

„Nationale Wasserstoffstrategie“ | Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung im  
Ausschuss für Wirtschaft und Energie des Deutschen Bundestags am 26.10.2020 |  
Dr. Daniel Teichmann, Hydrogenious LOHC Technologies GmbH

Der Energieträger Wasserstoff stellt nach mehrheitlicher Überzeugung der Fachwelt einen elementaren Baustein für die Dekarbonisierung unseres Energiesystems dar. Die Fähigkeit von Wasserstoff, Energie in stofflicher Form zu speichern und zu transportieren, macht ihn zum idealen Partner der Erneuerbaren Energien. In Deutschland entwickelte Innovationen wie die „LOHC-Technologie“ ermöglichen erstmalig den sicheren und kosteneffizienten Transport sowie Import von kostengünstigem, grünen Wasserstoff in der bestehenden Infrastruktur.

**Die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) ist ein bedeutender Schritt auf dem Weg zur Erreichung der Ziele der Klimaneutralität unter gleichzeitiger Berücksichtigung deutscher industrie-politischer und ökonomischer Interessen.** Bei der weiteren Ausgestaltung der gesetzlichen und regulatorischen Grundlagen sollten die folgenden Aspekte als Leitlinie angesehen werden:

- **Ambitionierter Hochlauf:** eine Wasserstoffwirtschaft entfaltet ihre Wirkung und Wirtschaftlichkeit über die Skalierung. Daher sollte der Hochlauf sowohl der Erzeugungs- als auch der Verbraucherseite ambitioniert angegangen werden, um über Skaleneffekte schnell in einen wirtschaftlichen Betrieb zu kommen.
- **Technologieoffenheit und -diversifizierung:** Wasserstoff besticht durch seine Vielseitigkeit. Der Staat sollte die Rahmenbedingungen setzen und den Markt über den geeigneten Mix an Technologien und Geschäftsmodellen entscheiden lassen.
- **Technologieführerschaft:** Die Bedeutung dieses Ziels kann mit Blick auf die Entwicklungen in asiatischen Ländern und deren Ambitionen nur unterstrichen werden. Deutschland hat eine einmalige Chance hinsichtlich der Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und Exportmärkte.
- **Neugestaltung globaler Beziehungen:** Die Wasserstoff-Wirtschaft ermöglicht es Deutschland, den weiterhin notwendigen Import von Energie zu diversifizieren, neue (Energie-) Partnerschaften einzugehen und andere Nationen in ihrer Energiewende zu unterstützen.

Öffentliche wie privatwirtschaftliche Akteure benötigen klare regulatorische Rahmenbedingungen, damit eine Wasserstoffwirtschaft erfolgreich aufgebaut kann und die entsprechenden Kompetenzen in Deutschland entstehen können. Hierfür sehen wir die folgenden Kernpunkte als essenziell:

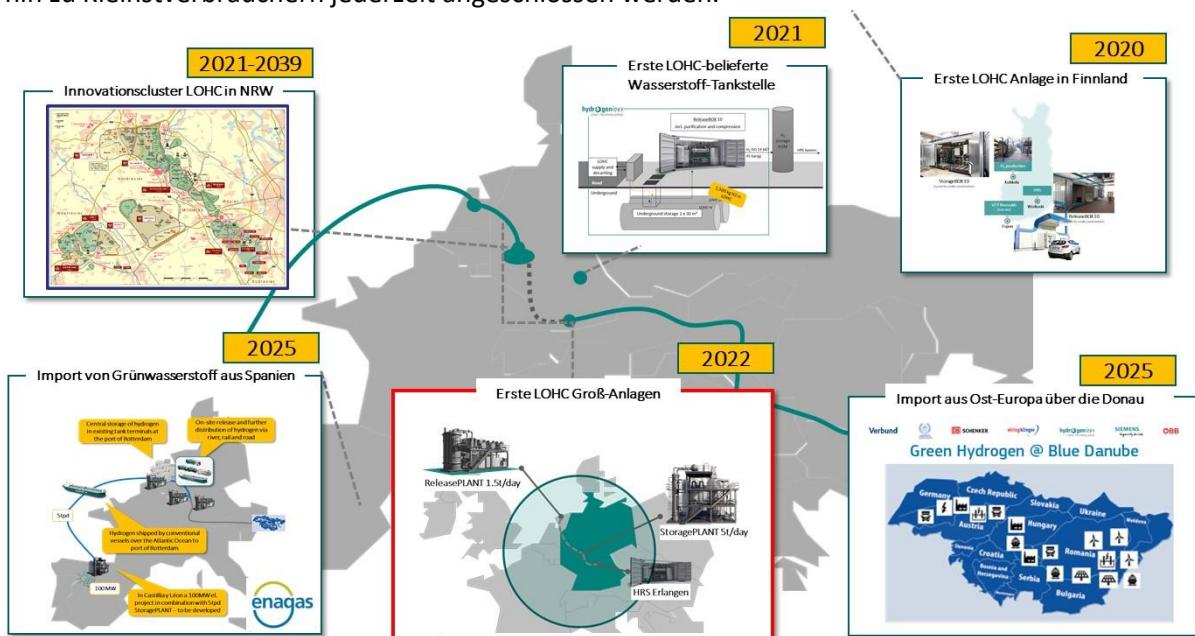
1. **H<sub>2</sub>-Erzeugung:** Um für einen energieintensiven Industriestandort wie Deutschland eine industrielle Relevanz zu erreichen, muss Wasserstoff kostengünstig und in großen Mengen zur Verfügung stehen. Dies kann nur gelingen, wenn sowohl heimische als auch globale Erzeugungspotentiale ambitioniert entwickelt werden und die verschiedenen Versorgungspfade technologie-neutral und im freien Wettbewerb zur Anwendung kommen.
2. **H<sub>2</sub>-Transport:** Angesichts einer hohen Importquote sowie eines umfangreichen innereuropäischen Transports ist die Entwicklung und Förderung innovativer und geeigneter Transporttechnologien unverzichtbar. Im Interesse von Versorgungssicherheit, Kosteneffizienz und Marktdynamik ist dabei eine Diversifikation verschiedener Erzeugungsorte, Transportpfade und Technologien angeraten. Aufgrund der Vielseitigkeit von Wasserstoff wird die zukünftige Infrastruktur sowohl Elemente der heutigen Gas- als auch der Flüssiggaskraftstoff-Infrastruktur beinhalten. Deutsche Firmen sind bei innovativen Technologien zur Speicherung und zum Transport von Wasserstoff sowie zur Umwandlung von Wasserstoff in andere Energieträger weltweit führend.
3. **H<sub>2</sub>-Nutzung:** Der Hochlauf der Wasserstoff-Nutzung bei bestehenden und neuen Abnehmern in Industrie, Transport und Gebäude ist ohne entsprechende regulatorische bzw. staatliche Maßnahmen nicht möglich. Langfristig ermöglicht grüner Wasserstoff bei entsprechender

Skalierung einer global wettbewerbsfähigen und emissionsfreie Energieversorgung. Eine ambitionierte Skalierung einer Wasserstoff-Wirtschaft trägt zu einer schnelleren Erreichung dieses Zustands bei.

4. **H<sub>2</sub>-Innovationen und Technologieführerschaft:** Es ist ein Level-Playing-Field für innovative Technologien wie beispielsweise bei der Produktion bzw. Freisetzung von Wasserstoff zu schaffen. Eine bereits erkennbare deutsche Technologieführerschaft in den Erzeugungs-, Speicher-, Transport- und Nutzungstechnologien sollte durch eine ambitionierte Förderung technologieoffen vorangetrieben werden. Hierdurch können nationale Champions und globale Marktführer auf allen Stufen der Wertschöpfungskette geschaffen werden.

### Zur LOHC-Technologie

Bei einem „Liquid Organic Hydrogen Carrier“ (LOHC) wird Wasserstoff an ein flüssiges Trägermaterial „angedockt“ und innerhalb der bestehenden Infrastruktur transportiert. Die LOHC-Technologie mit deutschem Technologieführer und einer hohen Wertschöpfungstiefe deutscher Zulieferer bietet ein enormes Potential einer zukünftigen Wasserstoff-Wirtschaft. Durch Nutzung existierender Infrastruktur kann sie die effizienteste und kostengünstigste Form des Wasserstoff-Transports werden und eine Diversifikation der Importrouten ermöglichen. Die kurzfristige Schaffung eines europäischen „LOHC-Backbones“ ist mit vergleichsweise geringen Investitionskosten möglich und wird derzeit von vielen beteiligten Firmen vorangetrieben. Der Transport erfolgt über Hochsee- und Binnenschiffe, Schiene und Straße. An dieses Wertschöpfungsnetzwerk können sämtliche Exportländer mit groß- und kleinskaligen Wasserstoff-Quellen wie auch sämtliche Importländer von industriellen Abnehmern bis hin zu Kleinstverbrauchern jederzeit angeschlossen werden.



*Damit grüner Wasserstoff als Energieträger für eine kosteneffiziente Transformation des Energiesystems in ausreichender Menge jederzeit verfügbar ist, geht die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) von einem erheblichen Importbedarf von 80 % im Jahr 2030 aus.<sup>1</sup> Angesichts der auch heute hohen Abhängigkeit Deutschlands von Energieimporten und des begrenzten Ausbaupotentials von Erneuerbaren Energien-Anlagen erscheint dies nicht nur sehr realistisch, sondern mit Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen angeraten. Damit die relativen Kostenvorteile eines Imports von Wasserstoff aus erzeugungsseitig bevorzugten globalen Standorten in Deutschland realisiert werden können, kommt dem kostengünstigen und sicheren Transport von Wasserstoff eine Schlüsselrolle zu. Aber auch der sichere und günstige Transport von Wasserstoff innerhalb Deutschlands hat eine wesentliche Bedeutung für das Gelingen der Transformation des Energiesystems. Aus diesen Gründen reflektiert diese Stellungnahme vor allem die Möglichkeiten der Erzeugung sowie den kostengünstigen und sicheren Transport von Wasserstoff.*

## Erzeugung von Wasserstoff

Eine Möglichkeit zur Erzeugung von Wasserstoff ist die Elektrolyse mittels nachhaltig produzierten Stroms in Deutschland. In einer lückenlosen inländischen Lieferkette von der Wasserstofferzeugung aus inländischem Strom aus Erneuerbaren Energien („EE-Strom“) bis zur vollständigen inländischen Wasserstoffnutzung wird viel Wertschöpfungspotenzial für Deutschland gesehen. Aus ökonomischen wie ökologischen Gesichtspunkten dürfte dies allerdings mittel- und langfristig keine effiziente Option für Deutschland darstellen, so dass der Import von Wasserstoff eine tragende Rolle spielen wird.

### **Zur Verfügbarkeit von nachhaltigem Wasserstoff in Deutschland**

Im Vergleich zu anderen Ländern sind die zur Stromerzeugung verfügbaren Erneuerbaren Energieressourcen (insbesondere solare Strahlungsenergie und Winddargebot) eher gering, und zwar sowohl in absoluter als auch in relativer Betrachtung zu relevanten energiewirtschaftlichen Parametern wie Einwohnerzahl bzw. Industriedichte. Aus diesen Gründen dürfte die EE-Stromerzeugung in Deutschland weniger Potential bieten als in anderen Ländern.

Auch aus Akzeptanzgesichtspunkten dürfte eine vollständige Produktion von Wasserstoff in Deutschland aufgrund des enormen Bedarfs an Flächen kaum möglich sein. Zweifellos besteht in der Gesellschaft Einigkeit darüber, dass Erneuerbare Energien weiter ausgebaut werden müssen. Allerdings dürfte es ökonomisch und ökologisch zunächst vorteilhaft sein, möglichst viel EE-Strom direkt zu verbrauchen und nicht erst in Wasserstoff umzuwandeln.

Daher ist es für Deutschland ratsam, aufgrund der Ressourcen- und Akzeptanzproblematik auch in Zukunft möglichst viel günstigen und nachhaltig produzierten Wasserstoff aus anderen Ländern zu beziehen. Denn gerade die Kosten von Wasserstoff spielen eine wesentliche Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft.

### **Produktionskosten für Wasserstoff aus Elektrolyse in Deutschland**

Die Abdeckung sämtlicher zukünftiger Energienachfrage durch enormen Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland ist wegen begrenzter inländischer Standorte kaum kosteneffizient möglich.<sup>2</sup> Bereits für die Elektrifizierung mittels EE-Strom werden viele EE-Standorte benötigt. Mit komplexer zu entwickelnden Vorhaben (z.B. Windenergieanlagen in genehmigungsrechtlich schwierigen Gebieten)

---

<sup>1</sup> Auch laut Angaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ist in 2050 von einem Importbedarf grünen Wasserstoffs in Höhe von 45 Mio. Tonnen auszugehen. Agora Energiewende geht von einer Importquote von 69% in 2050 aus: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Zusammenfassung im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität.

<sup>2</sup> Die NWS geht allein für Wasserstofftechnologien von einem Bedarf zwischen 110 – 380 TWh an strombasierten Energieträgern aus.

gehen nochmals höhere Kosten einher, die die Kostennachteile im Vergleich zu EE-Anlagen in anderen Ländern verstärken dürften.

Da die Kosten zur Wasserstoff-Herstellung nahezu proportional von den Stromkosten abhängen, werden auch die Kosten für eine Wasserstoff-Erzeugung in Deutschland langfristig höher sein als in anderen Ländern. Daran werden auch zu erwartende erhebliche Reduktionen von Kapitalkosten, die sich dank guter regulatorische Rahmenbedingungen in Deutschland einstellen könnten, nur wenig ändern.

### Wasserstoffimport aus anderen Ländern

Gemäß der NWS ist daher ein wesentlicher Anteil des zukünftigen Wasserstoffbedarfs nach Deutschland zu importieren – sowohl aus europäischen als auch aus außereuropäischen Ländern. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass kostengünstige Erneuerbare Energieressourcen (wie solare Strahlungsenergie und Windenergie) zur Produktion von Wasserstoff verwendet werden und ausreichend Flächen zur Verfügung stehen. Des Weiteren können hierdurch komparative Kostenvorteile dieser Länder zur Produktion von nachhaltigem Wasserstoff verwendet werden. Daten der International Energy Agency zeigen beispielsweise auf, dass die Produktionskosten für grünen Wasserstoff an geeigneten Standorten in Südeuropa und MENA zwischen 40% und 70% niedriger liegen können als in vergleichbaren Anlagen in Deutschland.<sup>3</sup>

Im Sinne einer Entwicklungszusammenarbeit kann durch Import auch Wertschöpfung in anderen Ländern betrieben werden, wodurch es zu positiven ökonomischen Effekten kommen kann. Ein nicht zu vernachlässigender Effekt dürfte weiterhin sein, dass dies die weltweite Umstellung auf Erneuerbare Energien und eine Transformation des Energiesystems beschleunigt – insbesondere dann, wenn auch bisher Länder mit hohem Anteil an der Erdöl- und Gaswirtschaft auf Erneuerbare Energien und nachhaltigen Wasserstoff umstellen.

### Markthochlauf zur Freisetzung von Wasserstoff in Deutschland

Nichtsdestoweniger kann der kurzfristige Markthochlauf von Technologien zur Freisetzung von Wasserstoff mittels Energieeinsatz und der Aufbau einer deutschen Wasserstoffindustrie durch lokale Produktion von Wasserstoff in Kombination mit Vergünstigungen deutlich befördert werden. Eine Reduktion von Umlagen, Entgelten und Steuern für die Freisetzung von Wasserstoff (wie bspw. eine Reduktion der EEG-Umlage) würde sich also positiv auf den Markthochlauf auswirken. Aus mittel- bis langfristiger Sicht sind diese Maßnahmen gesamtwirtschaftlich und unter Berücksichtigung von Verteilungsfragen zu hinterfragen.

Bei einem solchen Markthochlauf von Technologien zur Freisetzung von Wasserstoff aus anderen molekularen Verbindungen sollte ein Level-Playing-Field existieren. So sollte nicht ausschließlich die Elektrolyse zur Freisetzung von Wasserstoff aus Wasser gefördert werden, sondern vielmehr sämtliche Technologien für nachhaltig produzierten Wasserstoff beinhalten. Hierdurch kann allen innovativen Technologien (z.B. Bioenergie oder Wasserstoff als Nebenprodukt) Entwicklungsmöglichkeiten gegeben werden und diese Exporttechnologien können unterstützt werden. Unter Berücksichtigung einer globalen Wasserstoffwirtschaft haben diese in Deutschland entwickelten Technologien ein enormes Exportpotenzial. So können Arbeitsplätze in Deutschland entstehen und zugleich günstige Importquellen gesichert werden.

### Nutzung überschüssigen Stroms für die Wasserstoff-Produktion

Für die Wasserstoff-Produktion in Deutschland kann es durchaus sinnvoll sein, bei fehlenden Stromübertragungskapazitäten andernfalls nicht produzierten Strom aus dargebotsabhängigen EE-Anlagen (sog. Redispatch, Einspeisemanagement) zur Produktion von Wasserstoff zu verwenden. Das

---

<sup>3</sup> IEA 2019, The future of hydrogen und IEA 2019, Hydrogen: A renewable energy prospective.

Potential hierfür, die Thematik der Aufnahmefähigkeit von Erdgasnetzen oder die Wasserstoff-Speicherung mit anderen Technologien sollten in Forschungsprojekten erprobt werden.

Projekte wie ElementEins und SmartQuart leisten hierzu einen unverzichtbaren Erkenntnisbeitrag, selbst wenn der Wasserstoff etwa durch Beimischung in Erdgasnetze seinen höheren energetischen „Wert“ verliert und aufgrund der relativ geringen Benutzungsstunden der Elektrolyseure hohe Kosten entstehen. Denn gerade für die saisonale Speicherung bzw. „Pufferung“ von Stromspitzen bei einem extrem hohen Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromproduktion könnte die Einspeicherung von Wasserstoff Vorteile bieten und in einem gewissen Umfang unterstützend eingesetzt werden. Dabei ist auf die richtige Verortung der Anlagen zur Freisetzung des Wasserstoffs zu achten. Andernfalls kann es durch eine ungünstige Lokalisierung bspw. eines Elektrolyseurs bei gleichzeitiger Nichtverfügbarkeit von Stromtransportkapazitäten zu sehr hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen kommen.<sup>4</sup>

## Fazit

*Um für einen energieintensiven Industriestandort wie Deutschland eine industrielle Relevanz zu erreichen, muss Wasserstoff kostengünstig und in großen Mengen zur Verfügung stehen. Dies kann nur gelingen, wenn sowohl heimische als auch globale Erzeugungspotentiale ambitioniert entwickelt werden und die verschiedenen Versorgungspfade technologie-neutral und im freien Wettbewerb zur Anwendung kommen.*

## Speicherung, Transport und Verteilung von Wasserstoff

Eine der wesentlichen Herausforderungen im Umgang mit Wasserstoff ist dessen kosteneffiziente und sichere Speicherung sowie Transport und Verteilung. Grundsätzlich kann Wasserstoff mit sämtlichen Transportmitteln wie Schiff, Eisenbahn, Straße sowie leitungsgebunden und in unterschiedlichen molekularen Formen transportiert werden. Hinsichtlich des erwarteten Imports großer Mengen Wasserstoffs aus europäischen und außereuropäischen Quellen positioniert sich beispielsweise der Hafen von Rotterdam bereits als wichtiger Umschlagplatz. Gleichermaßen sollten sich deutsche See- und Binnen-Häfen auf diese Opportunität einstellen.

Auch wenn Wasserstoff ein Gas ist, so eröffnen sich aufgrund seiner vielseitigen Eigenschaften und der verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten sowohl Transportformen, die eher der heutigen Infrastruktur für Erdgas zuzuordnen sind, als auch Transportformen, die sich an der heutigen Infrastruktur für Flüssiggroßstoffe wie Erdöl, Benzin und Diesel orientieren. Dies stellt eine große Stärke von Wasserstoff dar. So kann eine Diversifizierung der Transportpfade und Herkunftsorte ermöglicht werden, wodurch sich letztlich ein weltweiter Wasserstoff-Markt bilden kann.

Im Folgenden werden die aktuell meistdiskutierten Technologien in ihren zentralen Vor- und Nachteilen reflektiert<sup>5</sup>. Allen gemein ist die Produktion des Wasserstoffs an Standorten mit einer hohen Verfügbarkeit günstiger Energie aus Erneuerbaren-Energien-Anlagen.

### Nicht-leitungsgebundene Transportmittel für Wasserstoff

- Flüssiger Wasserstoff (LH<sub>2</sub>)
- Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC)
- Ammoniak (NH<sub>3</sub>)
- Druckwasserstoff (GH<sub>2</sub>)

<sup>4</sup> Z.B. könnte durch die Nachfrage aus einem Elektrolyseur Strom aus einem Kraftwerk mit hohem CO<sub>2</sub>-Ausstoß genutzt werden, um den produzierten Wasserstoff anschließend wiederum lediglich zu verfeuern.

<sup>5</sup> Die vorstehenden Ausführungen stellen keine vollumfängliche Bewertung dar, sondern sollen nur einen Überblick über potenzielle Technologien geben.

## LH<sub>2</sub> | Flüssiger Wasserstoff

**Prinzip:** Wasserstoff wird bei -253 °C verflüssigt und in thermisch isolierten Behältern transportiert und gelagert.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Technologie ist bekannt, kommt in Nischenanwendungen bereits zum Einsatz (z.B. Raumfahrt) und war Gegenstand intensiver Forschung (z.B. Automobilwirtschaft sowie insbesondere in den USA).</li> <li>✓ Hohe Speicherdichte von Wasserstoff.</li> <li>✓ Freisetzung ohne relativ großen Energieeinsatz und mit höheren Drücken möglich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Verflüssigung erfordert erheblichen Energieeinsatz und hohen technischen Aufwand.</li> <li>✗ Infrastruktur zur Speicherung und Transport ist aufgrund der notwendigen Wärmeisolierung aufwändig.</li> <li>✗ Wasserstoffverlust bei Transport, Umfüllung und Lagerung aufgrund von boil-off (schrittweise Verdampfung durch Wärmeeintrag).</li> <li>✗ Großkalige Transportfähigkeit und -kosten noch ungeklärt (bisher existiert in Asien ein Forschungsschiff für relativ geringe LH<sub>2</sub>-Mengen).</li> <li>✗ Hohe Kapitalintensität für Bau geeigneter Schiffe und Ausbau von Hafen-Infrastruktur.<sup>6</sup></li> </ul>

**Fazit zur Eignung:** Flüssigwasserstoff kann für den großkaligen Import von Wasserstoff eine Rolle spielen. Aufgrund der hohen Investitionen in den Aufbau einer speziell für die Handhabung des tiefkalten Mediums geeigneten Infrastruktur ist ein flächendeckender Einsatz aufwändig und wird eher an ausgewählten Häfen und Standorten passieren. Bei speziellen Anwendungen wie Antriebstechnologien (wie in der Luft- und Raumfahrt) kann LH<sub>2</sub> ebenfalls zum Tragen kommen.

## NH<sub>3</sub> | Ammoniak

**Prinzip:** NH<sub>3</sub> wird bereits heute in großen Mengen in der Düngemittelindustrie eingesetzt. Zukünftig könnte NH<sub>3</sub> im Ausland mittels regenerativer Energie erzeugt und mit Hochseeschiffen, die für Chemikalien zugelassen sind, nach Europa transportiert werden. Nach dem Anlanden wird NH<sub>3</sub> entweder direkt in der chemischen Industrie eingesetzt oder das Wasserstoffmolekül vom NH<sub>3</sub> separiert (sog. Cracking), und dann direkt vor Ort genutzt oder in Wasserstoffleitungen eingespeist.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Bekannter Stoff, Nutzung bestehender Infrastruktur sowie relativ hohe Speicherdichte.</li> <li>✓ Eine Produktions- und Importinfrastruktur könnte in jedem Land aufgebaut werden.</li> <li>✓ NH<sub>3</sub> könnte als Antrieb z. B. für Schiffe genutzt werden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Hochgefährliche Substanz, die nur mit erheblichen Aufwand und Kosten transportiert und gespeichert werden kann – der Weitertransport zu Endabnehmern wird dadurch erheblich erschwert.</li> <li>✗ Für die Separierung von Wasserstoff aus NH<sub>3</sub> werden sehr viel Energie sowie sehr hohe Temperaturen benötigt, die einen hohen Anteil der im Wasserstoff gebundenen Energie benötigen.</li> <li>✗ Cracking-Technologie existiert noch nicht großindustriell.</li> </ul>

<sup>6</sup> Diese zusätzlichen Investitionen werden in vielen Studien bisher vernachlässigt.

- ✗ Der freigesetzte Wasserstoff muss umfangreich aufbereitet werden.

**Fazit zur Eignung:** Regenerativ erzeugtes NH<sub>3</sub> eignet sich v.a. für den direkten Einsatz in der chemischen Industrie als Substitut für heutiges fossil hergestelltes NH<sub>3</sub>. Dabei könnten Teile der heute in Deutschland angesiedelten Produktionsindustrien durch die Nutzung von importierten NH<sub>3</sub> verdrängt werden. Eine Nutzung von NH<sub>3</sub> zur Bereitstellung von molekularem Wasserstoff (über Cracking) stellt sich aufwändig dar und führt insbesondere in der Distribution zu Sicherheitsfragen beim Umgang mit dem toxischen Stoff.

### GH<sub>2</sub> | Gasförmiger Wasserstoff in Druckbehältern

Ein großer Anteil des Transports von Wasserstoff findet heute meist über sehr kurze Distanzen via gasförmigem Wasserstoff (GH<sub>2</sub>) in Druckbehältern statt.<sup>7</sup> Diese können schon heute v.a. per LKW (Druckflaschen, Tube Trailer oder größere Druckbehälter) transportiert werden. Die Technologie ist somit sehr gut erprobt. Allerdings ist der Einsatz von GH<sub>2</sub> aus Gründen der Kosteneffizienz nur für sehr kleine Strecken und nicht zum großskaligen Transport über weite Strecken geeignet (damit auch nicht für Import). Zudem fallen relativ hohe Kosten für die Investitionen in entsprechende Behälter an. Nichtsdestoweniger sind kleinere Pufferspeicher und Druckbehältern mit gasförmigen Wasserstoff in vielen Anwendungen unabdinglich.

### LOHC | Liquid Organic Hydrogen Carriers

**Prinzip:** Mithilfe der LOHC-Technologie wird Wasserstoff an ein flüssiges Trägermaterial „angedockt“. So gebunden kann er innerhalb der existierenden Infrastruktur für Flüssigkraftstoffe bei Umgebungsbedingungen zu jeglichem Abnehmer transportiert und dort aus dem Träger freigesetzt werden.

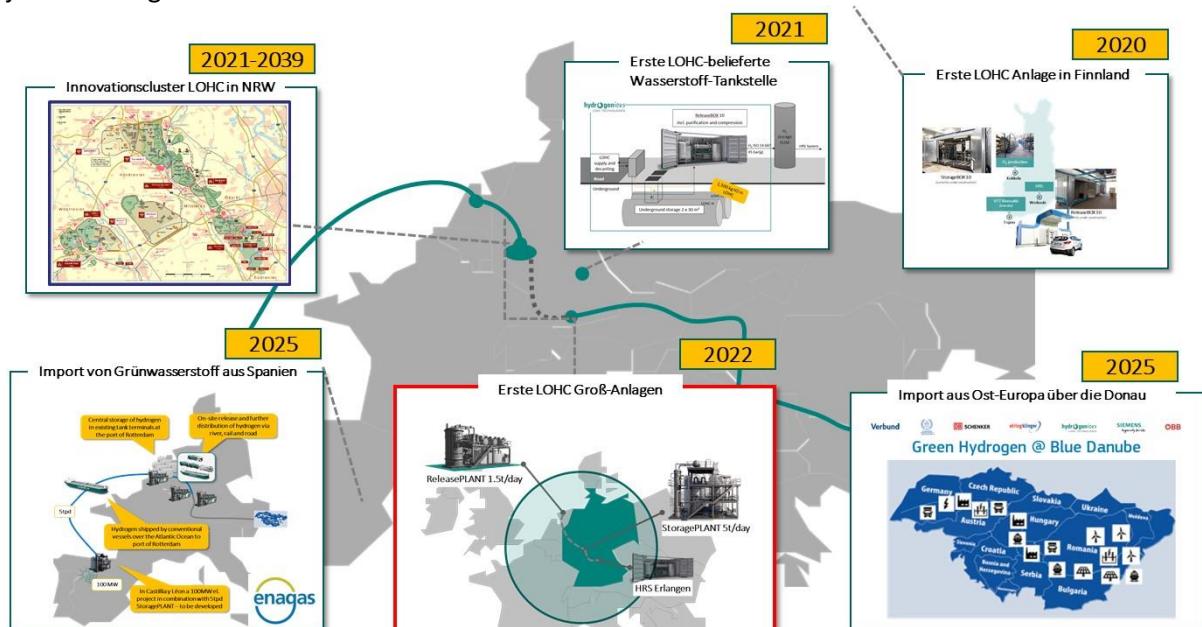
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Das LOHC kann vielfach zum Transport von Wasserstoff be- und entladen werden und entspricht somit einer Art Pfandsystem.</li> <li>✓ Bei LOHC liegt Wasserstoff nicht in elementarer Form vor, was einen sehr sicheren Umgang und Transport ermöglicht.</li> <li>✓ Die bestehende Infrastruktur im Bereich Flüssigkraftstoffe (Erdöl, Benzin, Diesel) kann direkt und synergetisch genutzt werden.</li> <li>✓ LOHC kann aufgrund der geringen Investitionskosten und der Nutzung einer bestehenden Infrastruktur inkrementell und damit auch relativ kurzfristig aufgebaut werden.</li> <li>✓ Die direkte Nutzung der LOHC-Technologie als Kraftstoff, z. B. auf Zügen und Schiffen, wird aktuell erprobt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Junge Technologie mit noch begrenzter industrieller Erfahrung, jedoch Rückgriff auf hohe Reife heutiger Kraftstoff-Infrastruktur.</li> <li>✗ Für die Freisetzung von Wasserstoff eine größere Menge an thermischer Energie benötigt (ähnlich wie bei Ammoniak nur bei LOHC mit geringeren Temperaturen).</li> <li>✗ Trägermaterial muss in ausreichender Menge zur Verfügung stehen und hat einen gewissen Anteil an den Gesamtkosten.<sup>8</sup></li> <li>✗ Rücktransport und Wiederbeladung des entladenen Trägers zur Wasserstoffquelle notwendig.</li> </ul>

<sup>7</sup> Allerdings wird heutzutage nur eine geringe Menge an Wasserstoff über weitere Distanzen transportiert, sondern eher lokal mittels Dampfreformierung hergestellt und dann über kurze Entfernung weitertransportiert.

<sup>8</sup> Im Falle der LOHC-Technologie von Hydrogenious LOHC Technologies wird das Trägeröl „(Di-)Benzyltoluol“ unter anderem durch Eastman Chemicals in Marl, Nordrhein-Westfalen, hergestellt.

**Fazit zur Eignung:** LOHC ermöglicht eine sehr einfache und kostengünstige Speicherung und Transport von Wasserstoff im Vergleich zu anderen Technologien. Die Vermeidung von ungebundenem, molekularem Wasserstoff erleichtert die Handhabung innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette und ermöglicht eine hohe Sicherheit.<sup>9</sup> Die Nutzung bestehender Kraftstoff-Infrastruktur ermöglicht eine inkrementelle Einführung und Nutzung von Wasserstoff. Nicht zuletzt aufgrund der bestehenden deutschen Technologieführerschaft bei LOHC und der Vielzahl in Deutschland ansässiger Firmen, die sich in dieser Technologie engagieren,<sup>10</sup> bieten sich für Deutschland neben dem Import von Wasserstoff auch relevante Chancen hinsichtlich Exportpotenzialen und Ausbau der Technologieführerschaft.

Die LOHC-Technologie mit deutschem Technologieführer und einer hohen Wertschöpfungstiefe deutscher Zulieferer bietet ein enormes Potential einer zukünftigen Wasserstoff-Wirtschaft. Durch Nutzung existierender Infrastruktur kann sie die effizienteste und kostengünstigste Form des Wasserstoff-Transports werden und eine Diversifikation der Importrouten ermöglichen. Die kurzfristige Schaffung eines europäischen „LOHC-Backbones“ ist mit vergleichsweise geringen Investitionskosten möglich und wird derzeit von vielen beteiligten Firmen vorangetrieben. Der Transport erfolgt über Hochsee- und Binnenschiffe, Schiene und Straße. An dieses Wertschöpfungsnetzwerk können sämtliche Exportländer mit groß- und kleinskaligen Wasserstoff-Quellen wie auch sämtliche Importländer von industriellen Abnehmern bis hin zu Kleinstverbrauchern jederzeit angeschlossen werden.



Transeuropäischer LOHC-Backbone im Rahmen vorangetriebener Forschungs- und IPCEI-Projekte

### Leitungsgebundener Transport von gasförmigen Wasserstoff

**Prinzip:** Wie bei Erdgas- bzw. Methanleitungen kann durch Kompression des Wasserstoffs eine große Menge an Energie relativ sicher transportiert werden. Pipelines sollten gemäß aktuell vorgestellter Projekte zunächst Wasserstoffquellen mit sehr großen Wasserstoffabnehmern verbinden und über Europa einen sogenannten „Wasserstoff-Backbone“ bilden. Der Neubau von Leitungen ist sehr

<sup>9</sup> Das japanische Unternehmen Chiyoda, welches neben Hydrogenious LOHC Technologies weltweit der Haupttreiber für die LOHC-Technologie ist, nutzt beispielsweise mit Toluol ein günstiges Material, das jedoch leicht entzündlich ist.

<sup>10</sup> Gemäß öffentlicher Verlautbarungen: MAN Energy Solutions, Clariant, Framatome, Forschungszentrum Jülich, Eastman Chemicals, Hydrogenious LOHC Technologies, u.a.

kapitalintensiv und erfordert aufgrund des Planungsrechts langjährige Genehmigungs- und Bauzeiten. Derzeit wird daher verstkt auch eine Umwidmung von bestehenden Erdgasleitungen diskutiert. Die wesentlichen Fragestellungen hinsichtlich dieser Technologie sind die Nutzbarkeit von bestehender Erdgasinfrastruktur, die Kosten des Wasserstofftransports sowie die zeitliche Dimension des Aufbaus eines leitungsgebundenen Wasserstofftransports.

### **Nutzbarkeit von bestehenden Erdgasleitungen**

Es herrscht weitgehend Einigkeit, dass ein Neubau von Wasserstoff-Leitungen sehr zeitaufwdig und kapitalintensiv ist. Eine große Hoffnung liegt in der Umwidmung bestehender Erdgaspipelines. Hinsichtlich der technischen Aspekte einer Umstellung gehen manche Studien davon aus, dass Erdgasleitungen ohne greren Aufwand auf reinen Wasserstoffbetrieb umgertzt werden können. Andere konstatieren allerdings, dass Hochdruck-Fernleitungen aufgrund technischer Aspekte nicht für reinen Wasserstoffbetrieb geeignet sind.<sup>11</sup> Es wird erwartet, dass für den Einsatz von reinen Wasserstoff-Pipelines gnlich geeignete Verdichter ab 2030 figbar sein werden.

Neben diesen eher technischen Aspekten stellt sich bei der geplanten Umwidmung von Leitungen die Frage, wie die voraussichtlich mehrere Jahrzehnte andauernde Übergangsphase gestaltet werden kann, in der sowohl Erdgas als auch Wasserstoff benötigt werden wird. Eine Zumischung von Wasserstoff in das Erdgas ist bis zu einem gewissen Grad vergleichsweise einfach möglich, jedoch wird damit nahezu jegliche direkte Nutzung von Wasserstoff, z.B. in der Industrie oder für Brennstoffzellen-Anwendungen, ausgeschlossen, da das Erdgas-Wasserstoff-Gemisch nur thermisch eingesetzt werden kann.

### **Kosten des Wasserstofftransports mittels Pipeline**

Der prognostizierte Investitionsbedarf hängt massiv davon ab, ob primär neu gebaut oder bestehende Leitungen umgewidmet werden. ber die gesamten Kosten für den Transport von Wasserstoff in Wasserstoffleitungen existieren aktuell eine Vielzahl von industriefinanzierten Studien, die eine vorteilhafte Kosteneffizienz für diese Transportform sehen. Eine für das BMWi erstellte Studie sieht die Gesamtkosten für den Transport von Wasserstoff von Nordafrika nach Deutschland unter optimistischen Annahmen vergleichbar oder sogar höher als für andere in dieser Stellungnahme genannte Technologien.<sup>12</sup> Allerdings dürfen die Kosten für einen reinen Backbone beispielsweise von Hfen und Wasserstoffquellen zu sehr großen Abnehmern günstiger sein, wenn bestehende Leitungen tatsächlich genutzt werden können.

### **Fazit zur Eignung:**

Die Beimischung von Wasserstoff in das Erdgasnetz dürfte für eine gewisse Übergangszeit ein interessanter Anwendungsfall sein, selbst wenn die thermische Nutzung des Wasserstoffs energetisch und aus Kostengesichtspunkten nicht unbedingt vorteilhaft ist.<sup>13</sup> Der Investitionsbedarf für den Aufbau eines europaweiten Leitungsnetzes hängt vor allem auch von der Frage ab, inwiefern heutige Erdgasnetze aus technischer Sicht aber auch aus Sicht einer Nachfrage nach beiden Energieträgern, umgewidmet werden können.

Der Aufbau eines europäischen „Hydrogen Backbones“ wird eine europaweite Verknüpfung von Wasserstoff-Quellen und -Verbrauchern unterstützen. Aufgrund der langen Planungs- und Bauzeiten sowie der hohen Investitionskosten wird er aber nur einen Teil des für Europa und Deutschland prognostizierten Transportbedarfs abdecken können. So sieht etwa das Konzept des „European Hydrogen Backbone“ in 2040 ein Wasserstoff-Leitungsnetz mit einer geplanten Länge von 23.000 km

<sup>11</sup> Vgl. Siemens Gas and Power GmbH & Co. KG., Hydrogen Power with Siemens gas turbines, April 2020.

<sup>12</sup> So werden in dieser Studie 1,42 €/kg genannt: Prognos AG im Auftrag des BMWi, Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energietrgner, Mai 2020.

<sup>13</sup> Eine Überlegung ist die Separierung von Wasserstoff aus Methan mittels Membrantechnologien. Hier existieren erste Technologien, die gerade erforscht werden.

vor. Dies entspricht etwa 1,2% der Länge des heutigen europäischen Erdgasnetzes. Leitungsgebundene und nicht-leitungsgebundene Transporttechnologien sind daher gleichermaßen notwendig, um Wasserstoff in großen Mengen und zu niedrigen Preisen verfügbar zu machen.

## Fazit

**Angesichts einer hohen Importquote sowie eines umfangreichen innereuropäischen Transports ist die Entwicklung und Förderung innovativer und geeigneter Transporttechnologien unverzichtbar. Im Interesse von Versorgungssicherheit, Kosteneffizienz und Marktdynamik ist dabei eine Diversifikation verschiedener Erzeugungsorte, Importrouten, Transportpfade und Technologien angeraten. Aufgrund der Vielseitigkeit von Wasserstoff wird die zukünftige Infrastruktur sowohl Elemente der heutigen Gas- als auch der Flüssiggaskraftstoff-Infrastruktur beinhalten. Deutsche Firmen sind bei innovativen Technologien zur Speicherung und zum Transport von Wasserstoff sowie zur Umwandlung von Wasserstoff in andere Energieträger weltweit führend.**

## Die Nutzung von Wasserstoff bei Verbrauchern

Für die Erreichung der Ziele der NWS und des Aufbaus einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft ist die Entwicklung von Verbrauchern für Wasserstoff unbedingt notwendig. Zum einen sind die etablierten industriellen Abnehmer bei der Nutzung von Wasserstoff zu unterstützen und deren Prozesse ggfs. anzupassen. Auch die Nutzung von Wasserstoff als Nebenprodukt anderer Prozesse könnte Berücksichtigung finden. Zum anderen sind neue Verbraucher zu entwickeln, die ihre bisherige Energienutzung noch nicht auf nachhaltigen Wasserstoff angepasst haben. Hier sind insbesondere Mobilitätsanwendungen wie Busverkehr und Schwerlastverkehr aufgrund der möglichen Kostenvorteile im Vergleich zu anderen Anwendungen zu nennen. Aber auch der Gebäudesektor spielt eine Rolle. Wichtig hierbei ist, dass dies mit einer ernstzunehmenden und nachhaltigen Nachfrage von Wasserstoff einhergehen muss. Nur so kann die Skalierung einer globalen, wettbewerbsfähigen und emissionsfreien Energieversorgung auf Basis von Wasserstoff erreicht werden.

Der Markthochlauf kann somit nur durch entsprechende Förderungen von Verbrauchern gelingen. Diese staatlichen Maßnahmen sind entsprechend vorzusehen bzw. wurden entsprechende Mittel hierfür auch bereits angekündigt. Des Weiteren sind für Investitionsentscheidungen sichere Rahmenbedingungen und damit Investitionssicherheit zu schaffen. Dies kann z.B. durch klare und langfristige Preissignale beim CO<sub>2</sub>-Preis erreicht werden. Dabei sollte die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie im internationalen Wettbewerb im Blick behalten und nicht gefährdet werden.

## Fazit

**Der Hochlauf der Nutzung nachhaltig produzierten Wasserstoffs bei bestehenden und neuen Abnehmern in Industrie, Transport und Gebäude ist ohne entsprechende regulatorische bzw. staatliche Maßnahmen nicht möglich. Langfristig ermöglicht grüner Wasserstoff bei entsprechender Skalierung eine global wettbewerbsfähige und emissionsfreie Energieversorgung. Eine ambitionierte Planung und Skalierung einer Wasserstoffwirtschaft trägt zu einer schnelleren Erreichung dieses Zustands bei.**

## Innovationen und Technologieführerschaft einer Wasserstoffwirtschaft

### Energiemarktdesign mit Bezug zu Wasserstoff

Wie bereits beschrieben, stellt sich für das Energiemarktdesign in Bezug zu Wasserstoff insbesondere die Frage der Förderung der Freisetzung von Wasserstoff in Deutschland. Diese sollte zu Forschungs- und Markthochlaufzwecken zumindest kurzfristig von Umlagen, Abgaben und Entgelten befreit werden. Dabei sollte in einem solch innovativen Umfeld keinesfalls eine Einschränkung auf einzelne Technologien getroffen werden. Vielmehr sollte Technologieoffenheit und ein „Level-Playing-Field“ für sämtliche Technologien als Grundvoraussetzung für Innovationen geschaffen werden.

### Technologieführerschaft in einer Wasserstoffwirtschaft

Die NWS verfolgt neben der Erzeugung, dem Transport und der Nutzung von Wasserstoff auch die Erreichung einer Technologieführerschaft deutscher Unternehmen. Die Bedeutung dieses Ziels kann unter Berücksichtigung der Entwicklungen in asiatischen Ländern und deren Ambitionen nur unterstrichen werden. Deutschland hat hier eine einmalige Chance hinsichtlich der Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und Exportmärkte. Daher sollten die verschiedenen Ansätze und Technologien gefördert und in einem Gesamtbild strukturiert werden.

Die bereits bestehende deutsche Technologieführerschaft in den Erzeugungs-, Speicher-, Transport- und Nutzungstechnologien sollte daher unbedingt vorangetrieben werden und entsprechende Unterstützung vorgesehen werden. Hierdurch können Unternehmen zu Marktführern und nationalen Champions aufgebaut werden. Dabei sollten sich Förderungen nicht auf einzelne Stufen der Wertschöpfungskette und einige wenige kapitalstarke Unternehmen beschränken, sondern auf sämtliche Wertschöpfungsstufen und Unternehmensgrößen ausgerichtet sein. Ziel muss es sein, eine ähnliche Technologie- und Marktführerschaft wie in der Automobilwirtschaft zu realisieren – hierfür sind die Weichen so frühzeitig wie möglich zu stellen.

### Fazit

***Es ist ein Level-Playing-Field für innovative Technologien wie beispielsweise die der Freisetzung von Wasserstoff zu schaffen. Es braucht ihre Förderung, um eine Technologieführerschaft Deutschlands zu erreichen. Die bereits bestehende deutsche Technologieführerschaft in den Erzeugungs-, Speicher-, Transport- und Nutzungstechnologien sollte vorangetrieben werden, um so globale Marktführer und Champions auf allen Stufen der Wertschöpfungskette aufzubauen.***