



## Aktuelle und zukünftige Rolle von Wasserstoff: eine Perspektive aus der Trilateralen Chemieregion

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt



Finanziert von der  
Europäischen Union  
NextGenerationEU

## Autorinnen und Autoren

Dr. Mariia Merko – DECHEMA e.V.

### Disclaimer

Die Regionalstudie wurde im Zeitraum vom 1. November 2023 bis zum 31. Dezember 2024 im Rahmen des TransHyDE-Projekts Systemanalyse durchgeführt.

Die Erarbeitung des Positionspapiers erfolgte durch eine ausgewählte Autorenschaft aus dem Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE. Die Inhalte der Autorenpublikation wurden unabhängig vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt erstellt und spiegeln nicht zwangsläufig die Meinung des gesamten Leitprojekts wider.

### Impressum

Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE

**cruh21 GmbH**  
Erste Brunnenstraße 1  
20459 Hamburg

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und  
Geothermie IEG  
Gulbener Straße 23  
03046 Cottbus

Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion  
Stiftstraße 34-36  
45470 Mülheim an der Ruhr


# Inhaltsverzeichnis

	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>S. 4</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>S. 5</b>
<b>1  </b>	<b>Einführung</b>	<b>S. 6</b>
<b>2  </b>	<b>Aktueller Stand</b>	<b>S. 8</b>
	2.1 Wertschöpfungsketten im Chemiesektor der TCR	S. 8
	2.2 Die Rolle des Wasserstoffs für die chemische Industrie in der TCR	S. 9
<b>3  </b>	<b>Zukunftsaussichten</b>	<b>S. 10</b>
	3.1 Zukünftige Rolle von Wasserstoff in der TCR	S. 10
	3.1.1 Politische Ziele	S. 10
	3.1.2 Perspektivische Wasserstoffnachfrage	S. 10
	3.1.3 Eigenproduktion von Wasserstoff	S. 11
	3.1.4 Wasserstoffimporte	S. 12
	3.2 Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur in der TCR	S. 13
<b>4  </b>	<b>Perspektive der Unternehmen</b>	<b>S. 16</b>
	4.1 Wasserstoff	S. 16
	4.2 Zirkuläre und biobasierte Rohstoffbasis	S. 18
<b>5  </b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>S. 20</b>
	<b>Anhang</b>	<b>S. 21</b>



# Abbildungsverzeichnis



1.1	Karte der trilateralen Chemieregion (dunkelgrün markiert) und Standorte der Grundstoffchemie. . . . .	6
1.2	Die Standorte der Grundstoffchemie in der TCR und die Produktionskapazitäten. . . . .	7
2.1	Darstellung von der für die chemische Industrie in der TCR wichtigen fossil-basierten Wertschöpfungsketten. . . .	8
2.2	Wasserstoffverbrauch in der trilateralen Chemieregion nach Regionen (links) und Sektoren (rechts) im Jahr 2023. Eigene Schätzung basierend auf Clean Hydrogen Monitor 2024, Hydrogen Europe. . . . .	9
3.1	Aktueller und zukünftiger Wasserstoffbedarf in Nordrhein-Westfalen (links) und Flandern (rechts). . . . .	11
3.2	Überblick über die angekündigten Wasserstoffprojekte in der TCR. . . . .	11
3.3	Prognostizierte Importe und eigene Produktionskapazitäten von grünem Wasserstoff und Derivaten (in TWh) im Hafen von Rotterdam. . . . .	12
3.4	Wasserstoffnetzwerk von Air Liquide in Nordrhein-Westfalen. . . . .	13
3.5	Zeitliche Entwicklung der ausgewählten Wasserstoff-relevanten Projekte in der TCR. . . . .	15
4.1	Die in den Interviews ermittelten Infrastrukturbedarfe. Dazu gehören der Anschluss an CO <sub>2</sub> - und H <sub>2</sub> -Pipelines und der Ausbau des Stromnetzes bzw. die Deckung des wachsenden Strombedarfs. . . . .	17
5.1	Positionierung der Unternehmen, die an den Interviews im Rahmen der Studie teilgenommen haben, entlang der Steamcracker-Wertschöpfungskette. . . . .	23





# Tabellenverzeichnis

3.1	Bestehende und geplante Wasserstoffpipelines in der TCR-Region: blau – bestehende Pipelines, orange – Pipelines im Bau, gelb– angekündigte Infrastrukturprojekte. . . . .	14
-----	---	----



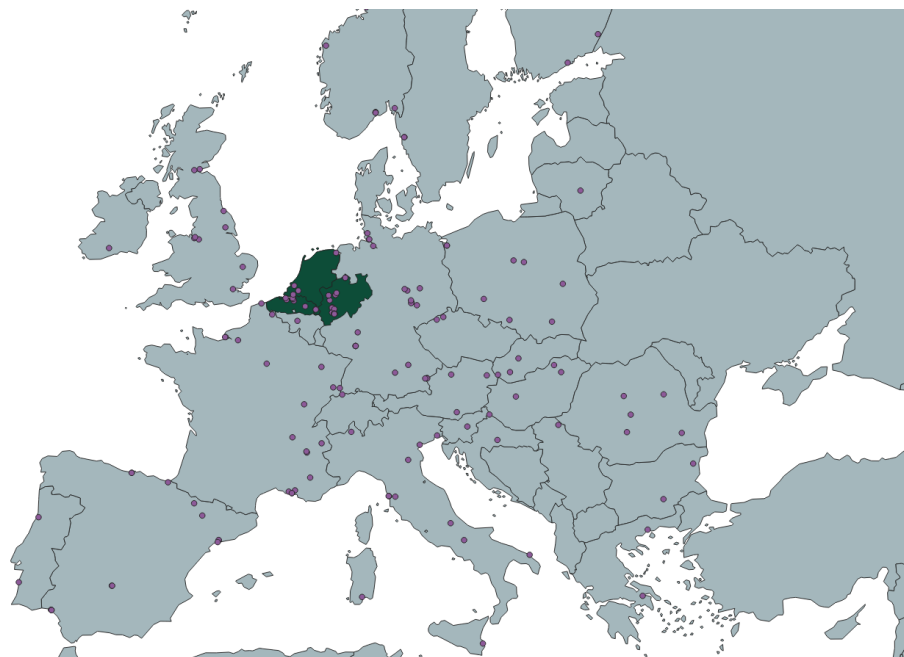
# 1

## Einführung

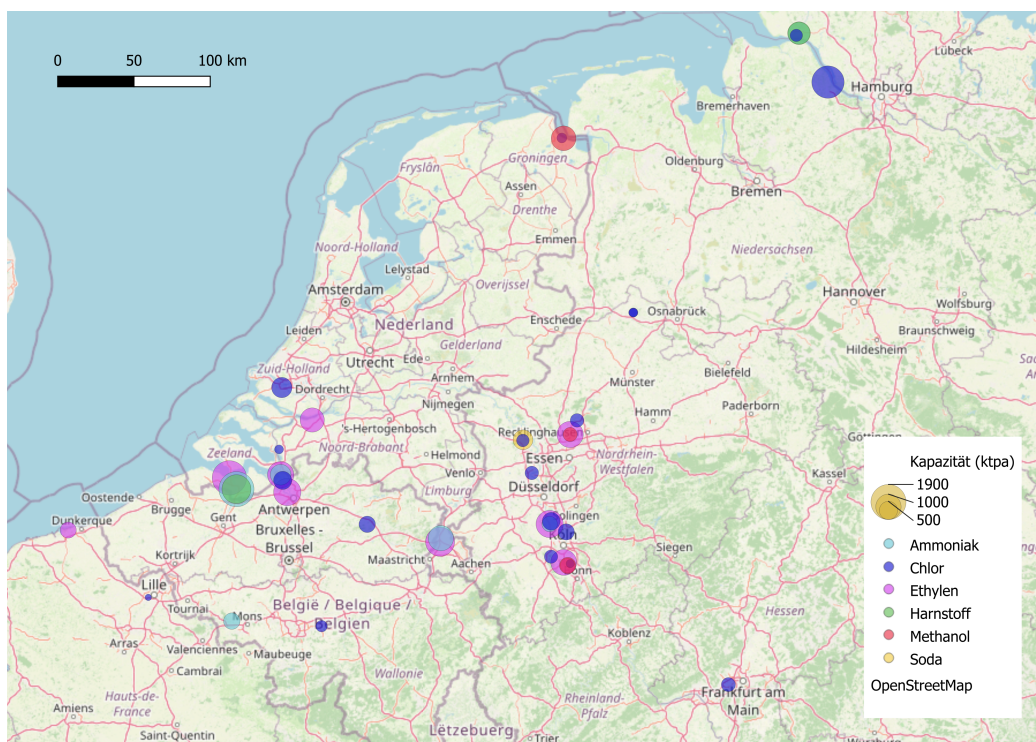
Die Trilaterale Chemieregion (TCR), welche sich in Flandern (Belgien), den Niederlanden und Nordrhein-Westfalen (Deutschland) befindet, ist der größte Chemiecluster Europas. Die Region ist von großer Bedeutung für die europäische chemische und petrochemische Industrie und zeichnet sich unter anderem durch eine hohe Dichte an energieintensiven Unternehmen der Grundstoffchemie aus (Abbildung 1.1). Auf nationaler Ebene spielen die im Cluster angesiedelten Unternehmen eine wichtige Rolle. So erwirtschaften beispielsweise die Unternehmen in Nordrhein-

Westfalen ein Drittel des Umsatzes der chemischen Industrie in Deutschland. [1] Alleine zwei Drittel des Umsatzes der chemischen Industrie und der Polymerindustrie in Belgien werden in Flandern erzielt. [2]

Zudem befinden sich die beiden größten Häfen Europas (der Hafen von Antwerpen-Brügge und der Hafen von Rotterdam) innerhalb dieser Region. Diese ermöglichen die Teilnahme am Welthandel, den Export der in der Region hergestellten Produkte und die Versorgung der Industrie mit Energieträgern und



**Abbildung 1.1.** Karte der trilateralen Chemieregion (dunkelgrün markiert) und Standorte der Grundstoffchemie. Eigene Darstellung auf Basis der hinterlegten Karten von GISCO (eurostat).



**Abbildung 1.2.** Die Standorte der Grundstoffchemie in der TCR und die Produktionskapazitäten. Eigene Darstellung auf Basis der hinterlegten Karten von ©OpenStreetMap contributors (<https://www.openstreetmap.org/copyright/en>).

Rohstoffen durch Importe. Darüber hinaus verfügt die Region über weitere logistische Vorteile, die auch grenzüberschreitende Transporte nahezu uneingeschränkt ermöglichen. Hierbei sind besonders die gut ausgebaute Binnenlogistik ins Hinterland mit Pipelines, Wasserstraßen, Straßen und Schienen zu nennen. Die langjährige Erfahrung der petrochemischen und chemischen Industrie, hochintegrierte Produktionsstandorte und eine hohe Bevölkerungsdichte machen die Region gleichzeitig auch für international tätige Unternehmen attraktiv. Insbesondere die hohe Bevölkerungsdichte gewährleistet einerseits die räumliche Nähe der Produktion zu potenziellen Abnehmern oder Endkunden und somit kürzere Transportwege. Andererseits ist aber auch eine hohe Fachkräfteverfügbarkeit gegeben, da sich eine Vielzahl an Universitäten und Ausbildungsstätten in der Region befinden.

Trotz dieser Standortvorteile stehen die Unternehmen der Region seit einigen Jahren vor großen Herausforderungen. Hohe Energiepreise und der Wettbewerb mit Produzenten aus anderen Ländern (allen voran China) setzen die Produktion an den Standorten zunehmend unter Druck. Gleichzeitig haben sich sowohl die Politik als auch die Industrie in der Region zum Ziel gesetzt, chemische Prozesse auf eine nachhaltigere Produktion umzustellen und Emissionen zu reduzieren. Dazu muss jedoch eine Reihe von politischen, finanziellen und technischen Hürden überwunden werden.

Der Einsatz von erneuerbarem und kohlenstoffarmem Wasserstoff wird als eine der Optionen auf dem Weg zu einer nachhaltigeren chemischen Industrie angesehen. Aufgrund der Größe und Bedeutung der TCR für die petrochemische und chemische Industrie Europas beeinflussen Entwicklungen in dieser Region, wie etwa eine Zu- oder Abnahme der Wasserstoffnachfrage, den Wasserstoffhochlauf in ganz Europa. Dies betrifft sowohl den Ausbau der Wasserstoffherstellungskapazitäten sowie die Planung der Wasserstoffinfrastruktur.

In dieser Regionalstudie, die im Rahmen des vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt geförderten Projektes TransHyDE (Teilprojekt Systemanalyse) durchgeführt wird, analysieren wir die aktuelle (Kapitel 2) und zukünftige

Rolle (Kapitel 3) von grünem Wasserstoff in der TCR. Das Ziel ist es, die Entwicklungen in der Region zusammenzufassen und die Trends der letzten Jahre im Bereich des emissionsarmen Wasserstoffes zu beschreiben. Dabei betrachten wir sowohl die veröffentlichten politischen Pläne (Abschnitt 3.1.1) als auch die Strategien und Aktivitäten der ansässigen Unternehmen mit dem Fokus auf die perspektivische Wasserstoffnachfrage (Abschnitt 3.1.2), Eigenproduktion in der Region (Abschnitt 3.1.3) und die geplanten Importe von Wasserstoff und seinen Derivaten (Abschnitt 3.1.4).

Da der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft untrennbar mit der Entwicklung der Infrastruktur verbunden ist, liegt ein besonderer Fokus unserer Analyse auf dem Fortschritt laufender Wasserstoffinfrastrukturprojekte (Abschnitt 3.2).

Die Studie wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Projekt *3lateral Chemical Region - Value Chain Structures (3C-VaCS)* durchgeführt. Im Projekt 3C-VaCS liegt der Schwerpunkt auf der Analyse aktueller und zukünftiger Wertschöpfungsketten, an der die Partner TNO (Niederlande) und VITO/EnergyVille (Flandern) und DECHEMA bis Ende 2025 arbeiten. Im Austausch mit dem Projekt 3C-VaCS wurde die Perspektive der Unternehmen auf die Nutzung von Wasserstoff aber auch auf andere Transformationspfade zusammengetragen. Kapitel 4 dieses Berichts fasst die ermittelten Informationen aus den Firmeninterviews zusammen.

# 2

## Aktueller Stand

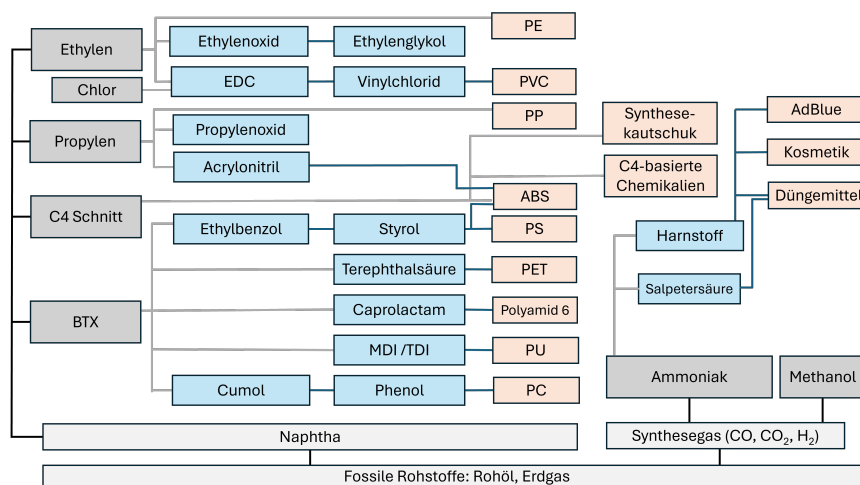
### 2.1. Wertschöpfungsketten im Chemiesektor der TCR

Die chemische Industrie in der Region ist breit gefächert und umfasst Unternehmen an verschiedenen Stellen der Wertschöpfungskette. Im Rahmen der Studie wurde vor allem die Wertschöpfungskette, die sich aus der Olefinproduktion der Steamcracker fortsetzt, als für die Region wichtig identifiziert. Kriterien hierfür waren sowohl die Wertschöpfung als auch die damit verbundenen hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Letzteres weist auf einen hohen Transformationsbedarf hin. Diese Wertschöpfungskette

ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

Die Produkte aus dem Steamcracker bilden die Grundlage für die Herstellung von Polymeren (z. B. Polyethylen, Polypropylen, Polyvinylchlorid) sowie weiterer Stoffe wie Spezialchemikalien und Kautschuk auf Basis des C4-Cracker-Schnitts (Buten, Butadien).

Daneben spielt die Ammoniak-Wertschöpfungskette, die auch kurz in Abbildung 2.1 dargestellt ist, eine wichtige Rolle in der Region. Sie ist stark von Veränderungen in der Wasserstoffproduktion sowie von der Entwicklung der Rolle von Ammoniak als Wasserstoffträger und Kraftstoff für die Schifffahrt betroffen.



**Abbildung 2.1.** Darstellung von der für die chemische Industrie in der TCR wichtigen fossil-basierten Wertschöpfungsketten. Rohstoffe und Basischemikalien sind in grau, Zwischenprodukte in blau und Polymere und andere Downstream-Produkte in rot dargestellt. Abkürzungen: BTX - Benzol, Toluol, Xylol; EDC – 1,2-Dichlorethan; PE - Polyethylen, PVC – Polyvinylchlorid; PP - Polypropylen; ABS – Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer; PS – Polystyrol; PET – Polyethylenterephthalat; PU – Polyurethan; PC - Polycarbonat. Die Präsentation wurde in Austausch mit dem Projekt 3C-VaCS und auf Basis der GreenFeed-Studie [3] des Wuppertal Instituts erstellt.

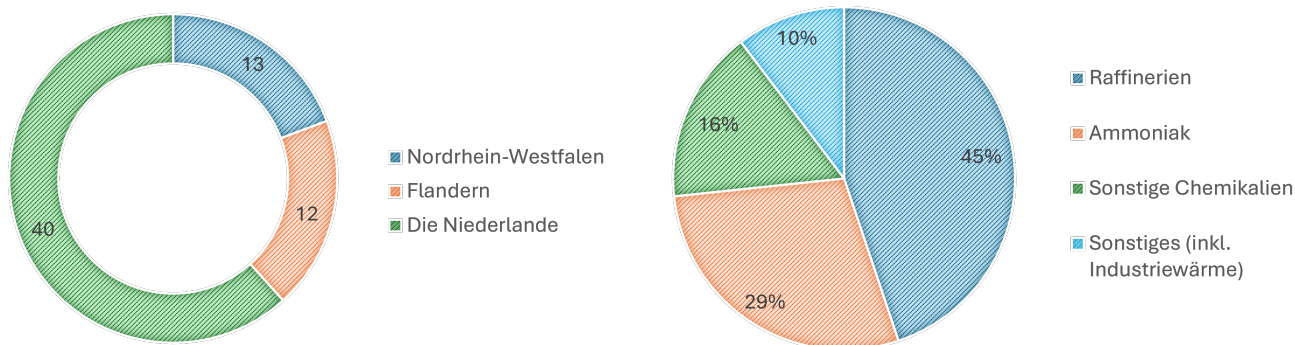


Abbildung 2.2. Wasserstoffverbrauch in der trilateralen Chemieregion nach Regionen (links) und Sektoren (rechts) im Jahr 2023. Eigene Schätzung basierend auf Clean Hydrogen Monitor 2024, Hydrogen Europe. [5]

## 2.2. Die Rolle des Wasserstoffs für die chemische Industrie in der TCR

Die hoch entwickelte chemische und petrochemische Industrie in der TCR sorgt dafür, dass in allen drei Regionen bereits große Mengen Wasserstoff produziert und verbraucht werden (Abbildung 2.2). Hauptverbraucher sind Raffinerien (45 %), Ammoniakproduzenten (29 %) und die sonstige chemische Industrie (16 %). Der erzeugte Wasserstoff wird derzeit vorwiegend stofflich genutzt, z. B. für die Herstellung von Ammoniak und Methanol, sowie für Hydrotreating zur Entschwefelung und Hydrocracking-Prozesse in Raffinerien. Dabei basiert die Herstellungsrouten für Wasserstoff derzeit zum Großteil auf fossilen Rohstoffen. Wasserstoff wird entweder gezielt aus Erdgas bei der Dampfreformierung hergestellt oder fällt als Nebenprodukt der Rohölverarbeitung an. Außerdem wird Wasserstoff in geringeren Mengen als Nebenprodukt der Chlorherstellung oder anderer Prozesse wie der Propan-Dehydrierung von Unternehmen in der Region erzeugt. Die Wasserstoffimporte nach NRW betragen im Jahr 2023 lediglich 374 Tonnen [4], was einem Wert von ca. 0,012 TWh/a (ca. 0,1 % des Gesamtbedarfs) entspricht. 85 % dieser Menge wurden aus den Niederlanden importiert. Auch die exportierte Wasserstoffmenge aus NRW lag 2023 mit 354 Tonnen [4] in einem ähnlichen Bereich. Hieraus zeigt sich, dass die Erzeugung aktuell lokal erfolgt. Wenn grauer Wasserstoff durch grünen ersetzt werden soll und Prozesse zusätzlich auf Wasserstoff als nachhaltige Energiequelle umgestellt werden, wird sich dieses aktuelle Verhältnis deutlich ändern. Die aktuell lokal gewährleistete Versorgung würde sich zu einer starken Abhängigkeit auf Importe von Wasserstoff und Wasserstoff-Derivate umkehren.

# 3

## Zukunftsaussichten

### 3.1. Zukünftige Rolle von Wasserstoff in der TCR

#### 3.1.1. Politische Ziele

In den vergangenen Jahren haben alle drei Länder in der TCR die folgenden für den Wasserstoff-Hochlauf relevanten Dokumente veröffentlicht:

- **Deutschland:** Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate [6] (Juli 2024), Nationale Wasserstoffstrategie [7, 8] (Juni 2020, Fortschreibung in Juli 2023). Das Land Nordrhein-Westfalen hat darüber hinaus ein separates Wasserstoff-Importkonzept [1] (Juli 2024), das Neun-Punkte-Papier für einen erfolgreichen Wasserstoff-Hochlauf [9] (August 2024) und die Wasserstoff-Roadmap [10] (Oktober 2020) veröffentlicht.
- **Belgien:** Federal Hydrogen Vision and Strategy (Oktober 2021, Update in Oktober 2022). [11]
- **Die Niederlande:** Government Strategy on Hydrogen (April 2020). [12]

Folgende Punkte sind in den Wasserstoffstrategien aller drei Länder enthalten:

1. Eine wesentliche Erhöhung des Wasserstoffbedarfes wird bis zum Jahr 2050 in der Region erwartet.
2. Die Eigenproduktion von Wasserstoff wird gefördert. Es wird jedoch anerkannt, dass dies nur in begrenztem Umfang möglich sein wird.

3. Es wird mit hohen Importmengen von Wasserstoff und seinen Derivaten gerechnet, und die kritische Rolle dieser Importe ist erkannt worden.
4. Die Schlüsselrolle der Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur wurde anerkannt.
5. Die internationale Zusammenarbeit wird eine entscheidende Rolle für den Wasserstoffhochlauf spielen.
6. Forschung und Entwicklung zu Themen, die für Wasserstoffproduktion und -anwendung relevant sind, sollen in der Region gestärkt werden.

#### 3.1.2. Perspektivische Wasserstoffnachfrage

Gemäß den veröffentlichten Strategien wird ein steigender Wasserstoffverbrauch erwartet, insbesondere durch die Nutzung von Wasserstoff und seinen Derivaten zur Emissionsminderung in verschiedenen Sektoren. Dazu zählen energieintensive Industrien wie die Stahl- und chemische Industrie, der Energiesektor (Rückverstromung) sowie der Mobilitätssektor, insbesondere Schifffahrt, Flugverkehr und Schwerlastverkehr.

Abbildung 3.1 zeigt den prognostizierten Wasserstoffbedarf in NRW und Flandern basierend auf offiziellen Strategien im Vergleich zu den aktuell verfügbaren Mengen. Bereits bis 2030 wird eine Verdopplung des Wasserstoffbedarfs in NRW erwartet, wovon voraussichtlich 50-70 % durch Importe gedeckt werden müssen. Bis 2045 könnte der Bedarf sogar mindestens das Zehnfache des heutigen Werts erreichen. Auch in Flandern ist ein deutlicher Anstieg zu erwarten – dort wird der Wasserstoffbedarf im Jahr 2050 voraussichtlich siebenmal so hoch sein wie 2023.

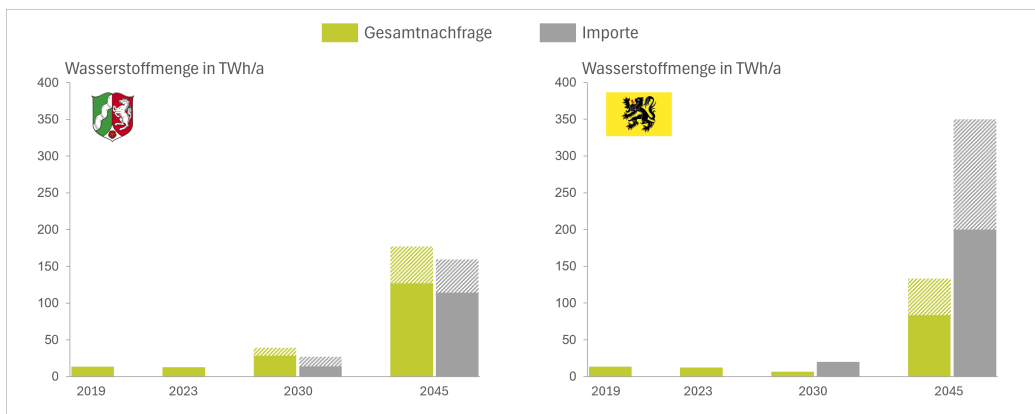


Abbildung 3.1. Aktueller und zukünftiger Wasserstoffbedarf in Nordrhein-Westfalen (links) und Flandern (rechts). Eigene Darstellung mit Daten aus [1, 5, 8, 11, 13].

Die Wasserstoffstrategie der Niederlande enthält keine konkreten Schätzungen zum zukünftigen Wasserstoffbedarf im Land. Allerdings zeigt eine Analyse verschiedener Szenarien, die von der niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (TNO) durchgeführt wurde, dass der Wasserstoffbedarf in allen betrachteten Szenarien tendenziell steigt. Im Jahr 2050 wird dieser durchschnittlich auf etwa 140 TWh geschätzt [15], was etwa dem 3,5-fachen des aktuellen Bedarfs in den Niederlanden entspricht.

Der steigende Wasserstoffbedarf kann auf zwei Arten gedeckt werden: durch die regionale Erzeugung von kohlenstoffarmem Wasserstoff oder durch Importe. Beide Aspekte werden in den folgenden Abschnitten näher beleuchtet.

### 3.1.3. Eigenproduktion von Wasserstoff

Für die Eigenproduktion setzen die Länder sowohl auf grünen Wasserstoff, der mittels Wasserelektrolyse gewonnen wird, als auch auf kohlenstoffarmen Wasserstoff aus fossilen Rohstoffen unter Einsatz von Kohlenstoffspeicherung (CCS). Dabei zeigen sich jedoch einige regionale Unterschiede.

Das Land NRW unterstützt Elektrolyseprojekte und betont die Notwendigkeit, die dezentrale Wasserstoffproduktion auszubauen – insbesondere für Standorte, die in den kommenden Jahren keinen Anschluss an das Wasserstoffnetz erhalten werden. Die Wasserstoff-Roadmap des Landes, die auf einer Studie des Forschungszentrum Jülich [16] basiert, prognostiziert für 2050 eine eigene Wasserstoffproduktion von 18 TWh. Die Roadmap hebt zudem hervor, dass blauer Wasserstoff als Übergangslösung dienen kann, ohne die erwarteten Produktions-

zahlen zu nennen. CCUS-Technologien sind auch in der Carbon-Management-Strategie von NRW berücksichtigt. [17] Allerdings fehlen in Deutschland bislang die gesetzlichen Grundlagen für die Eigenproduktion von blauem Wasserstoff – insbesondere das Kohlendioxid-Speicherungsgesetz sowie die Ratifizierung des Londoner Protokolls sind hier entscheidende Hürden.

Im Gegensatz dazu zeigen die Entwicklungen in den Niederlanden und Belgien eine höhere Akzeptanz von blauem Wasserstoff als Bestandteil der industriellen Transformation. Dies spiegelt sich auch in der Anzahl der gemeldeten Projekte zur Wasserstoffherzeugung mit CCUS wider (Abbildung 3.2). Zudem wird aus der Abbildung ersichtlich, dass die Niederlande deutlich mehr Projekte zur Eigenproduktion von Wasserstoff gemeldet haben als Flandern oder Nordrhein-Westfalen. Dies hängt maßgeblich mit den Plänen zusammen, das vorhandene Offshore-Windpotenzial für die Wasserstoffproduktion zu nutzen. Die offizielle Wasserstoffstrategie der Niederlande sieht vor, bis 2025 eine Elektrolysekapazität von 500 MW und bis 2030 insgesamt zwischen 3 und 4 GW aufzubauen.

Bemerkenswert ist, dass die belgische Strategie einen stärkeren Fokus auf die Elektrifizierung und den Ausbau der Kapazitäten für erneuerbare Stromerzeugung legt, während der Ausbau der Elektrolysekapazitäten weniger im Mittelpunkt steht. Strategisches Ziel der nationalen Vision ist der Ausbau der Elektrolyse auf 150 MW bis 2026, vor allem aber für die Weiterentwicklung des Know-hows im Land. Gleichzeitig hat der *Waterstof Industrie Cluster*, eine Partnerschaft der Industrieunternehmen, in seiner eigenen Roadmap vom 7. Dezember 2020 ein ambitionierteres Ziel formuliert: Bis 2025 sollen 200 MW Elektrolysekapazität und bis 2030 sogar 500 MW erreicht wer-

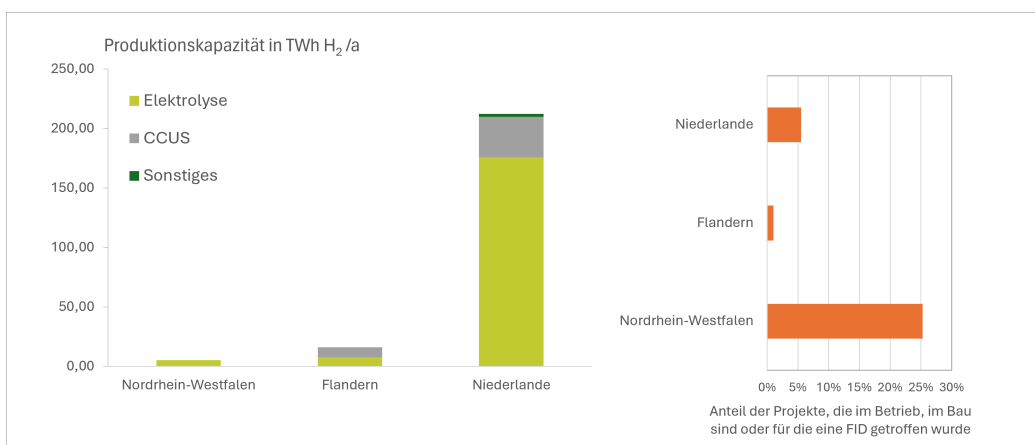


Abbildung 3.2. Überblick über die angekündigten Wasserstoffprojekte in der TCR. Links: Gesamte angekündigte Wasserstoffproduktionskapazität. Rechts: Anteil der angekündigten Projekte, die sich bereits in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium befinden – d. h. entweder in Betrieb sind, sich im Bau befinden oder eine endgültige FID erreicht haben. Eigene Darstellung mit Daten aus IEA Hydrogen Production Projects Database [14]

den. [18] Ähnlich wie in den Niederlanden wurde CCS als ein wichtiger Ansatz identifiziert, um Emissionen schneller zu reduzieren und den Übergang zu einer klimaneutralen Produktion zu ermöglichen. Während in den Niederlanden nur etwa 20 % der angekündigten Projekte auf CCS setzen, ist der Anteil in Flandern etwa 50 %. Da das Gesamtvolumen der niederländischen Projekte aber auch ca. ein 10-faches der aktuell in Belgien angekündigten ist, sind die niederländischen CCS-Projekte in der Gesamtheit größer.

Es muss betont werden, dass in allen Ländern der Anteil der angekündigten Projekte, die sich bereits im Betrieb, im Bau oder in der FID-Phase befinden, unter 30 % liegt. Für die Niederlande und Flandern ist dieser Anteil sogar unter 10 %. Diese Tatsache führt zu erheblicher Unsicherheit hinsichtlich der Realisierbarkeit der teilweise ambitionierten Pläne von Regierungen und Unternehmen.

### 3.1.4. Wasserstoffimporte

Da die Kapazität zur Eigenerzeugung von Wasserstoff in der Region auch in Zukunft stark begrenzt bleiben wird und zudem die hohen Energiepreise die Gestehungskosten von grünem Wasserstoff beeinflussen, wird der Import von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten voraussichtlich eine immer größere Rolle spielen. Das Wasserstoff-Importkonzept für NRW sieht vor, dass bis 2045 mehr als 90 % des Wasserstoffbedarfs durch Importe gedeckt werden (vgl. Abbildung 3.1). Aus diesem Grund strebt das Land NRW bereits jetzt an, sich als attraktiver Absatzmarkt für Wasserstoff und Derivate zu positionieren.

Gleichzeitig haben auch die Niederlande und Belgien aufgrund ihrer geographischen Lage die Ambition, sich als Import- und Transithubs für den internationalen Wasserstoffhandel zu etablieren. Wie Abbildung 3.1 zeigt, dürfte Flandern im Gegensatz zu NRW mehr Wasserstoff importieren, als für den Eigenbedarf benötigt wird, was insbesondere auf die geographische Lage und den Zugang zum Hafen Antwerpen-Brügge zurückzuführen ist. Damit würde Belgien zu einem strategisch wichtigen

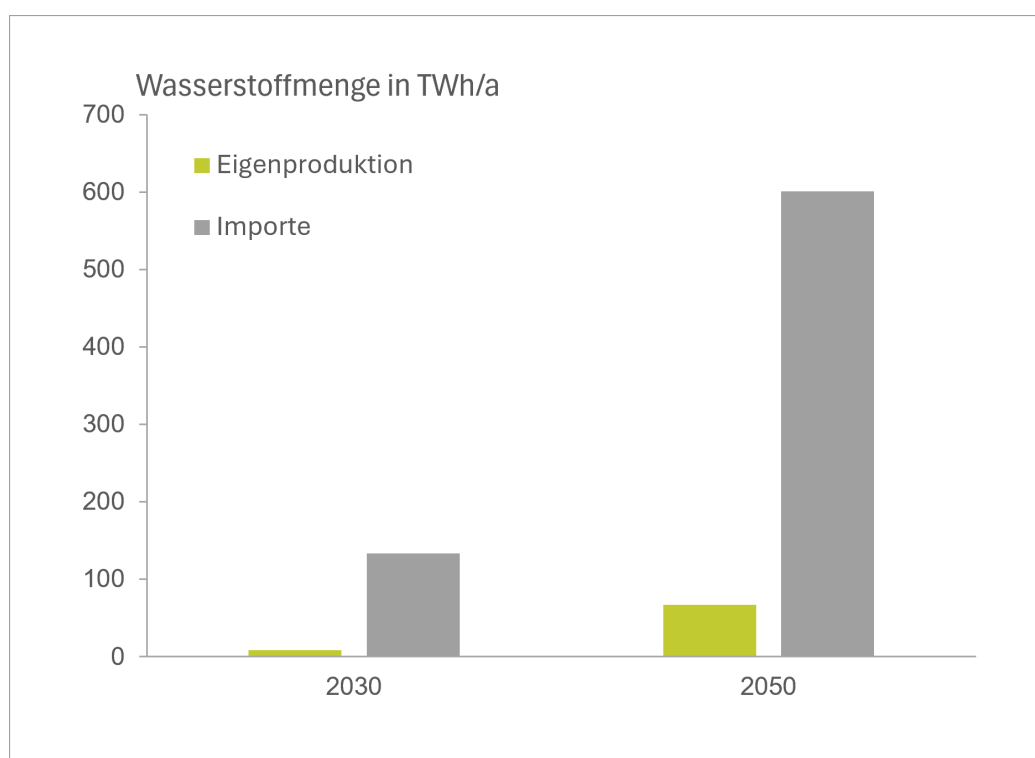
Transitland in der Region. Der Hafen von Rotterdam wird auch eine entscheidende Rolle für Wasserstoffimporte spielen. Weitere niederländische Häfen, wie der Hafen von Amsterdam und der Hafen von Eemshaven, planen ebenfalls, in den Import und die Erzeugung von Wasserstoff sowie in Infrastrukturprojekte zu investieren. Dieser Wandel der Energieträgerimporte betrifft auch weitere europäische Seehäfen. Dies wurde in einer separaten Studie im Rahmen des Projektes TransHyDE-Systemanalyse untersucht. [22]

Abbildung 3.3 zeigt am Beispiel des Hafens von Rotterdam die erwarteten Importmengen von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten. Der importierte Wasserstoff wird vor Ort von Unternehmen genutzt. Ein weiterer wichtiger Verbraucher von Wasserstoff und Derivaten, mit dem der Hafen von Rotterdam rechnet, ist die Schifffahrt, für die sich der Hafen von Rotterdam als Clean Refueling Hub positionieren möchte. [23] Gleichzeitig plant der Hafen, den Großteil der Importe zu verwenden, um den Bedarf der Nachbarländer, insbesondere Deutschlands, zu decken. [19] Bereits ab 2025 werden Importe nach Rotterdam erwartet, und der Hafen plant, sich auf alle Wasserstoffträger vorzubereiten. Dazu gehören Ammoniak, Methanol, aber auch LOHC, flüssiger Wasserstoff und Feststoffe (wie z. B.  $\text{NaBH}_4$ ). Für diese sind die erforderlichen Terminals entweder bereits vorhanden oder die Machbarkeitsstudien laufen. [24]

Auch der Hafen Antwerpen-Brügge erwartet, dass im Jahr 2030 eine größere Menge von 30 bis 50 TWh an Wasserstoff und Wasserstoffderivaten durch Importe verfügbar sein wird. [25, 26]

Die in der Region geplanten Importrouten umfassen Pipeline-Importe aus der Nordsee sowie aus dem Süden (Südeuropa und Nordafrika) und Schiffsimporte aus weiter entfernten Ländern. Letztere werden eine entscheidende Rolle spielen, solange die Pipeline-Infrastruktur und größere Wasserstoffherstellungsprojekte in Europa noch nicht in Betrieb sind.

Um die große Aufgabe der Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft zu meistern, wird in den Strategien aller Länder die Bedeutung einer engen Zusammenarbeit zwischen den Niederlanden, Belgien und Deutschland sowie den anderen Nordseeanrai-



**Abbildung 3.3.** Prognostizierte Importe und eigene Produktionskapazitäten von grünem Wasserstoff und Derivaten (in TWh) im Hafen von Rotterdam. Eigene Darstellung mit Daten aus [19–21]

nerstaaten betont. Ein Beispiel für die Kooperationsbereitschaft in der Region sind zwei Absichtserklärungen, die im November 2023 zwischen Deutschland und den Niederlanden unterzeichnet wurden. [27] Die erste bezieht sich auf die Zusammenarbeit im Energiebereich und im Bereich der Wasserstoffinfrastruktur. Die zweite betrifft Wasserstoffimporte im Rahmen der gemeinsamen Ausschreibung H2Global. Die ersten Ergebnisse dieser Ausschreibung sehen vor, dass zwischen 2027 und 2032 mindestens 259 kt grünes Ammoniak (entspricht ca. 1,5 TWh Wasserstoff, ohne Verluste) per Schiff von Ägypten nach Deutschland durch das Unternehmen Fertiglobe geliefert werden. [28] Diese Lieferungen werden über den Hafen von Rotterdam erfolgen, wobei die Gesamtliefermenge 397 kt (entspricht ca. 2,3 TWh Wasserstoff, ohne Verluste) betragen soll. [29]

Die Bedeutung breiter Partnerschaften mit Ländern außerhalb Europas wird in den Strategien der Länder hervorgehoben, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und einseitige Energieabhängigkeiten zu vermeiden. Absichtserklärungen zum Import von Wasserstoffderivaten wurden bereits zwischen Nordrhein-Westfalen und den Vereinigten Arabischen Emiraten [30] sowie zwischen Belgien, dem Oman und Chile unterzeichnet. [31, 32]

### 3.2. Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur in der TCR

Eine gut ausgebaute Infrastruktur ist ein entscheidender Faktor für die Transformation der chemischen Industrie und den erfolgreichen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft. Für die Region ist sie die Voraussetzung, um die Importterminals in Flandern und in den Niederlanden mit den Verbrauchszentren im Hinterland zu verbinden. Dadurch wird die Versorgungssicherheit sowie eine effiziente Abnahme der importierten Produkte gewährleistet.

Angesichts der erwarteten großen Mengen an Wasserstoff und seinen Derivaten, die in den Häfen ankommen sollen, wird der Transport über Pipelines unverzichtbar sein.

Das Thema Wasserstoffpipelines ist in der Region nicht neu. In NRW existiert bereits seit 1938 ein privat betriebenes Wasserstoffnetz von Air Liquide im Rhein-Ruhr-Gebiet. Mit einer Länge von 240 km ist es das größte Wasserstoffnetz Deutschlands. [10] Auch in Belgien betreibt Air Liquide ein Wasserstoffpipelinesystem. [11] Gemeinsam mit den Niederlanden und Frankreich verfügt Belgien bereits über mehr als 1000 km Wasserstoffpipelines (siehe Abbildung 3.4). [34] In den Niederlanden haben sowohl Air Liquide als auch Air Products eigene Wasserstoffpipelines, um ihre Kunden zu versorgen. [35]

Um die künftig hohe Wasserstoffnachfrage in den neu entstehenden Verbrauchszentren decken zu können, ist der weitere Ausbau der Wasserstoffnetze unverzichtbar. In allen drei Regionen wurden bereits entsprechende Pläne von Regierungen und Fernleitungsgasnetzbetreiber veröffentlicht, wobei der Detailgrad je nach Land variiert. In Deutschland wurde 2024 auf staatlicher Ebene ein Wasserstoff-Kernnetz genehmigt. Es wird zu etwa 60 % aus umgewidmeten Erdgasleitungen bestehen und soll Produktions- und Verbrauchsstandorte sowie Speicheranlagen miteinander verbinden. Geplant ist, dass das Netz schrittweise zwischen 2025 und 2032 in Betrieb genommen wird. Das Projekt GetH2 Nukleus, das teilweise in Nordrhein-Westfalen liegt, dient in diesem Fall als einer der Startpunkte des Wasserstoffnetzes in Deutschland.

Auch in den Niederlanden gibt es konkrete Pläne für den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur. Der Grundstein für das Hynetwork (das niederländische Wasserstoff-Kernnetz) wurde bereits im Hafen von Rotterdam gelegt. [20] Laut den Plänen des Übertragungsnetzbetreibers Gasunie werden etwa 85 % des nationalen Wasserstoffnetzes durch den Umbau der bestehenden Erdgasinfrastruktur entstehen. [36] Der Abschluss der Bauar-

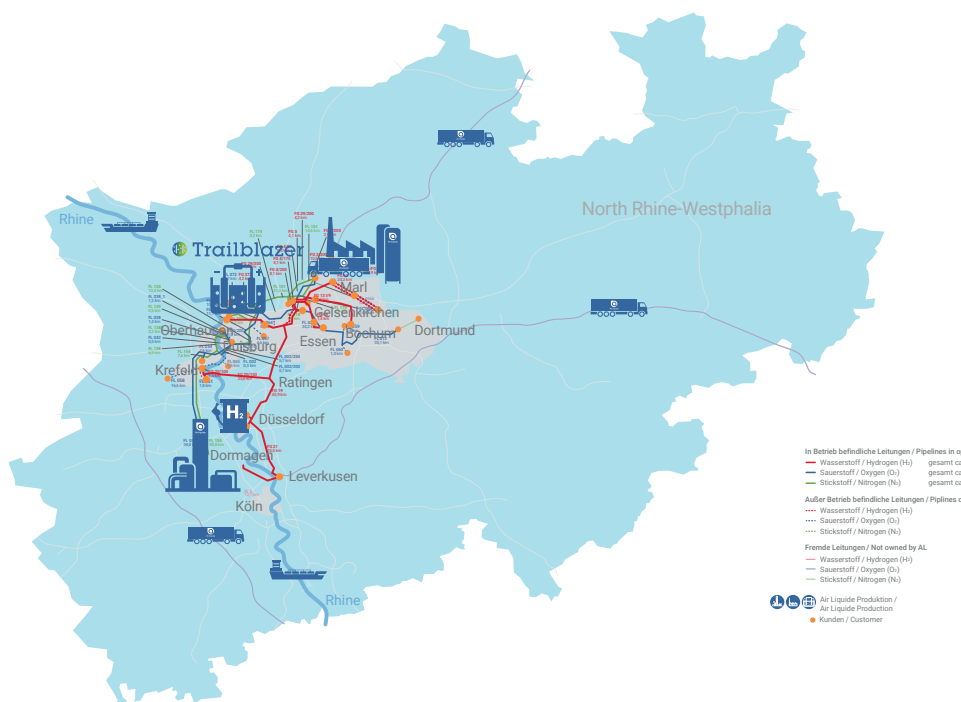


Abbildung 3.4. Wasserstoffnetzwerk von Air Liquide in Nordrhein-Westfalen [33]; © Air Liquide.

beiten ist derzeit für 2033 geplant. [37] Parallel dazu arbeitet Gasunie auch an der Entwicklung einer CO<sub>2</sub>-Infrastruktur.

In Belgien hat der Fernleitungsnetzbetreiber Fluxys ebenfalls Pläne für den Aufbau einer Wasserstoff- und CO<sub>2</sub>-Infrastruktur veröffentlicht. Tabelle 3.1 fasst die bestehende und die geplanten Wasserstoffleitungen zusammen.

In der geplanten Wasserstoffinfrastruktur in der TCR-Region wird es mehrere Grenzübergänge geben. Laut einer Absichtserklärung zwischen den Niederlanden und Deutschland sollen bis 2032 vier grenzüberschreitende Wasserstoffpipelines mit entsprechenden Übergangspunkten entstehen. [27] Zwei dieser Pipelines werden über die niederländische Grenze mit Nordrhein-Westfalen liegen. Ein prominentes Beispiel für internationale Infrastrukturprojekte in der Region ist der Delta Rhine Corridor. Dieses Projekt umfasst den Bau von CO<sub>2</sub>- und Wasserstoffpipelines und soll die Industriecluster in den Niederlanden mit dem Ruhrgebiet verbinden. [20] Das Projekt hat bereits die Unterstützung des niederländischen Parlaments erhalten und soll nach aktueller Planung bis 2032-2033 realisiert werden. [47]

Zudem ist ein Grenzübergang zwischen dem belgischen und dem deutschen Wasserstoffnetz in Nordrhein-Westfalen geplant.

Außerdem plant die Firma Fluxys den Hafen von Antwerpen-Brügge mit der Wasserstoffpipeline von Gasunie in den Niederlanden zu verbinden. [48] Insgesamt sind drei Grenzübergänge zwischen den Niederlanden und Belgien in den Plänen von Fluxys vorgesehen. [44]

Die Zusammenarbeit bei Infrastrukturprojekten reicht über die TCR-Region hinaus. So werden beispielsweise die Projekte Hyperlink 1 und 2 das niederländische Hynetwork mit dem geplanten Wasserstoffnetz von Gasunie in Norddeutschland verbinden. [49]

Die Anbindung Nordrhein-Westfalens an Norddeutschland, insbesondere Wilhelmshaven, erfolgt über den sogenannten Nord-Süd-Korridor. [50] Darüber hinaus wird Hyperlink 5 die Industriestandorte im Ruhrgebiet mit verschiedenen Wasserstoffspeichern in Nord- und Westdeutschland verbinden. Zudem schafft das Projekt eine Anbindung an importierten Wasserstoff aus Norwegen, Dänemark und den Niederlanden sowie an norddeutsche Wasserstoffproduktionsstandorte. [51] In Belgien ist außerdem eine Wasserstoffpipeline geplant, die die Industriecluster in Gent und Antwerpen mit Dunkerque (Frankreich) vernetzt. [52]

**Tabelle 3.1.** Bestehende und geplante Wasserstoffpipelines in der TCR-Region: blau – bestehende Pipelines, orange – Pipelines im Bau, gelb-angekündigte Infrastrukturprojekte.

Name /Beschreibung	Länge in der TCR	Geographische Lage	Betreiber	Quelle
<b>Nordrhein-Westfalen</b>				
Wasserstoffpipelinennetz / privat	240 km	Rhein-Ruhr Gebiet (von Castrop-Rauxel nach Leverkusen und Dormagen)	Air Liquide	[38]
GetH2 Nukleus / IPCEI Projekt; Teil des H2-Kernnetzes DE; Umstellung der Gasleitungen + Bau der neuen Leitungen geplant; öffentlich zugänglich	130 km (ca. 85 km in NRW)	Von Niedersachsen (Lingen) nach NRW (Gelsenkirchen)	Nowega, OGE	[39, 40]
Wasserstoff-Kernnetz	1500 km (OGE, deutschlandweit), 1100 km (Thyssengas)	Leitungen in NRW und Verbindung mit den anderen Bundesländern, sowie NL und BE	OGE, Thyssengas	[41]
<b>Flandern</b>				
Wasserstoffpipelinennetz / privat	613 km (inkl. Wallonien)	Verbindung zwischen Antwerpen, Gent, Zeebrugge, Charleroi in Belgien, sowie mit Nord-Frankreich und Rotterdam	Air Liquide	[42]
Teil des Wasserstoff-Backbones BE	97 km	Zwischen Zeebrugge und Brüssel	fluxys	[43]
Wasserstoff-Backbone BE / öffentlich zugänglich	n.a.		fluxys	[44]
<b>Niederlande</b>				
Wasserstoffpipeline / Beispiel für die Leitung zwischen zwei Unternehmen	12 km	Zwischen Terneuzen (Dow) und Yara (Sluiskil)	Gasunie	[45]
Wasserstoffpipeline	140 km	Hafen von Rotterdam (Botlek nach Moerdijk und Zwiindrecht)	Air Products	[35]
Wasserstoffpipelinennetz	n.a.	Verbindung zwischen Rotterdam und Nord-Frankreich (über Belgien)	Air Liquide	[35]
Wasserstoffpipeline / Teil von Hynetwork	30 km	Hafen von Rotterdam (von Maasvlakte nach Pernis)	Gasunie	[20]
Hynetwork / Wasserstoff-Backbone NL	1200 km	Verbindung zwischen fünf Industrieclustern in den NL	Gasunie / Hynetwork Services	[46]

Um den Wasserstoff-Hochlauf zu ermöglichen, müssen die zahlreichen Infrastruktur- und Wasserstoffherstellungsprojekte in der Region zeitlich aufeinander abgestimmt werden. Verzögerungen in einem Bereich – insbesondere bei der Infrastruktur – könnten erhebliche Auswirkungen auf die gesamte Entwicklung haben. Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass das Netz effizient ausgelastet wird. Eine erfolgreiche und rasche Transformation setzt daher die gleichzeitige und koordinierte Entwicklung mehrerer Projekte voraus. Der angekündigte Zeitplan für ausgewählte Projekte ist in Abbildung 3.5 dargestellt. Die benötigte Wasserstoffinfrastruktur umfasst nicht nur Pipelines, sondern auch Speicher. Darüber hinaus soll die Entwicklung von Terminals und Transportoptionen für Wasserstoffderivate, wie z. B. Ammoniak, berücksichtigt werden. Die Wasserstoff-Import-Koalition Belgien schätzt, dass etwa 50 % der importierten Ammoniakmengen für den Wasserstoffmarkt aufgespalten (gecrackt) werden, während die verbleibenden 50 % für industrielle Ammoniak Anwendungen in Belgien und Deutschland genutzt werden. [53] Die daraus folgenden Anforderungen an die Infrastruktur sollen bereits bei der Planung berücksichtigt werden.

Obwohl die Pläne für ein Wasserstoff-Kernnetz bereits entwickelt wurden, stellt der Aufbau eines Verteilnetzes eine zusätzliche große Herausforderung für die Zukunft dar. Sowohl das Importkonzept von NRW als auch eine aktuelle Studie [54] zeigen, dass ein Verteilnetz wirtschaftlicher wäre als der Transport per Trailer oder eine dezentrale Elektrolyseproduktion in NRW –

unabhängig von der Entfernung. Die über ein solches Netz täglich transportierte Wasserstoffmenge würde etwa 400 Trailern entsprechen, was eine große zusätzliche Herausforderung für die Straßentransporte wäre. Die Lieferungen müssen ebenfalls zuverlässig bleiben. Im Fall von Wasserstoff muss eine tägliche Lieferung garantiert werden, um den Betrieb aufrechtzuerhalten, da die Prozesse entsprechender Abnehmer oft rund um die Uhr laufen.

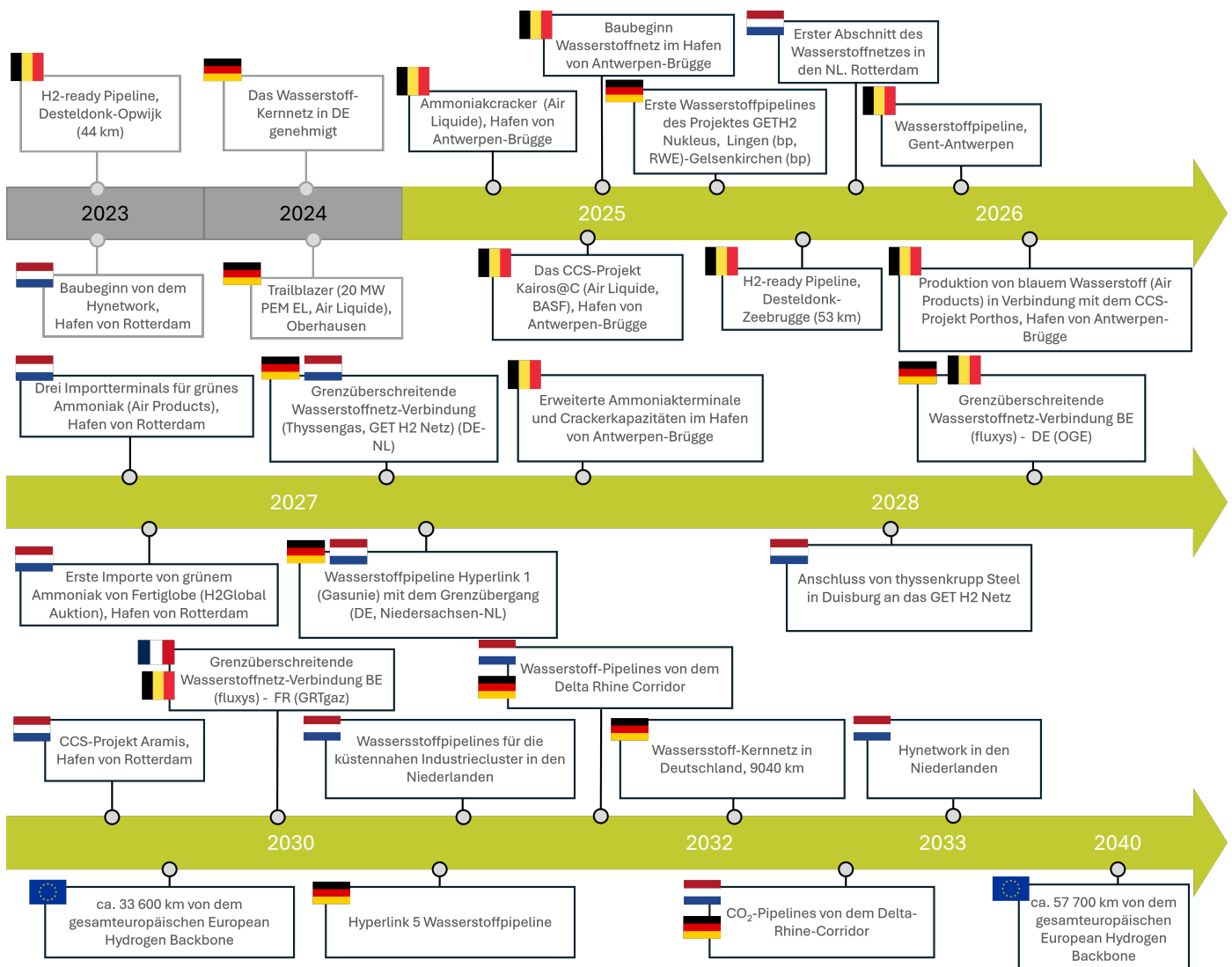


Abbildung 3.5. Zeitliche Entwicklung der ausgewählten Wasserstoff-relevanten Projekte in der TCR. Quellenangaben und weitere Anmerkungen sind im Anhang zu finden.

# 4

## Perspektive der Unternehmen

Im Rahmen der Studie wurden Gespräche mit Unternehmen aus der Region geführt, um ihre aktuellen Transformationsstrategien sowie die Chancen und Risiken zu ermitteln, die sie in der zukünftigen Nutzung von Wasserstoff sehen. Zudem wurde untersucht, welche Rolle Wasserstoff künftig für diese Unternehmen spielen wird.

### 4.1. Wasserstoff

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den Interviews dargestellt und diskutiert.

- 1** **Infrastrukturentwicklung ist eines der Schlüsselemente der industriellen Transformation, wobei der spezifische Bedarf je nach Position des Unternehmens entlang der Wertschöpfungskette variiert.**

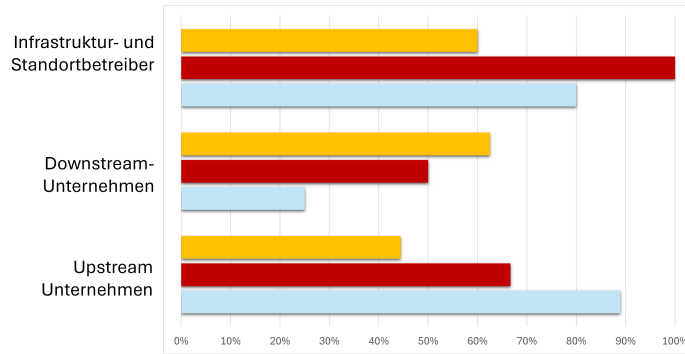
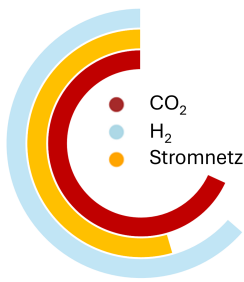
In den durchgeführten Interviews wurden die Unternehmen gefragt, welche Infrastrukturentwicklung für die Umsetzung ihrer Transformationsstrategien in der Region notwendig ist. Abbildung 4.1 zeigt, dass die Hälfte der befragten Unternehmen einen Bedarf für den Ausbau des Stromnetzes sieht. Der Grund dafür ist der Wunsch, Teile ihrer Produktionsprozesse zu elektrifizieren. Mehr als die Hälfte der 22 teilnehmenden Unternehmen betonte die Bedeutung des Anschlusses an CO<sub>2</sub>- (15 Unternehmen) und H<sub>2</sub>-Pipelines (14 Unternehmen). Der Anschluss an diese Pipelines würde es den Unternehmen ermöglichen, ihre Emissionen zu reduzieren. Darüber hinaus wäre speziell der Zugang zu einer Wasserstoffpipeline von entscheidender Bedeutung für die Erreichung der in der RED III für 2030 festgelegten

RFNBO-Ziele, wenn die Quoten auf der Ebene der Industrie und nicht auf der Ebene der Mitgliedstaaten angewendet würden.

Wir beobachten auch den Trend, dass der Bedarf an Infrastrukturentwicklung je nach Position eines Unternehmens in der Wertschöpfungskette variiert. Für Upstream-Unternehmen und Standortbetreiber ist die Anbindung an CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>-Pipelines von größerer Bedeutung. Dies ist auf den hohen Energiebedarf und die Emissionsintensität der dort angesiedelten Prozesse (Kraftwerke, Raffinerien, Steamcracker, Produktion von Basischemikalien usw.) zurückzuführen. Die Standortbetreiber benötigen die infrastrukturelle Anbindung nicht nur, um ihre eigenen Emissionen (z. B. aus dem Betrieb von Kraftwerken) zu reduzieren, sondern eine gute infrastrukturelle Anbindung macht ihren Standort auch für bestehende und neue Kunden attraktiver.

Die befragten Downstream-Unternehmen sind dagegen vergleichsweise stärker von der Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien abhängig. Aufgrund der geringeren Prozessanforderungen, wie z. B. niedrigere Prozesstemperaturen und das Fehlen von hochkonzentrierten CO<sub>2</sub>-Strömen im Vergleich zu Upstream-Prozessen, stellt die Elektrifizierung den effizientesten Transformationspfad dar.

Während der Ausbau der Infrastruktur als wichtiger Punkt genannt wird, wird die Instandhaltung und die Renovierung der bestehenden Infrastruktur ebenfalls als kritisch angesehen. Dazu gehören Wasserwege, Eisenbahnen, Brücken und Straßen. Zu den logistischen Herausforderungen in der Region gehören in der Zukunft erwartete niedrige Wasserstände in Rhein und Maas. Insbesondere wenn Niedrigwasser das Ausweichen auf andere Transportoptionen zum Flussschiff erfordert, ist eine gute Infrastruktur essenziell. Aktuell stellen einige Brücken und Schleusen Flaschenhalse dar, welche im schlimmsten Fall zu Versorgungsengpässen führen könnten. Mit Blick auf die Zukunft



**Abbildung 4.1.** Die in den Interviews ermittelten Infrastrukturbedarfe. Dazu gehören der Anschluss an CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>-Pipelines und der Ausbau des Stromnetzes bzw. die Deckung des wachsenden Strombedarfs. Die Anteile aller teilnehmenden Unternehmen (links) und die der Unternehmen an der gleichen Position entlang der Wertschöpfungskette (rechts). Zur Erläuterung der Positionierung (vor- und nachgelagerte Unternehmen) wird auf den Anhang verwiesen.

wird auch der industrielle Wandel zusätzliche Anforderungen an Infrastruktur und Logistik stellen. Beispielsweise könnten kurz- bis mittelfristig alternative Transportmethoden für H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> erforderlich sein, bis Pipelinenetze aufgebaut sind. Außerdem werden neue Routen und multimodale Transportlösungen benötigt, um größere Mengen an Biomasse und Kunststoffabfällen zu transportieren. Insgesamt wird die Diversifizierung und die Verfügbarkeit mehrerer Transportoptionen als eine Möglichkeit gesehen, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, indem das Risiko einer Unterbrechung der Versorgungskette minimiert wird.

**2 Unternehmen der Region besitzen das Know-How um die aktuell fossile Wasserstoffproduktion zu transformieren und Prozesse auf Wasserstoff umzustellen. Für den erfolgreichen Start der Umstellung fehlt aber immer noch der Markt.**

Die Unternehmen in der Region haben in den letzten Jahren Erfahrungen mit zahlreichen Demonstrationsprojekten im Bereich der Produktion und Umsetzung von kohlenstoffarmem Wasserstoff gesammelt. Dazu gehören die zahlreichen Elektrolyseprojekte, bei denen verschiedene Technologien zum Einsatz kommen, die vorhandenen Technologien und Pilotprojekte für CCS und auch für das Cracken von Ammoniak. Aus der technologischen Perspektive wäre die Hochskalierung dieser Projekte möglich bzw. ist bei manchen Vorhaben auch schon geplant. Für den Start der großen Projekte sollen allerdings noch der Bedarf und Anreize für Wasserstoff in der Region geschaffen werden. Nach Aussagen der Unternehmen fehlt es in der Region derzeit noch an einem Markt mit wettbewerbsfähigen Preisen. Um diesen zu schaffen, ist die Unterstützung der Politik notwendig. Hier könnten zum Beispiel verpflichtende Quoten eingesetzt werden. Es könnten aber auch 'positive' Anreize geschaffen werden. Zum Beispiel anstelle von Strafzahlungen wie CO<sub>2</sub>-Preisen, die derzeit als Schlüsselmechanismus eingesetzt wird, könnten stattdessen Belohnungen für die Unternehmen, die die Produktion umstellen, eingeführt werden. Als Beispiel wird der Industrial

Reduction Act (IRA) in den USA genannt.<sup>1</sup>

**3 Es besteht große Unsicherheit über zukünftige Preise und die Verfügbarkeit von Wasserstoff, was langfristige Planungen und Investitionsentscheidungen erschwert bzw. ausschließt.**

Bisher haben die Unternehmen eine große Unsicherheit bezüglich der Wasserstoffpreise signalisiert. Darüber hinaus sind viele Unternehmen skeptisch, was die Verfügbarkeit von kohlenstoffarmem Wasserstoff an den Standorten angeht. Dies bezieht sich auf die Bereitstellung von Infrastrukturprojekten sowie den Ausbau von Elektrolysekapazitäten in der Region. Außerdem werden steigende Strompreise als eines der Hauptrisiken für die chemische Industrie in der TCR gesehen, was auch die Eigenproduktion von Wasserstoff in Frage stellt. Aus Sicht der Unternehmen sind nicht die Perspektive der Veränderung und die damit verbundenen Kosten die größten Herausforderungen der Transformation, sondern die Unsicherheiten in den Rahmenbedingungen für die Industrie in der Region. Aus diesem Grund werden wichtige Investitionsentscheidungen nicht getroffen bzw. bei internationalen Unternehmen die Investitionen in anderen Ländern der Welt getätigt. Unbeständige politische Ziele und Vorgaben sind hier also ein massiver Transformationshemmer.

**4 Technologieoffenheit bei der Wasserstoffherzeugung ist für eine erfolgreiche Transformation unerlässlich.**

Im Hinblick auf eine schnelle Entwicklung des Wasserstoffmarktes können neben grünem Wasserstoff auch andere Wasserstoffarten die Transformation der chemischen Industrie unterstützen, insbesondere in der Übergangsphase. Die Ergebnisse der Interviews zeigen, dass viele Unternehmen in der Region entweder bereit sind, blauen Wasserstoff selbst herzustellen, oder die CCS-Technologie als unverzichtbaren Baustein sehen, ohne den die Emissionsminderungsziele nicht erreicht werden können. Für die Umsetzung fehlen jedoch mehrere Faktoren:

<sup>1</sup> Im Fall der Wasserstoffproduktion bietet der IRA beispielsweise positive Anreize wie *Clean Hydrogen Production Tax Credit* (Section 45V). Dieser ermöglicht es Produzenten, eine Steuergutschrift von bis zu 3,00 US-Dollar pro Kilogramm Wasserstoff zu erhalten. Dabei hängt die genaue Summe von der Emissionsreduktion ab. Die Steuervergünstigung ist für die ersten zehn Betriebsjahre der Anlage verfügbar, was die langfristige Planungssicherheit für Investoren erhöht. [55] Es ist erwähnenswert, dass Section 45V zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Berichtes und der Durchführung der Firmeninterviews (Januar 2025) weiterhin in Kraft war; mögliche Änderungen, die sich nach dem letzten Regierungswechsel auf Wasserstoffprojekte auswirken könnten, wurden daher nicht betrachtet.

CO<sub>2</sub>-Infrastruktur, klare und feste Regelungen zur Anrechenbarkeit aller Farben von kohlenstoffarmem Wasserstoff und im Fall von Deutschland die Regelungen zum Transport und zur Speicherung von CO<sub>2</sub>.

**5 Wasserstoff ist ein wichtiger Rohstoff für die Industrie und wird es auch in Zukunft bleiben. Daher muss zunächst die Deckung des stofflichen Bedarfs mit emissionsarmem Wasserstoff garantiert werden.**

In den letzten Jahren wurde viel über die mögliche Anwendung von Wasserstoff in neuen Bereichen wie der Wärmeerzeugung im Hochtemperatur-, aber auch im Nieder- und Mitteltemperaturbereich diskutiert. Traditionell werden hierfür fossile Energieträger wie Erdgas eingesetzt. Aus Sicht der Unternehmen der chemischen Industrie, die bereits heute mit vielen der in diesem Abschnitt beschriebenen Unsicherheiten konfrontiert sind, liegt die Nutzung von Wasserstoff zur Wärmeerzeugung derzeit noch in ferner Zukunft. Fest steht jedoch, dass Wasserstoff aufgrund seiner chemischen Eigenschaften als Rohstoff für den Erhalt der chemischen Industrie in der Region weiterhin benötigt wird. Daher ist die Versorgungssicherheit mit Wasserstoff, die allen regulatorischen Anforderungen entspricht, essenziell.

**6 Die Zertifizierung und Genehmigung sind nach wie vor eine der größten Hindernisse, sowohl für die Wasserstoffproduktion als auch für die Entwicklung der Infrastruktur.**

Die Umsetzung der Projekte scheitert nach Aussagen der Unternehmen häufig auch an den langwierigen und komplexen Genehmigungsverfahren. Auch das Problem der Zertifizierung von grünem Wasserstoff und der Akzeptanz der Zertifikate ist weder in Deutschland noch EU-weit im vollen Umfang gelöst. [56] Seit Ende 2024 gelten in der EU drei RFNBO-Zertifizierungen: CertifHy, ISCC EU und REDCertEU. Im April 2025 erhielt der Elektrolyseur „Trailblazer“ von Air Liquide in Oberhausen als erste deutsche Anlage die offizielle Zertifizierung. [57] Damit können Kunden des Unternehmens die erzielten THG-Einsparungen nachweisen.

Infrastrukturprojekte wie der Bau von neuen Pipelines werden durch Genehmigungsverfahren gebremst. Ein Beispiel hierfür ist die zeitliche Verschiebung des Projektes Delta Rhine Corridor und des gesamten niederländischen Wasserstoffnetzes. Dessen Fertigstellung wurde kürzlich von 2028 auf 2032 verschoben. Laut Pressemitteilungen ist die Dauer der Genehmigungsverfahren (sowohl für den Bau als auch für den Betrieb) zusammen mit dem Mangel an Arbeitskräften der Hauptgrund für die Verzögerungen. [37]

## 4.2. Zirkuläre und biobasierte Rohstoffbasis

Die Anwendung von emissionsarmem Wasserstoff ist eine von mehreren Optionen, um die gesetzten Emissionsreduktionsziele zu erreichen und die Produktionsprozesse nachhaltiger zu gestalten. Die Unternehmen, die an den Interviews im Rahmen dieses Projekts teilgenommen haben, verfolgen dabei folgende Strategien:

- Effizienzsteigerung des Energieverbrauchs in den Produktionsprozessen
- Elektrifizierung und Abschluss von PPAs
- Kohlenstoffabscheidung und -speicherung
- Nutzung von Biomasse
- Polymerrecycling

Die letzten beiden Punkte bilden zusammen mit emissionsstoffarmem Wasserstoff die Grundlage für eine alternative Rohstoffbasis für die chemische und petrochemische Industrie. Ähnlich wie bei Wasserstoff ist ihre Anwendung zwar technologisch machbar und erste Demonstrationsprojekte wurden bereits in der Region gestartet. In den Interviews wurden jedoch mehrere Hindernisse genannt, die den Übergang zu einer zirkulären und biobasierten Rohstoffbasis erschweren oder sogar verhindern. Diese Erkenntnisse sind im Folgenden zusammengefasst.

### 1 Marktentwicklung für die alternativen Produkte

Ähnlich wie bei der Anwendung von kohlenstoffarmem Wasserstoff ist die Marktentwicklung entscheidend für die Nutzung zirkulärer und biobasierter Rohstoffe. Ohne überzeugende Geschäftsmodelle werden keine Investitionen in die ohnehin risikobehafteten neuen Prozesse getätigt.

In der TCR haben bereits mehrere Unternehmen eine ISCC+-Zertifizierung für ihre Anlagen erhalten und wären bereit, zertifizierte biobasierte und zirkuläre Produkte zu liefern. Dafür muss sich jedoch erst die Nachfrage entwickeln. Diese ist wiederum davon abhängig, ob Kunden bereit sind, höhere Preise zu zahlen, denn fossile Rohstoffe bleiben derzeit die günstigere Alternative. Um die Wettbewerbsfähigkeit alternativer Rohstoffe zu sichern, sind daher entweder Subventionen oder verpflichtende Quoten erforderlich. Eine weitere Hilfe wäre hierbei eine flexiblere Bilanzierung der erneuerbaren Rohstoffe auf die Produkte, analog zum Strommix.<sup>2</sup> Dies würde es ermöglichen, die Mehrkosten für die „grünen“ Rohstoffe dem Produkt zuzuordnen, bei dem der Kunde auch bereit ist, einen entsprechenden „grünen Premium“ zu zahlen.

### 2 Weitere regulatorische Aspekte

<sup>2</sup> Wenn alternative Rohstoffe wie Pyrolyseöl aus chemischem Recycling zusammen mit fossilen Rohstoffen in einer Raffinerie verarbeitet werden, gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder wird der Anteil des recycelten Kohlenstoffs auf alle entstehenden Produkte verteilt, oder er wird per Massenbilanz bestimmten Produkten wie Ethylen oder Propylen (für die Herstellung von Kunststoffen) zugeordnet. Die gesetzliche Anerkennung der Massenbilanzierung für Pyrolyseöl aus Kunststoffrecycling steht jedoch noch aus. Auf europäischer Ebene wird derzeit ein entsprechender Ansatz im Rahmen der Umsetzung der Einwegkunststoffrichtlinie (SUPD) diskutiert. [53] Der aktuelle Entwurf bezieht sich zunächst nur auf PET-Getränkeflaschen, gilt jedoch als möglicher Blaupausen-Ansatz für künftige Regelungen wie die Verpackungsverordnung (PPWR – Packaging and Packaging Waste Regulation).

Die Politik kann die Entstehung eines Marktes für alternative Rohstoffe gezielt unterstützen. Zum einen kann dies durch verpflichtende Quoten für Recycling sowie für den Anteil zirkulärer und biobasierter Rohstoffe in Endprodukten erfolgen. Solche Maßnahmen können die Nachfrage steigern, indem sie Kunden dazu verpflichten, auf nachhaltigere Materialien umzusteigen. Erste Bemühungen seitens des Gesetzgebers gibt es bereits, etwa die Vorgabe von Mindestzyklatanteilen in Kunststoffverpackungen auf EU-Ebene (Artikel 7, *Packaging and Packaging Waste Regulation*). [58]

Ein weiterer häufig genannter Aspekt ist die gesetzliche Anerkennung der freien Allokation zirkulärer Rohstoffe auf Produkte nach Wahl durch die Massenbilanzierung. Dies würde einen Anreiz schaffen, auch kleinere Mengen alternativer Rohstoffe im sogenannten Co-processing zu nutzen, beispielsweise durch die Beimischung von Pyrolyseöl für die Weiterverarbeitung in Raffinerien. Dies gilt nicht nur für Produktionsprozesse mit mehreren End- und Nebenprodukten, sondern auch für Systeme, in denen fossile und alternative Rohstoffe gemischt werden, wie z. B. Pipelines.

Zudem wurde berichtet, dass alternative Rohstoffe wie Kunststoffabfall aus gesetzlicher Sicht weiterhin primär als „Abfall“ und nicht als Rohstoff eingestuft werden. Dies führt beispielsweise zu aufwendigeren Genehmigungsverfahren für neue Anlagen und stellt eine weitere Hürde für den Markteintritt dar.

### 3 Infrastrukturentwicklung

Die zirkuläre und biobasierte Rohstoffbasis stellt eine neue Grundlage für die petrochemische und chemische Industrie dar, die über Jahrzehnte hinweg logistisch auf fossile Rohstoffe optimiert wurde. Eine Erhöhung des Anteils solcher Rohstoffe erfordert daher den Aufbau einer komplexeren Versorgungsinfrastruktur. Beispielsweise sind Pipelinetransporte für Kunststoffe und unverarbeitete Biomasse im Vergleich zum bereits gut ausgebauten Rohöltransportsystem nicht möglich. Die Transporte von Kunststoffabfällen und Biomasse werden hauptsächlich per Straßentransport realisiert. Dies würde jedoch das Verkehrsaufkommen in der TCR weiter erhöhen, welches aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte bereits vergleichsweise hoch ist.

Ein weiteres Problem ist das hohe Leervolumen von Kunststoffabfällen, das zusätzlichen Platzbedarf bei Transport und Lagerung bedeutet. Die bestehenden Industriecluster in der Region verfügen jedoch häufig nur über begrenzte freie Flächen für solche Lagerkapazitäten. Ähnliches gilt auch für Biomasse. Diese hat durch den hohen Wasser- und Sauerstoffanteil eine geringere volumetrische Energiedichte im Vergleich zu den fossilen Alternativen.

### 4 Verfügbarkeit und Wettbewerb

Viele der Unternehmen, die an der Studie teilgenommen haben, betrachten die Verfügbarkeit von Biomasse und Kunststoffabfällen als kritisch und begrenzt. Auch wenn dies derzeit noch nicht auffällt, da nur kleine Mengen von diesen Rohstoffen verwendet werden, könnte sich dies in der Zukunft ändern.

Im Fall von Kunststoffabfällen ist für das chemische Recycling nur der Anteil geeignet, der nicht für das mechanische Recycling in Frage kommt (Mixed Plastic Waste), was die Verfügbarkeit weiter einschränkt. Auch bei den anschließenden Umwandlungsschritten zu Pyrolyseöl und später zu Crackerprodukten entstehen zusätzliche Verluste. Hieraus wird klar, dass Kunststoffrecycling also nur ein Teil der Lösung sein kann und

weiterer Kohlenstoff dem Kreislauf zugefügt werden muss. Für einen erfolgreichen Markthochlauf müsste zunächst die Sortierung und Aufbereitung von Abfällen zu industrietauglichen Rohstoffen hochgefahren werden. Derzeit ist die Zahl solcher Projekte in der Region jedoch noch begrenzt.

# 5

## Zusammenfassung

Die trilaterale Chemieregion spielt eine zentrale Rolle für die Industrie und Wirtschaft Westeuropas. Ihre lange Tradition in der chemischen Industrie verschafft den dort ansässigen Unternehmen zahlreiche Vorteile. Gleichzeitig steht die Industrie der Region vor einer Transformation, die nicht nur im Hinblick auf die angestrebten Emissionsreduktionsziele notwendig ist, sondern auch, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, Innovationen zu fördern und strategische Unabhängigkeit zu gewährleisten.

Eines der zentralen Elemente dieser Transformation ist der Einsatz von Wasserstoff, der in der chemischen Industrie der Region bereits aktiv genutzt wird. Derzeit erfolgt dessen Erzeugung jedoch vorwiegend auf Basis fossiler Rohstoffe und in direkter Nähe zu den Verbrauchern. Die politischen Zielsetzungen der beteiligten Regierungen und zahlreiche angekündigte Projekte deuten darauf hin, dass sich die Rolle von Wasserstoff und seinen Derivaten sowie die verarbeiteten Mengen künftig stark verändern wird. Die Nachfrage nach grünem und blauem Wasserstoff soll steigen, wobei insbesondere Importe eine entscheidende Rolle beim Decken dieser Nachfrage spielen werden, da die regionale Erzeugungskapazität für emissionsarmen Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen begrenzt ist.

Die von den Häfen in der Region angekündigten Importmengen bringen neue Anforderungen an die Infrastruktur mit sich. Bereits veröffentlichte Pläne von Regierungen und Netzbetreibern sehen den Neu- und Umbau bestehender Erdgaspipelines vor, die Industriecenter der Region sowie große Häfen wie Rotterdam und Antwerpen miteinander und mit angrenzenden Regionen – etwa Frankreich und andere Bundesländer Deutschlands – verbinden sollen. Dabei sind Pipelines jedoch nur ein Teil der benötigten Infrastruktur, zu welcher auch Speicher und Terminals.

In der Praxis befindet sich ein Großteil der wasserstoffbezogenen Projekte allerdings noch in der Planungsphase. Nur für einen kleinen Teil davon wurden bislang Investitionsentscheidungen getroffen oder bereits mit dem Bau begonnen. Das stellt das Erreichen der ambitionierten Ziele für 2040 und 2050 infrage. Für einen erfolgreichen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft müssen Infrastruktur-, Erzeugungs- und Nachfrageentwicklung gleichzeitig und abgestimmt erfolgen. Verzögerungen oder Ausfälle einzelner Projekte können somit die gesamte Transformation gefährden. Unternehmensinterviews zeigen, dass die Nutzung von Wasserstoff als eine der Optionen zur Erreichung der Emissionsreduktionsziele betrachtet wird. Die Umsetzung wird jedoch dadurch erschwert, dass es bisher keinen funktionierenden Markt für grünen Wasserstoff gibt. Insbesondere bestehen große Unsicherheiten bezüglich des Preises und der Verfügbarkeit von emissionsarmem Wasserstoff. Dies erschwert die Umstellung von Industrieprozessen zusätzlich.

# Anhang

## Anhang A. Zeitplan für ausgewählte Wasserstoffprojekte.

Datum	Ereignis	Quelle
Juni 2023	Der Beginn des Baus von einer Doppelfunktionsleitung (geeignet für Erdgas und Wasserstoff) zwischen Zeebrugge und Brüssel. Bau des ersten Abschnitts zwischen Desteldonk und Opwijk (44 km) in 2024 abgeschlossen	[43]
Oktober 2023	Der Baubeginn des nationalen Wasserstoffnetzes (Hynetwork) in den Niederlanden im Hafen von Rotterdam	[20]
August 2024	Die Inbetriebnahme von Trailblazer, AirLiquide (Oberhausen): die größte Produktionsanlage von erneuerbarem Wasserstoff, die an die bestehende Pipeline angeschlossen wird	[59]
Oktober 2024	Die Genehmigung des Wasserstoffkernnetzes bei der Bundesnetzagentur (Deutschland)	[60]
2025	Die Inbetriebnahme des Ammoniakcrackers (ENHANCE Projekt, Air Liquide) im Hafen von Antwerpen-Brügge – erste Anlage dieser Art im industriellen Maßstab	[61]
2025	Die Inbetriebnahme der ersten Leitungen im Rahmen des Projektes GetH2 Nukleus zwischen dem RWE Standort in Lingen und bp Raffinerie in Gelsenkirchen	[40]
2025	Der Beginn des Baus der nationalen Wasserstoffnetzes in Belgien im Hafen von Antwerpen-Brügge mit dem Anschluss an das Gasunie-Wasserstoffnetz in den Niederlanden	[48]
2025	Der geplante Beginn des Betriebes vom Projekt Kairos@C (Air Liquide und BASF im Hafen von Antwerpen-Brügge): die weltgrößte grenzüberschreitende CCS-Wertschöpfungskette	[62]
2025-2026	Der Abschluss des Baus von der Doppelfunktionsleitung zwischen Brüssel und Zeebrugge, Abschnitt Desteldonk-Zeebrugge (53 km)	[43]
2025-2026	Der Abschluss des Baus des ersten Abschnitts des niederländischen Wasserstoffnetzes in Rotterdam (ca. 30 km zwischen Tweede Maasvlakte und Pernis)	[37]
2026	Die geplante Fertigstellung der Wasserstoffpipeline zwischen Gent und Antwerpen	[25]
2026	Die Inbetriebnahme der größten Anlage für den blauen Wasserstoff (Air Products, Hafen von Rotterdam) mit der Einspeisung in das existierende Wasserstoffnetz von Air Products und der Anbindung an das Porthos-Projekt	[63]

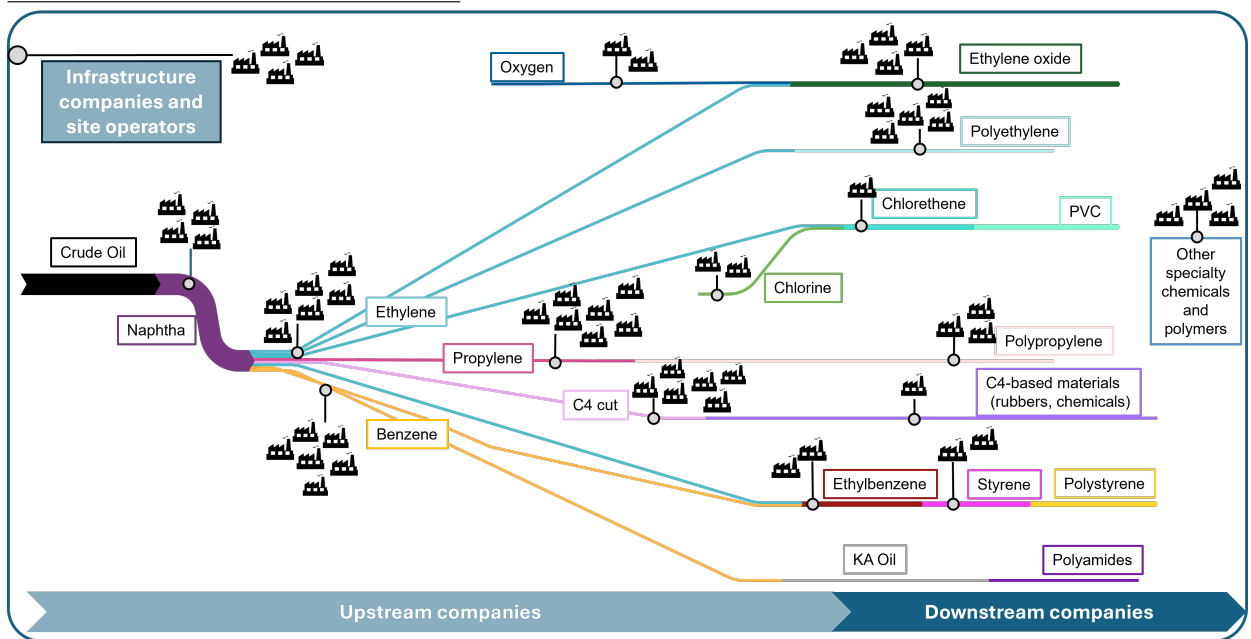
Fortsetzung auf nächster Seite

(Fortsetzung)

2027	Die Inbetriebnahme von drei Importterminals für grünes Ammoniak (Air Products) für Importe aus Saudi-Arabien (Projekt Neom)	[64]
2027	Die ersten Importe von grünem Ammoniak von Fertiglobe aus Ägypten (dem ersten Gewinner der H2Global-Auktion) im OCI-Terminal im Hafen von Rotterdam	[29]
2027	Die erste grenzüberschreitende Wasserstoff-Leitung zwischen Deutschland und den Niederlanden von Thyssengas im Rahmen des Projektes GETH2 (Vlieghuis-Ochtrup)	[65]
Ende 2027	Die Inbetriebnahme von Hyperlink 1 mit den grenzüberschreitenden Anbindungen der Niederlande (Oude Statnzijl) an das deutsche Wasserstoffnetz (Niedersachsen und Bremen)	[49]
2027-2028	Die Erweiterung der Ammoniak-Terminals und Ammoniakcracker-Kapazitäten im Hafen von Antwerpen-Brügge	[26]
2028	Der Anschluss von Thyssenkrupp Steel in Duisburg an das GETH2 Wasserstoffnetz	[66]
2028	Die grenzüberschreitende Wasserstoff-Leitung in Eynatten zwischen Belgien (Fluxys) und Deutschland (OGE)	[67]
2029-2030	Der Betriebsbeginn des Aramis-CCS-Projekts im Hafen von Rotterdam	[68]
2030	Ca. 33600 km von dem gesamteuropäischen Wasserstoff-Netz (European Hydrogen Backbone Initiative)	[69]
2030	Die Anbindung des belgischen Wasserstoffnetzes (Fluxys) an das Wasserstoffnetz im französischen Hafen Dünkirchen (GRTgaz).	[52]
2030	Die Inbetriebnahme von Hyperlink 5 mit der Verbindung zwischen dem GETH2-Netz im Rhein-Ruhr-Gebiet und Hyperlink 1 im Niedersachsen	[51]
2030	Die Anbindung der Industriestandorte an der niederländischen Küste an das Wasserstoffnetz (inklusive Verbindungen mit dem deutschen und belgischen Wasserstoffnetz)	[37]
2031-2032	Der Abschluss des Baus der Wasserstoffleitungen vom Delta Rhine Corridor	[37]
2032	Der Abschluss des Baus des Wasserstoff-Kernetzes in Deutschland (9040 km)	[60]
2032-2033	Der Abschluss des Baus der CO <sub>2</sub> -Leitungen von dem Delta Rhine Corridor	[37]
2033	Der Abschluss des Baus von Hynetwork in den Niederlanden	[37]
2040	Ca. 57700 km von dem gesamteuropäischen Wasserstoff-Netz (European Hydrogen Backbone Initiative)	[69]

## Anhang B. Positionierung der befragten Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette.

### Steam cracker value chain



**Anhang B.1.** Positionierung der Unternehmen, die an den Interviews im Rahmen der Studie teilgenommen haben, entlang der Steamcracker-Wertschöpfungskette. Das verwendete Fabriksymbol zeigt an, dass das Unternehmen ein bestimmtes Produkt herstellt. Wenn ein Unternehmen mehrere Produkte herstellt, ist es an mehreren Stellen der Wertschöpfungskette vertreten.



# Literaturverzeichnis

- [1] Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, "Wasserstoff-Importkonzept. Nordrhein-Westfalen," Jul. 2024.
- [2] Flanders Investment & Trade, "Chemical industry in Flanders," Jul. 2023. [Online]. URL: <https://invest.flandersinvestmentandtrade.com/en/sectors/chemicals>
- [3] A. Scholz, C. Schneider, M. Saurat, and S. Theisen, "Das petrochemische System in Deutschland und Westeuropa. Regionale Analyse der Polymer-Produktion in Deutschland, den Niederlanden und Belgien. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt GreenFeed – Green Feedstock for a Sustainable Chemistry," Wuppertal, Feb. 2023.
- [4] Landesbetrieb IT.NRW, "NRW: Wasserstoffimporte 2023 um circa 56 Prozent weniger als 2013." [Online]. URL: <https://www.it.nrw/nrw-wasserstoffimporte-2023-weniger-als-2013>
- [5] Hydrogen Europe, "Clean Hydrogen Monitor 2024," Brüssel, p. 80, Nov. 2024.
- [6] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), "Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate," Jul. 2024.
- [7] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), "Die Nationale Wasserstoffstrategie," Jun. 2020. [Online]. URL: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile)
- [8] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), "Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie," Jul. 2023.
- [9] Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, "Neun-Punkte-Papier für einen erfolgreichen Wasserstoff-Hochlauf," Aug. 2024.
- [10] Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, "Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen," Oct. 2020.
- [11] FÖD Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie des Königreichs Belgien, "Vision and Strategy Hydrogen," Oct. 2020.
- [12] Ministry of Economic Affairs of the Netherlands, "Government Strategy on Hydrogen," Apr. 2020.
- [13] Hydrogen Europe, "Clean Hydrogen Monitor 2021," Brüssel, p. 139, Oct. 2021.
- [14] IEA, "Hydrogen Production and Infrastructure Projects Database," Oct. 2024. [Online]. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database>
- [15] R. Detz, M. Weeda, and J. van Stalen, "Hydrogen in the Netherlands. A review of recent Dutch scenario studies," Amsterdam, p. 14, Jul. 2020.
- [16] S. Cerniauskas, P. Markewitz, J. F. Linßen, F. Kullmann, T. M. Groß, P. M. Lopion, P.-M. Heuser, T. Grube, M. Robinius, and D. Stolten, "Wissenschaftliche Begleitstudie der Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen," Jülich, p. 103, 2021, ISBN 978-3-95806-547-5.

- [17] Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE NRW), "Kohlenstoff kann Klimaschutz: Carbon Management Strategie Nordrhein-Westfalen," Oct. 2021.
- [18] Waterstof Industrie Cluster, "A Flemish Hydrogen Strategy. 2025-2030," Dec. 2020.
- [19] Port of Rotterdam, "Import of hydrogen." [Online]. URL: <https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/energy-transition/ongoing-projects/hydrogen-rotterdam/import-of-hydrogen>
- [20] Port of Rotterdam, "Port of Rotterdam developing Europe's Hydrogen Hub," May 2024. [Online]. URL: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2024-05/developing-europes-hydrogen-hub.pdf>
- [21] Port of Rotterdam, "Rotterdam to supply Europe with 4.6 megatons of hydrogen by 2030," May 2022. [Online]. URL: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2022-05/Rotterdam%204.6%20Mton%20hydrogen%20in%202030%20proposition.pdf>
- [22] M. Much, S. Verleger, and J. Schrieber, "Europas Seehäfen im Wandel – Drehkreuze für Energie und Industrie," 2025.
- [23] H.-J. de Zeeuw, "The Dutch hydrogen quest: What it takes to decarbonize hydrogen demand," Jul. 2024. [Online]. URL: <https://www.rabobank.com/knowledge/d011434066-the-dutch-hydrogen-quest-what-it-takes-to-decarbonize-hydrogen-demand>
- [24] R. van den Boogaard, "Connecting the World. Building Tomorrow's Sustainable Port," Oct. 2024.
- [25] Monheimer Elektrizitäts- und Gasversorgung GmbH, "Belgien plant große Wasserstoff-Transporte nach Deutschland," Nov. 2024. [Online]. URL: <https://www.mega-monheim.de/unternehmen/aktuelles/belgien-plant-grosse-wasserstoff-transporte-nach-deutschland>
- [26] L. Lancaster, "Q&A: Antwerp port plans 10mn t/yr NH<sub>3</sub> imports by 2030," Nov. 2023. [Online]. URL: <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2511805-q-a-antwerp-port-plans-10mn-t-yr-nh3-imports-by-2030>
- [27] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), "Deutschland und Niederlande arbeiten noch enger im Bereich Wasserstoff zusammen – zwei gemeinsame Absichtserklärungen unterzeichnet," Nov. 2023. [Online]. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2023/11/20231114-germany-and-the-netherlands-sign-two-joint-declarations-of-intent-for-even-closer-cooperation-on-hydrogen.html>
- [28] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), "Wichtiger Schritt für globalen Wasserstoffhochlauf – Deutschland importiert ab 2027 mit H2Global grüne Wasserstoffprodukte im großen Umfang," Jul. 2024. [Online]. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2024/07/20240711-h2global.html>
- [29] O. Pearce, "Fertiglobe success in H2Global pilot auction marks milestone in renewable ammonia supply for EU," Jul. 2024. [Online]. URL: <https://ammoniaenergy.org/articles/fertiglobe-success-in-h2global-pilot-auction-marks-milestone-in-renewable-ammonia-supply-for-eu/>
- [30] M. Schwarz, "Land NRW plant langfristigen Ammoniakimport aus den VAE," Apr. 2023. [Online]. URL: <https://h2-news.de/politik/ammonia-to-hydrogen-land-nrw-plant-langfristigen-ammoniakimport-aus-den-vae/>
- [31] A. Habibic, "'Landmark' deal to establish green hydrogen supply chain between Belgium and Oman," Dec. 2024. [Online]. URL: <https://www.offshore-energy.biz/landmark-deal-to-establish-green-hydrogen-supply-chain-between-belgium-and-oman/>
- [32] P. Garip, "Chile signs green H<sub>2</sub> agreement with EU ports," Nov. 2021. [Online]. URL: <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2271972-chile-signs-green-h2-agreement-with-eu-ports>
- [33] Air Liquide Deutschland GmbH, "Persönliche Kommunikation," Jun. 2025.
- [34] Netherlands Enterprise Agency (RVO) and FME and TKI New Gas (Topsector Energy), "Excelling in Hydrogen. Dutch technology for a climate-neutral world," p. 108, Apr. 2022. [Online]. URL: <https://www.rvo.nl/files/file/2022-05/NL-Dutch-solutions-for-a-hydrogen-economy-V-April-2022-DIGI.pdf>
- [35] M. Weeda and R. Segers, "The Dutch hydrogen balance, and the current and future representation of hydrogen in the energy statistics," Amsterdam, p. 33, Jun. 2020.
- [36] J. Atchison, "Air Products and Gunvor to develop new import terminal in Rotterdam," Jul. 2022. [Online]. URL: <https://ammoniaenergy.org/articles/air-products-and-gunvor-to-develop-new-import-terminal-in-rotterdam/>
- [37] Gasunie, "Interview: National hydrogen network roll-out plan updated," Dec. 2024. [Online]. URL: <https://www.gasunie.nl/en/news/national-hydrogen-network-roll-out-plan-updated-2>

- [38] H2.NRW, "Wasserstoffpipelinenetz Air Liquide." [Online]. URL: <https://www.h2land-nrw.de/projekt/wasserstoffpipelinenetz-luise-rainer-strasse-5-40235-duesseldorf/>
- [39] "GET H2 Netz." [Online]. URL: <https://get-h2-netz.de/>
- [40] "FAQ zum Projekt GET H2 Nukleus." [Online]. URL: [https://www.get-h2.de/projekt\\_nukleus/](https://www.get-h2.de/projekt_nukleus/)
- [41] Thyssengas, "Wir sind H<sub>2</sub>-ready." [Online]. URL: <https://h2.thyssengas.com/>
- [42] Linkaters, "Hy-Politics – political considerations shaping the evolution of clean hydrogen policy." [Online]. URL: <https://www.linklaters.com/en/insights/thought-leadership/energy/hydrogen/belgium>
- [43] "H<sub>2</sub> Highway Zeebrugge - Brussels." [Online]. URL: <https://www.fluxys.com/en/projects/h2highwayzbbxl>
- [44] Fluxys, "Hydrogen: Preparing to build the network." [Online]. URL: <https://www.fluxys.com/en/projects/hydrogen-preparing-to-build-the-network>
- [45] Gasunie, "Gasunie hydrogen pipeline from Dow to Yara brought into operation," Nov. 2018. [Online]. URL: <https://www.gasunie.nl/en/news/gasunie-hydrogen-pipeline-from-dow-to-yara-brought-into-operation>
- [46] "Hynetwork," Apr. 2025. [Online]. URL: <https://www.hynetwork.nl/en>
- [47] Port of Rotterdam, "Wasserstoff- und CO<sub>2</sub>-Scope für den Delta Rhine Corridor unterstreicht Dringlichkeit von mehr Nachhaltigkeit in der Industrie," Dec. 2024. [Online]. URL: <https://www.portofrotterdam.com/de/nachrichten-und-pressemitteilungen/wasserstoff-und-co2-scope-fuer-den-delta-rhine-corridor>
- [48] Fluxys, "Hydrogen pipeline in the Port of Antwerp." [Online]. URL: <https://www.fluxys.com/en/about-us/fluxys-belgium/construction-projects/projects-in-preparation/h2-portofantwerp>
- [49] Hyperlink, "Hyperlink 1 - 2." [Online]. URL: <https://www.hyperlink-gasunie.de/ueber-hyperlink/hyperlink-1-2>
- [50] "Von Wilhelmshaven zu den Industriezentren in NRW und Niedersachsen," Apr. 2023. [Online]. URL: <https://www.salzgitter-ag.com/de/newsroom/pressemeldungen/details/von-wilhelmshaven-zu-den-industriezentren-in-nrw-und-niedersachsen-20722.html>
- [51] Hyperlink, "Hyperlink 5." [Online]. URL: <https://www.hyperlink-gasunie.de/ueber-hyperlink/hyperlink-5>
- [52] Fluxys, "Fluxys hydrogen and GRTgaz are launching a call for market interest for the creation of a cross-border hydrogen transport infrastructure between France and Belgium." [Online]. URL: [https://www.fluxys.com/en/press-releases/fluxys-hydrogen/2024/241017\\_press\\_fluxys-h2-cmi-cross-border-h2-transport-infrastructure](https://www.fluxys.com/en/press-releases/fluxys-hydrogen/2024/241017_press_fluxys-h2-cmi-cross-border-h2-transport-infrastructure)
- [53] D. Ab lago and W. Collins, "Draft EC document supports fuel-exempt mass balance," Feb. 2024. [Online]. URL: <https://www.arqusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2539550-draft-ec-document-supports-fuel-exempt-mass-balance>
- [54] D. Franzen, "Engpassfaktor Wasserstoff. Anforderungen an die Wasserstoffversorgung für die Industrie in Nordrhein-Westfalen," p. 23, May 2024. [Online]. URL: <https://mittlerer-niederrhein.ihk.de/de/media/pdf/energie/ihk-nrw-kurzstudie-engpassfaktor-wasserstoff.pdf>
- [55] Y. Ding, C. Baldino, and Y. Zhou, "Understanding the proposed guidance for the Inflation Reduction Act's Section 45V Clean Hydrogen Production Tax Credit," Mar. 2024. [Online]. URL: <https://theicct.org/publication/proposed-guidance-for-the-inflation-reduction-act-45v-clean-hydrogen-tax-credit-mar29/>
- [56] M. Schwarz, "Unser Elektrolyseur ist einsatzbereit – aber es fehlen die Zertifikate," Dec. 2024. [Online]. URL: <https://h2-news.de/h2talk/unser-elektrolyseur-ist-einsatzbereit-aber-es-fehlen-die-zertifikate-le-van/>
- [57] Air Liquide, "Air Liquide vertreibt als erster Anbieter RFNBO-zertifizierten erneuerbaren Wasserstoff in Deutschland," Apr. 2025. [Online]. URL: <https://de.airliquide.com/news/air-liquide-vertreibt-als-erster-anbieter-rfnbo-zertifizierten-erneuerbaren-wasserstoff-deutschland>
- [58] Europäisches Parlament, "Verordnung (EU) 2025/40 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Dezember 2024 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und der Richtlinie (EU) 2019/904 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 94/62/EG," p. 124, Jan. 2025.
- [59] Air Liquide, "Trailblazer." [Online]. URL: <https://de.airliquide.com/trailblazer>

- [60] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), "Wasserstoff-Kernnetz genehmigt – der Aufbau der Zukunftsinfrastruktur kann beginnen." [Online]. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/10/20241022-wasserstoff-kernnetz.html>
- [61] energynews, "Hydrogen: Air Liquide announces a project in Antwerp for 2025," Dec. 2024. [Online]. URL: <https://energynews.pro/en/hydrogen-air-liquide-announces-a-project-in-antwerp-for-2025/>
- [62] Air Liquide Engineering & Construction, "Carbon Capture." [Online]. URL: <https://engineering.airliquide.com/technologies/carbon-capture>
- [63] Port of Rotterdam, "Air Products to build Europe's largest blue hydrogen plant," Nov. 2023. [Online]. URL: <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/air-products-to-build-europes-largest-blue-hydrogen-plant>
- [64] P. Martin, "Air Products needs special exemptions on ammonia-to-hydrogen terminals linked to 2.2GW Neom megaproject," Apr. 2024, section: Policy. [Online]. URL: <https://www.hydrogeninsight.com/policy/air-products-needs-special-exemptions-on-ammonia-to-hydrogen-terminals-linked-to-2-2gw-neom-megaproject/2-1-1625335>
- [65] Presseportal, "Thyssengas GmbH verbindet das zukünftige deutsch-niederländische Wasserstoff-Netz: Umrüstung des Erdgastransport-Systems Vlieghuis-Ochtrup nimmt Fahrt auf," May 2024. [Online]. URL: <https://www.presseportal.de/pm/32019/5779902>
- [66] S. Jenke, "Duisburg: Wasserstoffanbindung für Stahlwerk vereinbart," Mar. 2024. [Online]. URL: <https://h2-news.de/industrie/duisburg-wasserstoffanbindung-fuer-stahlwerk-vereinbart/>
- [67] Fluxys, "Fluxys Belgium and OGE intensify their cooperation on cross-border hydrogen transmission infrastructure between Belgium and Germany." [Online]. URL: [https://www.fluxys.com/de/news/fluxys-belgium/2023/231206\\_fluxys-belgium-and-o-g-e-intensify-cooperation-on-cross-border-h2-transmission-infrastructure](https://www.fluxys.com/de/news/fluxys-belgium/2023/231206_fluxys-belgium-and-o-g-e-intensify-cooperation-on-cross-border-h2-transmission-infrastructure)
- [68] Aramis, "About the Aramis Pproject." [Online]. URL: <https://www.aramis-ccs.com/project/>
- [69] European Hydrogen Backbone, "EHB initiative to provide insights on infrastructure development by 2030," Jul. 2023. [Online]. URL: <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-initiative-to-provide-insights-on-infrastructure-development-by-2030.pdf>