

---

# KOMMERZIELLE SCHNITT- STELLEN ALS HERAUSFORDE- RUNG FÜR DEN AUFBAU VON WASSERSTOFF-LIEFER- KETTEN

---

Policy Brief H2Global Stiftung 03/2023  
28. Februar 2023

H2GLOBAL STIFTUNG  
Trostrücke 20457 Hamburg

Autoren:  
Kirsten Westphal  
Hanna Graul  
Fynn Hoffmann  
Clara Klages  
Madjid Kübler  
Ludwig Möhring  
Jens Völler

ISSN: 2940-861X

Der vorliegende Policy Brief wurde von der H2Global Stiftung im Auftrag der Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) erstellt und durch das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) finanziert.



## Abstract

Die Lieferketten für grünen Wasserstoff und seine Derivate sind lang, komplex und kompliziert und umspannen häufig zwei oder mehrere Jurisdiktionen. Die idealtypische Analyse der Lieferkette von grünem Ammoniak zeigt die enormen Herausforderungen, die beim Aufbau der Kette über alle Wertschöpfungsstufen hinweg bestehen. Zu den Hauptproblemen in einem hoch unsicheren Marktumfeld gehören das 1) Informationsproblem, das 2) Motivations- bzw. Anreizproblem und die 3) Synchronität bzw. Parallelität der Investitionen. Beim Aufbau der Strukturen müssen kommerzielle Risiken an allen vertraglichen Schnittstellen gemanagt werden. Aus organisatorischer Perspektive ist davon auszugehen, dass nicht alle Herstellungs-, Transport- und Weiterverarbeitungsschritte von jeweils neuen und unabhängigen Entitäten vorgenommen werden. Vielmehr legt ein Blick in die Historie der Gasindustrie nahe, dass Koordination über größere Segmente der Liefer-, Logistik- und Wertschöpfungskette relevant sein wird. Hier wird letztendlich eine Rolle spielen, inwieweit Ammoniak als Transportvektor und Grundstoff eingesetzt wird und ob es in weiteren Anwendungen zum Einsatz kommt. Zu konstatieren ist, dass erhebliche residuale Risiken bleiben, die eines staatlichen Handelns bedürfen.

## Inhaltsverzeichnis

I.	Herausforderung „Hochlauf“ .....	3
II.	Die künftige (physische) Lieferkette von grünem Ammoniak .....	5
III.	Die Errichtung der Lieferkette und kommerzielle Schnittstellen .....	9
a.	Herausforderungen .....	9
b.	Kommerzielles Risikomanagement .....	11
IV.	Residuale Risiken und die Rolle des Staates .....	17
V.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....	18
VI.	Anhang: Liefer-, Logistik- und Wertschöpfungsketten der H <sub>2</sub> -Derivate .....	22
VII.	Impressum .....	25

## I. Herausforderung „Hochlauf“

Grüner Wasserstoff wird einen signifikanten Beitrag zur Energietransformation, zum Umbau der Industrie, des Transports und der Mobilität auf dem Weg in die angestrebte Klimaneutralität bis 2045 in Deutschland, bzw. 2050 in Europa leisten müssen.<sup>1</sup> Er ist speicherbar und kann damit entscheidend zur Resilienz des Energiesystems beitragen. Seine Erzeugung und Nutzung können netz- und systemdienlich gestaltet werden. Eine schnelle und konsequente Dekarbonisierung der Energieversorgung und der Wirtschaft hängen deswegen nicht nur von der direkten Elektrifizierung basierend auf erneuerbaren Energien, sondern auch von der schnellen, skalierbaren und verlässlichen Versorgung mit klimaneutralen<sup>2</sup> Molekülen ab.<sup>3</sup> Deshalb ist ein zügiger Aufbau erster Liefer-, Logistik- und Wertschöpfungsketten vordringlich und prioritär.

Gemeinhin wird vom „Hochlauf des Wasserstoffmarktes“ gesprochen. Das verkennt jedoch die fundamentalen Herausforderungen der derzeitigen Situation des Starts und Aufbaus der Liefer-, Logistik- und Wertschöpfungsketten. Es bestehen auf den meisten Stufen der Kette erhebliche technologische, ökonomische und organisatorische Herausforderungen. Klimaneutraler Wasserstoff kann in Form von Derivaten über größere Distanzen und mittels verschiedener Optionen wie Schiff, Schiene, Flusswege oder Straßen transportiert werden. Wasserstoffderivate sind deswegen auch Transportvektoren für Wasserstoff. Das gilt längerfristig auch für Wasserstoffimporte aus Ländern, die nicht über Pipelines angebunden sind oder angebunden werden können. Dabei sind manche Transportoptionen<sup>4</sup> auch erst mittelfristig verfügbar, sei es aufgrund des technologischen Reifegrades oder aufgrund der Projektierungs-, Umrüstungs- und Bauzeiten.

Für den Aufbau der „Wasserstoffindustrie“ ist relevant, dass Wasserstoff (H<sub>2</sub>) auch in Form von Derivaten wie Ammoniak (NH<sub>3</sub>), synthetischem Methan (CH<sub>4</sub>), synthetischem Methanol (CH<sub>3</sub>OH)

---

<sup>1</sup> BMWi (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=20](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20).

<sup>2</sup> In diesem Dokument soll nicht auf die „Farbenlehre“ eingegangen werden (Nationaler Wasserstoffrat (2022): Einordnung verschiedener Pfade der Herstellung von Wasserstoff („Farbenlehre“). [https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-04-01\\_NWR-Grundlagenpapier\\_Farbenlehre.pdf](https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-04-01_NWR-Grundlagenpapier_Farbenlehre.pdf)). Die vorliegende Analyse konzentriert sich auf die Liefer-, Logistik- und Wertschöpfungskette von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten, da es um eine qualitative Analyse der Herausforderungen für die relevanten Akteure entlang der Kette geht. Es sei aber darauf hingewiesen, dass andere Technologien bei der Skalierbarkeit und der Umsetzungsgeschwindigkeit in der Transformationsphase helfen können, etwa weil sie auf bestimmte Teile der Lieferkette aufsetzen.

<sup>3</sup> Nationaler Wasserstoffrat (2022): Stellungnahme: Angriffskrieg Russland gegen die Ukraine – mögliche Auswirkungen auf den Wasserstoffhochlauf. [https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-04-01\\_NWR-Stellungnahme\\_Ukraine.pdf](https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-04-01_NWR-Stellungnahme_Ukraine.pdf).

<sup>4</sup> Siehe dazu: Staiß, F. et al. (2022): Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030. Transportwege – Länderbewertung – Realisierungserfordernisse. [https://doi.org/10.48669/esys\\_2022-6](https://doi.org/10.48669/esys_2022-6).

und Fischer-Tropsch-Produkten transportiert und verbraucht werden kann. Wasserstoff selbst kann sowohl gasförmig über Pipeline, mittels Trägerstoff als LOHC und perspektivisch auch in verflüssigter Form transportiert werden.<sup>5</sup> Diese Optionen – als Transportvektoren und als Anwendungsmöglichkeiten – unterscheiden sich erheblich in Bezug auf Technologiereife, Effizienz, Energiedichte, Kosten sowie den unmittelbaren und potenziellen Einsatzoptionen in den jeweiligen Sektoren. Ferner ist die Liste auch noch nicht erschöpft. Die Komplexität ist also bereits aufgrund der sehr unterschiedlichen physikalischen, chemischen und stofflichen Eigenschaften von Wasserstoff und seinen Derivaten hoch. Die Einsatz- und Nutzungsmöglichkeiten als Grundstoff, als Brennstoff oder Energieträger variieren entsprechend. Je nach Einsatz in Raffinerien, der chemischen Industrie, bei Hochtemperaturprozesswärme in der Industrie, in Brennstoffzellen oder Kraftwerken sind unterschiedliche Transport-, Konversions-, und Reinigungsschritte notwendig, die Technologien, Prozessanlagen etc. voraussetzen, die teilweise erst entwickelt, zertifiziert und in eine industrielle Fertigung gebracht werden müssen. Hinzukommt, dass erhebliche Unsicherheiten darüber bestehen, welche Produktketten sich etablieren. Es ist offen, welche Technologie-, Transport- und Nutzungspfade sich in welchen Sektoren und Regionen vordringlich durchsetzen und nebeneinander bestehen. Das gilt etwa für die Frage von Methanol oder Ammoniak beim Schiffsverkehr. Deswegen muss beim Aufbau einer „Wasserstoffindustrie“ in unterschiedlichen Produktketten und über parallele Infrastrukturen nachgedacht werden.

Nicht zuletzt ist auch der Technologie- und Markthochlauf mit einer schwer vorhersehbaren Marktdynamik sowie mit erheblichen Unsicherheiten und Risiken behaftet. Angesichts der dynamischen und zyklischen Entwicklungen von Märkten ist der „Wasserstoff-Hochlauf“ in Phasen, die die Markt- und Infrastrukturentwicklung kennzeichnen<sup>6</sup>, zu denken. In der derzeitigen Situation steckt die Industrie in den Kinderschuhen, also in der Inventionsphase und die Ketten müssen durch Pioniere aufgebaut und kommerzialisiert werden.<sup>7</sup>

Dieser Policy Brief analysiert eben diese strukturellen Fragen, die sich in den Phasen des Technologie- und Marktaufbaus und dann des -hochlaufs ergeben. Analytischer Ausgangspunkt ist die gegenwärtige Situation. Diesem Fokus liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die frühen Phasen für erfolgreichen und schnellen „Hochlauf“ entscheidend sind. Sie sind Grundvoraussetzung für die Skalierung, Sprunginnovation, Prozessumstellungen und Diffusion der notwendigen

---

<sup>5</sup> Ebenda.

<sup>6</sup> Ähnlich argumentieren auch Freshfields Bruckhaus Deringer/ Frontier Economics (2023): H2-Lieferverträge – Strategien für Erzeuger, Händler und Abnehmer in einem unsicheren Marktumfeld, Power Point Präsentation 25. Januar 2023, Folie 15.

<sup>7</sup> Siehe dazu: Westphal, K., Möhring, L., Kübler, M. und Völler, J.: Wasserstoff und Markthochlauf – Marktphasen und Zielmodelle, Policy Brief, H2Global Stiftung 04/2023 (im Erscheinen).

Technologien, Vertragspraktiken und Geschäftsmodelle. Erst dann kann sich der Markt ausprägen und einschwingen.

## II. Die künftige (physische) Lieferkette von grünem Ammoniak

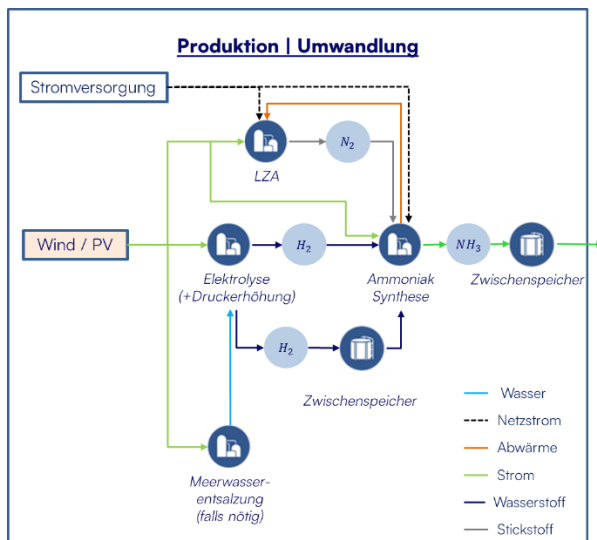
Als Base Case wird hier die Kette von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) analysiert. Dafür sprechen mehrere Gründe: Grünes Ammoniak ist ein umsetzbarer Transportvektor, alle technischen Bausteine der Lieferkette weisen einen Technologiereifegrad von 9 auf.<sup>8</sup> Ammoniak ist vielseitig – auch stofflich – einsetz- und in Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) rückumwandelbar. Es weist eine vergleichsweise hohe Energiedichte auf, wobei das Cracking für die Rückumwandlung in Wasserstoff noch weiterentwickelt werden muss. Insofern sind die Erkenntnisse aus der Analyse auch auf andere Derivate und Wasserstoff weitgehend übertragbar, wobei natürlich das Thema der  $\text{CO}_2$ -Quelle bei Methanol, synthetischem Methan und Fischer-Tropsch-Produkten mitgedacht werden muss.

Die hier skizzierte idealtypische Darstellung kann also auch auf andere Transportvektoren und Derivate sowie auf Wasserstoff selbst angewendet werden (siehe Anhang). Sie umfasst die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien, die Herstellung von Wasserstoff und die Ammoniak-synthese (im Ausland), sowie den Transport und die Speicherung bis hin zur Nutzung, die in unterschiedlicher stofflicher Form und in verschiedenen Sektoren und Branchen erfolgen kann.

Abbildung 1 zeigt den Prozess der Produktion von grünem Wasserstoff und der sich daran anschließenden Ammoniaksynthese.

---

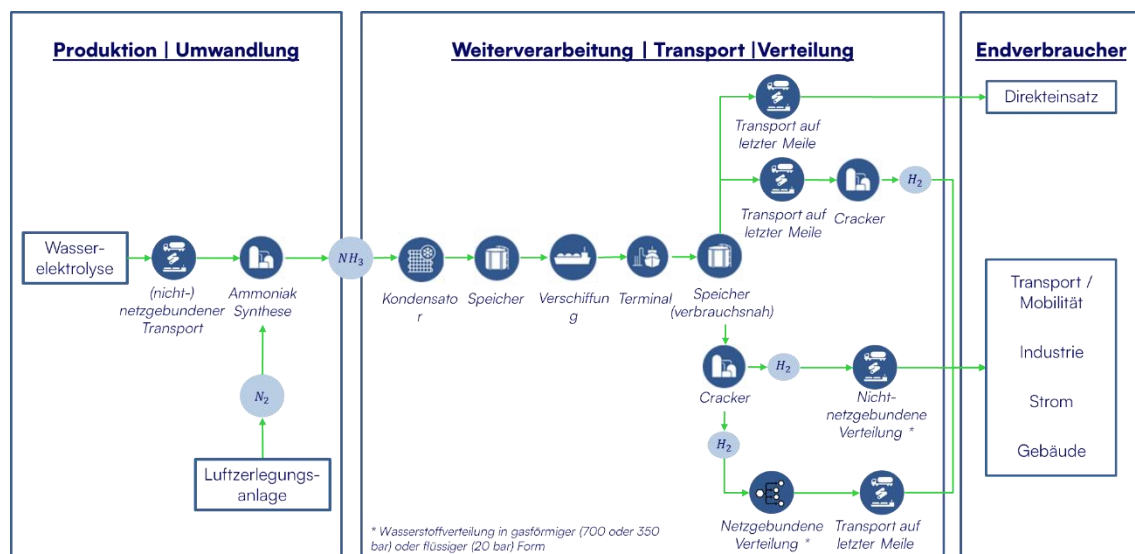
<sup>8</sup> IRENA und AEA (2022): Innovation Outlook: Renewable Ammonia [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA\\_Innovation\\_Outlook\\_Ammonia\\_2022.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA_Innovation_Outlook_Ammonia_2022.pdf).



**Abbildung 1: Produktion und Umwandlung (Abbildung H2Global; Icons © Energiesysteme der Zukunft (ESYS); Illustrationen von Ellery Studio<sup>9</sup>)**

Im Segment „Produktion und Umwandlung“ können die räumlichen Distanzen zwischen der Erzeugung von erneuerbarem Strom, der Produktion von grünem Wasserstoff und der folgenden Ammoniaksynthese variieren. Die Erzeugung der erneuerbaren Energie wird an einem geeigneten Standort erfolgen. Die Elektrolyse setzt die Verfügbarkeit von Wasser (an manchen Orten die Entsalzung von Meerwasser) voraus. Schon zu Beginn der Kette kann Transport, sowohl netzgebunden als auch nicht-netzgebunden, eine Rolle spielen, da synthetische Herstellung von Ammoniak im Haber-Bosch-Verfahren nicht notwendigerweise direkt am Ort der Wasserstoffherzeugung erfolgen muss. In diesem Prozess wird Ammoniak ( $NH_3$ ) mithilfe von Wasserstoff  $H_2$  und Stickstoff  $N_2$  hergestellt. Ammoniak wird in einem Kondensator bei einem Siedepunkt von  $-33^\circ C$  (1 bar) oder etwa 10 bar (Umgebungstemperatur) verflüssigt.

<sup>9</sup> Staiß et al. (2022): Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030: Transportwege – Länderbewertungen – Realisierungserfordernisse. [https://doi.org/10.48669/esys\\_2022-6](https://doi.org/10.48669/esys_2022-6)



**Abbildung 2: Liefer- und Logistikkette(n) NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>**

Das Segment „Weiterverarbeitung, Transport, Verteilung“ weist eine Reihe unterschiedlicher Stufen auf. Zur Komplexität trägt auch bei, dass sich die Routen je nach Endverbraucher und Anwendung fundamental unterscheiden. Bereits an das Segment „Produktion und Umwandlung“ schließen sich Schritte der Speicherung vor Ort und der Transport zum und die Speicherung am Hafen an. Der Import von Ammoniak ist hier per *Liquefied Petroleum Gas*-Tankerschiff (LPG-Tanker) als Langstreckentransport dargestellt.

Der inländische Lufttransport von NH<sub>3</sub> kann in unterschiedlicher Weise erfolgen: in Pipelines wie in den USA, per Binnenschiff oder LPG-Tanker, Bahnkesselwagen auf der Schiene und Tankwagen.<sup>10</sup> Speicher als „Sammelstationen“ und „Puffer“ sind an mehreren Stufen der Logistikkette mitzudenken. Die auf den jeweiligen Stufen stattfindenden Prozesse können nämlich beim In- und Output in Menge und Frequenz variieren. Die Produktion, der Transport und die Nutzung bzw. das Cracking des Ammoniaks und die Verbrauchsstrukturen folgen unterschiedlichen Prozessen und Verläufen von Impuls- bzw. Bandlieferungen. Die jeweilige Mengenbereitstellung und der Mengenbedarf variieren.

Die nachgelagerte Stufe zwischen (Weiter)Transport und dem jeweiligen Verbrauchssektor unterscheidet sich, je nachdem, ob Ammoniak direkt als Grundstoff, als Brennstoff oder Treibstoff in Form von H<sub>2</sub> genutzt wird. Hier gehen die Optionen auseinander. Ammoniak als frühe Transport- bzw. Importoption von H<sub>2</sub> ist heute schon verfügbar. Überdies kann grünes das graue Ammoniak als Eingangsstoff z.B. für die Düngemittelproduktion und anderer Chemikalien ersetzen. Das

<sup>10</sup> IRENA und AEA (2022): Innovation Outlook: Renewable Ammonia. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA\\_Innovation\\_Outlook\\_Ammonia\\_2022.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA_Innovation_Outlook_Ammonia_2022.pdf).

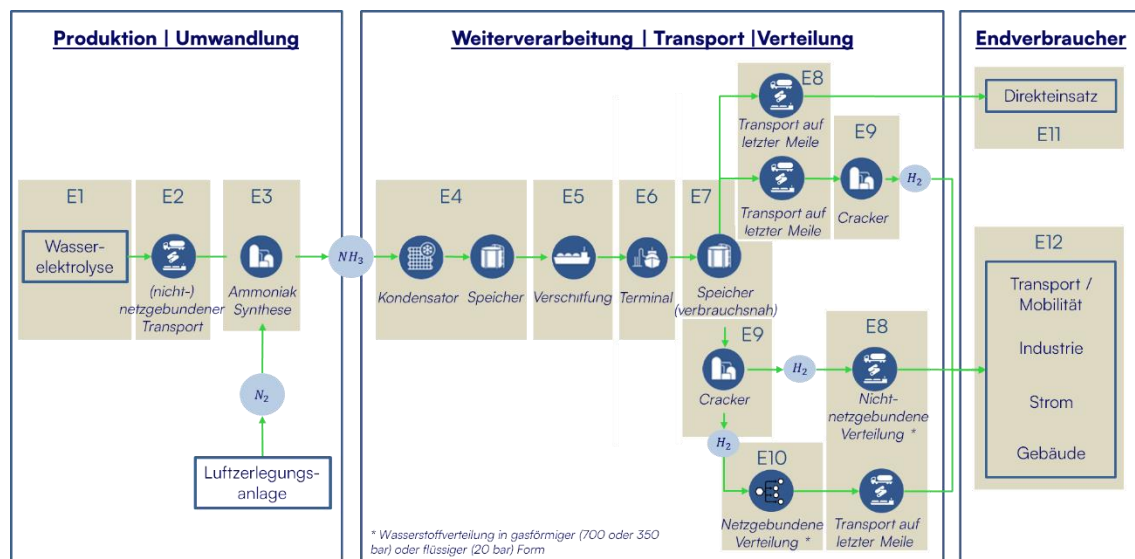


macht es für die Erprobung und Skalierung von Wasserelektrolyse und die Etablierung einer ersten Lieferkette so geeignet.

Für die schnelle energetische Nutzung ist jedoch zweierlei bedeutsam: Zum einen sind großskalige Cracker zur Rückgewinnung von  $H_2$  aus  $NH_3$  noch in der Entwicklung (Technologiereifegrad 6<sup>11</sup>). Zum anderen ist offen, welche Rolle neue Ammoniak Anwendungen z.B. im Einsatz von Kraftwerken oder als Schiffstreibstoff spielen können und werden.

Deswegen zeigt Abbildung 2 vier unterschiedliche Routen: Oben ist der direkte Transport und Verbrauch von  $NH_3$  vom Hafen zum Endnutzer über Trailer, Schiene oder Binnenschiffe sowie theoretisch auch Pipeline dargestellt. Hier erfolgt die Speicherung beim Endkunden.

Wird Ammoniak als Transportvektor für grünen Wasserstoff eingesetzt, muss ein Cracking erfolgen. Dieses kann entweder im Hafen, an einem logistischen Knotenpunkt zur Einspeisung ins Wasserstoffnetz oder zum netzungebundenen Weitertransport sowie beim Endkunden erfolgen. Auch davon hängt der Einsatz und die örtliche Planung von Speichern ( $NH_3$  und  $H_2$ ) ab (siehe Abbildung 2). Ebenso wichtig ist die Entwicklung von logistischen Knotenpunkten, in denen sich leitungs- und nichtleitungsgebundene Transportrouten kreuzen.



**Abbildung 3: Notwendige technisch-prozessuale organisatorische Einheiten**

<sup>11</sup> IEA (2022): Global Hydrogen Review 2022. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>.

## Definition der Entitäten in der grünen Ammoniak-Lieferkette

### E1: Erzeuger von Wasserstoff

- Eigentümer/Betreiber von erneuerbarer Stromproduktion & Elektrolyseur
- Standort im Ausland

### E2: Transporter (netz-/nichtnetzgebunden)

- Eigentümer/Betreiber der Transportinfrastruktur
- Leitungsnetz: natürliches Monopol
- Standort im Ausland

### E3: Produzent von Ammoniak

- Eigentümer/Betreiber einer Ammoniaksynthesanlage
- Standort im Ausland

### E4: Betreiber eines Exportterminals

- Eigentümer/Betreiber von Kondensatoren & Lagertanks im Hafen
- Standort im Ausland

### E5: Schifffahrtsgesellschaft

- Eigentümer/Betreiber von Ammoniakschiffen
- Kann überall angesiedelt sein (Hauptsitz)

### E6: Betreiber eines Importterminals

- Betreiber einer Terminalanlage
- Standort in Nordwesteuropa

### E7: Betreiber von Speichereinrichtungen

- Betreiber eines Lagers für flüssigen Ammoniak
- Standort in Nordwesteuropa, in der Nähe des Verbrauchs

### E8: Transportunternehmen (letzte Meile)

- Eigentümer/Betreiber der Transportinfrastruktur (für NH<sub>3</sub> oder H<sub>2</sub>)
- Netzgebunden: natürliches Monopol
- Nichtnetzgebunden: offen für Wettbewerb

### E9: Cracker

- Eigentümer/Betreiber einer NH<sub>3</sub>-Cracking-Anlage

### E10: Netzgebundene H<sub>2</sub>-Verteilung

- Eigentümer/Betreiber eines H<sub>2</sub>-Verteilungsnetzes
- Natürliches Monopol

### E11: NH<sub>3</sub>-Direktverbraucher

- Industrie

### E12: H<sub>2</sub>-Nutzer

- Industrie: Energie oder Grundstoff
- Mobilität, Strom: Energie

## Abbildung 4: Entitäten in der grünen Ammoniak-Lieferkette

Die Abbildungen 3 und 4 verdeutlichen, dass die technisch komplexe und lange Lieferkette über die organisatorischen Einheiten hinweg zahlreiche Vertragsverhältnisse notwendig macht, um die kommerziellen Schnittstellen abzubilden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es sich bei der grünen Ammoniaklieferkette um eine sehr lange und mehrere Produktions- und Umwandlungsstufen umfassende komplexe Logistik- und Wertschöpfungskette handelt. Diese ist technologie- und innovationsgetrieben und erfordert hohe Upfront-Investitionen in Erzeugungsanlagen, Infrastruktur und Nutzungsprozesse. Während in der konventionellen Öl- und Gasförderung traditionell die Kapitalkosten von der Quelle zur Senke abnehmen, sind hier auf fast allen Stufen vergleichsweise große Investitionskosten notwendig. Außerdem kann und wird die Lieferkette zwei oder mehrere Jurisdiktionen umspannen.

## III. Die Errichtung der Lieferkette und kommerzielle Schnittstellen

### a. Herausforderungen

Die Kernelemente einer Wertschöpfungskette stellen die Wasserstoffherzeugung (E1), die Ammoniaksynthese (E3) und die Ammoniaknutzung (E11) dar. Ungeachtet der Frage des Erzeugungs- und Verbrauchsortes und deren Verbindung (Transport) stellen sich für die Akteure in diesen Schlüsselfeldern grundlegende Herausforderungen beim Eintritt in die bzw. dem Aufbau der Ammoniaklieferkette in der ersten Aufbauphase. Zu den Hauptproblemen in einem hoch unsicheren

Marktumfeld gehören das 1) Informationsproblem, das 2) Motivations- bzw. Anreizproblem und die 3) Synchronität bzw. Parallelität der Investitionen.

*Informationsproblem:* Die Akteure müssen voneinander wissen, d.h. die Bedürfnisse und Möglichkeiten der potenziellen künftigen Handelspartner, also der anderen Marktseite, kennen und prüfen, inwieweit die eigenen Bedürfnisse und Fähigkeiten, zu denen der Akteure auf der anderen Marktseite passen. Dies ist auch deshalb schwierig, da es die Akteure in der Regel – insbesondere auf der Erzeugungsseite – noch nicht gibt.

Potenzielle Ammoniakherzeuger bzw. -anbieter benötigen nachfragebezogene Informationen über u.a. die benötigte Menge, das zeitliche Abnahmeprofil, Losgrößen, Anforderungen an die Versorgungssicherheit, die geforderte Produktqualität, die Anforderungen an den Nachweis der „grünen Eigenschaft“ und die Zahlungsbereitschaft einzelner Verbraucher. Umgekehrt benötigen Ammoniakverbraucher angebotsbezogene Informationen unter anderem über die lieferbare Menge und deren Entwicklung im Zeitverlauf (Skalierbarkeit), die Lieferzuverlässigkeit, die Produktqualität sowie Preisforderungen einzelner (potenzieller) Lieferanten.

Die Schwierigkeiten aus Sicht der Erzeuger und Verbraucher potenzieren sich bei globalen Lieferketten. Zum einen wird das Suchfeld unüberschaubar groß, zum anderen wird die Lieferkette länger, d.h. Erzeugung und Verbrauch liegen räumlich weit auseinander und befinden sich in unterschiedlichen Rechtsräumen. Da der Ammoniak über große Entfernungen transportiert werden muss, kommen auch mehr Akteure im Bereich Transport und Verteilung (E2, E4-E10) hinzu, die in die Lieferkette einbezogen werden müssen. Damit nimmt die Anzahl der Schnittstellen in der Lieferkette zu, d.h. die Lieferkette wird komplexer. Wie oben dargestellt, können sie zahlreiche Vertragsverhältnisse notwendig machen. Hieraus ergibt sich für die Erzeuger (E1/E3) und Verbraucher (E11) die Schwierigkeit in einem durch hohe Unsicherheiten gekennzeichneten Marktumfeld Geschäftsbeziehungen anzubahnen. Das führt zu sehr hohen Transaktions- und Suchkosten bei der Anbahnung von Ammoniakvermarktung bzw. -beschaffung. Hinzu kommen auch weitere Unsicherheiten in Bezug auf die zukünftig verfügbare Infrastruktur, also Transportkapazitäten und -kosten sowie das Netzzugangsregime. Die aus dem Informationsproblem resultierenden Risiken für die Investitionen sind damit sehr hoch.

*Motivations- und Anreizproblem.* Außer eines abstrakten Verständnisses und Konsenses, dass grüner Wasserstoff für die erfolgreiche Energietransformation gebraucht wird, fehlen Anreize für Investitionen. Es besteht derzeit noch eine Wirtschaftlichkeitslücke und geeignete Geschäftsmodelle fehlen. Eine selbsttragende Entwicklung wird dadurch verhindert, dass die maximale Zahlungsbereitschaft auf Seiten potenzieller Verbraucher grünen Ammoniaks in der Regel noch unter den minimalen Gesamtkosten der Versorgung mit grünem Ammoniak liegt. Darüber hinaus birgt die weitere Entwicklung von Technologien und Kosten zwar einerseits die Aussicht auf eine Schließung der Wirtschaftlichkeitslücke etwa durch industrielle Fertigung und Skalierung. Die Differenz

zwischen anlegbarem Preis aus Sicht des Verbrauchers und höheren Vollkosten der Produktion muss geschlossen werden. Andererseits besteht aber auch die Gefahr der Entwertung früher Investitionen, wenn Innovations- und Skalierungssprünge erfolgen. Wenn die spezifischen Erzeugungskosten von Neuanlagen im Laufe der Zeit fallen, können frühe Investitionen mit höheren durch dann sinkende spezifische Erzeugungskosten entwertet werden. Hieraus ergibt sich ein umfassendes Anreiz- und Motivationsproblem.

*Synchronitätsproblem:* Zudem erfordert eine größere Zahl von Akteuren, die entlang der Wertschöpfungskette Investitionen tätigen wollen, Vertrauen in gleichzeitige (Ko-)Investitionen anderer Akteure (Synchronität), ohne die die eigene Investition wertlos wäre. Dies führt dazu, dass jeder Akteur auf Investitionen der anderen Akteure wartet, bevor eigene Investitionsentscheidungen getroffen werden. Im Ergebnis kommt es dann nicht zu Investitionen. Dieses Phänomen ist als „Henne-Ei-Problem“ bekannt.

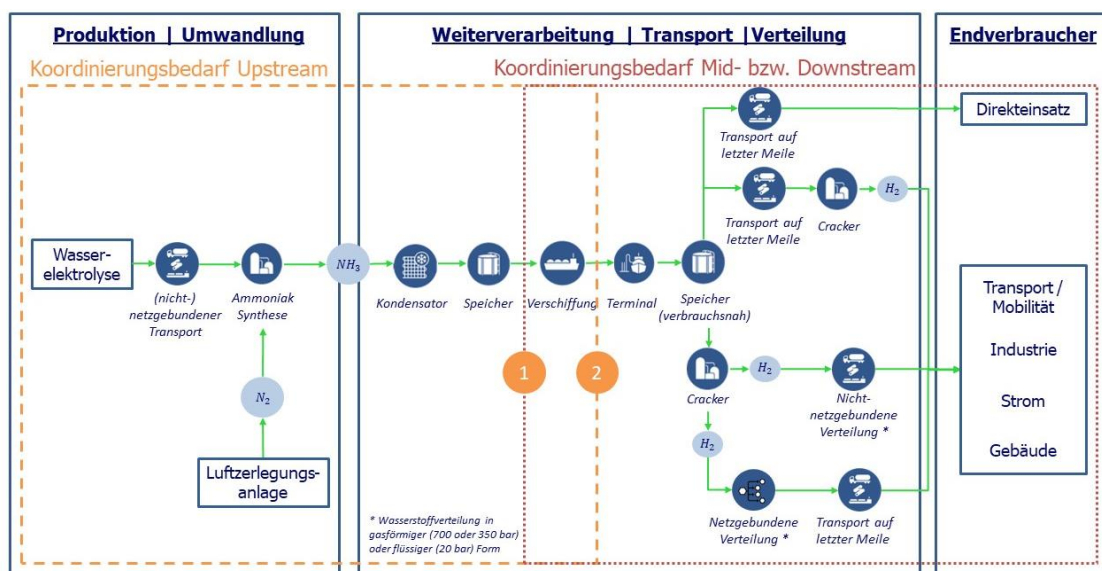
## **b. Kommerzielles Risikomanagement**

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Schwierigkeiten wirken in Summe als erhebliches Hindernis beim Aufbau der Wertschöpfungskette. Als Lösungen bieten sich verschiedene Gegenmaßnahmen an:

- Produktstandards und technische Normen können erheblich dazu beitragen, das Informationsproblem zu reduzieren. Staatliche Regularien oder Normungsinstitute sind z.B. in Bezug auf Produktqualität oder bzgl. der Anforderungen an den Nachweis grüner Eigenschaft eine Grundvoraussetzung für den Marktaufbau.
- Langfristige Verträge reduzieren durch große Gesamtliefermengen über die Vertragslaufzeit die mengenspezifischen Transaktions- und Suchkosten.
- Das Absichern früher Investitionen kann durch eine Abnahmegarantie im Rahmen langfristiger Verträge gelöst werden; das Risiko wird dadurch nicht eliminiert, kann aber zumindest teilweise an Abnehmer weitergegeben werden. Doch auch hier könnte es sich erweisen, dass sich die anfangs bestehende Wirtschaftlichkeitslücke nur durch eine (zeitlich begrenzte) Förderung überbrücken lässt, wie das etwa Differenzkostenverträge erlauben.
- Die Synchronität von Investitionen entlang der Lieferkette lässt sich durch Koordination herstellen. Traditionell findet die Koordination z.B. über Joint Ventures bzw. eine vertikale Integration vorwärts oder rückwärts entlang der Wertschöpfungskette statt. Angesichts der hohen Kosten auf allen Stufen der Lieferkette sowie aufgrund des Wettbewerbsrechts und des Entflechtungsregimes in der EU ist dem aber zumindest beim leitungsgebundenen Transport aktuell ein Riegel

vorgeschoben. Auch deshalb wird der Staat gefragt sein, Vertrauen in gleichzeitige Ko-Investitionen entlang der Lieferkette zu befördern. Außerdem helfen verbindliche Verträge (Lieferverträge oder Kapazitätsbuchungen), um das Vertrauen in synchrone Investitionen zu schaffen.

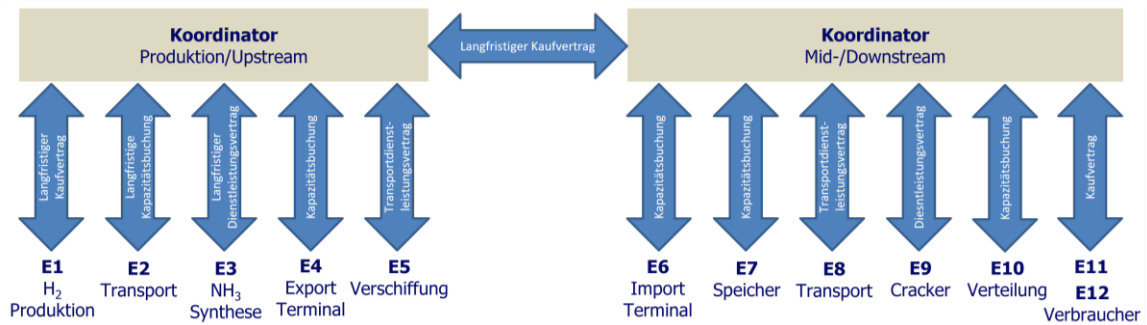
Aus historisch-informierter, aber auch organisatorischer Perspektive ist mithin davon auszugehen, dass nicht alle Herstellungs-, Transport- und Weiterverarbeitungsschritte von jeweils neuen und unabhängigen Entitäten vorgenommen werden. Vielmehr legen ein Blick in die Gasindustrie, aber auch organisatorisch-strukturelle Überlegungen nahe, dass Koordination über größere Segmente der Liefer-, Logistik- und Wertschöpfungskette eine Rolle spielen wird (siehe Abbildung 4). Das erfolgt, um Anlagen auszulasten, um Mengen zu aggregieren, Risiken zu verteilen und ein Portfolio aufzubauen (siehe Kapitel IV). Hier liegt eine Koordination Upstream (Produktion & Herstellung & Synthese) und Downstream (Weiterverteilung, Lieferung Endkunde  $\text{NH}_3$  oder  $\text{H}_2$ ) nahe. Die Koordination einzelner Segmente hilft, um mit Informations-, Motivations- und Synchronisierungsproblemen umzugehen und die Transaktions- und Suchkosten zu reduzieren. Eine entscheidende Frage ist dann die der Übergabepunkte (siehe Abbildung 5). Sie kann entweder vor (1) oder nach dem Transport (2) erfolgen. Alternativ kann auch Midstream (Transport, Speicherung, Cracking) eine Koordination erfolgen, die insbesondere für die Entwicklung von logistischen Knotenpunkten wichtig sein kann.



**Abbildung 5: Koordination und Übergabepunkte**

Es ist naheliegend, dass an Orten, an denen sich Investitionen in die Lieferkette räumlich konzentrieren werden, koordinierende Akteure, „Koordinatoren“, in Erscheinung treten werden. Investitionen konzentrieren sich insbesondere am Ort bzw. der Region der Erzeugung von grünem Ammoniak, Upstream, aber auch am Ort bzw. der Region des Verbrauchs, also Mid- bzw.

Downstream (siehe Abbildung 5 oben). Nach dem Entstehen eines Upstream-Koordinators und eines Mid-/Downstream-Koordinators können die vertraglichen Schnittstellen dann folgendermaßen aussehen:



**Abbildung 6: Vertragsverhältnisse entlang der Lieferkette**

Anstelle einer sequenziellen Kette würde demnach eine große Anzahl an parallelen Schnittstellen bei den Koordinatoren gebündelt. Der Upstream- und der Downstream-Kordinator würden miteinander einen langfristigen Liefervertrag eingehen.

Der Upstream-Kordinator hätte dann vertragliche Beziehungen zum H<sub>2</sub>-Produzenten (E1) über die Lieferung von Wasserstoff, zum Transporteur zwischen Wasserstoff-Erzeugung und Ammoniak-Synthese (E2), zum Ammoniak-Erzeuger (E3) sowie zum Export-Terminal (E4). Der Schiffs-transport (E5) kann entweder durch den Upstream- oder den Downstream-Kordinator beauftragt werden, je nach Übergabepunkt in der Kette (siehe Abbildung 5). In der Abbildung 6 wird die Verschiffung vom Upstream-Kordinator vertraglich gestaltet.

Der Mid- bzw. Downstream-Kordinator bucht Kapazitäten am Import-Terminal (E6), an Speichern (E7), die Transportrouten (E8), ggf. das Cracking (E9) und das Verteilnetz bzw. den Transport auf der „letzten Meile“ (E10) und vermarktet das Ammoniak bzw. den Wasserstoff an Endkunden (E11, E12).

### Liefervertrag zwischen Up- und Mid-/Downstream-Kordinator

Der Grundpfeiler in einer solchen Organisation der Lieferkette um Koordinatoren ist der Liefervertrag zwischen Upstream- und Mid-/Downstream-Kordinator. In diesem Vertrag können eine Reihe der oben beschriebenen Unsicherheiten und Risiken reduziert werden. Die Anforderungen für beide Seiten und mögliche Lösungsansätze sind im folgenden Schaubild zusammengefasst.



### Abbildung 7: Kommerzielles Verhältnis und Risiko-Management

Der Upstream-Koordinator muss seine Upstream-Investitionen (bzw. die seiner Vertragspartner, insb. E1-E3) absichern. Das betrifft vor allem das Mengen-/Abnehmerisiko und das Marktpreisrisiko. Ebenso müssen das Gegenparteirisiko und das „Force-Majeure“, das Höhere-Gewalt-Risiko, aufgefangen werden.

Das Mengenrisiko ist lösbar durch eine lange Vertragslaufzeit des Liefervertrages mit Mindestabnahmemengen. Durch eine klare Preisregelung, die sich an den Kostenstrukturen der Ammoniak-Erzeugung und -Lieferung orientiert, lässt sich das Marktpreisrisiko abmildern. In der Praxis wird jedoch häufig ein Kompromiss gefunden werden müssen zwischen den Anforderungen des Lieferanten (Kostendeckung) und den Anforderungen des Käufers (Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu alternativen – grünen oder fossilen – Energieträgern). Das Gegenparteirisiko lässt sich nicht immer vollständig eliminieren, sondern muss gegebenenfalls durch Bonitätsprüfungen und Sicherheiten oder Bürgschaften vermindert werden. Eine Höhere-Gewalt-Klausel stellt sicher, dass der Upstream-Koordinator bzw. der Lieferant im Fall der nicht von ihm selbst zu vertretenden Unmöglichkeit der Lieferung von seinen Lieferpflichten befreit ist.

Für den Downstream-Koordinator hängen die Herausforderungen beim Aufbau der Lieferkette und beim Abschluss von Verträgen stark von den Bedürfnissen und Anforderungen des Endkunden ab. Verwendet der Endkunde bereits heute Ammoniak anderer Herkunft („graues Ammoniak“) wie z.B. bei der Düngemittelproduktion der Fall, entfallen viele Schwierigkeiten im Vergleich zu jenen Endkunden, die von einem anderen Energieträger auf Ammoniak oder Wasserstoff umstellen.

So sind bei einem bestehenden Nutzer grauen Ammoniaks kaum Investitionen für eine Umstellung auf grünes Ammoniak erforderlich, und es entstehen dem Endnutzer daher auch keine Finanzierungsbedarfe oder Investitionsrisiken. Dadurch entfällt aus Sicht des Upstream-

Koordinatoren und Lieferanten grünen Ammoniaks das Problem der Synchronität in Bezug auf Investitionen auf der Downstream-Seite. Nicht zuletzt können die Vertragsparteien auf eine physisch bereits bestehende Lieferkette (Schiffe, Lager, Kesselwagen, Trailer etc.) aufsetzen.

Wenn in einer Übergangsphase graues und grünes Ammoniak in einem Mischbetrieb verwendet werden können, kann die Ammoniak-Versorgungssicherheit durch graues Ammoniak gewährleistet werden. Dann würde das grüne Ammoniak vorrangig verwendet, und das graue Ammoniak deckte den Residualbedarf. Mit grauem Ammoniak als Backup-Lösung entfällt für die Lieferung grünen Ammoniaks zudem die Notwendigkeit, die Liefermenge über die Zeit bedarfsgerecht steuern zu müssen.

Auch für die Preisgestaltung des grünen Ammoniaks gibt es aus Sicht des bestehenden Nutzers grauen Ammoniaks eine Grundlage. Die Kosten des grauen Ammoniaks zuzüglich der Kosten für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate (oder für eine Dekarbonisierung des grauen Ammoniaks) stellen eine obere Schranke für den Wert des Ammoniaks dar (anlegbarer Preis).

Verbleibende Anforderungen aus Sicht des Mid-/Downstream-Koordinators gäbe es hinsichtlich der Sicherstellung der Produktqualität (Nachweis der grünen Eigenschaft) sowie der Absicherung des Gegenparteirisikos und des nutzerseitigen Höhere-Gewalt-Risikos. Darüber hinaus benötigt der Endnutzer (und damit auch der Mid-/Downstream-Koordinator) die Zusicherung, dass er den grünen Ammoniak auch dauerhaft erhält, um die politisch vorgegebenen oder eigenen (selbst gesetzten) Dekarbonisierungsziele erfüllen zu können. In einem sich rasch entwickelnden und wachsenden Ammoniakmarkt besteht für einzelne Endnutzer das Risiko, dass Lieferanten mit Ablauf des Liefervertrages ggf. anderen Käufern mit höheren Zahlungsbereitschaften in den neuen (energetischen) Verwendungsbereichen von Ammoniak den Vorzug geben.

Letzteres lässt sich durch eine lange Vertragslaufzeit des Liefervertrages lösen, in den auch eine Klausel zu Höherer Gewalt auf Käuferseite aufgenommen werden sollte. Falls der Käufer aus Gründen, die er nicht zu vertreten hat, den Ammoniak nicht abnehmen kann (z.B. bei einem Produktionsausfall beim Endabnehmer durch höhere Gewalt), muss er für die Dauer der Unmöglichkeit von der Abnahmepflicht befreit sein. Das Gegenparteirisiko lässt sich durch eingehende Prüfungen im Vorhinein minimieren und durch die Hinterlegung von Sicherheiten oder durch Bürgschaften von Dritten weiter vermindern.

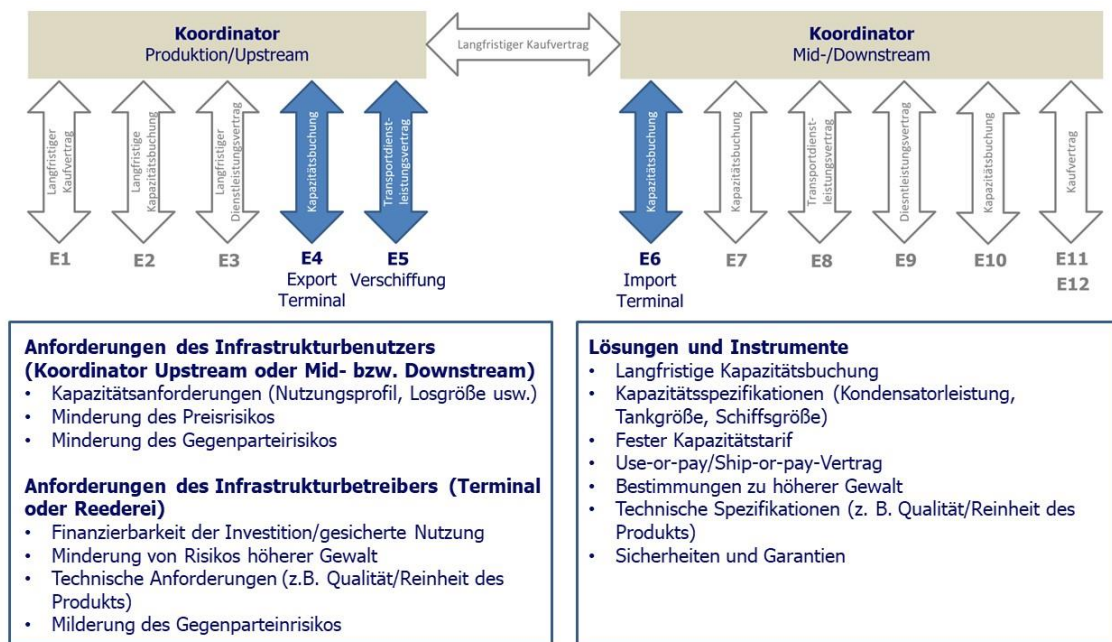
### **Kapazitätsbuchungsverträge zwischen Koordinatoren und Infrastrukturbetreibern**

Um den langfristigen Ammoniak-Liefervertrag abschließen zu können, müssen der Upstream-Koordinator und der Mid-/Downstream-Koordinator gleichzeitig die nachgelagerten Vertragsbeziehungen herstellen. Im Fall des Mid-/Downstream-Koordinators heißt das, den Liefervertrag bzw. die Lieferverträge mit Endkunden sowie Verträge mit Dienstleistern für Transport, Speicherung und ggf. Cracking zu schließen. Für den Upstream-Koordinator geht es um die Verträge über (oder



auch eigene Investitionen in) die Erzeugung und Lieferung von grünem Wasserstoff sowie die Ammoniak-Synthese.

Bei einer Übersee-Lieferkette liegt der Schiffstransport an der Schnittstelle der Zuständigkeitsbereiche der beteiligten Koordinatoren und auch verschiedener Jurisdiktionen. Die Errichtung der für den Schiffstransport nötigen Infrastruktur bedarf daher einer besonderen Aufmerksamkeit. Es sind erhebliche Investitionen in Export-Terminals, Schiffe und Import-Terminals erforderlich, die vorfinanziert werden müssen und gerade in der Hochlauf-Phase mit Auslastungsrisiken verbunden sind. Das folgende Schaubild zeigt die wesentlichen Anforderungen aus Sicht der Infrastrukturbetreiber (hier also des Export-/Import-Terminals bzw. der Schiffsflotte) und der Infrastrukturnutzer (also des Upstream- bzw. des Mid-/Downstream-Koordinators), sowie mögliche Instrumente und Lösungen, um den Anforderungen gerecht zu werden.



**Abbildung 8: Kapazitätsverträge mit Infrastrukturbetreibern**

Die Upstream- und Mid-/Downstream-Koordinatoren haben durch ihren Liefervertrag einen Kapazitätsbedarf und sind daher in der Lage, langfristige Kapazitätsbuchungsverträge abzuschließen, d.h. den Infrastrukturbetreibern das Auslastungsrisiko zu nehmen. Dazu muss der Kapazitätsbuchungsvertrag als Use-or-pay- bzw. Ship-or-pay-Vertrag ausgestaltet sein, d.h. die gebuchte Kapazität muss unabhängig von der tatsächlichen Nutzung bezahlt werden. Zugleich muss das Kapazitätsentgelt so kalkuliert sein, dass es eine Vollkostendeckung über die Laufzeit erlaubt; je nach Anteilen von CAPEX und OPEX kann es eine feste (d.h. nutzungsunabhängige) sowie eine variable (d.h. nutzungsabhängige) Entgeltkomponente geben.

Darüber hinaus müssen die Kapazitätsverträge mit den Infrastrukturbetreibern und der Liefervertrag zwischen Upstream- und Mid-/Downstream-Koordinator in einigen Punkten aufeinander abgestimmt sein. Liefermengen und -profile müssen zu den gebuchten Kapazitäten passen. Ein Fall höherer Gewalt, der die Infrastruktur betrifft, muss nicht nur im Kapazitätsvertrag, sondern auch im Liefervertrag als solcher anerkannt und gehandhabt werden. Darüber hinaus müssen etwa die technischen Qualitätsanforderungen an das Ammoniak in allen Kapazitätsverträgen den im Liefervertrag festgehaltenen (Mindest-)Anforderungen entsprechen; dies betrifft z.B. die stoffliche Reinheit, d.h. es darf während der Lagerung, des Transports oder der Verarbeitung nicht zu Verunreinigungen kommen.

Durch die Upstream- und Mid-/Downstream-Koordinatoren können jedoch nicht alle Schwierigkeiten mit Bezug zur Infrastruktur in Kapazitätsverträgen gelöst werden. So kann es beispielsweise sein, dass die im langfristigen Liefervertrag bestimmte Liefermenge zu gering ist, um ein Export- oder Import-Terminal und entsprechende Schiffe mit einer üblichen (d.h. wirtschaftlichen) Größe auszulasten. In dem Fall müssen die Infrastrukturbetreiber die Nachfrage mehrerer Nutzer bündeln – z.B. im Rahmen von „Open Seasons“ – bevor eine Investition möglich wird. Gelingt dies nicht, gefährdet das nicht nur die Errichtung des entsprechenden Infrastruktur-Assets, sondern auch die Realisierung des Liefervertrags und damit die Errichtung der gesamten Lieferkette.

#### **IV. Residuale Risiken und die Rolle des Staates**

Diese Analyse hat sich den strukturellen Fragen rund um den Aufbau einer physischen Lieferkette und ihren kommerziellen Risiken gewidmet. Angesichts der großen Herausforderungen des Technologie- und Markthochlaufs bleiben aber erhebliche residuale Risiken, die eines staatlichen Handelns bedürfen. Der ordnungspolitische Rahmen, also die Spielregeln für einen auf die Klimaziele gerichteten Markt von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten, fehlen noch weitgehend. Als wichtige Grundvoraussetzungen für den Aufbau eines Wasserstoffmarktes, quasi als *conditiones sine quibus non*, d.h. als notwendige, aber noch nicht hinreichende Bedingungen, gelten zum einen die Regeln für den Treibhausgasgehalt und die „Grünwertigkeit“ von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten. Ohne eine klare Definition des Gutes, das in einem (entstehenden) Markt gehandelt werden soll, kann kein nachhaltiger Aufbau des Vertrags- und Handelssystems und der dahinterliegenden Geschäftsmodelle erfolgen. Zum anderen bedarf insbesondere die leitungsgebundene Transportinfrastruktur aufgrund ihres Merkmals als „natürliches Monopol“ einer besonderen Aufmerksamkeit. Letztere ist bedeutsam für den Fall, dass Ammoniak in Wasserstoff rückgewandelt und in ein Netz eingespeist wird. Hier verlangen die integrierte Planung eines Wasserstoffnetzes, die Umsetzung, Umstellung von CH<sub>4</sub> auf H<sub>2</sub> und dessen Finanzierung erhöhte politische Aufmerksamkeit.

Jenseits dieser zwei Grundvoraussetzungen stellen sich – verglichen mit etablierten Märkten – in der Technologie- und Marktaufbau-Phase besondere Herausforderungen für die privatwirtschaftlichen Vertragspartner. Der Versorgungssicherheit und der Verteilung der damit verbundenen Risiken an den Schnittstellen kommt eine besondere Bedeutung zu. Die Rahmenbedingungen sollten, daher idealerweise die erforderlichen kapitalintensiven Vorab-Investitionen ermöglichen oder jedenfalls erleichtern, sei es für die Verwendung von Wasserstoff oder die direkte Anwendung von Ammoniak. Bilaterales vertragliches Risikomanagement der Unternehmen genügt nicht, um sicherzustellen, dass in der Aufbau-Phase erforderliche Investitionen zeitlich passend erfolgreich umgesetzt werden. Es gibt residuale Risiken, die bereits den Aufbau der Lieferkette gefährden und besondere staatliche Aufmerksamkeit und Koordinierung erfordern. Dies gilt in Bezug auf alle Anlagen und Transportmodalitäten, d.h.:

- Grünstrom- und Elektrolyseur-Kapazitäten
- Produktions-/Umwandlungskapazitäten (Upstream)
- Infrastruktur bis zum EU-/DE-Terminal (inkl. Shipping)
- Aufnahmeinfrastruktur am Terminal (inkl. Cracker)
- NH<sub>3</sub> und H<sub>2</sub>-Infrastruktur in Deutschland: Pipeline/Speicher
- H<sub>2</sub>-Anwendungstechnologie beim Endverbraucher.

Die Risiken, die sich durch bilaterale Verträge zwischen den Akteuren nicht umfassend managen lassen, verhindern gegebenenfalls die erforderlichen Investitionen. Sie müssen daher von dritter Seite mitgetragen, angereizt oder gefördert werden. Jenseits der Lieferrisiken geht es hier insbesondere um Kreditrisiken und Fragen der Finanzierungsfähigkeit (Bankability).

Um eine Punkt-zu-Punkt Lieferkette aufzubauen, die der klimapolitisch gewünschten Allokation in bestimmten Branchen entspricht und die auf der Nutzungs-, bzw. Anwendungsseite unter Umständen mit großen Investitionen in neue Prozesse (z.B. Stahlindustrie) verbunden sein kann, bedarf es besonderer Hebel. Staatliche Intervention, die ggf. im internationalen Kontext zu koordinieren ist, kann das erforderliche Vertrauen in die Investitionsentscheidung und die zeitige Fertigstellung der notwendigen Investitionen entlang der Lieferkette sicherstellen. Dies gilt auch für Kreditrisiken entlang der Wertschöpfungskette; ein Ausfall von Lieferanten oder Dienstleistern wegen Zahlungsunfähigkeit ist möglichst zu verhindern, da die Lieferungen in der Aufbau-Phase nicht beliebig ersetzbar sind.

## V. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Aus der Analyse der grünen Ammoniak-Liefer-, Logistik- und Wertschöpfungskette lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen: Für den Anschlag und dann die Beschleunigung des

Technologie- und Markthochlaufs sind der parallele und synchrone Aufbau von Zertifizierungs- und Kontrollketten sowie die integrierte Netzplanung essenziell. Die Etablierung einer verlässlichen Kontrollkette („chain of custody“) ist notwendig, um eine Integrität des Gutes und des Marktes zu gewährleisten. Sie sollte aber gleichzeitig den Aufbau anreizen und nicht erschweren. Eine integrierte Netzplanung, die Vertrauen schafft, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort in ausreichender Menge und der benötigten Form H<sub>2</sub> oder H<sub>2</sub>-Derivate verfügbar sein werden, ist Vorbedingung, um das „Henne-Ei“-Problem der Abstimmung von Angebot und Nachfrage über die verschiedenen Stufen anzugehen.

Ein gewichtiges residuales Risiko in der Aufbau-Phase bleibt *die Wirtschaftlichkeit*: wenn die Akteure davon ausgehen müssen, dass die Kosten der Investitionen entlang der Lieferkette eine profitable Nutzung des Wasserstoffs durch den Endkunden langfristig nicht ermöglicht, wird das zu einem entscheidenden Investitionshemmnis entlang der Kette. Dieses Risiko ist real und muss adressiert werden, wenn die erforderlichen Upstream-/Midstream-Investitionen getätigt und entsprechende Verträge mit Importeuren/Aggregatoren geschlossen werden sollen. Eine Absicherung von Mindestpreisen für den Upstream-Koordinator muss für einen bestimmten Zeitraum erfolgen. Als staatliches Instrument muss hier in der Aufbau-Phase die Differenz zwischen anlegbarem Preis aus Sicht des Verbrauchers und höheren Vollkosten der Produktion geschlossen werden. Hier gibt es Lösungsansätze wie das Instrument H2Global, das in seinem heutigen Design auf der Angebots- und Lieferseite wirkt, potenziell aber auch auf die Nachfrageseite abgestellt werden kann.<sup>12</sup> Ferner dienen die Klimaschutzverträge auf der Nachfrageseite dazu, dass Industrieprozesse umgestellt werden.

Für das Thema der *Versorgungssicherheit* ist es in der Aufbauphase wichtig, physische Back-up-Lösungen zu entwickeln, die es dem Endverbraucher ermöglichen, Wasserstoff (oder Ammoniak) wie geplant für seine Prozesse zu nutzen, auch wenn die vertraglich zugesagte Lieferung mit dem grünen Produkt nicht dargestellt werden kann. Es kann also erforderlich sein, für gesicherte Leistung ausnahmsweise den Einsatz von nicht-grünem Wasserstoff bzw. Ammoniak zuzulassen, wenn hinreichende Speicherkapazitäten zur Absicherung oder andere grüne Alternativen dafür nicht zur Verfügung stehen. Diese Option sichert das erforderliche Vertrauen in das Funktionieren der Lieferkette während der Aufbau-Phase und so die Bereitschaft, sich langfristig auf grüne Wasserstoff-/Ammoniak-Anwendungen inklusive der erforderlichen Investitionen festzulegen.

Regulatorisch ist außerdem die gemeinsame Verarbeitung („Co-Processing“) und Mischung und Zusammenführung von grünem und nicht-grünem Produkt beim Transport und der Speicherung („Co-Mingling“) zu ermöglichen, da sonst die Infrastrukturkosten für das grüne Produkt

---

<sup>12</sup> Siehe dazu: H2Global Stiftung (2022): H2Global – Idee, Instrument und Intentionen, Policy Brief. [http://files.h2-global.de/H2Global-Stiftung-Policy-Brief-01\\_2022-DE.pdf](http://files.h2-global.de/H2Global-Stiftung-Policy-Brief-01_2022-DE.pdf).

unverhältnismäßig hoch wären. Für die Kontrollkette der Treibhausgasemissionen und Grüneigenschaft ist eine marktfreundliche Massenbilanzierung einzuführen, die die Grenzen der Anlagen und Infrastrukturen („logistical facility“) handhabbar fasst.

Mit Blick auf die notwendige *Infrastruktur* stellt sich die Frage, welche Rolle in Zukunft die heute bereits für graues Ammoniak bestehenden Infrastrukturanlagen, die oftmals im Rahmen vertikal-integrierter Versorgungsstrukturen betrieben werden, übernehmen. Staatliche Regulierung ist notwendig sowohl bei der Nutzung bestehender Infrastruktur als auch bei der Entwicklung der Infrastruktur, die für Etablierung und Hochlauf des Wasserstoffmarktes erforderlich ist. Wie oben dargestellt, können Lieferungen von grünem Ammoniak auf bestehende Logistikketten aufsetzen. Hierbei handelt es sich aber um heute häufig vertikal-integrierte Eigentumsstrukturen. Zumindest für den Aufbau neuer Speicher-, Transport- oder Crackinganlagen ist ein diskriminierungsfreier Zugang für Dritte mitzudenken, wenn diese Infrastrukturen staatlich gefördert oder angereizt werden. Dann aber stellt sich die Frage, wie und zu welchen Bedingungen bestehende Anlagen diskriminierungsfrei geöffnet werden können. Auch stellt sich die Frage, wie ein fairer Wettbewerb zwischen der bestehenden Infrastruktur und neu, dezidiert für grünes Ammoniak, errichteten Anlagen gestaltet wird und wie das mit Förderungen für Neuanlagen vereinbar ist. Noch findet der Aufbau dieser Infrastrukturen (auch des Wasserstoffnetzes) in einem wettbewerblichen Umfeld statt, so dass eine gemeinsame Planung, eine Regelung zwischen Bestandsanlagen und Neuinvestitionen aus kartellrechtlichen Gründen nicht durch Absprachen genehmigt werden kann. Solche Fragen können nur durch staatliche Regulierung, und das heißt politisch, beantwortet werden.

Dieses gilt umso mehr für den *leitungsgebundenen Transport* von Wasserstoff. Infrastrukturen wie Netze und Speicher müssen so konzipiert werden, dass sie freie Kapazitäten für wachsende Mengen und zusätzliche Nutzer bereitstellen. Ein bundesweites H<sub>2</sub>-Startnetz muss schnell, umsetzbar und verlässlich geplant und umgesetzt werden. Die Unternehmen an beiden Enden der Kette müssen Vertrauen in diesen Prozess haben. Zugleich kann die H<sub>2</sub>-Infrastruktur im Rahmen staatlicher Regulierungsvorgaben und auf Basis festzulegender integrierter Infrastruktur-Entwicklungsplänen privat errichtet werden und jedem Akteur grundsätzlich diskriminierungsfreien Zugang verschaffen. Dabei gilt es aber Ausfallrisiken abzudecken und gestrandete Vermögenswerte („stranded assets“) zu vermeiden. Der Regulierungsrahmen sichert einen angemessenen Return auch in der Aufbau-Phase, in der die langfristig notwendige Auslastung noch nicht möglich ist. Vorübergehende Ausnahmen vom Regulierungsregime können ebenfalls vorgesehen werden, sofern sie dazu beitragen den Ausbau zu beschleunigen.

Mithin ist staatliche Regulierung an verschiedenen Stellen von Bedeutung. Es müssen Anreiz- und gegebenenfalls Förderinstrumente für ein Angebot („Supply Push“) (wie im Fall von H2Global) und einen Nachfragesog („Demand Pull“) (z.B. in Form von Klimaschutzverträgen) bis hin zur Etablierung von grünen Leitmärkten organisiert werden.

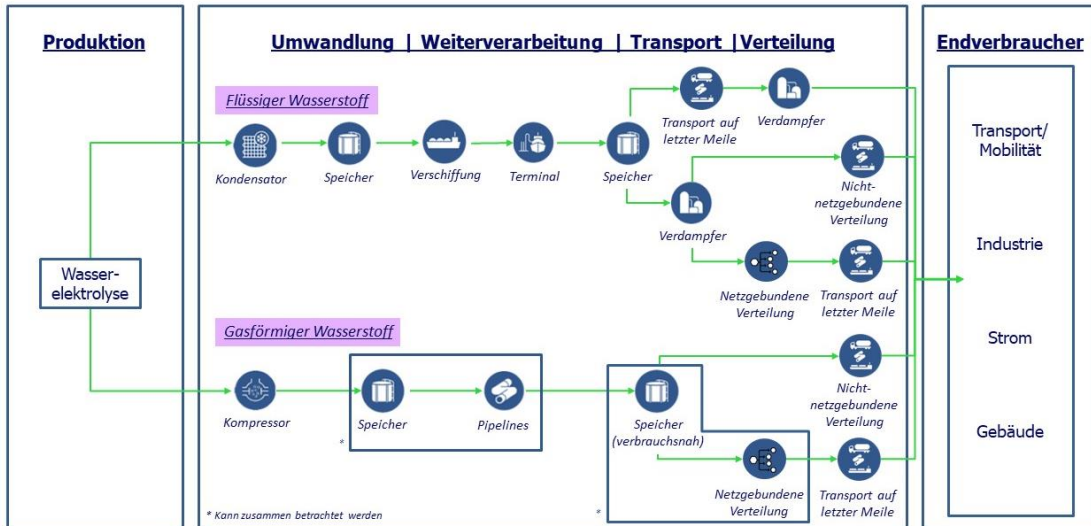
Zusammenfassend ist festzuhalten, dass insbesondere für infrastrukturebundenen Energieträger die Notwendigkeit besteht, spezifische Regeln festzulegen, um die Funktionsfähigkeit und Stabilität dieser Märkte zu gewährleisten. Neben der raumordnenden Aufgabe, Transportvektoren, Knotenpunkte und Korridore zu etablieren, müssen technisch die Lieferketten so erprobt, skaliert und etabliert werden, dass große Punkt-zu-Punkt-Lieferungen Schlüsselindustrien mit grünem  $\text{NH}_3$  und  $\text{H}_2$  versorgen. Grundlegendes Ziel sind Regeln, d.h. ein Marktdesign, das im konkreten Fall eine möglichst reibungslose Belieferung mit Ammoniak bzw. Wasserstoff zu fairen Preisen unter Nutzung internationaler Lieferketten erlaubt. Für den Aufbau von internationalen Liefer-, Logistik- und Wertschöpfungsketten wird zumindest außerdem eine staatliche Flankierung im Rahmen strategischer Partnerschaften notwendig sein.<sup>13</sup>

Das Marktdesign in Deutschland wird in der Aufbau-Phase der Tatsache Rechnung tragen müssen, dass nur ein limitiertes Aufkommen an grünem Ammoniak, bzw. grünem Wasserstoff sowie der notwendigen Infrastruktur vorhanden ist. Wie oben angemerkt, werden auch parallele Infrastrukturen und Lieferketten erprobt und aufgebaut werden müssen. Daher ist auch ein Marktmodell, das z.B. dem aktuellen deutschen Erdgasmarkt entsprechen würde, auf absehbare Zeit nicht umsetzbar, da es an allen wesentlichen erforderlichen Elementen fehlt: weder die Größe des Marktes noch das Aufkommen, noch die Infrastruktur, noch die Zahl der Lieferanten und Kunden würde es zulassen. Vielmehr muss zunächst auf die aktuellen Limitierungen und die daraus resultierenden Sicherheitsbedürfnisse der Akteure reagiert werden. Das Marktdesign sollte sich daher zunächst darauf konzentrieren, für Versorgungssicherheit, faire Preise und den Aufbau des Marktes zu sorgen. Dies lässt sich grundsätzlich durch Etablierung von offenen Marktbedingungen erreichen, die den Abschluss langfristiger Verträge ermöglichen.

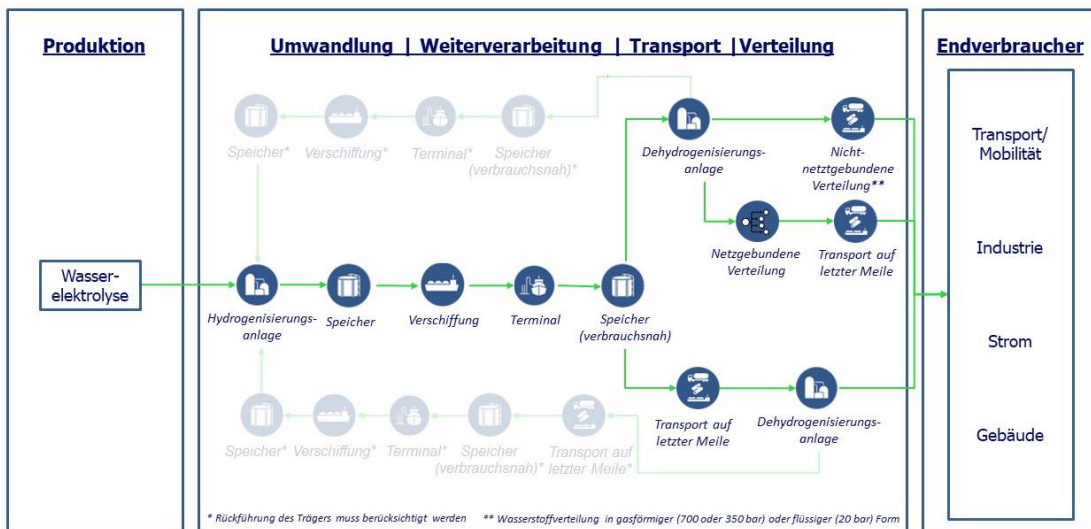
---

<sup>13</sup> Siehe dazu: Westphal, K, Kübler, M., Möhring, L, Völler J.: Wasserstoff und Markthochlauf – Marktphasen und Zielmodelle, Policy Brief (im Erscheinen).

**VI. Anhang: Liefer-, Logistik- und Wertschöpfungsketten der H<sub>2</sub>-Derivate**



**Abbildung 9: Liefer- und Logistikkette für flüssigen & gasförmigen Wasserstoff**



**Abbildung 10: Liefer- und Logistikkette für LOHC**

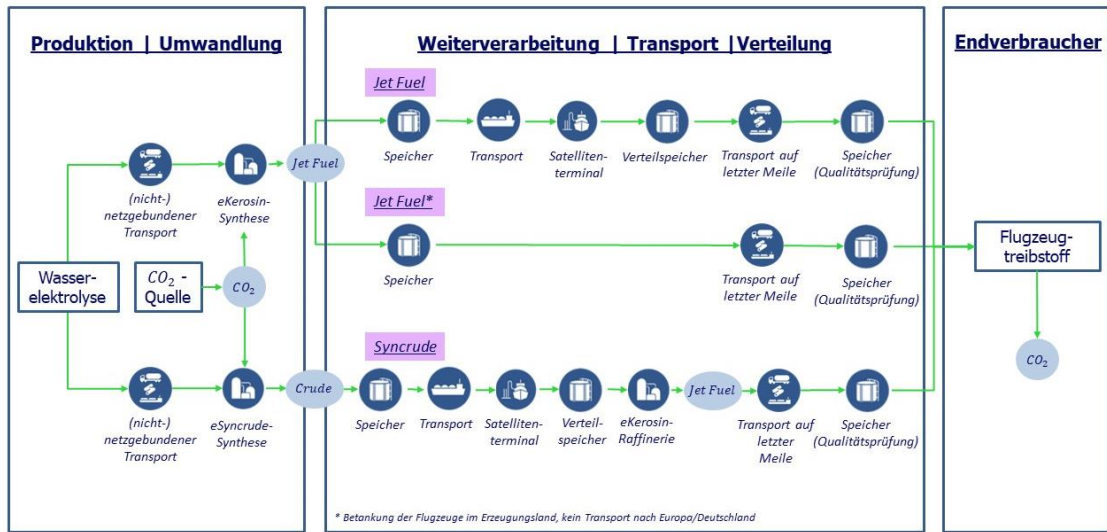


Abbildung 11: Liefer- und Logistikkette für Jet Fuel

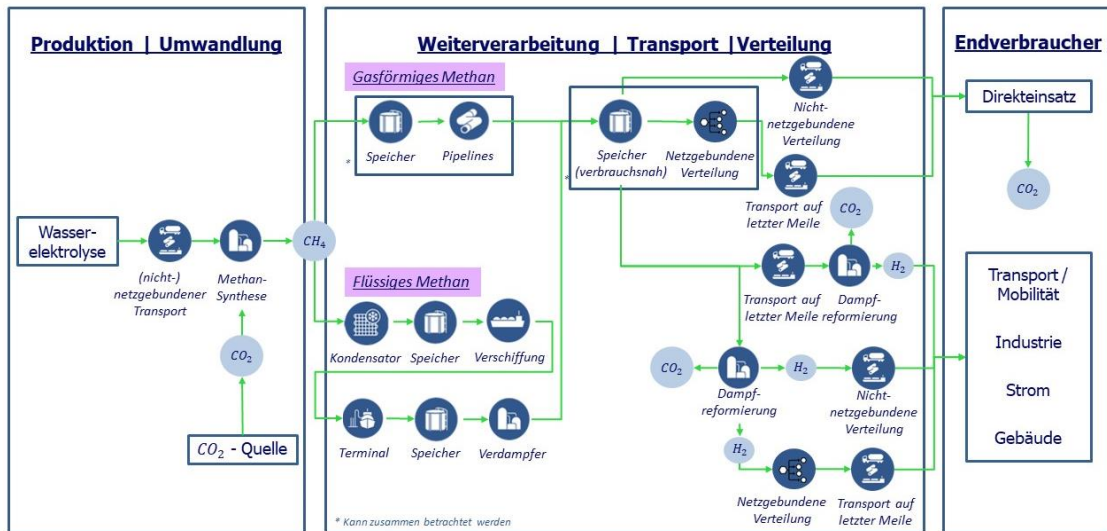
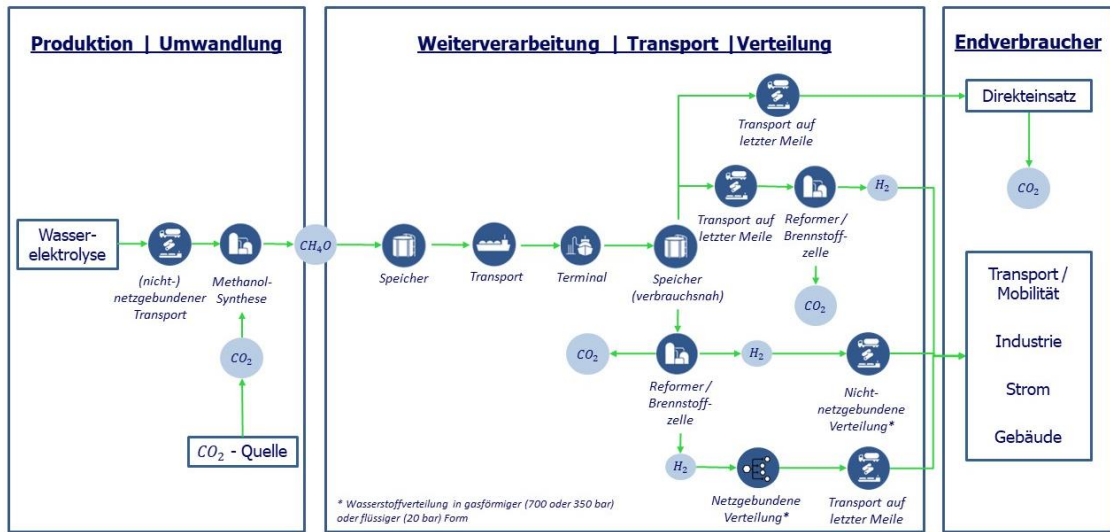


Abbildung 12: Liefer- und Logistikkette für Methan





**Abbildung 13: Liefer- und Logistikkette für Methanol**

## VII. Impressum

### Herausgeber:

H2Global Stiftung  
Abteilung – Forschung und Analyse  
Trostbrücke 1  
20457 Hamburg

### Autoren:

#### **Dr. Kirsten Westphal**

H2Global Stiftung  
Vorstand/ Executive Director  
Trostbrücke 1  
20457 Hamburg

#### **Hanna Graul**

H2Global Stiftung  
Trostbrücke 1  
20457 Hamburg

#### **Fynn Hoffmann**

H2Global Stiftung  
Trostbrücke 1  
20457 Hamburg

#### **Clara Klages**

H2Global Stiftung  
Projektmanagerin  
Trostbrücke 1  
20457 Hamburg

#### **Madjid Kübler**

Team Consult G.P.E. GmbH  
Geschäftsführer  
Robert-Koch-Platz 4  
10115 Berlin

#### **Dr. Ludwig Möhring**

Externer Experte

#### **Jens Völler**

Team Consult G.P.E. GmbH  
Prokurist  
Robert-Koch-Platz 4  
10115 Berlin