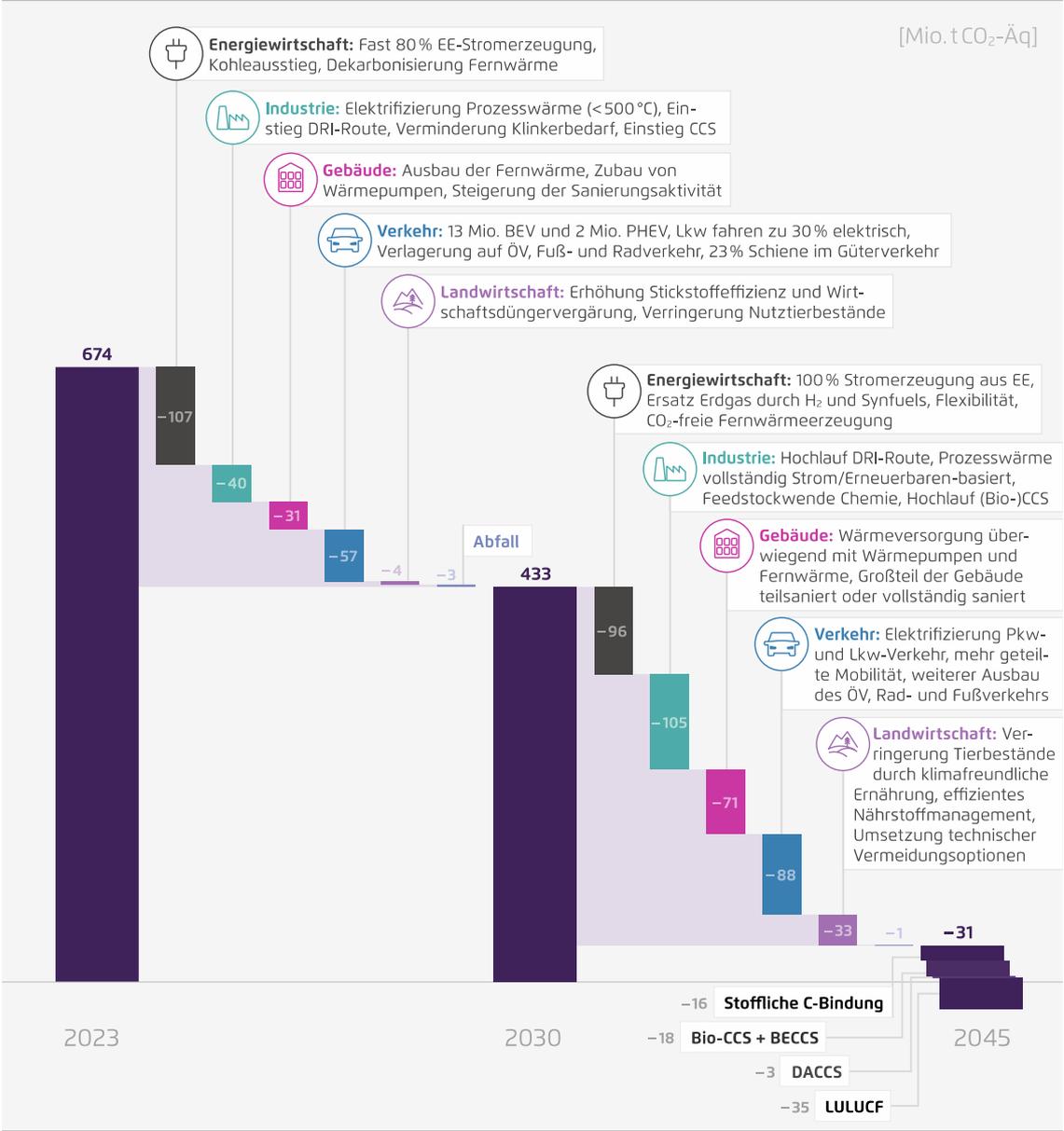
Auftrag: Analyse der Umsetzbarkeit einer Ambitionssteigerung im Bereich Klimaschutz der Bundesregierung (Klimaneutralität 2045) in Ergänzung zu der Mitte 2020 erschienenen Studie

Ziel: Vorlegen eines Pfads in Richtung Klimaneutralität unter Berücksichtigung von Kosteneffizienz und Akzeptanz

Herausforderung Klimawandel - in 3 Schritten zur Klimaneutralität

Maßnahmen im Szenario Klimaneutrales Deutschland 2024

→ Abb. A



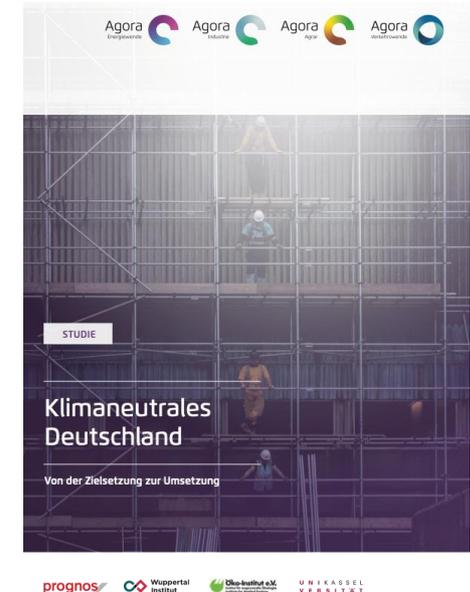
prognos Wuppertal Institut Öko-Institut e.V. UNIKASSEL UNIVERSITÄT

Quelle: Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut und Universität Kassel (2024)

Agora Energiewende, Prognos, Wuppertal Institut, Öko-Institut und Universität Kassel (2024). BEV = Batterieelektrische Fahrzeuge; C = Kohlenstoff; CCS = Carbon Capture and Storage; DACCS = Direct Air Carbon Capture and Storage; DRI = Stahlproduktion: Direktreduktion von Eisenerz durch Wasserstoff und Erdgas; EE = Erneuerbare Energien; H₂ = Wasserstoff; LULUCF = Land Use, Land Use Change, and Forestry; ÖV = Öffentlicher Verkehr; PHEV = Plugin-Hybride

Umsetzung des Transformationspfades ist mit verschiedenen Herausforderungen verbunden u.a.

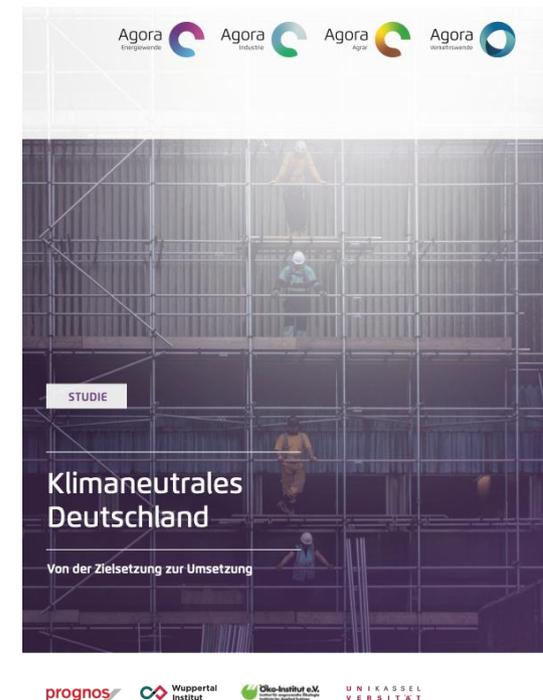
- Notwendigkeit struktureller, transformativer Veränderungen statt inkrementeller Anpassungen (z.B. Übergang auf eine Circular Economy, Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft)
- THG-Restemissionen in 2045 erfordern Kompensation durch negative Emissionen für die Zielsetzung THG-Neutralität
- Sehr hoher Investitionsbedarf über zwei Jahrzehnte – die Überwindung des Investitionsstaus der letzten zwei Jahrzehnte ist die zentrale Gestaltungsaufgabe



aber auch mit erheblichen Chancen u.a

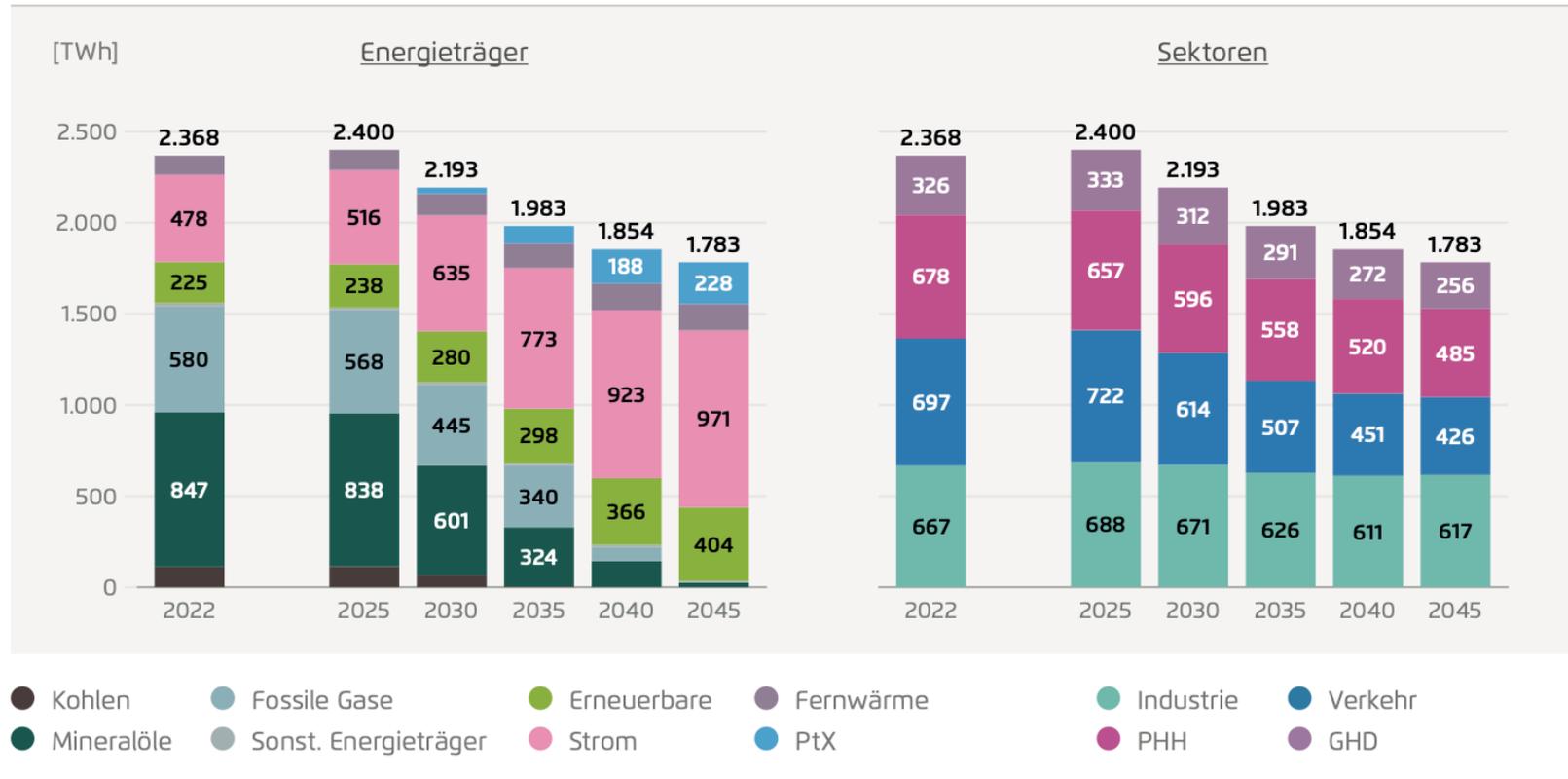
- Substantieller Beitrag zur Versorgungssicherheit und Unabhängigkeit von volatilen Energieträgerpreisen durch die Möglichkeit des Aufbaus ganz neuer Strukturen (Verlagerung auf heimische Wertschöpfung und Aufbau diversifizierter, resilienter Importstrukturen)
- Mittelfristig und dann dauerhaft niedrige Stromkosten
- Gute Positionierung auf den wachsenden grünen Weltmärkten durch induzierte Technologie- und industriepolitische Impulse (-> gerade bei rückläufigem Engagement der USA)
- Abwendung von hohen Schadens- und Anpassungskosten

Ausgewählte Ergebnisse der Studie Klimaneutrales Deutschland 2045



Entwicklung des Endenergieverbrauch (ohne Umwelt- und Abwärme)

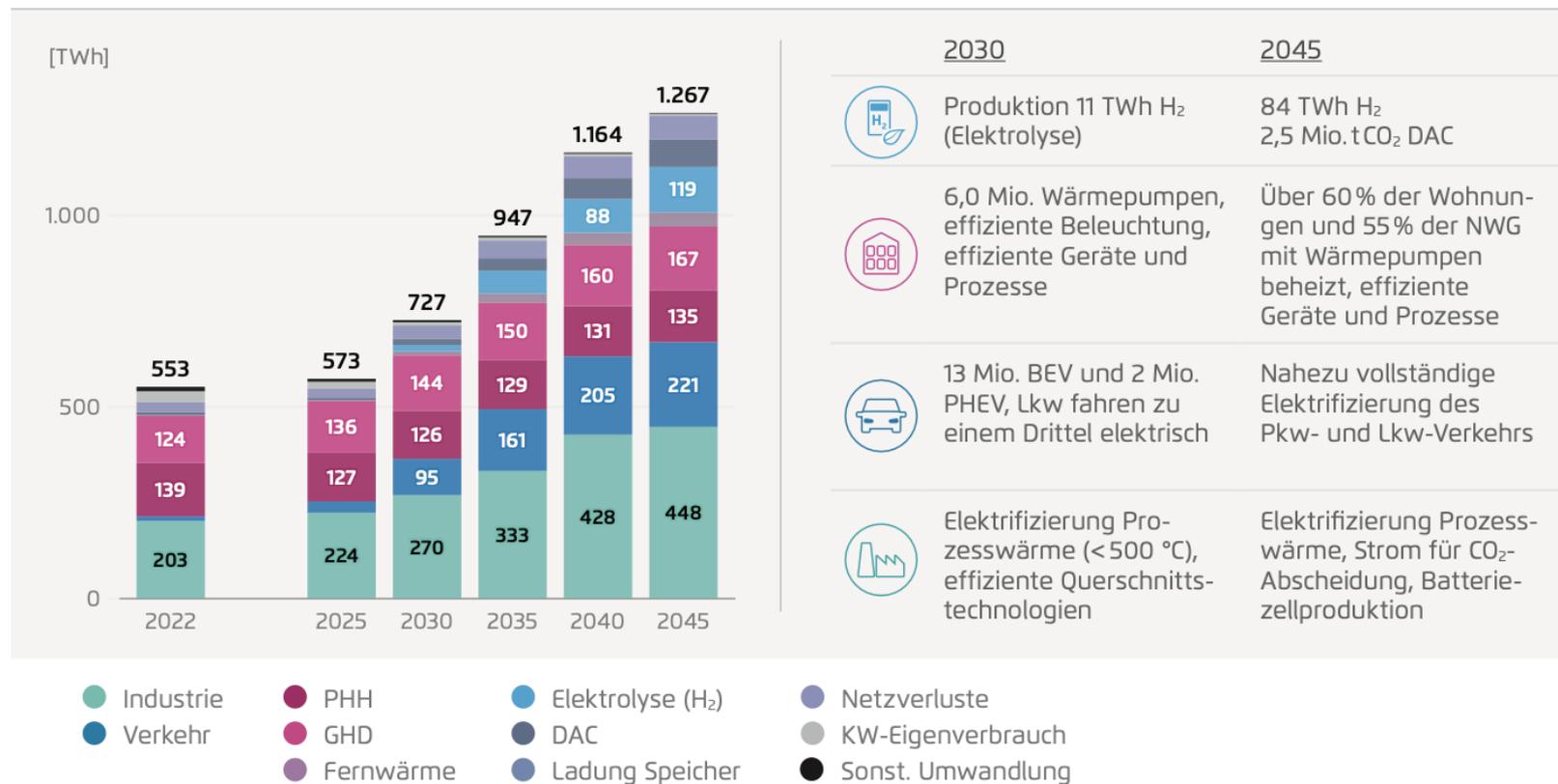
Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren



Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). Sektorabgrenzung nach Energiebilanz (Verkehr mit intern. Luftverkehr, ohne intern. Seeverkehr. GHD einschließlich Landwirtschaft). PtX = Power to X; PHH = Private Haushalte, GHD = Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

- Sinkender Endenergieverbrauch, v.a. durch Energieeffizienz und Elektrifizierung (z.B. E-KFZ, Wärmepumpen) - ggü. anderen Studien etwas höherer EE-Bedarf
- Stromanteil 2045: 54% (oberes Ende früherer Studien)

Stromnachfrage nach Sektoren



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). H₂ = Wasserstoff; KW = Kraftwerk; DAC = Direct Air Capture; PHH = Private Haushalte; GHD = Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (einschließlich Landwirtschaft); NWG = Nichtwohngebäude; BEV = batterieelektrische Fahrzeuge; PHEV = Plugin-Hybride; Verbrauch von Speichern (brutto) beinhaltet Pumpspeicher und stationäre Batteriespeicher in der öffentlichen Versorgung. Der Stromverbrauch von Heimbatterien in Kombination mit einem PV-System wird hier nicht berücksichtigt.

Samadi 2021. Vergleich Klimaschutzszenarien für DE. Folien (intern)

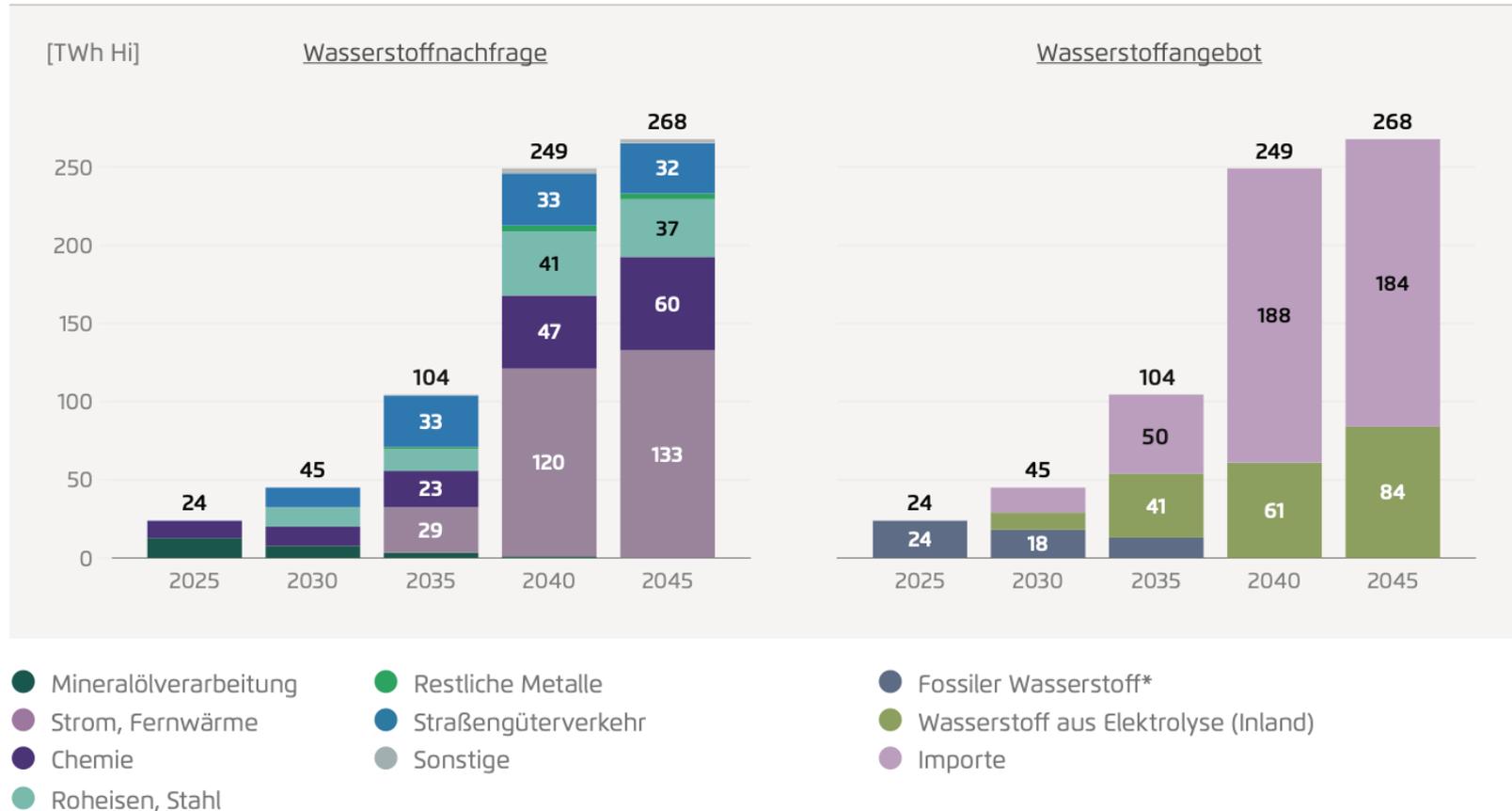
Mehr als Verdopplung des Strombedarfs ggü. heute - starker Anstieg bei Verkehr und Industrie (neue Verbraucher wie Elektrolyseure, el. Wp-basierte Fernwärme und DAC)

Hoher Strombedarf (u. Erzeugung) ggü. früheren Studien – für 2030 ist aus heutiger Sicht aufgrund schleppender Marktdynamik real von geringerem Anstieg auszugehen

Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“

Entwicklung von Wasserstoffnachfrage und -bereitstellung

Wasserstoffnachfrage und Wasserstoffangebot



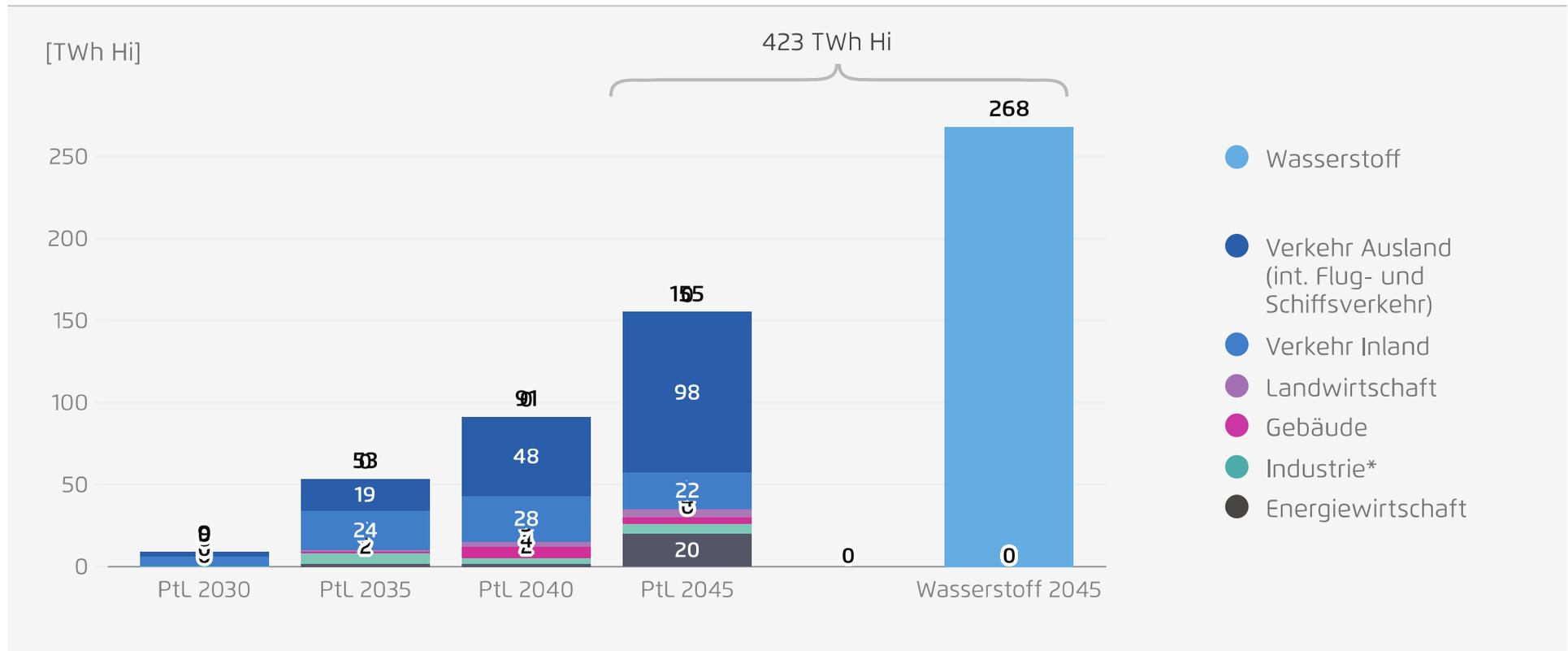
Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). *aus Dampfreformierung

- H₂-Bedarf v.a. im Umwandlungssektor (saisonal) und in der Industrie (inkl. stoffliche Nutzung)
- H₂-Bedarf im Vergleich zu früheren Studien (ca. 250 - 700 TWh) eher im unteren Bereich – stärkere Berücksichtigung von direktem Einsatz H₂-Derivate

Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“

Neben dem direkten Einsatz von Wasserstoff spielen auch seine Derivate eine sehr wichtige Rolle

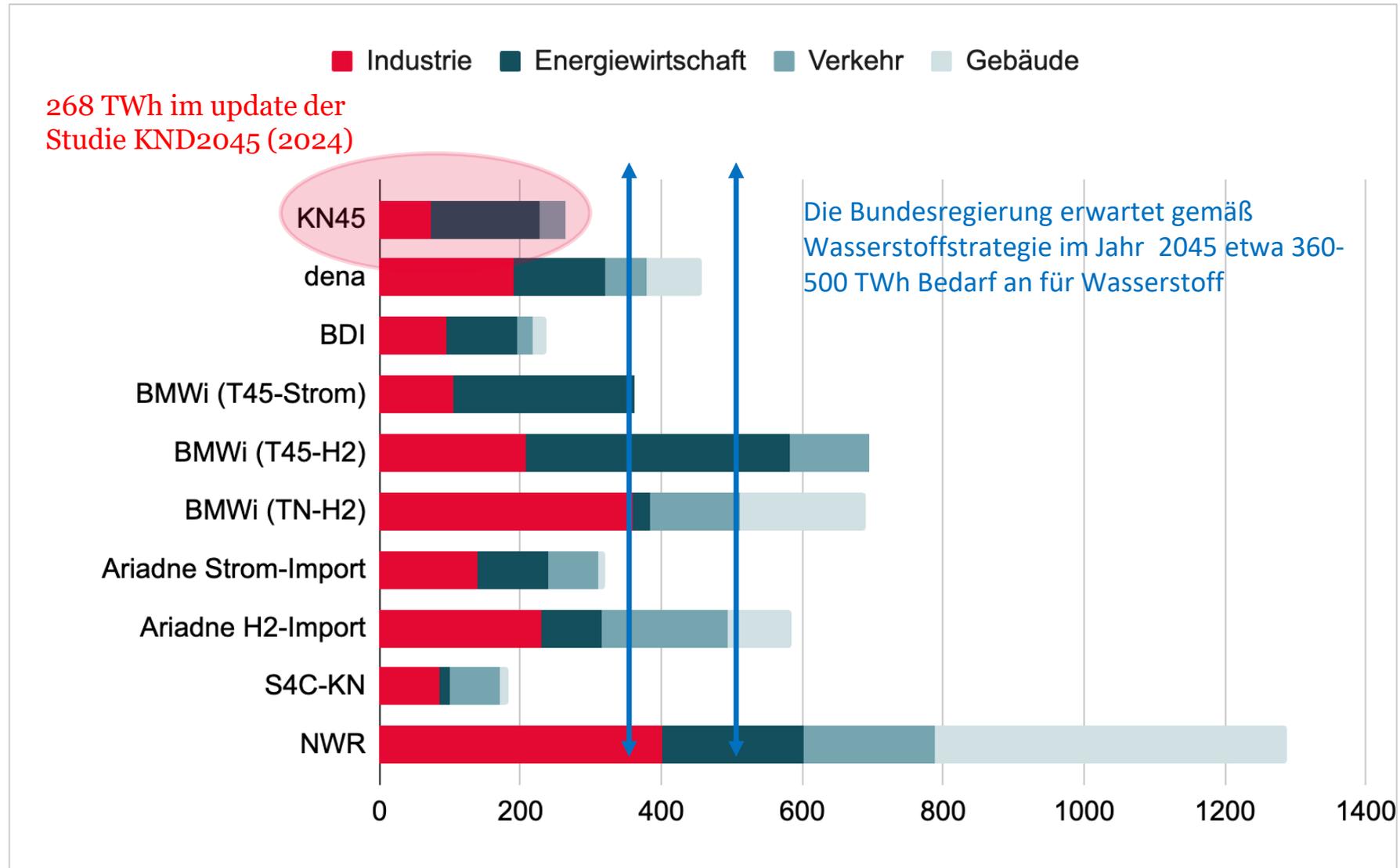
Einsatz von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten



Agora Energiewende und Prognos (2024). PtL = Power to Liquid; *PtL-Einsatz in der Industrie für Feedstock: grünes Naphtha und Methanol

Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Szenario-Metaanalyse bestätigt Bedarf an H₂ über alle Transformationsstudien

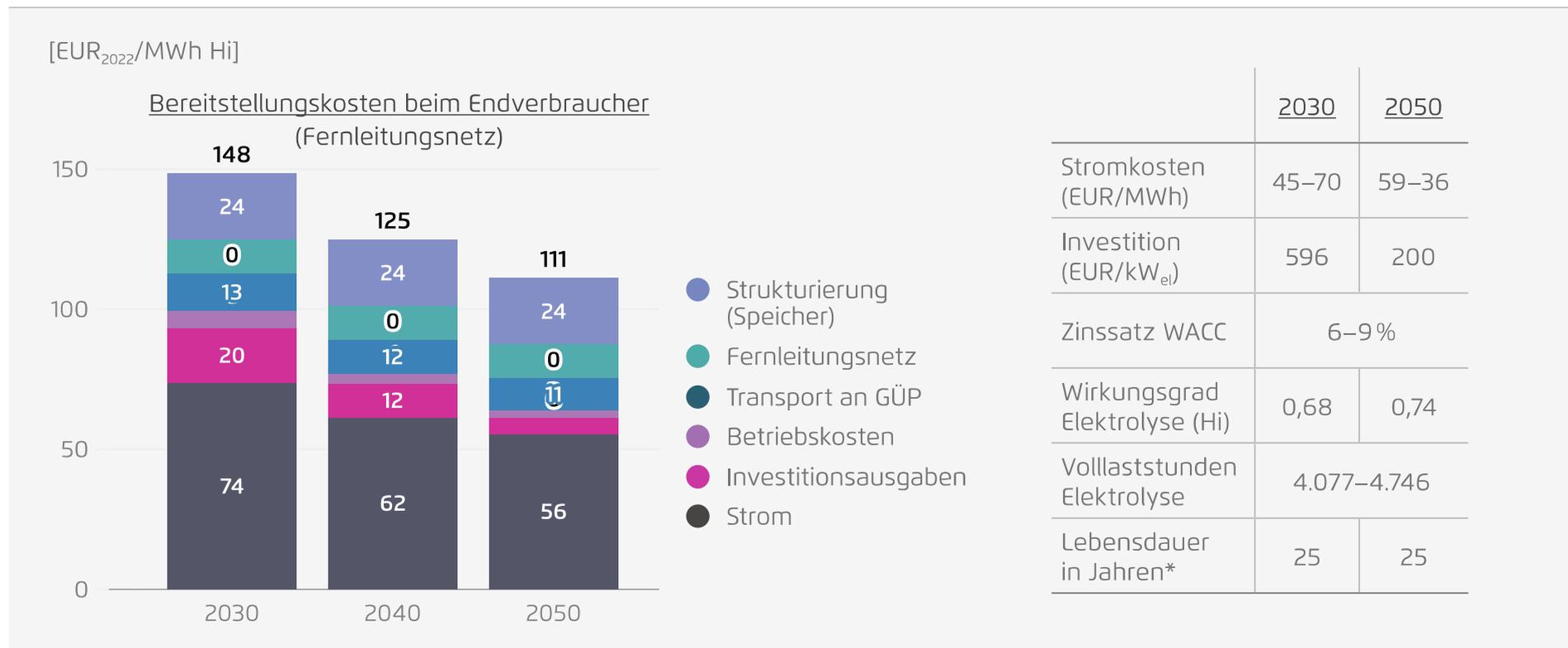


Auswertung von Transformationsszenarien mit Publikationsdatum 2021-2024

Mögliche Entwicklung der durchschnittlichen Kosten von grünem Wasserstoff (Erzeugungs- und Importmix) – Wasserstoff bleibt trotz Kostendegressionspotential eine teure Commodity

Vgl. 1 kg Wasserstoff sind äquivalent zu 33 kWh
(100 Euro/MWhH₂ entsprechen 3,33 Euro/kg)

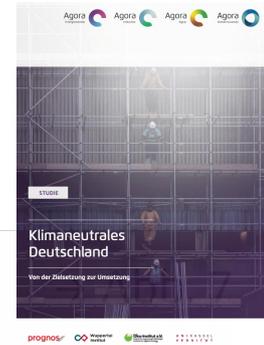
Kosten von erneuerbar erzeugtem Wasserstoff



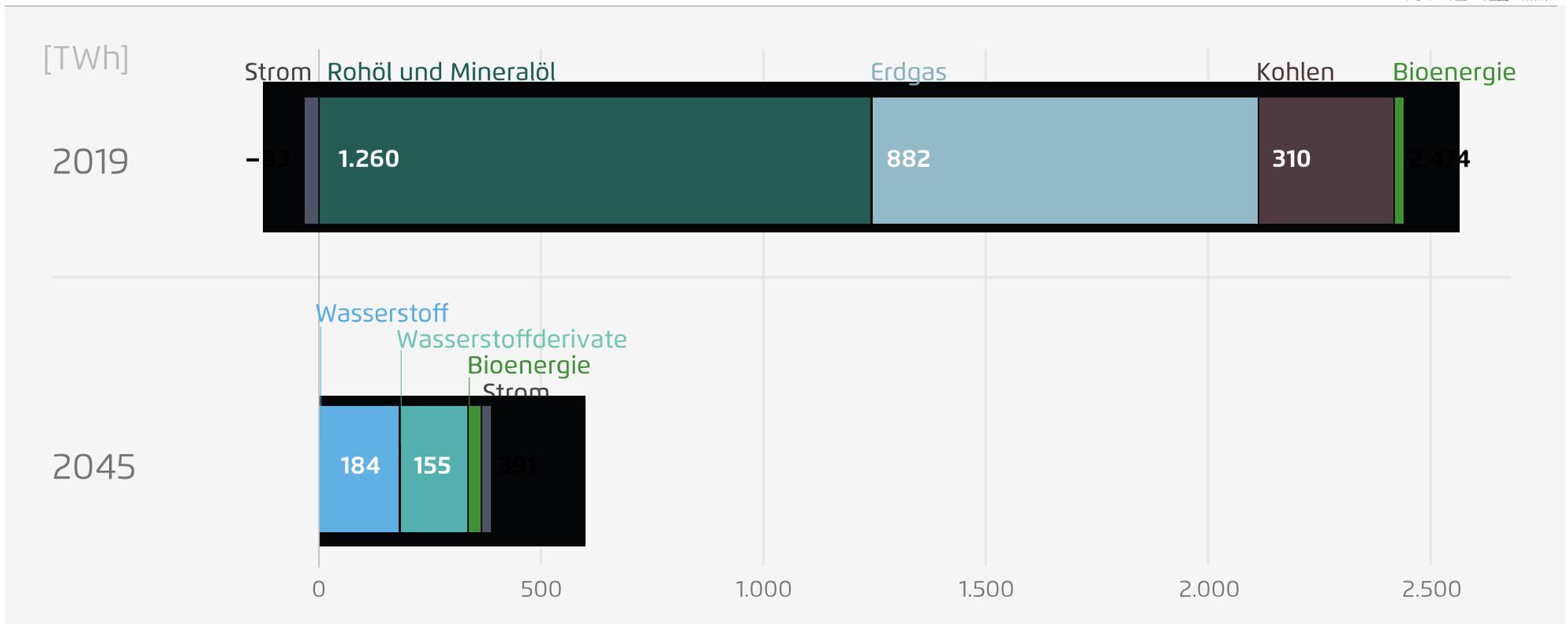
Agora Energiewende und Prognos (2024). el = elektrisch; WACC: mittlere gewichtete Kapitalkosten; GÜP = Grenzübergabepunkt; Transport GÜP: 500 bis 4.000 km Pipeline; Kosten ergeben sich als gewichtetes Mittel (0,15/0,15/0,7) der Ergebnisse aus Vollkostenrechnung für drei Erzeugungsfälle: Wind und PV (Deutschland), Offshore-Wind (Deutschland), Wind und PV (Mittelmeerregion); * Stackwechsel nach der Hälfte der Lebensdauer zu 30/25/20% des Elektrolyse-Invest

Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“

Deutlich positive Beiträge in Bezug auf Versorgungssicherheit zu erwarten – deutlich geringere absolute Einfuhren und Chance auf Aufbau neuer stark diversifizierter Importstruktur



Reduktion des Nettoimports von Energieträgern bis 2045



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024), historische Daten: AG Energiebilanzen (2024). Positiver Wert ist Nettoimport, negativer Wert ist Nettoexport.

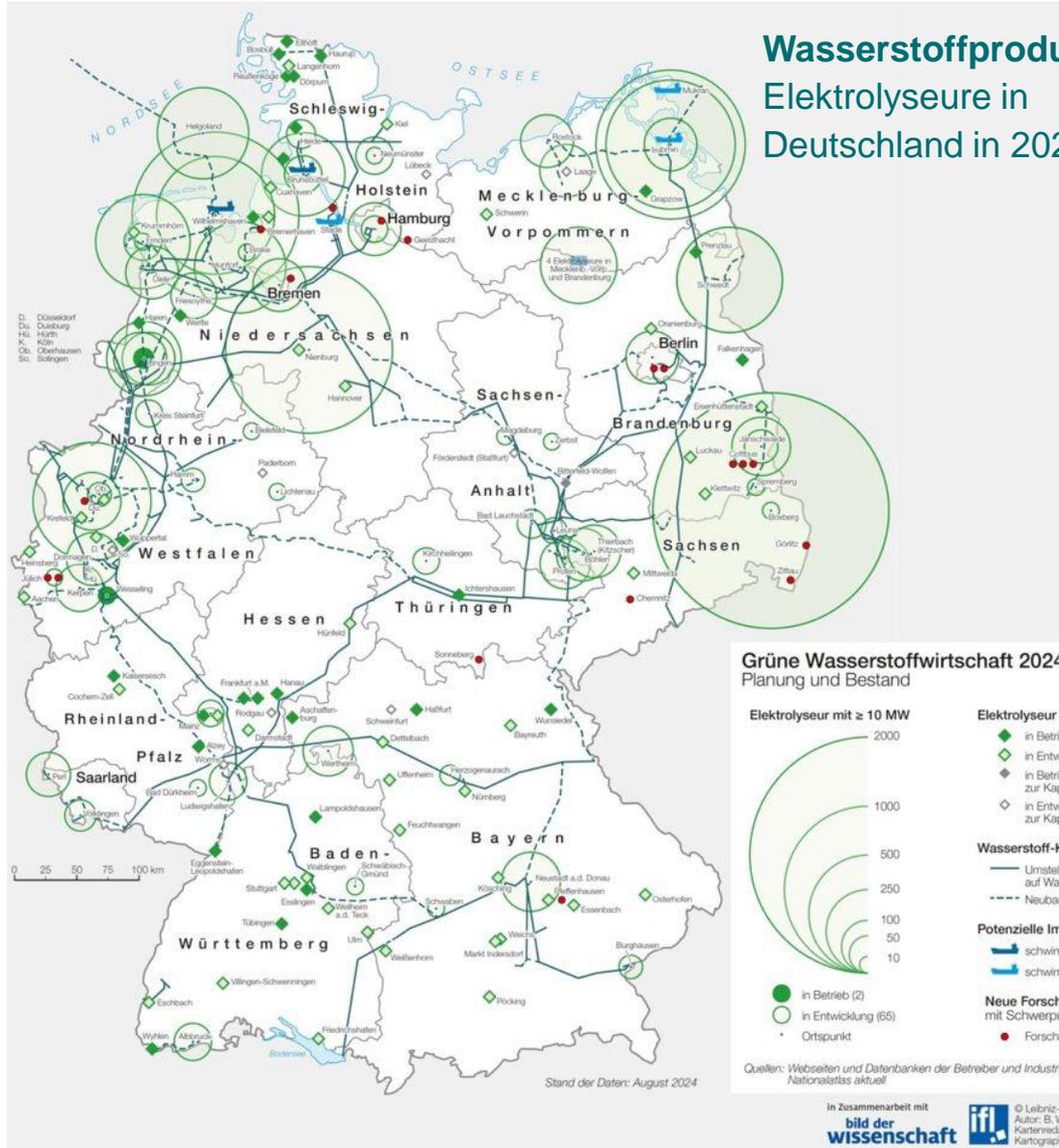
Quelle: Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut und Universität Kassel (2024)

Welche Herausforderungen stellen sich im Aufbau der Wasserstoffwirtschaft – ausgewählte Beispiele



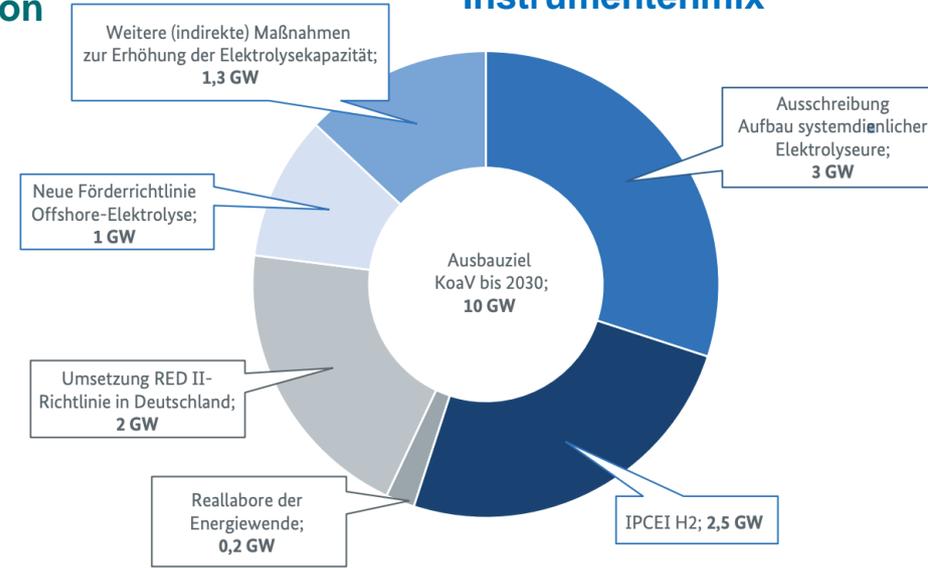
Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Reale Ausbaugeschwindigkeit hängt den in der Nationalen Wasserstoffstrategie formulierten Ziele noch deutlich hinterher



Quelle: BMWK

Möglicher Instrumentenmix



Die Umsetzung der angestrebten Ausbauziele erfordert eine größere Dynamik und einen verlässlichen Politik-/Förderrahmen – für 2024 wird eine installierte Elektrolyseleistung von 153,7 MW angegeben (ACATECH/DECHEMA-Wasserstoffkompass 2024)

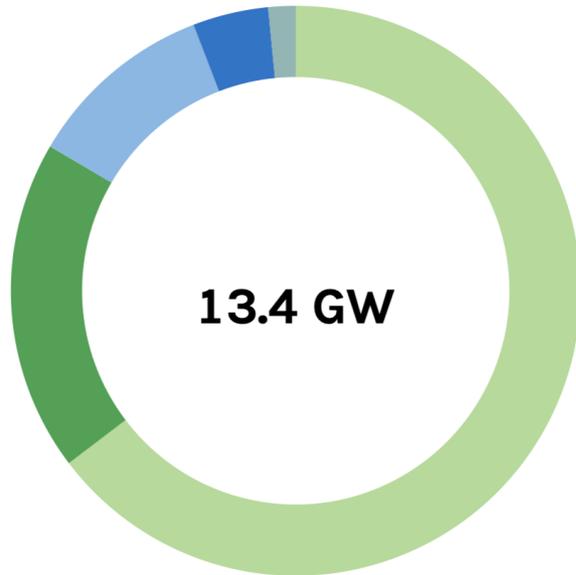
Quelle: Elektrolyseure für die Energiewende. In: BDW. 26.12.2024.

Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Reale Ausbaugeschwindigkeit hängt den in der Nationalen Wasserstoffstrategie formulierten Ziele noch deutlich hinterher

Bis 2030 angekündigte Elektrolysekapazitäten

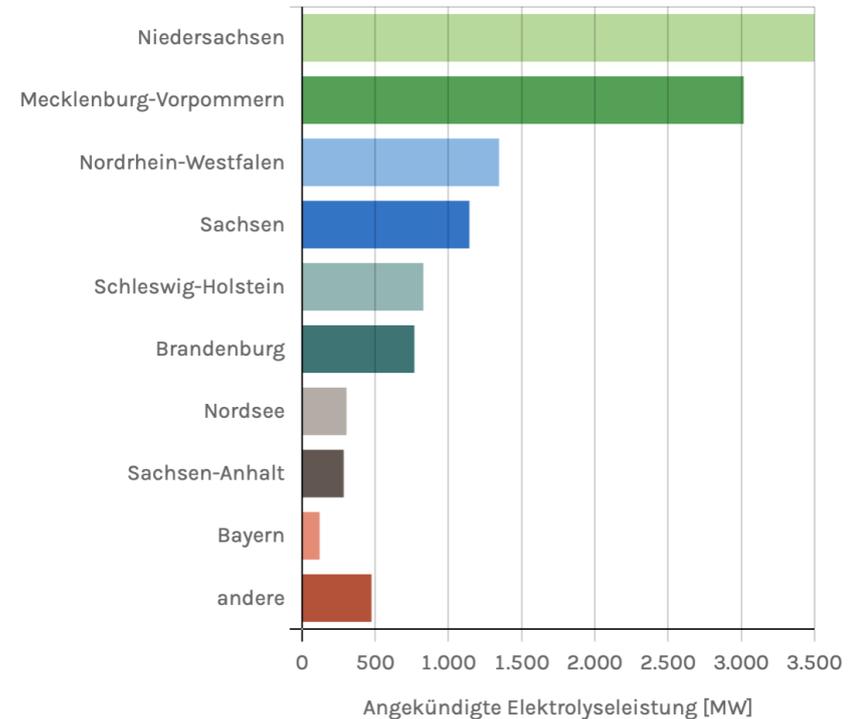
In der fortgeschriebenen Wasserstoffstrategie definiert Deutschland das Ziel, bis 2030 10 GW inländischer Elektrolysekapazität aufzubauen. Aktuell werden bis 2030 Elektrolyseprojekte mit insgesamt 13.4 GW angekündigt. Bis 2035 werden bereits 28.0 GW Elektrolysekapazität angekündigt. Hierbei sind nicht datierte Projekte enthalten. Aktuell beträgt die installierte Elektrolyseleistung 153.7 MW.



Unbekannt AEL PEM Druck-AEL andere

Bis 2030 geplante Elektrolysekapazitäten in Deutschland nach Bundesländern

Nicht alle Projekte sind eindeutig räumlich zu verorten. Für manche Projekte steht noch kein Standort fest. Diese sind in dieser Darstellung nicht aufgeführt.



Quelle: ACATECH/DECHEMA-Wasserstoffkompass (2024)

Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Mit den positiven europäischen Förderentscheidungen (sog. IPCEI-Projekte) in 2024 erhöht sich die Umsetzungsdynamik

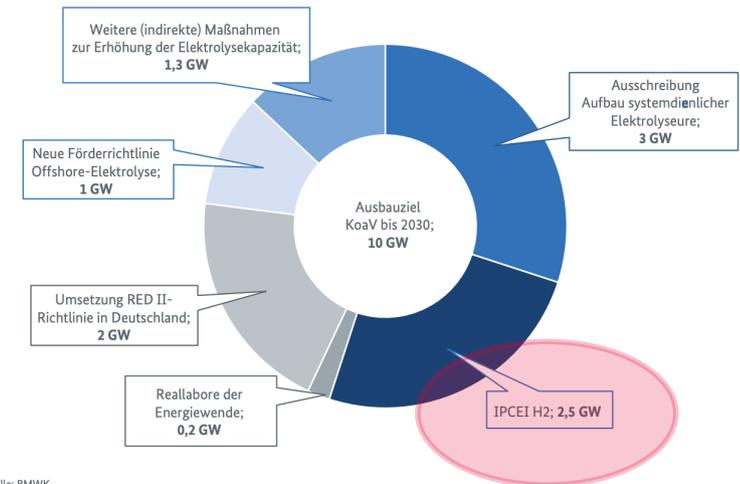
Elektrolyseure, Pipelines und Speicher

Insgesamt hat die Kommission die Förderung von **33 europäischen Wasserstoffprojekten genehmigt**. Gefördert werden Infrastrukturprojekte entlang der Wertschöpfungskette, darunter die Installation von Großelektrolyseuren, die Errichtung neuer und umgenutzter Fern- und Verteilerleitungen, die Entwicklung großer Wasserstoffspeicheranlagen und der Bau von Umschlagterminals und der damit verbundenen Hafeninfrastruktur.

An der jetzt genehmigten Hy2Infra-Welle **sind sieben Mitgliedstaaten beteiligt**: Deutschland, Frankreich, Italien, Niederlande, Polen, Portugal, Slowakei. Mit insgesamt über 2.700 km Pipelinennetz, mehr als 3,2 GW Wasserstofferzeugungskapazität und fast 370 GWh Speicherkapazität **sollen die Projekte zum Aufbau einer grünen Wasserstoffinfrastruktur beitragen**.

Genehmigungen im Rahmen der europäischen IPCEI-Projekte könnte nach langem Warten jetzt eine wichtige Dynamik auslösen

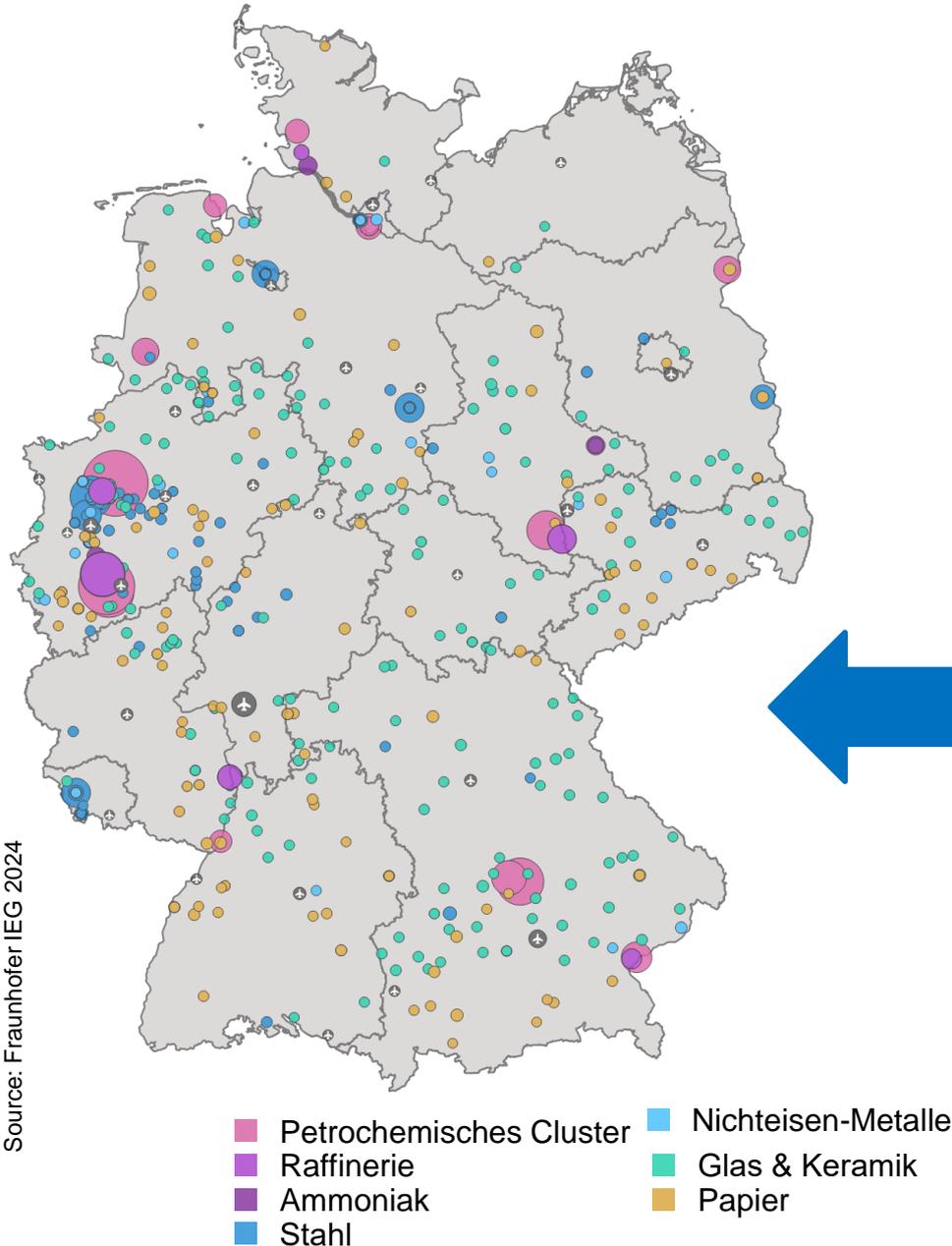
Der Instrumentenmix



Für die Erreichung der selbst gesteckten Ziele ist die Geschwindigkeit noch zu gering

Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Ausrichtung des Wasserstoffkernnetze korrespondiert mit den großen (industriellen/energiwirtschaftlichen) Verbrauchszentren



So soll das Wasserstoffnetz aussehen

Finaler Entwurf für das deutsche Wasserstoff-Kernnetz
Stand: 14.11.2023

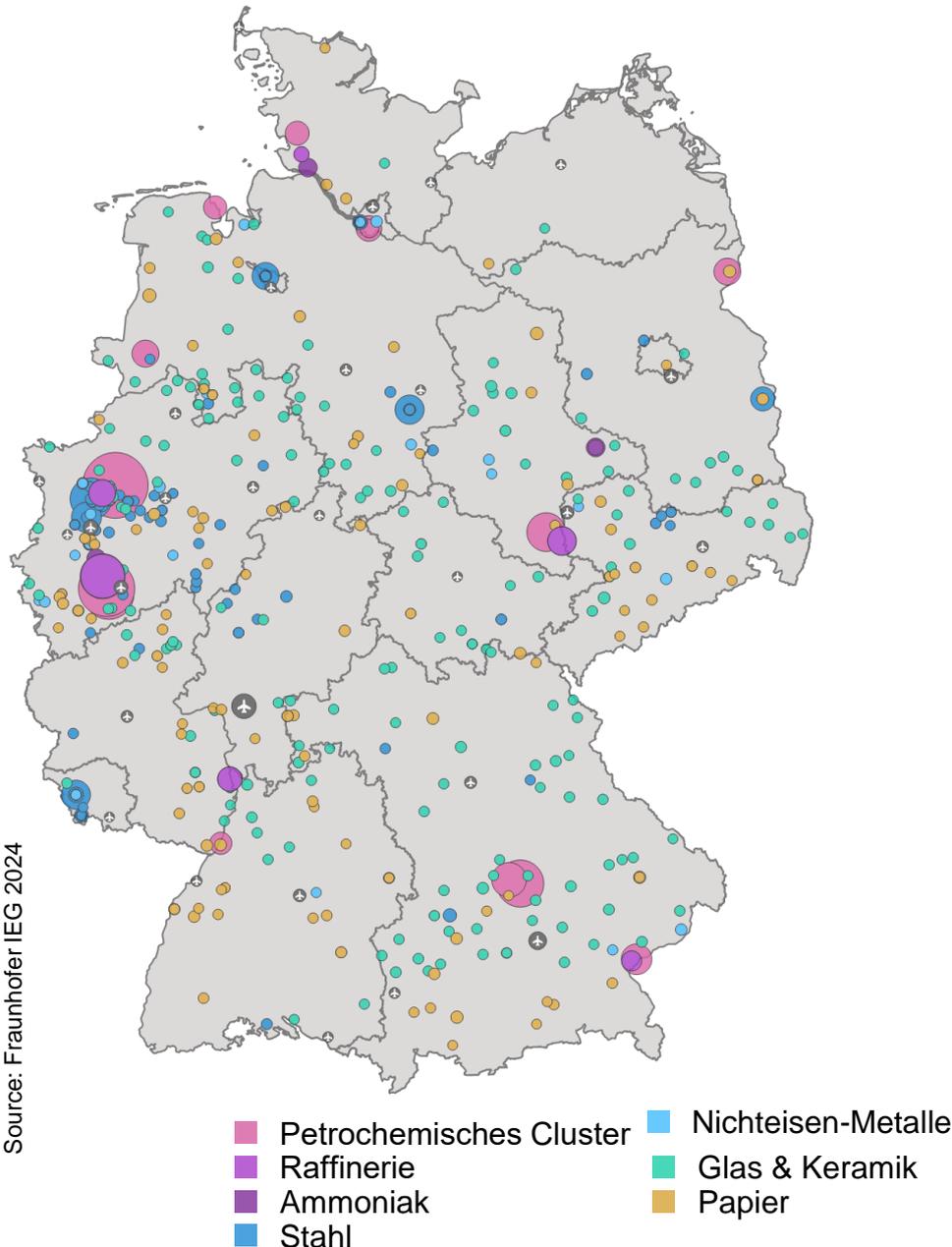
— Umstellungsleitung - - - - Neubauleitung



HANDELSBLATT
Quellen: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, fnb-gas

Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Primäre Abdeckung der Großverbraucher führt unweigerlich zu der Frage der Anschlussmöglichkeiten von kernnetzfernen KMU



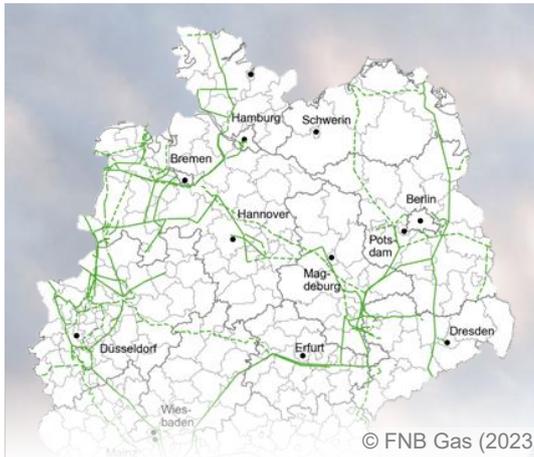
Wenn die Industrie die treibende Kraft für den Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft ist ergibt sich aufgrund der breiten Verteilung der Anlagen in Deutschland eine komplexe Infrastrukturanforderung

Aber Achtung: Wasserstoffbedarf entsteht auch bei KMU wenn (direkte) Elektrifizierung technisch oder wirtschaftlich vertretbar nicht sinnvoll ist – **Inselnetze denkbar?**



Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Wasserstoff kann grundsätzlich auch anders transportiert werden - Kernnetz als Nukleus: alles andere eine Frage der Optimierung?



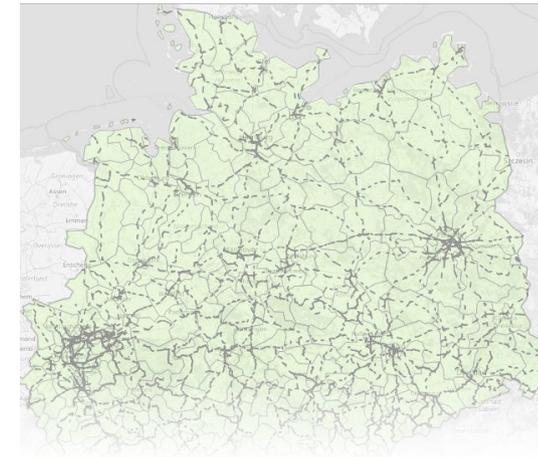
Wasserstoff-Kernnetz

- Antragsentwurf H₂-Kernnetz
- 9.700 km Pipeline
- ~60 % Umstellung
- 100 GW Einspeiseleistung
- 87 GW Ausspeiseleistung



Wasserwege

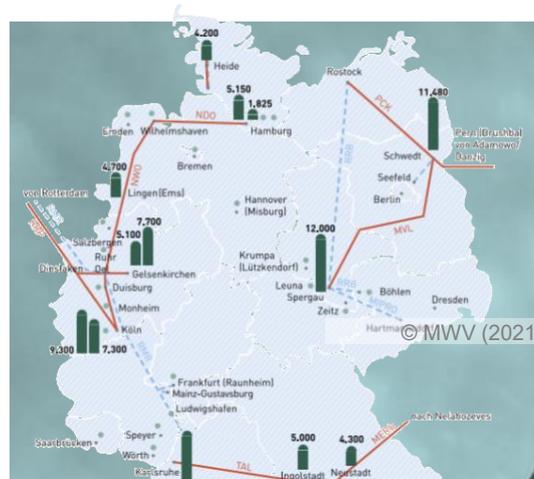
- 48,2 Mrd. tkm (2021); darunter
 - 4,9 Mrd. tkm Kohle, Rohöl, Erdgas
 - 8,4 Mrd. tkm Kokerei- und Mineralölerzeugnisse



Schienennetz

- 129,9 Mrd. tkm (2021); darunter
 - 5,8 Mrd. tkm Kohle, Rohöl, Erdgas
 - 10,2 Mrd. tkm Kokerei- und Mineralölerzeugnisse

Source: Fraunhofer IEG 2024



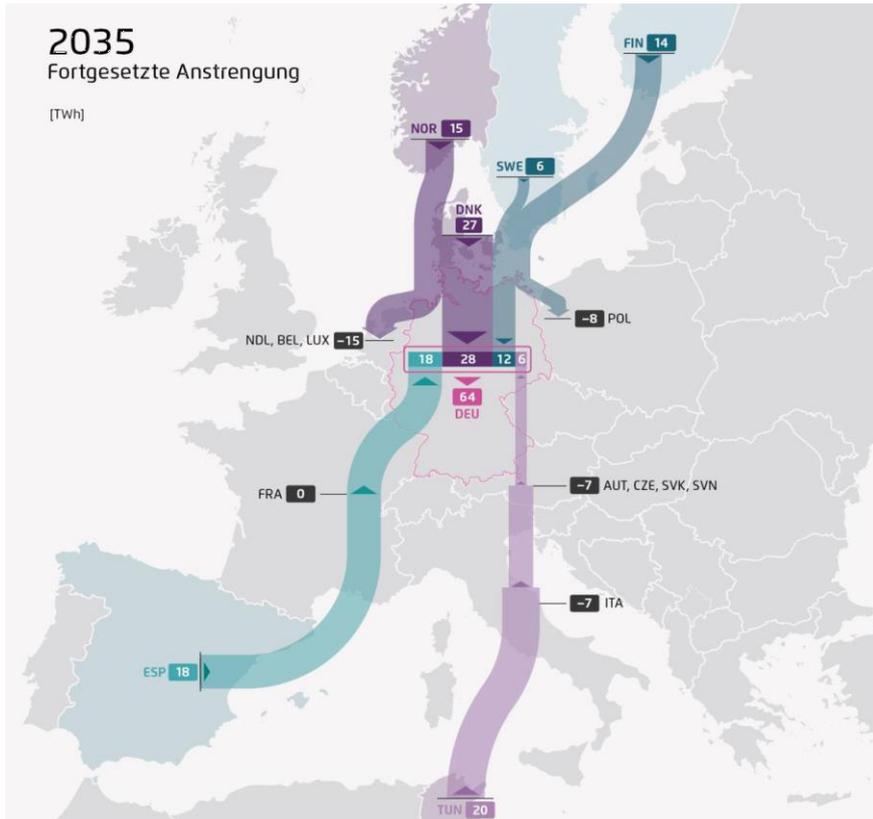
Öl-Pipeline

- 15,7 Mrd. tkm Rohölleitungen (2021)
- Mittelfristig hohe Konkurrenz zu konventionellen Produkten

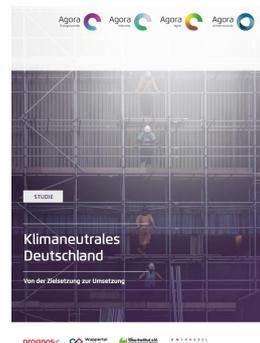
Der Transport von Wasserstoff(-derivaten) per Binnenschiff oder Bahn stellt in vielen Fällen eine mögliche Alternative zur pipelinegebundenen Standortversorgung dar und für kernnetzferne Standorte die einzige mittelfristige Versorgungsoptionen (jenseits von Inselnetzen)

Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Für ein Land wie Deutschland mit begrenzten EE-Potentialen ist der Aufbau von Importstrukturen zwingend



Annahme in der Agora Studie rd. 64 TWh Import von H₂ im Jahr 2035



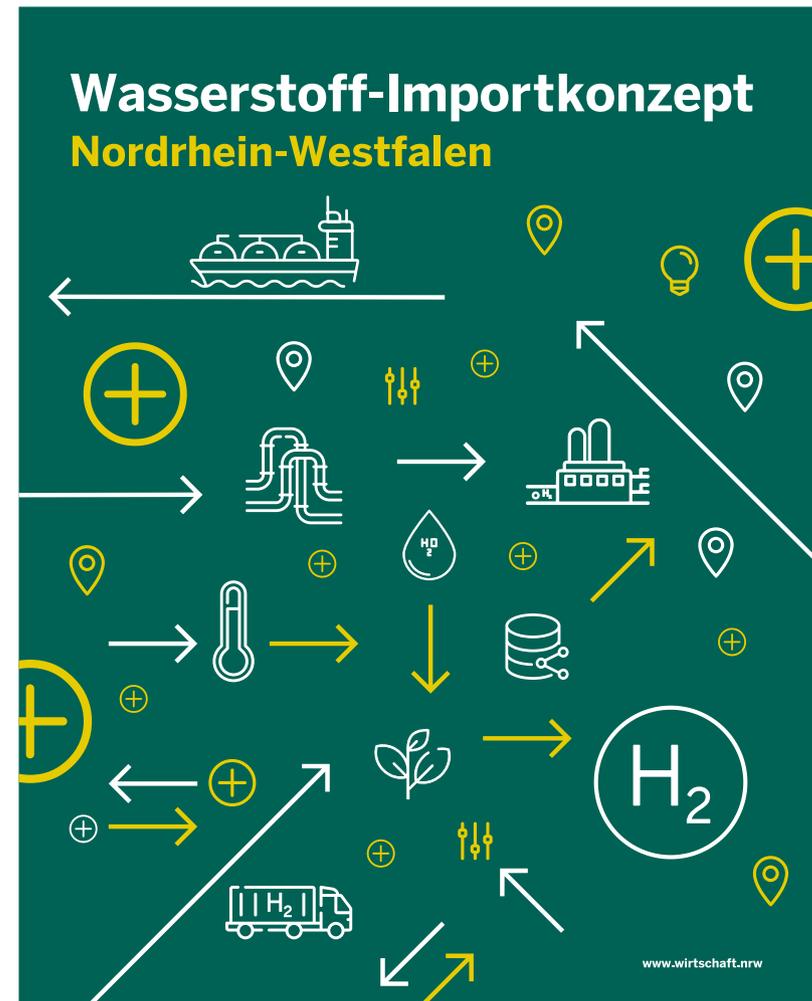
- Deutschland bleibt Energie-Importland
- Zentrale Frage: Wo auf der Welt gibt es günstig erschließbare Potentiale für grünen Wasserstoff?
- Wie kann der Wasserstoff möglichst effizient und wirtschaftlich transportiert werden?
- Europäische Quellen sind eine Option für Deutschland – aus geopolitischen Gründen sicher die bevorzugte
- Zusätzlich wird Wasserstoff aus außereuropäischen Ländern importiert werden müssen mit Fragen nach
 - **Geopolitischen Risiken:** Diversifizierung des Importportfolios von Anfang an zwingend erforderlich
 - **Art des H₂-Transports** und induzierten Risiken einer Wertschöpfungsverlagerung
 - **Faire Partnerschaft**

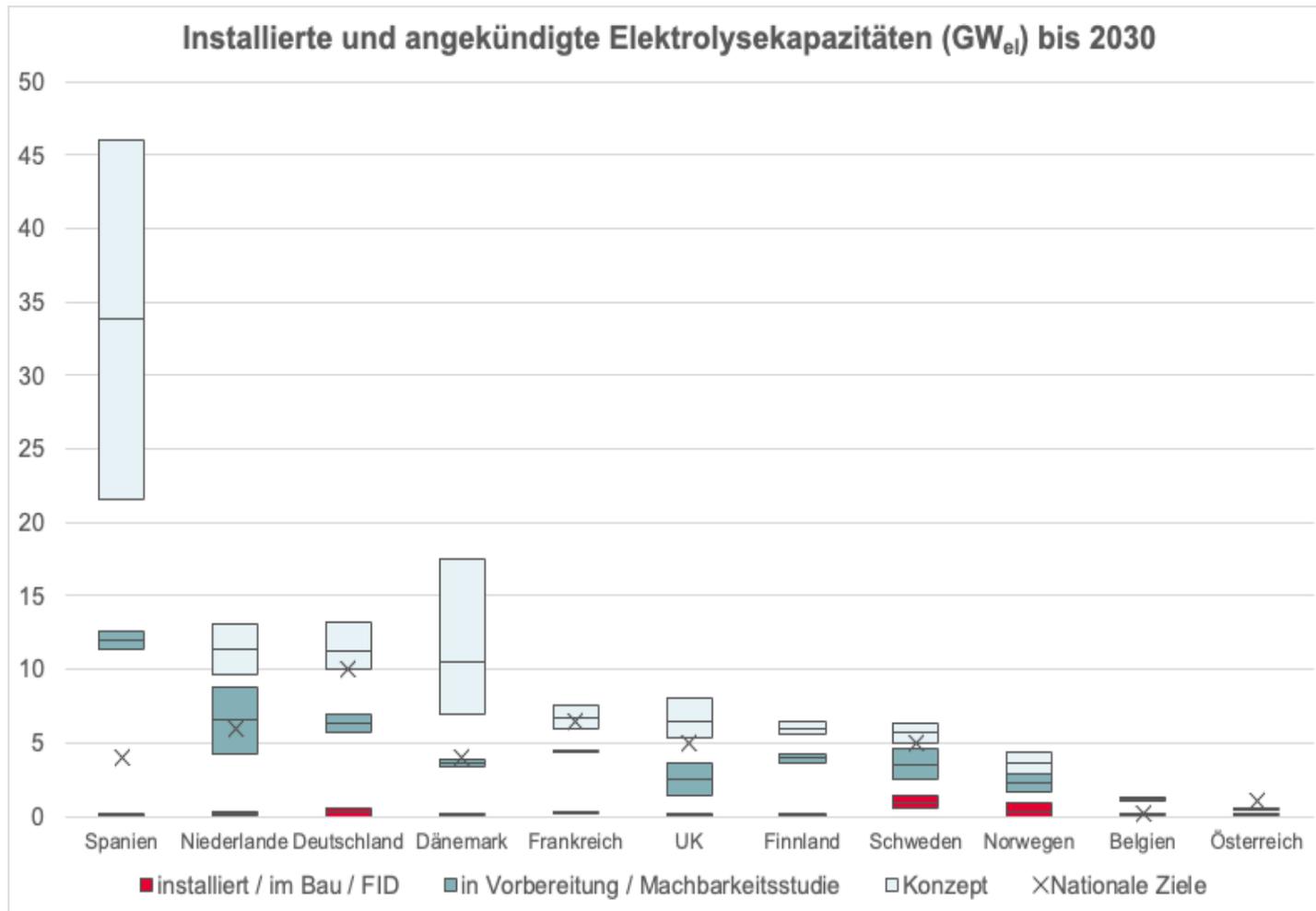
Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Importstrategien/-konzepte des Bundes und des Landes NRW
legen erste Eckpunkte für die Ausgestaltung fest



Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen





Studienbericht | August 2024

Perspektiven für die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Europa und für H₂-Importe nach Deutschland

Kurzstudie für den Landesverband
Erneuerbare Energien NRW

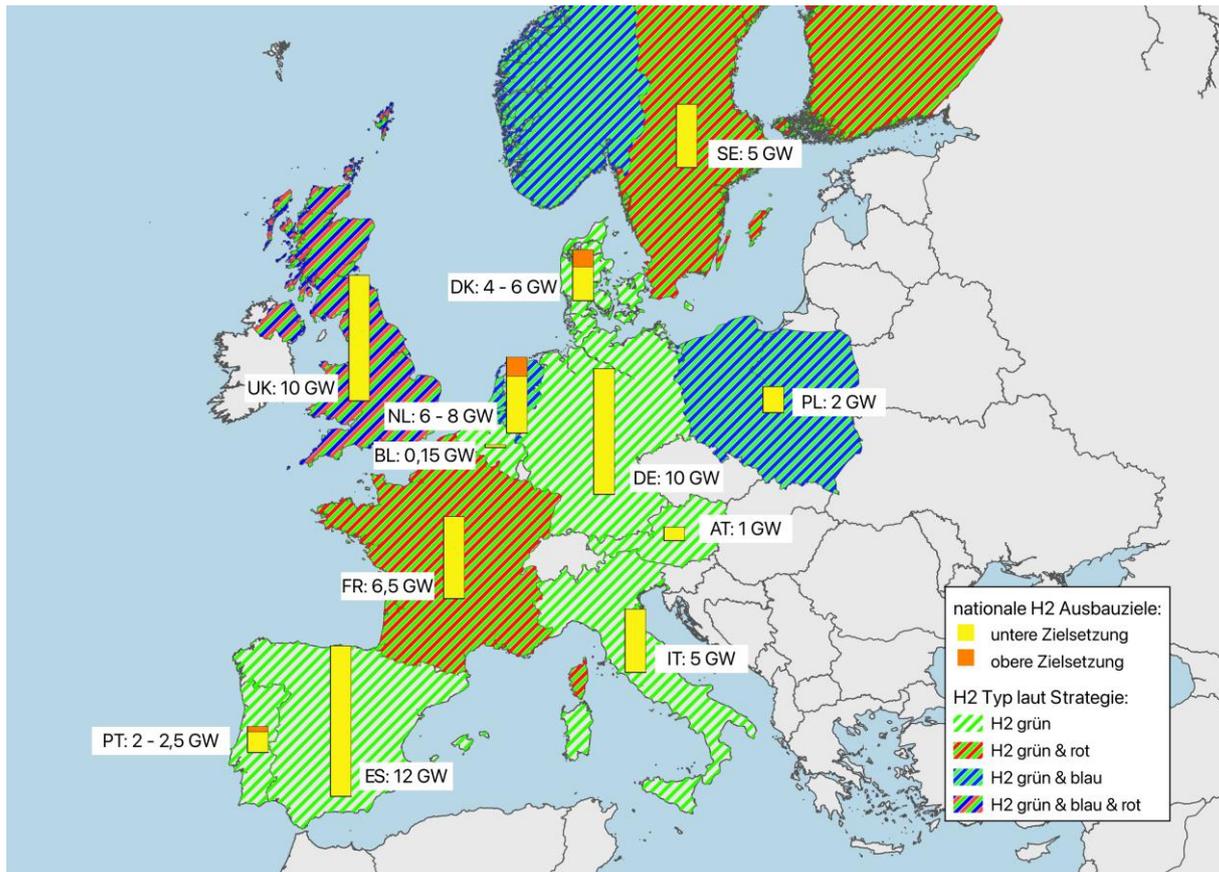
Alexander Scholz
Frank Merten
Joschko Kröger
János Sebestyén

Auch in den EU Ländern gibt es eine große Diskrepanz zwischen Ausbauzielen und bereits erfolgten Investitionsentscheidungen

Abbildung: Kapazitäten von realisierten und angekündigten Elektrolyse-Projekten. Dargestellt sind die Spannweiten und Mittelwerte über unterschiedliche Datenquellen (IEA (2023b), Hydrogen Europe (2023), European Hydrogen Observatory (2024), EWI (2024), Hydrogen UK (2023), Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities (2021), sowie für Deutschland Wasserstoffkompass von acatech und DECHEMA (2024)). Die Darstellung für die Projekt-Kategorien erfolgt kumulativ, d.h. "in Vorbereitung / Machbarkeitsstudie" enthält ebenso die Kapazitäten aus "installiert / im Bau / FID", und "Konzept" umfasst ebenso alle vorgenannten Kategorien. Zum Vergleich: nationale (Mindest-) Ziele, sofern vorhanden.

Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Nationale Strategien in Europa - H₂-Ausbauziele für 2030



- **Wasserstofflandschaft in Europa ist „bunt“:** 8 der 12 betrachteten Länder setzen vorrangig auf grünen H₂, mindestens 6 Länder verfolgen auch roten und/oder blauen H₂.
- **Ambitionierteste Zielsetzungen** haben Spanien, Deutschland, UK, Niederlande, Frankreich
- **EU-Strategie verfolgt den Aufbau von 2x40 GW Elektrolyse in/außerhalb Europa** - für die anvisierten 20 Mio t. werden jedoch 2-3 mal so hohe Kapazitäten benötigt

Studienbericht | August 2024

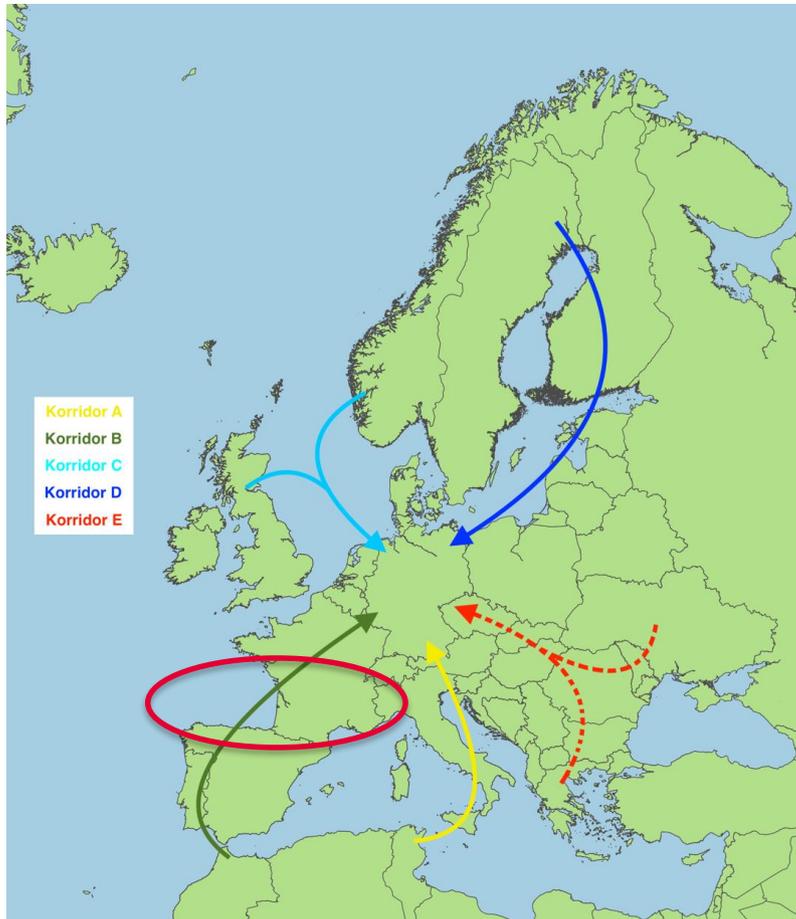
Perspektiven für die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Europa und für H₂-Importe nach Deutschland

Kurzstudie für den Landesverband
Erneuerbare Energien NRW

Alexander Scholz
Frank Merten
Joschko Kröger
János Sebestyén

Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Innereuropäische Importrouten - Bezugsmöglichkeiten für Deutschland



Eigene Darstellung auf Basis BMWK 2024

Beispiel Importkorridor B

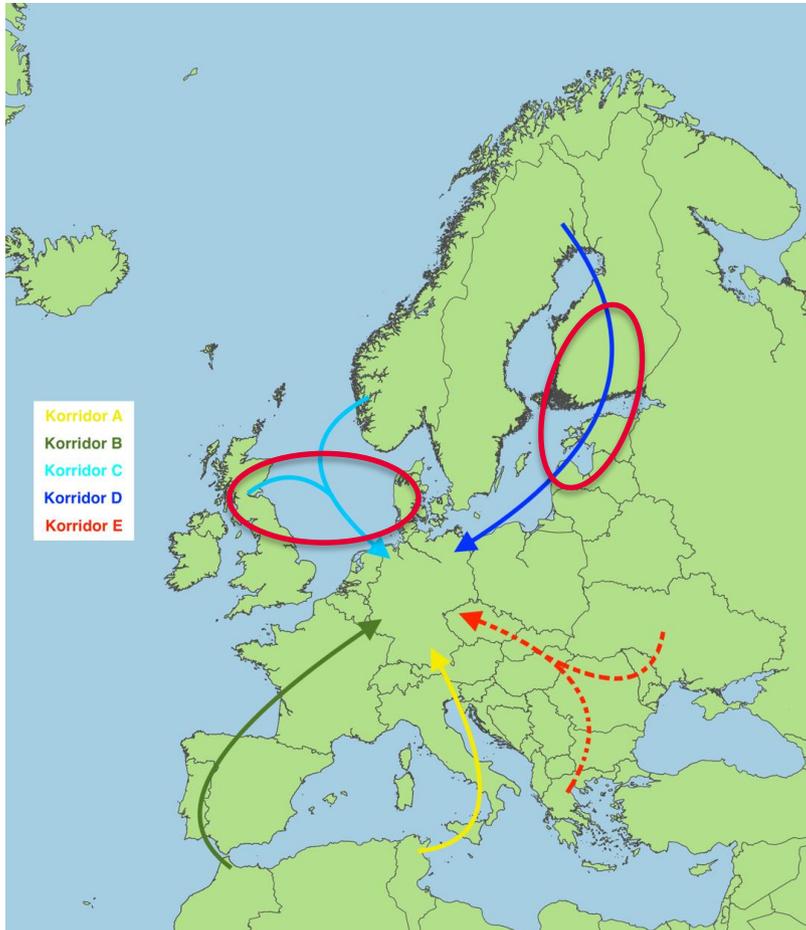
Geplante **Verbindungen** zwischen **Portugal, Spanien, Frankreich und Deutschland** über Pipelineprojekte H2MED und HY-FEN inkl. angrenzender **H₂-Erzeugung in Solar- und Windparks**.

In **Spanien europaweit größte Dynamik** bei H₂-Projekten, dienen **jedoch vorrangig der lokalen Nachfrage** (Düngemittel-/Stahlindustrie).

Pipeline-Projekte sollen 2030 abgeschlossen sein, **Studien** zur technischen Machbarkeit und Folgenabschätzung **laufen aber erst seit diesem Jahr** – Herausforderung Transit durch Frankreich

Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Innereuropäische Importrouten - Bezugsmöglichkeiten für Deutschland



Eigene Darstellung auf Basis BMWK 2024

Beispiel Importkorridor C und D

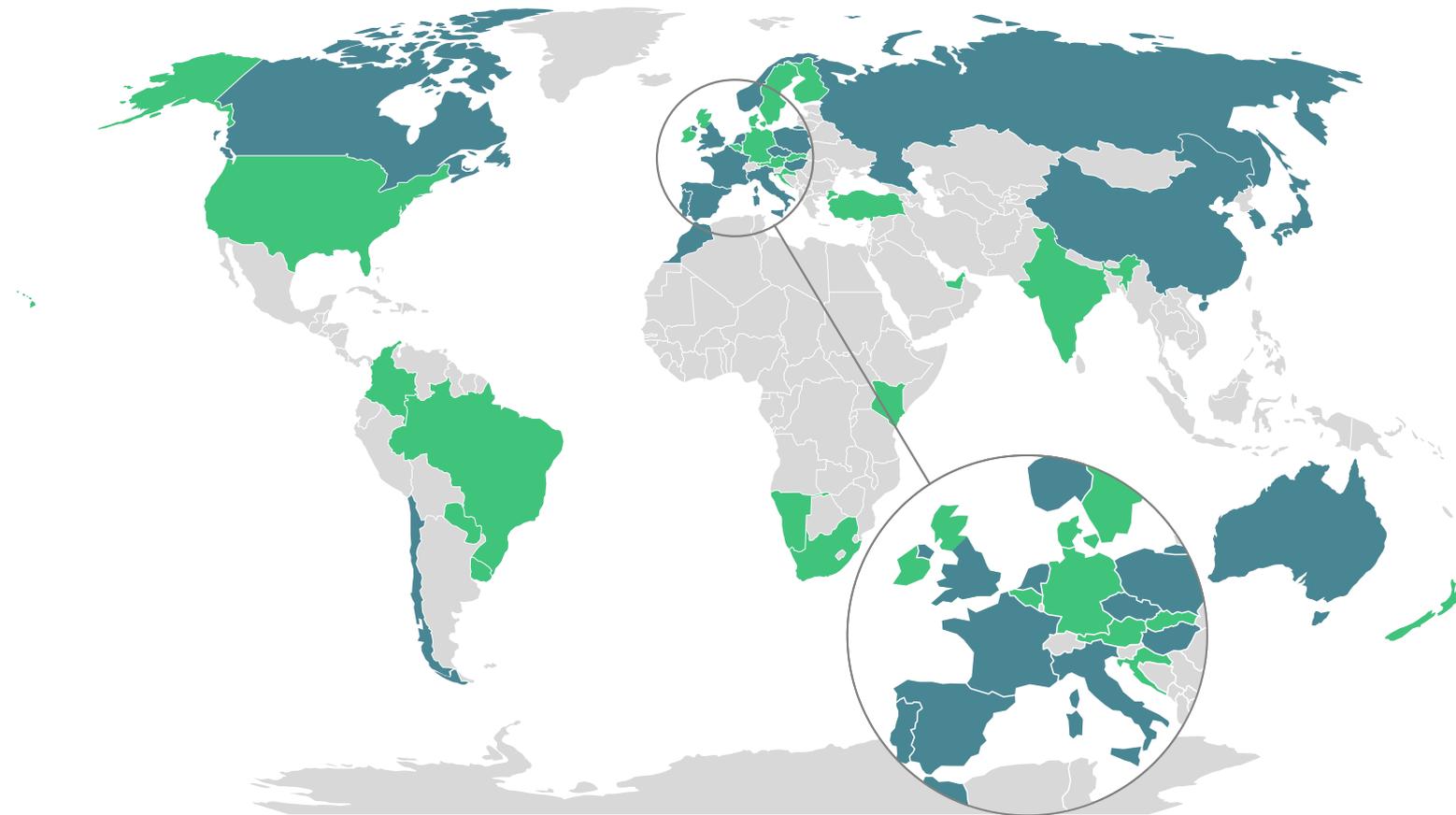
- Geplante **Verbindungen** zwischen **Großbritannien, Norwegen, Dänemark, Deutschland, Belgien und den Niederlanden** über Pipelineprojekte wie AquaDuctus inkl. angrenzender **H₂-Erzeugung in (v.a. offshore) Windparks.**
- **Infrastrukturell** sind die Vorhaben in der Nordseeregion **am weitesten vorangeschritten** (Machbarkeitsstudien und Impact-Analysen liegen vor, Projekte befinden sich weitgehend in der Umsetzungsphase).
- Hier gibt es auch **Akteure mit Exportambitionen**, wie Dänemark, Schottland und Norwegen. **Allerdings wurden mehrere Projekte kürzlich gestoppt/verzögert.**

Das Pipeline-Projekt Norwegen – Deutschland wurde in 10/24 aus Kostengründen und unklarer verbindlicher Nachfrage gestoppt. Equinor möchte als Alternative blauen Wasserstoff in den Niederlanden produzieren und diesen von dort ins Kernnetz einspeisen.

Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Globaler Markt – Wasserstoffstrategien nehmen deutlich zu –
es fehlt aber häufig noch an Konkretionsgrad und Umsetzung

Aktuell haben 43 Länder konkrete Wasserstoffstrategien (Stand Ende 2023) –
davon 25 quantifizierte Ausbauziele für den Aufbau von Elektrolysekapazität (in Summe
108 bis 151 GW bis zum Jahr 2030) – **25 Länder haben dezidierte Exportpläne**



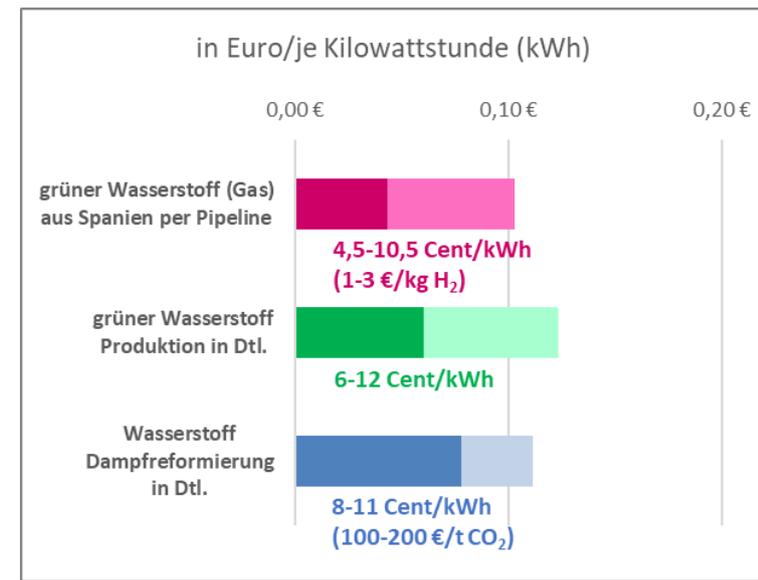
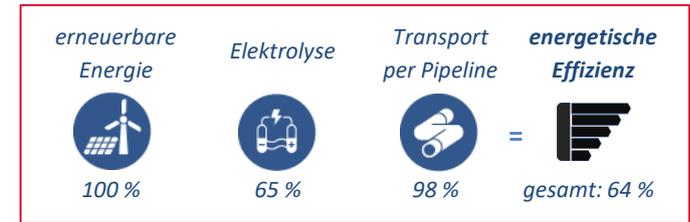
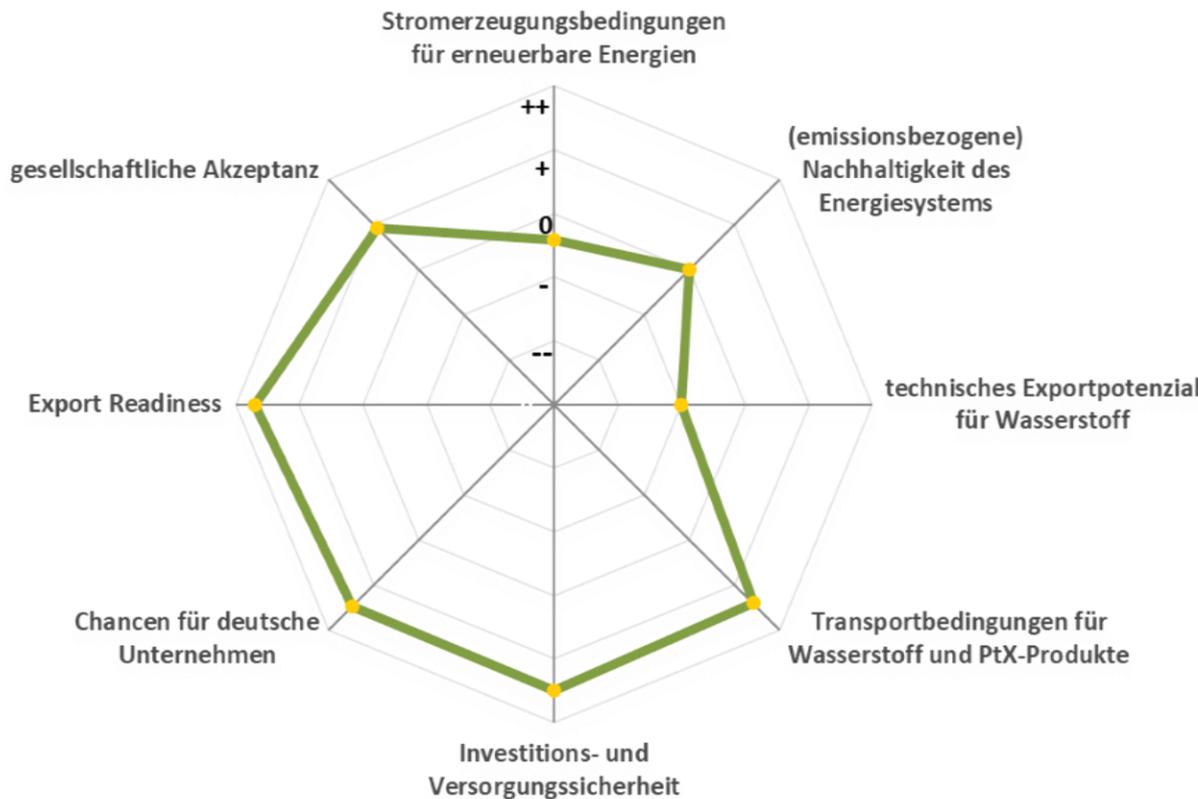
Auf- und Ausbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Mögliche Fokusregionen für den Export von Wasserstoff – Vielschichtigkeit erfordert ganzheitliche vergleichende Analyse



- Stärken- und Schwächenanalyse beispielhaft ausgewählter Länder, die illustrativ für potentielle Exportregionen stehen können – dient als erster Orientierungsrahmen, dem eine spezifische genauere Länderanalyse folgen muss

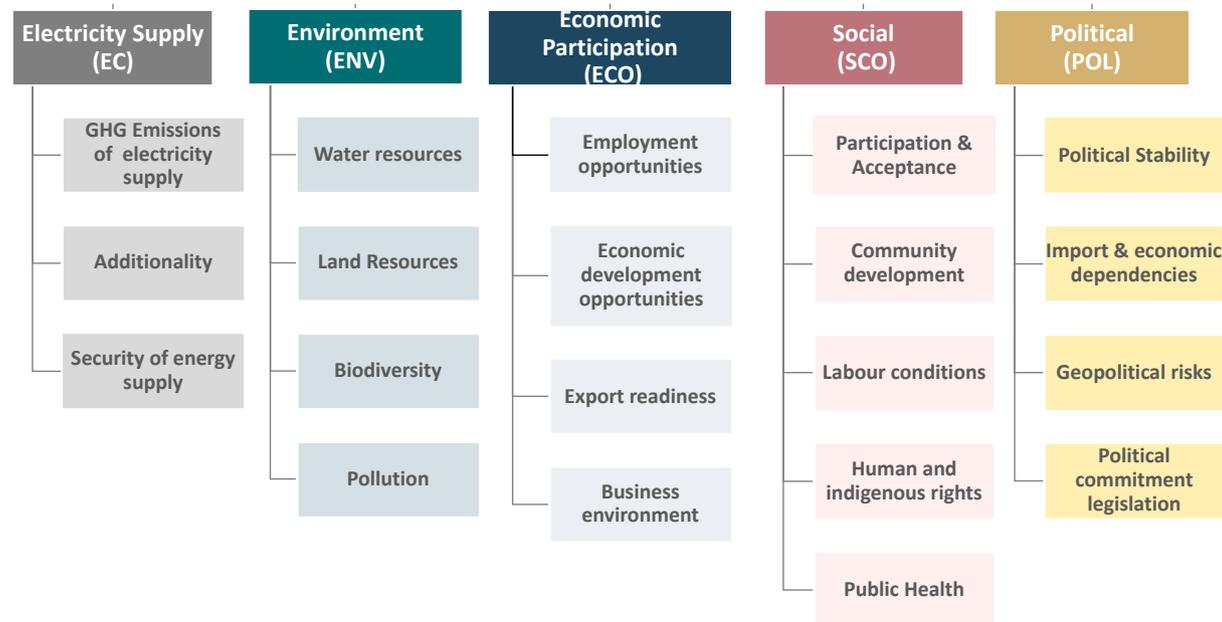
Beispiel Spanien – Druckwasserstoff per Pipeline von der Iberischen Halbinsel



Nachhaltigkeit: Welche Anforderungen werden gefordert und diskutiert?

Es existiert eine Vielzahl an Publikationen von Seiten Wissenschaft, NGOs und politischen Organisationen, die Nachhaltigkeitskriterien fordern und Kriterienkataloge vorschlagen (insb. aber nicht ausschließlich mit Blick auf Partnerschaften in Entwicklungsländer)

Bespiel: Pfaff, 2024 (Wuppertal Institut)

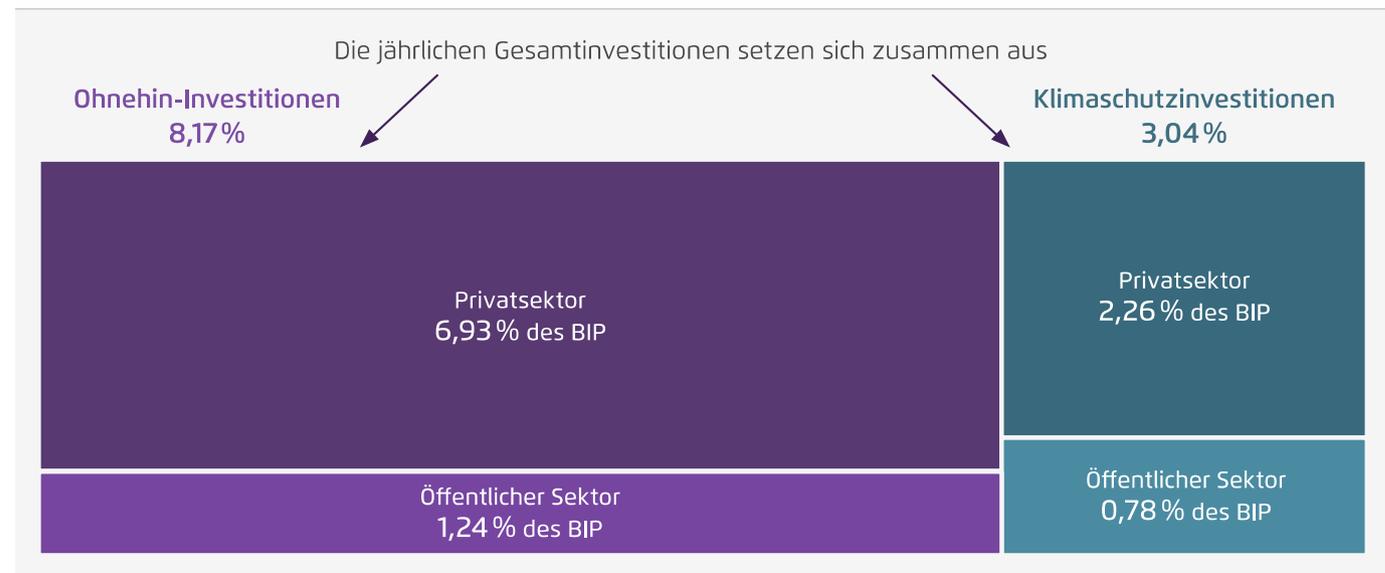


Aber: **Bislang gibt es kein einheitliches Zertifizierungssystem** und eine strategische Verankerung von klar definierten Nachhaltigkeitskriterien in die bestehenden politischen Instrumente ist nicht erfolgt.

Stattdessen wird zunehmend über eine Lockerung der bestehenden Anforderungen diskutiert

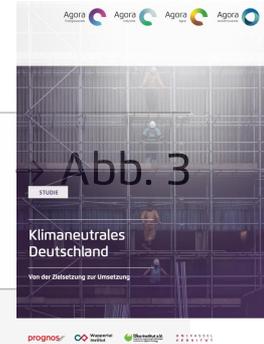
Zentral: Es braucht eine einheitliche Grundlage für nachhaltige Wasserstoffimporte, damit Marktakteure auf Anforderungen frühzeitig vorbereitet werden. Wenn Investoren verunsichert sind, ob sie zukünftige Anforderungen erfüllen können, wird dies den Markthochlauf bremsen.

Der Transformationspfad ist mit einem sehr hohen Investitionsbedarf über zwei Jahrzehnte verbunden – die Überwindung des Investitionsstaus der letzten zwei Jahrzehnte ist damit die zentrale Gestaltungsaufgabe



Die Transformation zur THG-Neutralität erfordert Zusatzinvestitionen in signifikanter Größenordnung

Das Investitionsvolumen liegt im Jahresdurchschnitt bei 11,2 Prozent
des Bruttoinlandsprodukts



Die jährlichen Gesamtinvestitionen setzen sich zusammen aus

Ohnehin-Investitionen
8,17%

Klimaschutzinvestitionen
3,04%



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024)

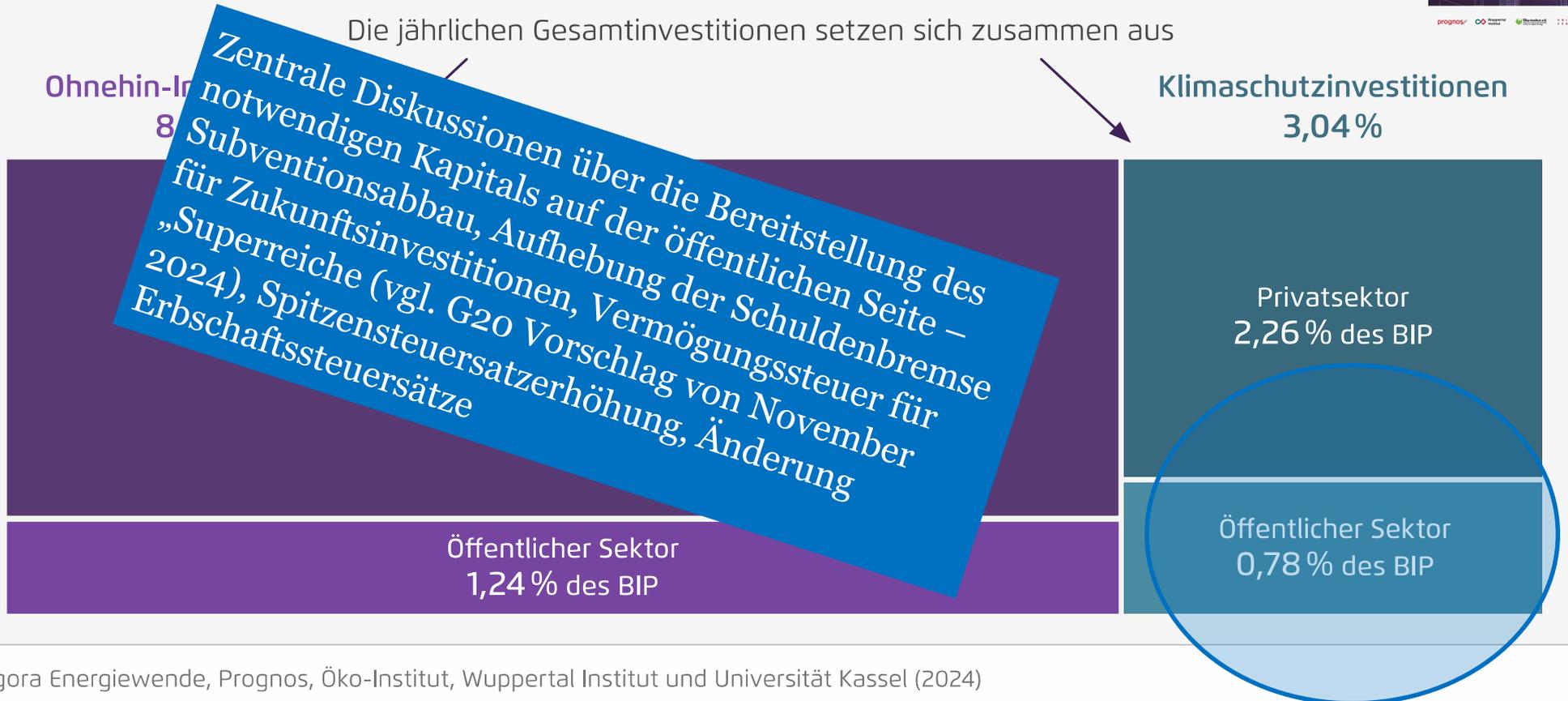
Die zusätzlich für den Klimaschutz nötigen Investitionen belaufen sich von 2025 bis 2045 auf rund 3 Prozent des BIP beziehungsweise auf 147 Milliarden Euro jährlich. Davon sind der Großteil private Investitionen; ein Viertel – rund 38 Milliarden – entfallen auf die öffentliche Hand

Die Transformation zur THG-Neutralität erfordert Zusatzinvestitionen in signifikanter Größenordnung

Das Investitionsvolumen liegt im Jahresdurchschnitt bei 11,2 Prozent
des Bruttoinlandsprodukts



Die jährlichen Gesamtinvestitionen setzen sich zusammen aus

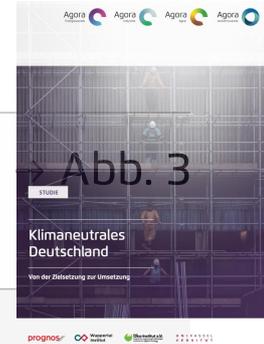


Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024)

Die zusätzlich für den Klimaschutz nötigen Investitionen belaufen sich von 2025 bis 2045 auf rund 3 Prozent des BIP beziehungsweise auf 147 Milliarden Euro jährlich. Davon sind der Großteil private Investitionen; ein Viertel – rund 38 Milliarden – entfallen auf die öffentliche Hand

Die Transformation zur THG-Neutralität erfordert Zusatzinvestitionen in signifikanter Größenordnung

Das Investitionsvolumen liegt im Jahresdurchschnitt bei 11,2 Prozent
des Bruttoinlandsprodukts



Die jährlichen Gesamtinvestitionen setzen sich zusammen aus

Ohnehin-Investitionen
8,17 %

Wichtig: Zusatzinvestitionen sind nicht (!)
Zusatzkosten – Einsparung durch Minder-
verbrauch fossiler Energieträger und positive
volkswirtschaftliche Effekte (Versorgungssicher-
heit, Innovations- und Beschäftigungsdynamik)
berücksichtigen

Klimaschutzinvestitionen
3,04 %

Privatsektor
2,26 % des BIP

Öffentlicher Sektor
0,78 % des BIP

Öffentlicher Sektor
1,24 % des BIP

Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024)

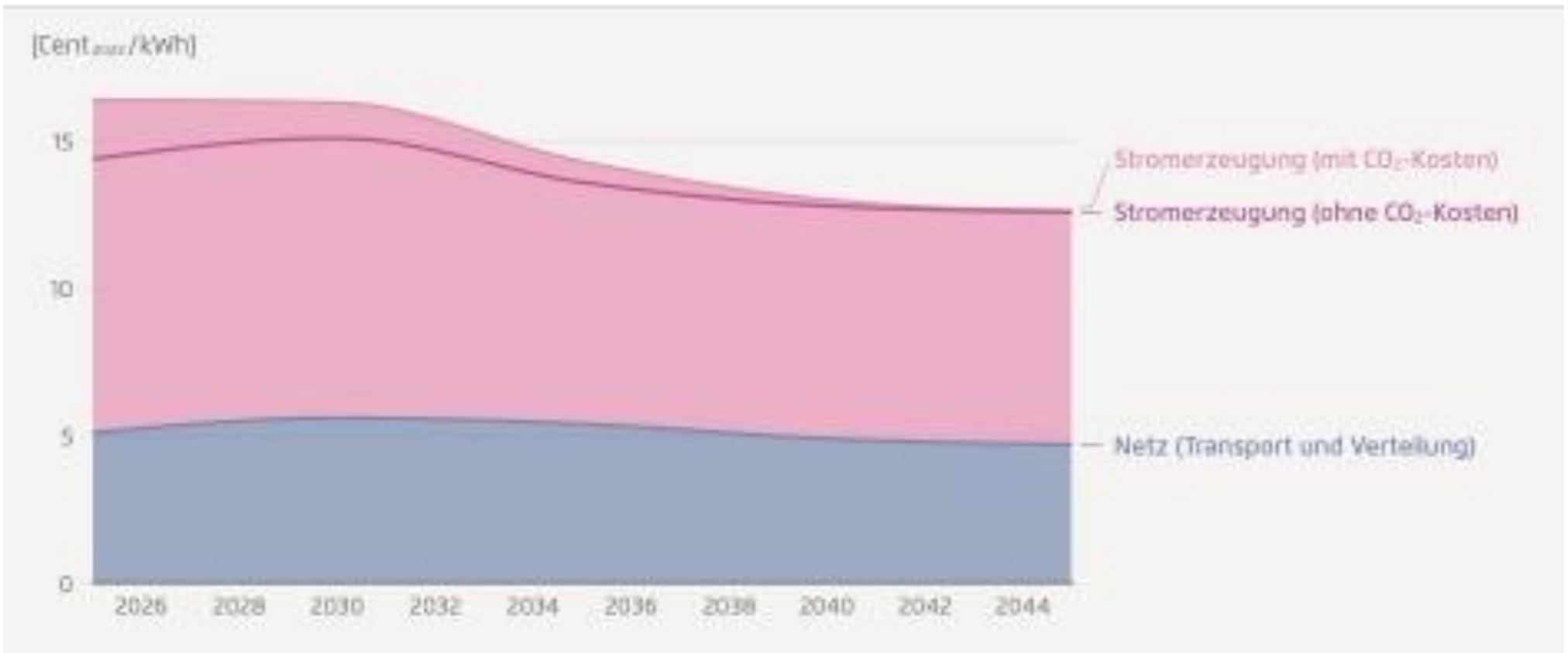
Die zusätzlich für den Klimaschutz nötigen Investitionen belaufen sich von 2025 bis 2045 auf rund 3 Prozent des BIP beziehungsweise auf 147 Milliarden Euro jährlich. Davon sind der Großteil private Investitionen; ein Viertel – rund 38 Milliarden – entfallen auf die öffentliche Hand

Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“

Positive Entwicklung der Stromkosten über den Zeitverlauf zu erwarten durch sinkende Kosten erneuerbarer Energien und Verteilung der Stromnetzkosten auf eine deutlich größere (ca. Faktor 2) Stromverbrauchsmenge



Spezifische Stromsystemkosten bis 2045



Agora Energiewende und Prognos (2024). H₂-Netzkosten sind anteilig in den Brennstoffkosten der Stromerzeugung enthalten.

Ausblick - Herausforderung Klimaschutz und Versorgungssicherheit ist vielschichtig und eine multi-dimensionale Gestaltungsaufgabe – Umsetzungsmut ist auf allen Ebenen gefragt

Herausforderung Klimaschutz und Versorgungssicherheit ist vielschichtig – multi-dimensionale Gestaltungsaufgabe

Umsetzungsmut ist auf allen Ebenen gefragt

- **Technologische Herausforderung** (z.B. Systemintegration volatiler erneuerbarer Energien)
- **Infrastrukturherausforderung** (Weiterentwicklung bestehender und Aufbau neuer Infrastrukturen: H₂, CO₂)
- **Marktliche Herausforderung** (Weiterentwicklung der Marktstrukturen und Anreizsysteme u.a. für Flexibilitätsmechanismen)
- **Ressourcenherausforderung** (Substitution oder Recycling von kritischen Rohstoffen)
- **Stakeholderherausforderung** (Überwindung von Beharrungskräften)
- **Politisch-/institutionelle Herausforderung** (Umsetzung der Ziele im politischen Mehrebenensystem)
- **Gesellschaftliche Herausforderung** (gesellschaftliche Akzeptanz, Teilhabe, Verteilungsgerechtigkeit, gesellschaftspolitischer Diskurs, Empowerment, positives, motivierendes Narrativ)
- **Innovationsherausforderung** (Verbindung von technischen und sozialen Innovationen zu Systemlösungen)
- **Zeitliche Herausforderung** (Gestaltung des Transformationsprozesses über Dekaden – Durchhaltevermögen – Überwindung von Zeitkonstanten)

Zeitkonstanten und Konflikte als zentrale Hemmnisse bei der Umsetzung der Klimaschutzziele

Mut zur Entscheidung gefordert – Resignation schlechter Ratgeber



WEITERE AUSSICHTEN ...

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit



Oktober 2024



Dezember 2024



Dezember 2024

- Szenariostudie zur Erreichung der deutschen Klimaschutzziele (im europäischen Kontext)
- Berücksichtigung und explizite, detaillierte Modellierung aller Sektoren einschließlich Landwirtschaft und LULUCF
- Methode: sektorale Modellierung und soft-coupling
- Herausarbeiten von detaillierten (technischen) Transformationspfaden