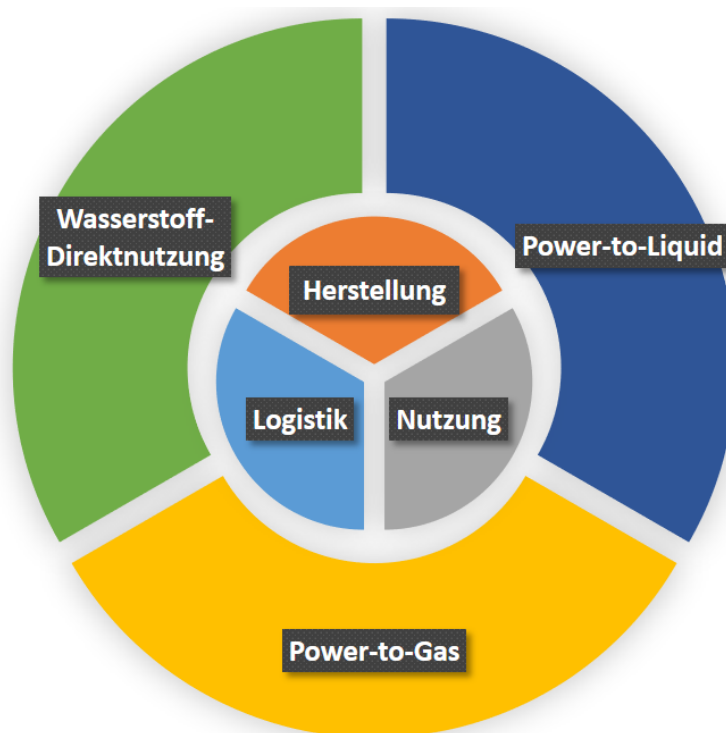


Die Rolle der maritimen Wirtschaft bei der Etablierung einer deutschen Wasserstoffwirtschaft

- Management Summary -

Im Auftrag des
Deutschen Maritimen Zentrums e.V.



vorgelegt von



Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik

Bremerhaven/Bremen, den 13.10.2021

Erstellt im Auftrag von

Deutsches Maritimes Zentrum e.V.
Hermann-Blohm-Straße 3
20457 Hamburg

Bearbeitet von

Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL)
Universitätsallee 11-13
28359 Bremen
Tel. +49 (0)421 220 96-0
Fax +49 (0)421 220 96-55
www.isl.org

Autoren

Dr. Nils Meyer-Larsen
Jakob Ovens
Ralf Michael Knischka
Matthias Dreyer
Dr. Holger Kramer
Leitung Prof. Dr. Frank Arendt



Dr. Michael Baumann

Sphera Solutions GmbH
Hauptstraße 111-113
70771 Leinfelden-Echterdingen
Tel. +49 (0)711 341817-0
Fax +49 (0)711 341817-25
www.sphera.com

GMW Consultancy

Dr. Gerd Würsig

- Marine-, Process-, Energy Technology -

GMW Consultancy
Butendiek 14
21714 Hammah
Tel. +49 (0)4144 6989862
www.gmw-consultancy.com

© Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik ISL. Das Deutsche Maritime Zentrum e.V. erhält Nutzungsrechte für die Verwendung und Vervielfältigung.

Die vorliegende Studie wurde mit dem vorhandenen und aktuellen Datenmaterial sorgfältig erarbeitet. Trotzdem sind Fehler – auch aufgrund der Nutzung externer Quellen – nicht vollständig auszuschließen. Das Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik oder die Ersteller der Studie können für fehlerhafte Angaben, darauf basierende Einschätzungen, Änderungen der eingeflossenen Datengrundlagen und deren Folgen weder juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Alle Inhalte dieses Werkes, insbesondere Texte, Tabellen und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, beim ISL. Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder andere Nutzung bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Zustimmung des ISL.

Satz und Layout: ISL

Die Rolle der maritimen Wirtschaft bei der Etablierung einer deutschen Wasserstoffwirtschaft – Management Summary

Die durch das Deutsche Maritime Zentrum (DMZ) beauftragte Studie stellt die Aspekte „maritime Industrie als Verbraucher“ und „maritime Industrie für Logistik“ im Zusammenhang mit Wasserstofftechnologien in den Mittelpunkt. Grundlage hierfür sind verschiedene Wasserstoffstrategien, die entsprechende Zielsetzungen formulieren. Untersucht werden die Nationale Wasserstoffstrategie der Deutschen Bundesregierung, die Europäische Wasserstoffstrategie sowie die Norddeutsche Wasserstoffstrategie. Die Strategien sind ambitioniert, werden aber durch die im Sommer 2021 erlassene Novellierung des deutschen Klimaschutzgesetzes noch übertroffen. Darüber hinaus darf nicht übersehen werden, dass auch andere Ziele wie der Ausstieg aus Kernenergie und Kohlekraft für die Stromerzeugung auf die Verfügbarkeit regenerativ erzeugten Stroms angewiesen sind und damit in direkter Konkurrenz zur Erzeugung grünen Wasserstoffs stehen, was eine weitere Herausforderung hinsichtlich der Erreichung der Klimaziele darstellt.

In der Studie werden die Techniken der elektrolytischen Wasserstofferzeugung sowie der Power to Gas- und Power to Liquid-Produktion, im Folgenden als PtX-Energieträger bezeichnet, mit ihren Prozessketten von der Erzeugung bis zum Verbraucher ganzheitlich dargestellt und mit ihren Wirkungsgraden und ihren Treibhausgasemissionen bewertet. Als PtX-Energieträger werden synthetisch hergestelltes Methan, Methanol, Ammoniak sowie Rohöl (E-Crude) betrachtet. Die Möglichkeiten und Kosten der in die Prozessketten integrierten Transportprozesse werden gesondert untersucht, um unterschiedliche Entfernungen und Technologien der Transporte berücksichtigen zu können. Die Ressourcen an grünem Strom und Wasser werden dabei ebenfalls in Betracht gezogen. Die detaillierte Untersuchung der verschiedenen wasserstoffbasierten Technologien zeigt auf, dass nur eine Kombination aller Ansätze letztlich zur Erreichung der Klimaziele führt.

Inländische Wasserstoff-Erzeugung

Auf Basis verschiedener Studien werden die Bedarfe für Wasserstoff sowie PtX-Energieträger in Deutschland für die kommenden Jahrzehnte abgeschätzt. In allen Untersuchungen wird verdeutlicht, dass die Bedarfe drastisch steigen werden. Weiterhin wird untersucht, inwieweit die Windenergie in deutschen Küstenregionen an Nord- und Ostsee genutzt werden kann, um den deutschen Wasserstoffbedarf zu decken. Die gesamte in diesen Regionen Onshore und Offshore installierte Nennkapazität – 30,2 GW – würde ausreichen, um etwa 64 TWh grünen Wasserstoff pro Jahr aus Elektrolyse herzustellen. Das wäre prinzipiell ausreichend, um den derzeitigen deutschen Bedarf an fossilem Wasserstoff zu ersetzen. Da diese Nennkapazität allerdings bereits für die Erzeugung von Strom zur direkten Nutzung benötigt wird, steht sie für die Herstellung von grünem Wasserstoff – wenn überhaupt – nur in eingeschränktem Maße zur Verfügung. Hierfür werden folglich zusätzlich errichtete Nennkapazitäten an Windkraft benötigt. Um allerdings den für 2045 – das Jahr, in dem laut der im Sommer 2021 erlassenen Novelle des deutschen Klimaschutzgesetzes die Treibhausgasneutralität erreicht sein soll – prognostizierten Bedarf an regenerativem Strom für Deutschland inländisch allein durch Offshore-Windkraft zu decken, wären zusätzliche Offshore-Windparks mit einer Fläche der Größe Mecklenburg-

Vorpommerns erforderlich. Dies entspricht einer Fläche, die von der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) in Nord- und Ostsee bei weitem nicht gedeckt werden kann.

Auch bei größtmöglichem Ausbau aller regenerativen inländischen Stromerzeugungsarten bleibt folglich ein signifikanter Importbedarf an klimaneutralen Energieträgern. Die inländische Erzeugung sollte sich in diesem Zusammenhang hauptsächlich auf die Generierung von Wasserstoff für die Direktnutzung konzentrieren, da dessen Transport über große Entfernungen durch seine geringe volumetrische Energiedichte gegenüber dem Transport von PtX-Energieträgern mit deutlich größerem Aufwand verbunden ist. Hierbei ist die Speicherung des inländisch produzierten Wasserstoffs in Kavernen und ein Anschluss der Großindustrie über ein Verteilernetz geeignet, um schnelle Erfolge zu erzielen. Trotzdem sind neue Verfahren zur preiswerten Stromerzeugung und Optimierungen in den Prozessketten notwendig, um die inländische Erzeugung von Wasserstoff konkurrenzfähig gegenüber dem Import zu machen.

Es ist damit zu rechnen, dass Strom aus erneuerbaren Energien langfristig eine knappe Ressource bleiben wird. Daher ist es von großer Bedeutung, dass für die Herstellung von Wasserstoff und PtX-Energieträgern möglichst effiziente Erzeugungswege verfolgt werden. Die Effizienz zum Beispiel von Elektrolyseuren sollte aus diesem Grund weiter optimiert werden.

Importe von Wasserstoff und PtX-Energieträgern

Bei den zukünftig benötigten Importen von klimaneutralen Energieträgern bietet eine diversifizierte Nutzung aller entsprechenden Energieträger signifikante Vorteile. Grundsätzlich ist hier die bessere Transportierbarkeit von PtX-Energieträgern über große Entfernungen im Vergleich zu Wasserstoff in Betracht zu ziehen. Zumindest für eine Übergangsphase ist die vorhandene Erdgas- und Rohölinfrastruktur für den Import der jeweiligen PtX-Energieträger sofort einsetzbar. Der Import dieser Energieträger auch im interkontinentalen Maßstab ermöglicht es, aufgrund bestehender Infrastrukturen einen schnellen Effekt der Einsparung von Treibhausgasen zu erreichen. Zusätzlich müssen Bedarfe an Wasserstoff, die über die Menge an inländisch produziertem Wasserstoff hinausgehen, durch Importe gedeckt werden. So werden Importe sowohl von grünem Wasserstoff als auch von PtX-Energieträgern eine bedeutende Stütze einer zukünftigen deutschen Wasserstoffgesellschaft sein.

Importströme per Schiff und Pipeline

Um die zur Deckung der Bedarfe an Wasserstoff und PtX-Energieträgern zu gewährleisten, wird in der Studie deren Import mit Hilfe von geeigneten Transportschiffen untersucht. Hierfür wird eine Reihe von Tankschiffen für die unterschiedlichen Energieträger untersucht und verglichen. Da es als sinnvoll erachtet wird, die Importströme per Schiff durch den Einsatz von Pipelines zu ergänzen, werden die Ergebnisse mit dem Pipeline-Transport verglichen.

Das Ergebnis zeigt, dass Schiffstransporte im Vergleich zu Pipelines konkurrenzfähig sind und mit zunehmender Transportentfernung immer konkurrenzfähiger werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass der Bau von Pipelines eine Festlegung auf ein Exportland sowie die jeweiligen Transferländer und damit langfristige politische und wirtschaftliche Abhängigkeiten sowie Risiken impliziert. Schiffstransporte dagegen sind recht flexibel in der Auswahl des Exportlandes, da relativ kurzfristig andere Länder und Häfen angefahren werden können. So stellen

Schiffstransporte eine flexible Versorgung Deutschlands mit klimaneutralen Energieträgern sicher. Beim Schiffstransport zeigt sich darüber hinaus, dass der Transport umso günstiger wird, je höher die Energiedichte des Energieträgers ist. Die jeweils gewählte Schiffsgröße ist ebenfalls ausschlaggebend, wobei zu beachten ist, dass im Erzeugerland entsprechende Mengen des jeweiligen Energieträgers angeboten werden müssen, um die Schiffe der gewählten Größe auszulasten.

Für synthetisches Methan, synthetisches Methanol und E-Crude existieren die notwendigen Transporteinheiten bereits, nämlich die heute üblichen LNG-Tanker bzw. die für den Import von fossilem Rohöl verwendeten großen Rohöltanker (VLCC). Auch synthetisches Ammoniak als Flüssiggas kann in einer ersten Phase mit den existierenden Schiffen bzw. Schiffsflotten transportiert werden.

Im Bereich Wasserstoff allerdings gibt es derzeit weder Tankschiffe für Flüssigwasserstoff (LH2) mit den benötigten Kapazitäten, noch ist die notwendige Technologie zum Bau entsprechender großvolumiger hocheffizienter LH2-Schiffstanks verfügbar. Überdies fehlen die notwendigen Verflüssigungsanlagen für Wasserstoff, die derartige Tanker in angemessener Zeit beladen könnten. Es bestehen bereits erste Pilotprojekte mit kleinen Wasserstofftankern, diese bieten allerdings nur unzureichende Transportvolumina und sollten alsbald zur Marktreife entwickelt werden, so dass unterschiedliche Größen von Transporteinheiten für verschiedene globale Einsatzgebiete rechtzeitig am Markt verfügbar sind. Parallel muss an Themen wie Normierung, Zertifizierung, Sicherheit und Zulassung gearbeitet werden. Die hierfür erforderlichen umfassenden Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten werden allerdings schwerlich allein durch die Industrie getragen werden können. Grundsätzlich wird die Entwicklung und Implementierung von LH2-Transportketten in den kommenden Jahrzehnten sehr große Investitionen erfordern.

Vor dem Hintergrund der Etablierung einer Wasserstoffgesellschaft kommt der Schiffbauindustrie, den Reedereien, der Wasserstoffindustrie und nicht zuletzt der Wissenschaft hier die wichtige Rolle der Entwicklung neuer Tankschiff-Typen, Flottenstrukturen und innovativer Antriebskonzepte zu, die auf die jeweiligen Einsatzgebiete zugeschnitten sein müssen. Hierbei ist es wichtig, dass diese Entwicklungen im ausgewogenen Gleichgewicht mit Produktion und Nachfrage der Wasserstoff- und PtX-Energieträger vorangetrieben werden.

Die Rolle der deutschen Häfen

In den Wasserstoffstrategien wird die Bedeutung der Entwicklung von Wasserstoffhubs, in denen Produktion, Verteilung und Verbrauch von Wasserstoff und PtX-Energieträgern an einem Ort gebündelt sind, hervorgehoben. Aufgabe von Wasserstoffindustrie und Wissenschaft muss es sein, solche Wasserstoffhubs präzise zu beschreiben. Es muss dargestellt werden, welche Aufgaben durch einen derartigen Wasserstoffhub erfüllt werden müssen und welche technologischen Strukturen dafür benötigt werden. In dieser Hinsicht ist eine Anbindung an effiziente Import-, Export- und Verteilstrukturen notwendig, weshalb die deutschen Häfen als besonders geeignet angesehen werden, sich als Wasserstoffhubs zu etablieren.

Es ist zunächst von zentraler Bedeutung, die zu erwartenden Importmengen von Wasserstoff und PtX-Energieträgern fundiert abzuschätzen. Darauf aufbauend muss untersucht werden, welche Import-Infra- und Suprastrukturen wie Terminals, Lagerkapazitäten und Hinterlandanbindungen benötigt werden, um die erwarteten Mengen zu importieren. Grundsätzlich sollte

bestehende Infra- und Suprastruktur weiter genutzt werden, soweit dies klimaneutral möglich ist. Dafür muss geprüft werden, inwieweit beispielsweise bestehende Importterminals für LNG, Rohöl, Produkten oder Chemikalien für den Umschlag von Wasserstoff und PtX-Energieträgern genutzt, beziehungsweise, ob und wie diese Strukturen gegebenenfalls umgerüstet werden können.

Beim Import in den Häfen ist der Umschlag, die Lagerung und die Verteilung bei den PtX-Varianten der etablierten fossilen Energieträger wie E-Crude und synthetisches Methan am einfachsten. Hier kann die bestehende Infrastruktur für die fossilen Pendanten wie Raffinerien, Tankstellennetz, Erdgas-Verteilernetz usw. direkt weitergenutzt werden. Dagegen sind die derzeit existierenden Strukturen für synthetisches Methanol oder synthetisches Ammoniak nur geeignet, um die aktuell geringen Bedarfe zu decken – für Importe in großem Rahmen reichen sie nicht aus und müssen erheblich erweitert werden. Die größten Defizite bestehen für den Import von Wasserstoff – hier existieren in Deutschland derzeit keine nennenswerten Infra- und Suprastrukturen, so dass diese von Grund auf erstellt werden müssen. Auch diese Überlegung führt zu der obengenannten Empfehlung, die inländische Erzeugung von regenerativen Energieträgern hauptsächlich auf die Generierung von Wasserstoff für die Direktnutzung zu konzentrieren, um den Bedarf für aufwändige Importe in diesem Bereich zu relativieren.

Weiterhin ist eine Überarbeitung bzw. Erweiterung der bestehenden international gültigen Regularien erforderlich, um großskalierte Importe und Anwendungen von Wasserstoff und PtX-Energieträgern im maritimen Bereich zu ermöglichen. Dies ist ein essenzieller Bestandteil für den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft, denn hier bestehen derzeit regulatorische Lücken. Während die Anwendbarkeit von synthetischem Methan, synthetischem Schweröl, synthetischem Dieselkraftstoff und synthetischem Methanol als maritimer Treibstoff bereits über die Regularien für die entsprechenden fossilen Treibstoffe geregelt ist, besteht für die Verwendung von Wasserstoff als Treibstoff im maritimen Kontext noch keine Regulierung, während die Verwendung von Ammoniak als Treibstoff derzeit auf allen Schiffstypen nicht zulässig und für Gastanker gemäß Kapitel 16 des IGC-Codes ausdrücklich verboten ist. Damit auch die Verwendung dieser Energieträger als Treibstoff in maritimen Anwendungen erprobt werden kann, müssen schnellstmöglich entsprechende Regularien entworfen und in Kraft gesetzt werden.

Aufbau von internationalen Partnerschaften

Die Analyse der weltweiten Hotspots der Wasserstofftechnologien hat gezeigt, dass viele Länder über Afrika, den Mittleren Osten und Australien hinaus Export-Ambitionen haben. Um eine langfristige Versorgungssicherheit mit Wasserstoff und PtX-Energieträgern zu garantieren und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Seehäfen sicherzustellen, sind politische und wirtschaftliche Anstrengungen notwendig, um Energiepartnerschaften mit strategisch günstigen Wasserstoffexportländern aufzubauen und entsprechende Kapazitäten zu sichern. Der mit den deutschen Seehäfen in Konkurrenz stehende Hafen Rotterdam ist auf diesem Gebiet sehr aktiv und hat bereits mehrere direkte Partnerschaften zur Deckung der Nachfrage geschlossen.

Grundsätzlich sollte ein diversifizierter Ansatz gewählt werden, bei dem Partnerschaften mit unterschiedlichen Ländern abgeschlossen werden, um einseitige Abhängigkeiten zu vermeiden. Die Studie berücksichtigt verschiedene Länder, die als mögliche Erzeugungsorte für den Import von Wasserstoffprodukten nach Deutschland diskutiert werden bzw. mit denen bereits

entsprechende Vereinbarungen geschlossen wurden. Stellvertretend für unterschiedliche globale Exportregionen werden Australien, Chile, Island, Kanada, Marokko, Norwegen und die Vereinigten Arabischen Emirate exemplarisch untersucht. Für Importe aus diesen Ländern werden eine ökonomische Analyse und Treibhausgasbilanzierungen durchgeführt.

Da auch andere Länder die Dekarbonisierung und den Aufbau einer Wasserstoffgesellschaft forciert verfolgen und daher eine weltweite Konkurrenz von auf den Import von klimaneutralen Energieträgern angewiesenen Ländern besteht, müssen insbesondere die politischen Handlungsempfehlungen so schnell wie möglich umgesetzt werden. Gerade in den Bereichen der Regulatorik, dem Abschluss von Energiepartnerschaften und dem Aufbau von Import-Infra- und Suprastrukturen müssen politische Entscheidungen im Hinblick auf langwierige Genehmigungsprozesse schnellstmöglich getroffen werden, damit ein internationaler, zukunftsfähiger Wasserstoffmarkt etabliert werden kann, Energieträger in der benötigten Menge nach Deutschland importiert werden können und die Ziele der Wasserstoffstrategien sowie die Dekarbonisierung zum Erfolg geführt werden.

Wasserstoff-Anwendungen im maritimen Bereich

Für maritime Anwendungen müssen durch die Schiffbauindustrie unterschiedliche Antriebskonzepte mit verschiedenen Treibstoffen konzipiert und über die aktuell bestehenden Pilotprojekte hinaus verstärkt im praktischen Einsatz erprobt werden. Dabei sollten alle Optionen technologieoffen bedacht werden. So sollten sowohl Verbrennungsmotoren als auch der Einsatz von Brennstoffzellen untersucht werden, um die Anwendungsgebiete zu bestimmen, in denen die Antriebskonzepte jeweils eingesetzt werden können. Neben PtX-Energieträgern wie aus E-Crude erzeugtem synthetischem Dieselkraftstoff sowie synthetischem Methanol und synthetischem Ammoniak sollte auch der direkte Einsatz von Wasserstoff Untersuchungs- und Erprobungsgegenstand sein, um mit allen Technologien für die verschiedenen Einsatzgebiete die jeweils beste Option zu identifizieren.

Ferner sind neue Konzepte für die Anwendung von Wasserstofftechnologien in den Häfen erforderlich. Es muss untersucht werden, ob und welche Wasserstofftechnologien bei Umschlagsgeräten und Rangiergeräten im Hafengebiet und darüber hinaus sinnvoll eingesetzt werden können. Die Forschung auf diesem Gebiet muss dabei alle technologischen Optionen in Betracht ziehen. Eine objektive Bewertung der ökologischen Einflüsse eines Antriebskonzepts wird durch Lebenszyklusanalysen ermöglicht.

Für neue Treibstoffe, die in der Schifffahrt zum Einsatz kommen, sind Anpassungen der bestehenden oder der Aufbau neuer Bunkerstrukturen erforderlich. Zwar können synthetisches Methan, synthetisches Schweröl und synthetischer Dieselkraftstoff ohne Anpassungen in bestehende Bunkerkonzepte eingefügt werden, Kraftstoffe wie synthetisches Methanol und synthetisches Ammoniak erfordern aber bereits erhebliche Anpassungen der Bunkerstrukturen. Flüssigwasserstoff indes erfordert ein vollständiges neues Bunkerkonzept und die Errichtung spezialisierter Infra- und Suprastruktur und damit umfassende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Wie bereits weiter oben dargestellt, müssen darüber hinaus die entsprechenden international gültigen Regularien überarbeitet werden.

Fazit

Die maritime Wirtschaft in Deutschland hat durch ihre wichtige Rolle beim Transport von klimaneutralen Energieträgern sowie bei deren Anwendung eine herausragende Bedeutung hinsichtlich der Treibhausgas-Emissionssenkung und -vermeidung. Ein sektorübergreifendes Ziel muss der Ausbau erneuerbarer Energien sein, um ausreichend Strom aus erneuerbaren Quellen für die Erweiterung der Elektrolysekapazitäten bereitzustellen. Es wurde ausführlich dargestellt, dass die bestehenden Potenziale und Planungen trotzdem nicht ausreichend sein werden, um den deutschen Bedarf an Wasserstoff und PtX-Energieträgern inländisch zu decken. Schiffsimporte werden daher für den Aufbau einer deutschen Wasserstoffgesellschaft eine zentrale Rolle spielen. In Deutschland müssen daher baldmöglichst entsprechende politische Rahmenbedingungen geschaffen werden, die diese Entwicklungen signifikant unterstützen und vorantreiben. Auch die entsprechenden Regularien sind zu überarbeiten bzw. zu erweitern.

Im Hinblick auf eine mögliche Technologieführerschaft in globalem Maßstab ist es für die Akteure der deutschen maritimen Branche wichtig, frühzeitig neue Chancen und Möglichkeiten zu erkennen und konsequent zu nutzen. Die Beschreibung der unterschiedlichen Wasserstoff- und PtX-Produkte, ihrer Technologien und des Standes ihrer Entwicklung mit ihren Vorteilen und Nachteilen zeigt im Ergebnis, dass sowohl die Direktnutzung von Wasserstoff als auch die Nutzung der verschiedenen wasserstoffbasierten PtX-Kraftstoffe sinnvoll zur Dekarbonisierung der Wirtschaft beitragen kann. Für eine Erreichung der Klimaziele sollte daher im Sinne einer Technologieoffenheit eine Marktdurchdringung möglichst aller dieser Ansätze angestrebt werden. Hierfür sollten die unterschiedlichen Ansätze im Rahmen von praxisrelevanten Pilot- und Umsetzungsprojekten implementiert und erprobt werden, um aus den unterschiedlichen Konzepten einen sinnvollen anwendungs- und zielorientierten Technologiemix zu identifizieren. Im Bereich des Schiffstransports ist die bessere Transportierbarkeit von PtX-Energieträgern über große Entfernungen im Vergleich zu Wasserstoff zu berücksichtigen. Insbesondere beim Schiffstransport von Flüssigwasserstoff zeigt sich, dass noch erheblicher Bedarf an Forschung und Entwicklung besteht, um die benötigten hocheffizienten Tanktechnologien zur Marktreife zu bringen. Derartige Umstände müssen bei Überlegungen hinsichtlich der Strategie zur Etablierung einer deutschen Wasserstoffwirtschaft zwingend Berücksichtigung finden.
